

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie-technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Automatizace dílenského měření ve firmě ASTRO KOVO

Autor: **Bc. Antonín HOLUB**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří ČESÁNEK, Ph.D.**

Akademický rok 2012/2013

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

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Holub		Antonín
STUDIJNÍ OBOR	N2301 Strojírenské technologie-technologie obrábění		
VEDOUČÍ PRÁCE	doc. Ing. Česánek, Ph.D.	Jiří	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Automatizace dílenského měření ve firmě ASTRO KOVO		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	84	TEXTOVÁ ČÁST	64	GRAFICKÁ ČÁST	20
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce obsahuje analýzu využití moderních měřících přístrojů v podmínkách sériové výroby drobných rotačních dílů. Zvolené měřidlo Renishaw Equator v kombinaci s průmyslovým robotem Kuka bylo začleněno do měřicí buňky s vlastním paletizačním systémem. Tento funkční celek přináší zcela nový přístup ke kontrole dílů a jeho originální funkční a designové řešení najde uplatnění i za hranicemi firmy Astro Kovo Plzeň s.r.o.
KLÍČOVÁ SLOVA	měření, automatizace, Equator, Kuka, robot, měřidlo, měřicí box, měřicí buňka, paletizace, manipulační systém

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Holub	Antonín
FIELD OF STUDY	N2301 Manufacturing Processes - Technology of Metal Cutting	
SUPERVISOR	doc. Ing. Česánek, Ph.D.	Jiří
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Automation of workshop measurement in company ASTRO KOVO	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2013
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	84	TEXT PART	64	GRAPHICAL PART	20
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION	The diploma thesis contains an analysis of the use of modern measuring devices in terms of high volume production of small rotary parts. The main part of the thesis describes a developing of measuring cell, where is installed robot KUKA, measuring device Renishaw Equator TM and own supplying system. This solution provides a completely new approach to a measuring of parts which are produced in large series. Original technical solution and perfect design give the cell a wide selling potential.
TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	
KEY WORDS	automation, measuring, Equator, Kuka, Robot, gauge, measuring box, palletizing, handling system

Obsah

Úvod.....	4
Představení společnosti	5
1 Analýza současného stavu měření.....	6
1.1 Kontrola operátorem.....	8
1.1.1 Kontrola přesných vnějších a vnitřních průměru	9
1.1.2 Kontrola délkových rozměrů.....	10
1.2 Kontrola pracovníkem kvality	10
1.3 Kontrola před expedicí	11
2 Návrh nového řešení ve variantách	12
2.1 Souřadnicový měřicí stroj.....	13
2.2 Renishaw Equator 300.....	14
2.3 Vici Vision MTL 300	16
2.4 Keyence IM – 6010	18
2.5 Zakázkový optický systém	19
Shrnutí, výběr varianty	22
3 Rozpracování vybrané varianty a zpracování vzorového příkladu	22
3.1 Výběr robota	23
3.2 Dispoziční řešení, materiálový tok	24
3.3 Konstrukční návrhy	25
3.3.1 Podstava robota	25
3.3.2 Převážný vozík, paletový systém.....	26
3.3.3 Mezičlen na přírubu robota	29
3.3.4 Upínač dílu v měřidle Equator	30
3.3.5 Vlastní konstrukce buňky.....	30
3.3.6 Bezpečnost, řešení elektroinstalace.....	31
3.4 Automatizace, výběr příslušenství.....	33
3.4.1 Komunikace robot - Equator	33
3.4.2 Upínací systém	36
3.5 Identifikace a vyhodnocení pracovníků.....	38
3.6 Měření - Renishaw Equator 300.....	40
3.6.1 Popis, princip měření.....	40

3.6.2	Softwarové vybavení.....	42
3.6.3	Programování	42
3.6.4	Režim automatizace	45
3.7	Řešení paletizace a obsluhy robotem.....	47
3.7.1	Proměření nástrojů	47
3.7.2	Proměření bází.....	49
3.7.3	Deklarace v souboru \$config.dat.....	49
3.7.4	Základy programování	50
3.7.5	Návrh hlavního programu, vývojový diagram	52
3.7.6	Programové řešení obsluhy Equatoru	53
3.8	Vzdálená podpora	56
4	Technicko ekonomické zhodnocení	57
4.1	Rozbor	58
4.1.1	Náklady na ruční měření	59
4.1.2	Náklady na automatizované měření	60
4.2	Porovnání nákladů	61
4.2.1	Díl Buchse	61
4.2.2	Díl Druckscheibe.....	61
4.2.3	Měsíční úspora	61
4.2.4	Doba návratnosti	61
4.2.5	Závěr technicko ekonomického zhodnocení.....	62
5	Závěr.....	62
6	Zdroje	64
	Seznam příloh.....	I

Přehled zkratk

KSS – Kuka System Software

KCP – Kuka Control Panel

KRL – Kuka Robot Language

POV – Program Override

HOV – Hand Override

TCP – Tool Center Point

ISO – International Standards Organization

DIN – Deutsches Institut für Normung

CMM – Coordinate measuring machine

HW – hardware

SW – software

EQ – Equator

T1 – ruční režim pohybu robota s omezenou rychlostí

T2 – ruční režim pohybu robota bez omezení rychlosti

Úvod

Neustále se zvyšující nároky na kvalitu, termíny dodávek a cenu jsou hybnou silou inovací ve všech odvětvích průmyslu. Každý průmyslový podnik se musí těmto požadavkům podřídit a investovat do moderních technologií zaručujících konkurenceschopnost nejen v lokálním, ale často v globálním měřítku. Požadavky na inovace vychází z celé řady podnětů, jako jsou aplikace nových materiálů a materiálů se zvláštními mechanickými vlastnostmi, zkracování životních cyklů výrobků, jakost výrobků, nároků na bezpečnost a kvalitu pracovního prostředí, environmentálních aspektů a samozřejmě ekonomických aspektů. Specifické postavení má automobilový průmysl, jehož zvláštní požadavky nelze přehlížet. Při svém postavení v ČR je významným partnerem pro značné množství firem. Zejména menší firmy jako subdodavatelé stojí před rozhodnutím, zda přistoupit na nekompromisní podmínky automobilek či jejich dodavatelů nebo se vzdát zisků z tohoto odvětví. Obě rozhodnutí mohou firmu dovést k zániku. Cílem firmy Astro Kovo Plzeň s.r.o. je navázat a udržet dlouhodobou spolupráci s dodavatelem automobilového průmyslu, které je možné dosáhnout pouze při spokojenosti obou stran opírající se na jedné straně především o dodržení požadované kvality, na druhé o požadovanou míru zisku.

Úkolem této práce je zhodnotit možnosti automatizace měření v dílenských podmínkách firmy Astro Kovo Plzeň s.r.o. za účelem 100% kontroly klíčových rozměrů vybraných dílů pro automobilový průmysl. Na základě analýzy vybrat a realizovat konkrétní řešení, které zajistí požadavky rozměrové přesnosti dílů. Realizované řešení by mělo upevnit vztahy se současnými zákazníky, oslovit nové odběratele a posunout firmu o krok před konkurencí.

Představení společnosti

Společnost ASTRO KOVO Plzeň s.r.o. se sídlem v Třemošné u Plzně se specializuje na realizaci kooperací podle požadavků zákazníků. Jedná se především o malosériovou a sériovou výrobu rotačních součástí na moderních soustružnických centrech s průchodem vřetena do 65mm. Po dlouholetých zkušenostech patří do strojního parku pouze stroje japonských výrobců Mazak a Nakamura Tome, jejichž počet se blíží dvěma desítkám. Mezi nejvýznamnější zákazníky patří společnosti z automobilového, leteckého i ostatního průmyslu jako např. Keller & Kalmbach, Fuji Koyo, Alcorta, Viza, RWG, AL-KO, Knorr Bremse, Krontec, AEG, Linde, DE-STA-CO. Řada z těchto zákazníků neustále zvyšuje své požadavky na kontrolu kvality. Cílem firmy je samozřejmě všem požadavkům v plné míře vyhovět.



obr. 1 Ukázka výrobního programu

1 Analýza současného stavu měření

Od sortimentu součástí se samozřejmě značně odvíjí vybavení měřidly a způsoby měření. Jak již bylo naznačeno, výrobní program zahrnuje zejména rotační součásti do průměrů 65 mm, popřípadě součásti typu přírub vyráběné z přířezu do průměru 110 mm. Tím jsou dány nejběžnější velikosti měřidel a lze si vytvořit základní představu o jejich použití, způsobu manipulace, skladování apod. Firma je velice dobře vybavena měřidly, která v naprosté většině postačují ke kontrole požadovaných rozměrů ve stanovených přesnostech. Ke koci roku 2012 bylo v podnikovém informačním systému evidováno 1690 kusů měřidel, stručný seznam nepoužívanějších obsahuje tabulka č. 1.

Měřidlo	Dostupný rozsahy	Počet	Poznámka
Sada koncových měrek	0,5 - 100	4	přesnosti 0, 1, 1, 2
Posuvné měřítko digitální	0 - 150	67	Mitutoyo, Garant
Posuvné měřítko s noniem	0 - 600	12	
Hloubkoměr digitální	0 - 200	6	
Mikrometr třmenový	0 - 150	47	
Mikrometrický odpich	60 - 150	5	
Pasametr	0 - 50	3	
Dutinoměr třídotekový	5 - 200	39	
Mikrokátor	0 - 0,1	2	
Úchylkoměr číselníkový	0 - 80	23	
Úchylkoměr digitální	0 - 50	8	+ granitový stojánek
Úchylkoměr páčkový	0 - 1	7	
Třmenový kalibr	16 - 70	60	zakoupeny vždy dle potřeby pro danou zakázku
Válcový kalibr	1,6 - 60	545	
Měřicí kolík	0,49 - 16,99	250	
Závitový čep	M2 - M50	196	
Závitový čep	G1 - G5/8	15	
Závitový kroužek	M2 - M42	326	
Závitový kroužek	G1 - G5/8	15	
Drátky na stř. prům. závitu	St 0,5 - 3	9	
Výškoměr	0 - 300	4	Sylvac
Profilprojektor	0 - 150	2	Mitutoyo PJ-A3000
Měřicí kapesní lupa	0 - 20	6	zvětšení 10x
Konturoměr	50	2	Mitutoyo CV 1000
Drsnoměr	360 η m	4	Mitutoyo SJ 210 / 400
3D souřadnicový měřicí stroj	500x600x450	1	Impact

Tabulka č. 1 Seznam dostupných měřidel

Umístění měřidel vyplývá z četnosti jejich použití, možností manipulace a nároků na pracovní prostředí. Všechna ruční měřidla s výjimkou posuvek jsou uložena v kontrolní místnosti (obr. 2) bezpečně a přehledně uspořádaná. Vydání probíhá vždy ke konkrétní zakázce. V kontrolní místnosti jsou dále trvale umístěny konturoměr, profilprojektor, 3D souřadnicový měřicí stroj, drsnoměr, výškoměr.



obr. 2 Kontrolní místnost

Druhý konturoměr a profilprojektor jsou v seřizovně přímo na nové hale. Ostatní výškoměry, drsnoměry a pomocné přípravky jsou na dostupných místech sloučených pro více pracovišť. Obr. 3 ukazuje kontrolní místo ve středu nové dílny sloučené pro čtyři pracoviště.



obr. 3 Sloučené kontrolní místo na dílně

Způsob kontroly dílů lze rozdělit podle místa a osoby. Na kontrolu prováděnou obsluhou stroje během výroby, kontrolu prováděnou kontrolorem a kontrolu dílů před expedicí prováděnou pracovníky skladu. Každá tato etapa má svá specifika a bude níže popsána v samostatné kapitole včetně spojitostí s plánovanou automatizací.

1.1 Kontrola operátorem

Ve firmě jsou všechna pracoviště řešena jako třístrojová, kdy operátor kontroluje proces výroby a následně ukládá kusy dle balícího přepisu do papírových, plastových či ocelových beden. Často je tedy posledním, kdo výrobek drží v ruce před odesláním zákazníkovi. Kontrola operátorem spočívá především v průběžné kontrole dílů během výroby, aby bylo možné korigovat rozměry součástí, kvalitu povrchu apod. K tomuto jsou nejčastěji používána posuvná měřidla, mikrometry, válcové kalibry, závitové kalibry apod. Měřidla jsou vždy umístěna na stolku přímo u stroje (obr. 4). Jejich výběr pro danou zakázku zajišťuje seřizovač, případně kontrolor. Další měřidla jako jsou výškoměr, drsnoměr, konturoměr a profilprojektor obsluha také využívá, ovšem při každém měření musí dojít na kontrolní místo. Většina dílů je vyráběna hotově na jedno upnutí případně s předáním. Kontrola vyžaduje tedy větší počet různých měřidel (obr. 4), při výrobních časech v řádu jednotek minut není možné zkontrolovat všechny rozměry.



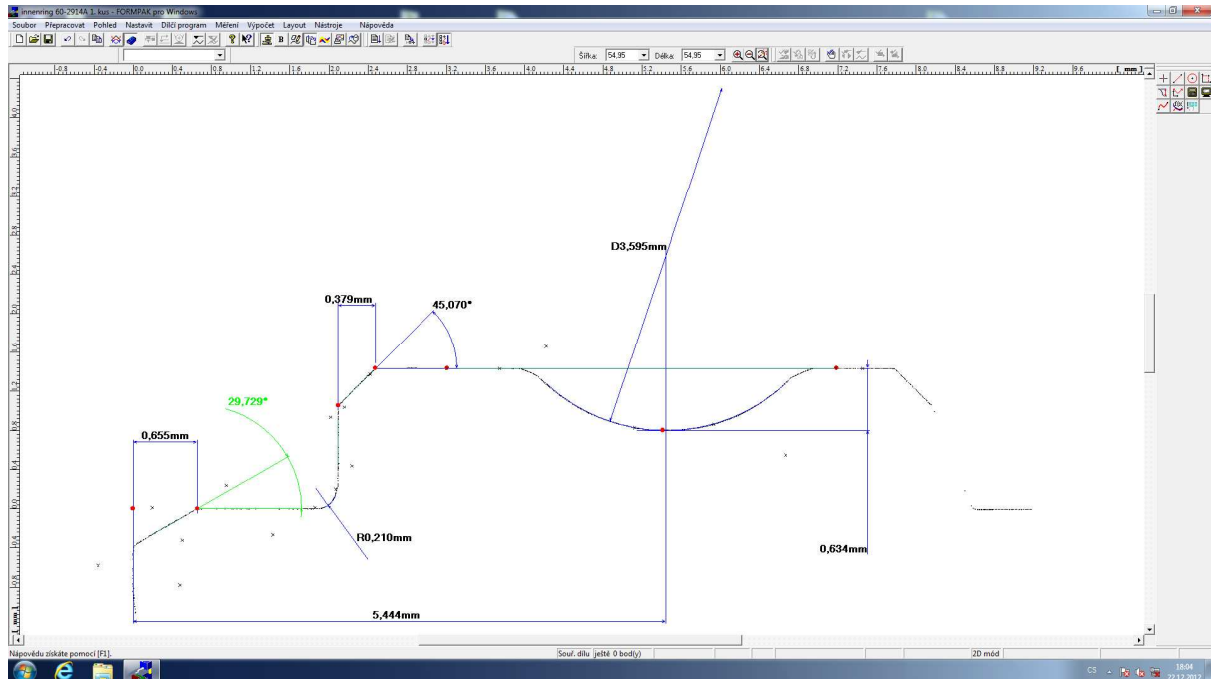
obr. 4 Měřidla u stroje

Operátor má povinnost dodržovat kontrolu podle protokolu o měření, kde jsou uvedeny nejdůležitější rozměry a instrukce pro měření. Standardně je používán firemní protokol. Na přání zákazníka jsou používány i podrobnější protokoly, které ovšem značně zatěžují operátora, z hlediska věrohodnosti závisí na jeho pečlivosti a zodpovědnosti. Výstup těchto dat z moderních měřících přístrojů má pro další hodnocení nepochybně větší hodnotu.

Kontrola na konturoměru se provádí ve zcela zvláštním režimu s delším intervalem měření. Důvodem je vzdálenost od stroje, sdílení dvou přístrojů pro všechna pracoviště a samotná délka měření, která je dána:

- nastavením svěráku a upnutím dílu,
- vyhledáním horní (hřidel) nebo dolní (díra) úvratě,
- změnou programu,
- měřením dílu rychlostí max. 0,5mm/s , běžně 0,2mm/s,
- označením elementů pro stanovení souřadného systému,
- odečtením naměřených hodnot.

Důležitým faktorem je také to, že při měření na konturoměru se jedná většinou o složitější součásti, jejichž měření se svěřuje zkušenějším pracovníkům. Četnost měření závisí nejvíce na jejich zkušenosti. Samotné měření probíhá podle předem připraveného programu, ve kterém jsou automaticky vyhodnoceny požadované rozměry (obr. 5).



obr. 5 Vyhodnocení na konturoměru.

Jelikož se tato práce nezabývá řešením kontroly kvality obecně, ale převážně možnostmi automatizace pro potřeby firmy, budou dále popsány pouze případy měření, pro které je automatizace zamýšlena.

Řada zákazníků, především automobilového a leteckého průmyslu, má poměrně vysoké požadavky na spolehlivost dodávek z hlediska rozměrové přesnosti. Přestože přímo nevyžadují 100% kontrolu dílů, sankce vyplývající ze smluvních podmínek při nalezení neshodného výrobku jsou značné, nemluvě o ztrátě zákaznickovy důvěry.

1.1.1 Kontrola přesných vnějších a vnitřních průměrů

Přestože výroba probíhá na moderních a přesných strojích, nelze vyloučit náhodnou chybu, kterou neodhalí pravidelné měření podle protokolu. Příčinou bývá především chyba upnutí, namotání třísek, vada materiálu apod. Z toho důvodu je u některých zakázek prováděna 100% kontrola klíčových rozměrů. Příkladem je kontrola vnějšího a vnitřního průměru u dílu Buchse. Vnitřní průměr 16H7 je kontrolován válcovým kalibrem, vnější průměr 24p6 třmenovým kalibrem. Měření značně zatěžuje operátora neustálou manipulací s měřidly, obrobky a tříděním kusů, což vede k vytváření nepřehledných situací, případně k chybě. 100% kontrola těchto dílů bude řešena právě nově zavedenou automatizací.

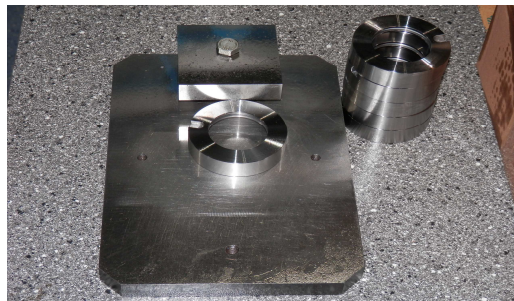
Uspořádání pracoviště při kontrole dílu Buchse je na obr. 6. Výkres dílu je součástí přílohy č. 4.



obr. 6 Kontrola dílu Buchse

1.1.2 Kontrola délkových rozměrů

Při 100% kontrole délek se zpravidla jedná o odhalení hrubých chyb vzniklých chybou upnutí při nakládání kusů pomocí manipulátoru na strojích Mazak QT6T + ROBOT GL6. Případně na dvouřetenových strojích při předávání obrobků s malým poměrem L/D. Kontrola probíhá pomocí přípravku v podobě broušené desky s dorazem v požadované výšce (obr. 7). Doraz je vyroben na zakázku, popřípadě podložen koncovými měrkami.



obr. 7 100% kontrola celkové délky

1.2 Kontrola pracovníkem kvality

Kontrolor přichází do styku se zakázkou zpravidla v několika fázích:

- vzorkování nové zakázky,
- kontrola po seřízení,
- náhodné kontroly během výroby,
- nejasnosti při výrobě,
- reklamační řízení.

Samotnou práci kontrolora samozřejmě nelze automatizovat, ovšem výsledkem jeho práce může být nařízení k překontrolování zakázky na základě náhodné kontroly či

reklamace. Pokud se jedná o několik stovek kusů, přeměří zakázku operátoři, případně pracovníci v expedici. Kontrola desetitisícových sérií, případně rozměrů, které není možno měřit kalibry, je už ovšem náročnější. Zavedení určitého stupně automatizace, v podobě měřicího přístroje s ruční obsluhou případně s robotem, bude určitě dále zvažováno.

1.3 Kontrola před expedicí

Před expedicí probíhá kontrola z několika níže uvedených důvodů. Prováděna je pracovníky skladu na základě instrukcí od kontrolora:

- 100% kontrola vybraných rozměrů namísto kontroly operátorem,
- kontrola rozměrů na základě reklamace,
- rozměrová kontrola dílů po kooperaci,
- vizuální kontrola dílů po kooperaci,
- kontrola provedení balícího předpisu.

Nejvýznamnějším bodem je jednoznačně rozměrová kontrola dílů z vlastní výroby popřípadě z kooperace (broušení, protahování, výroba ozubení). V současné době se této činnosti plně věnují dva zaměstnanci na ranní směně. Pro některé zakázky je ovšem zapotřebí směnu posílit dalšími pracovníky z pomocných provozů, což není z hlediska plánování výroby optimální situace. Požadavkem a očekáváním od návrhů automatizace je zajistit odstranění těchto výkyvů, ať již použitím modernějších a rychlejších metod měření s ruční obsluhou, případně s určitým druhem manipulátoru či průmyslového robota. Dlouhodobou zakázkou kontrolovanou ve skladu je díl Druckscheibe, který není kontrolován u stroje, ale jeho kontrola je prováděna až v expedici. Takto se postupuje především z důvodů snížení zatížení obsluhy stroje a skutečně maximální pečlivosti při měření, které není možné u stroje dosáhnout. U tohoto dílu vyžaduje zákazník nekompromisní rozměrovou přesnost, jejíž nedodržení je pokutováno v řádech desetitisíců. Na díle jsou kontrolovány rozměry 70h8, 57k7 a délka 14-0,1. Výkres dílu je součástí přílohy č. 4.



obr.8 Pracoviště pro kontrolu dílu Druckscheibe

Dalším bodem je vizuální kontrola dílů, kde se jedná především o kontrolu provedení povrchových úprav, koroze, ploch se zvláštními požadavky na kvalitu, případně požadavky na čistotu. Pro tuto část kontroly není automatizace vůbec zamýšlena, jelikož vyhodnocení pomocí lidských smyslů se v podmínkách firmy jeví jako nejspolehlivější a nejekonomičtější. Požadavky jako vyčištění závitů a otvorů tlakovým vzduchem mohou být samozřejmě druhotnou funkcí automatizace. Stejně jako přesné počítání kusů podle balícího předpisu.

Z krátké analýzy plyne, že oblast kontroly, i v podmínkách menší firmy zabývající se v uvozovkách pouze soustružením, není zanedbatelnou záležitostí. Dá se říci, že donedávna nebyl důvod cokoli měnit. Příchod významnějších a náročnějších zákazníků a s ním spojený rozvoj firmy vyžaduje hledání nových metod a možností, jak se udržet o krok před konkurencí. Samozřejmě v oblasti kontroly budou mít neustálý podíl především lidé s jejich zkušenostmi. U řady měření je jen těžko představitelná náhrada člověka jako velmi pružného a efektivního zdroje se značnou zkušeností. Pro velké zakázky je ovšem potřeba změn s různým stupněm automatizace nevyhnutelná.

2 Návrh nového řešení ve variantách

Na základě analýzy současného stavu, finančních a personálních možností byly po dohodě s jednatelem společnosti shrnuty níže uvedené základní požadavky:

- realizace do poloviny roku 2013,
- kompletní řešení provést přednostně pro díly Buchse a Druckscheibe s dotykovým měřením, pro díl Collar s optickým měřením zhodnotit výběr měřidla,
- využití pouze stávajících pracovníků, zajištění jejich proškolení,
- výstup dat pro další zpracování při hodnocení výrobního procesu,
- mobilita celku, žádné stavební úpravy,
- odolnost klimatu na dílně, přizpůsobení konstrukce,
- možnost využívat měřicí přístroje s ruční obsluhou i s robotem,
- co nejvíce ulehčit práci obsluze strojů,
- celková investice max. 2 000 000 Kč.

V první fázi bylo cílem získat velmi hrubé způsoby řešení na základě požadavků a společné úvahy s jednatelem. Vzhledem k tomu, že se tímto tématem ve firmě nikdo doposud nezabýval, nebylo možné čerpat ze zkušeností. Hledat inspiraci u konkurence, či obchodních partnerů bylo také marné, jelikož nikdo zatím k podobnému projektu nepřistoupil. Největším zdrojem inspirace při výběru měřících přístrojů, automatizační techniky a příslušenství se stal MSV v Brně. Po jeho návštěvě bylo navrženo několik níže uvedených variant, které byly následně po další konzultaci a návštěvách obchodních zástupců a techniků dále rozvíjeny nebo zamítnuty. Jednalo se o tyto:

- souřadnicový měřicí stroj,
- Renishaw Equator,
- Vici vision MTL300,
- Keyence IM – 6010,
- zakázkový optický systém.

Jako prostředek pro manipulaci byl zvolen průmyslový robot. Na základě referencí a informací dostupných z internetu byly osloveny firmy Fanuc a Kuka. Po porovnání cenových nabídek obou společností a také především podle přístupu k jednání byla pro další spolupráci jednoznačně zvolena společnost Kuka. Konkrétní model robota bude vybrán až po zvolení měřicího přístroje s ohledem na potřebný dosah. Z hlediska ovládání, komunikace apod. není mezi jednotlivými modely rozdíl, který by bránil dalšímu postupu v řešení DP.

2.1 Souřadnicový měřicí stroj

Návrh varianty řešení s CMM byl zvolen především z důvodu, že firma již vlastní stroj Impact, který není zcela využitý. Pořízení nového stroje v této cenové kategorii navíc s konstrukcí, která není mobilní a určená do dílenských podmínek, nebylo nikdy uvažováno.

CMM se v současnosti nachází v kontrolní místnosti, využívá jej pouze kontrolor pro měření vzorků, prvních kusů po seřízení nebo přípravků a to většinou pouze jedná-li se o obtížně měřitelné rozměry.



obr. 9 CMM Impact 5.6.5

Parametry CMM Impact 5.6.5

pracovní prostor	500x600x450mm
hmotnost	1000kg
max. zrychlení	3600 mm/sec ²
max. rychlost.....	860 mm/sec
max. měřicí rychlost	40 mm/sec
software	Virtual Dmis
hlavice	Renishaw PH10
snímací modul	Renishaw TP20
pracovní teplota.....	10°C - 40°C

Automatizace

Na základě zmíněných údajů se jeví využití CMM Impact jako dobré řešení s nulovou počáteční investicí, bohatým prostorem pro vstup robota a díky indexovatelné hlavici dobrou dostupností k vnějším i vnitřním povrchům. Umístění stroje přímo na dílně není samozřejmě možné. Při zabudování stroje do buňky s robotem budou dosaženy vyhovující klimatické podmínky. Po konzultaci s technikem společnosti Metrotest, kde byl přístroj zakoupen, a následně i se zástupcem společnosti Renishaw se objevilo několik nedostatků:

- konstrukce není uzpůsobena pro trvalé zatížení v automatickém provozu,
- komunikace s nadřazeným PLC nebo robotem zatím nebyla provedena, stroj není pro spojení připraven,
- nutnost zabezpečit dlouhodobě příznivé klimatické podmínky.

Zejména díky prvně zmíněnému nedostatku bylo od záměru využití CMM upuštěno, nebyla tedy dále zkoumána možnost komunikace s robotem, kterou by bylo nutné řešit přímo s výrobcem.

2.2 Renishaw Equator 300

Zcela inovativní druh měřidla společnosti Renishaw byl poprvé v republice představen na MSV 2011 v Brně. Unikátní konstrukcí a principem měření vytváří zcela novou kategorii dílenského měřidla určeného především pro automatizaci měření.



obr. 10 Equator 300 [7]

Technická specifikace

pracovní prostor.....	XY Ø300 mm, Z 150 mm
rozměr přístroje (Š x H x V)	570 x 500 x 700 mm
upínací deska	305 x 305 mm
hmotnost.....	25kg
max. hmotnost dílu	25kg
max. zrychlení	3500 mm/sec ²
max. rychlost	500 mm/sec
max. měřicí rychlost	100 mm/sec
snímací sonda	tříosá skenovací SP25
počet sejmutých bodů	1000 bodů/sec
nejistota porovnávání	± 0,002 mm
dělení pravítek	0,0002 mm

měřicí software	Modus
požadavek na upnutí	± 1mm
rozsah pracovních teplot	+10°C až +40°C
rozsah relativní vlhkosti	20 až 80 %
napájení	240V, 50-60Hz
přívod stlačeného vzduchu	NE
spotřeba během měření	cca 150W

Konstrukce

Na první pohled je patrný rozdíl v konstrukci oproti CMM, který využívá kartézskou konstrukci s tuhostí zaručující přesnost. Výsledkem jsou poměrně velké setrvačné síly omezující zrychlení, mohutná konstrukce a velký příkon.

Konstrukce Equatoru je založena na paralelní kinematice, tři vzpěry jsou uloženy v motorech a zavěšeny v Hookových kloubech. Vzpěry jsou tedy zatíženy čistě tahem a tlakem, zatímco ohyb je eliminován. Plošina se snímací sondou je připevněna přímo k vzpěrám, na kterých jsou lineární pravítka pro snímání polohy, je tedy výrazně zkrácená vzdálenost mezi sondou a snímačem polohy. Nekonenční poloha os (P, Q, R) je samozřejmě vnitřním algoritmem přepočítávána do běžného kartézského systému. Výsledkem je tedy lehká konstrukce dovolující dosažení velkých rychlostí a zrychlení při poměrně malé spotřebě energie.

Princip měření

Konstrukce poskytuje řadu výhod, přesto má jedno zásadní omezení, sice že přístroj neměří s absolutní přesností, ale pouze porovnává rozměry s referenčním výrobkem. Před samotným měřením je nutné znát skutečné rozměry referenčního výrobku. V podstatě tedy přístroj pracuje jako číselníkový úchylkoměr snímající tisíce bodů, každý nasnímaný bod je vyhodnocen samostatně vůči příslušnému bodu na referenčním obrobku. Ze získané množiny bodů jsou dále vyhodnoceny skutečné rozměry. Přístroj je tedy předurčen pouze k sériovému měření, jinak nemá jeho použití smysl.

Software

Softwarovým nástrojem pro ovládání přístroje je MODUS Organiser a MODUS Equator. První verze je instalována vždy a slouží pouze pro operátory, druhá verze je za příplatek a slouží pro programátory. Je tedy možné nechat zpracovávat programy na zakázku a používat přístroj bez potřeby hlubších znalostí již po krátkém proškolení.

Automatizace

Jelikož je přístroj principem měření přímo předurčen k sériové kontrole, nabízí výrobce interface pro připojení k průmyslovým robotům včetně speciálního softwaru pro automatizovaný režim. Vnitřní prostor umožňuje bezproblémové zakládání a vykládání dílů.

Zhodnocení využití pro firmu Astro Kovo

- bohatý prostor pro vstup robota,
- příprava pro automatizaci již od výrobce,
- snadná manipulace, v případě potřeby lze snadno přemístit ke stroji nebo do skladu,
- výrobce zaručuje možnost nasazení v dílenských podmínkách,
- možnost využití na kontrolu dílu Buchse a Druckscheibe.

Na základě zhodnocení získaných informací o tomto přístroji se jeví jako jednoznačná volba v oblasti dotykového měření při sériové kontrole ať již v automatizovaném pracovišti nebo obsluhou operátorem. Jedinou obavou zůstává životnost přístroje, kterou nelze za krátkou dobu prodeje odhadnout. Nezbytvá než se spolehnout na dobré jméno výrobce Renishaw.

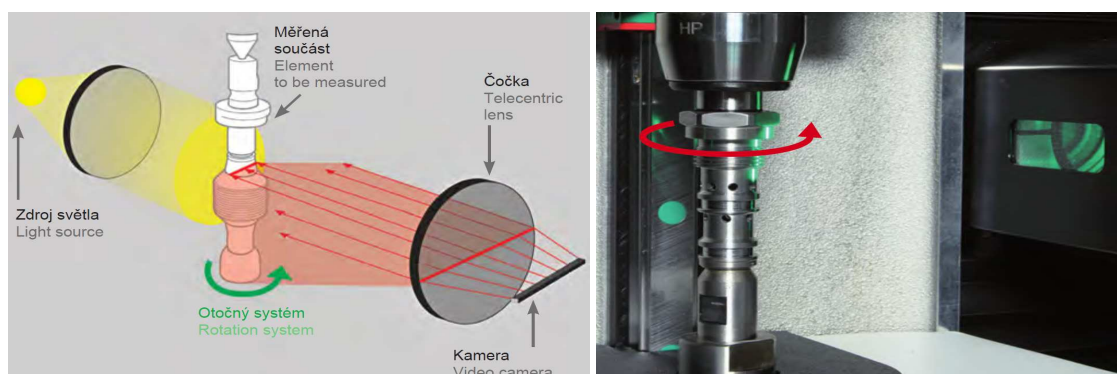
2.3 Vici Vision MTL 300

Optický měřicí systém italského výrobce Vici & C S.r.l je představitelem nové modelové řady přístrojů s vertikální konstrukcí pro kontrolu vnějších rozměrů rotačních součástí. Autorizovaným obchodním a servisním zástupcem pro Českou republiku je společnost Kuboušek s.r.o se sídlem v Českých Budějovicích, kde nám byl přístroj představen.

Základem přístroje je kamerový systém s telecentrickou čočkou (obr. 12) uložený v lineárním vedení zajišťujícím plynulý posuv pro skenování součástí délky až 270mm v šířce 60mm. Integrovaný etalon zajistí přesný výsledek i při nestálých teplotních podmínkách. Konstrukce přístroje je uzpůsobena pro použití přímo na dílně v nepříznivém prostředí. Ustavení nevyžaduje zvláštní nároky, postačí stabilní stůl, skříň apod.



obr. 11 MTL 300Evo [2]



obr. 12 Základ snímacího systému [2]

Přístroj nabízí dva základní druhy měření - statické a dynamické.

Statické

- součást se během měření nepohybuje
- upnutí kolmo k upínací desce v libovolném místě v rozsahu měřicího paprsku
- průměry, délky, zaoblení, úhly
- rovnoběžnosti, kolmosti, symetrie
- měření závitu (průměry, stoupání, vrcholový úhel, počet závitů)

Dynamické

- rotace součásti během měření
- upnutí mezi hroty nebo do přesného sklícidla
- veškeré chyby upnutí jsou přenášeny do výsledků měření
- pro některé součásti je potřeba vyrobit broušený upínací přípravek
- vyhodnocení rotačního průměru, kruhovitosti, válcovitosti, souososti, házení
- úhlové výpočty vaček, n-úhelníků

Software

Společnost Vici používá vlastní vyhodnocovací software v anglickém jazyce s následujícími možnostmi.

- verze operátor, programátor
- uchování obrazu umožňující Re-Check i po dlouhé době
- rychlá změna programu pomocí čárového kódu umožňuje při změně upnutí (kužel MK2) měření více operátorům
- možnost programování offline
- jednoduché rozhraní pro kontrolu naměřených rozměrů s grafickou podporou
- vyhodnocení ukazatelů Cp, Cpk apod.

Možnosti automatizace

Jelikož se firma Vici zabývá mimo jiné průmyslovou automatizací, je možné nechat zpracovat celou technologii na zakázku přímo od výrobce. Další možností nabízí firma Kuboušek, která dodává na přání vlastní technologická řešení. Poslední řešení je po domluvě s výrobcem nechat nadefinovat potřebné signály pro komunikaci, přičemž je možné pro přenos dat využít většinu průmyslových sběrnic, nejčastěji Profibus a EtherCat. Samotnou automatizaci zpracuje poté integrační firma nebo přímo zákazník.

Nevýhodou přístroje z hlediska automatizace je poměrně malý vnitřní prostor, který klade velké nároky na rozměr a konstrukci upínačů robota, zejména při upínání dílu mezi hroty.

Zhodnocení využití pro firmu Astro Kovo

Po podrobném představení přístroje v technologickém centru firmy Kuboušek a následném zhodnocení jeho vlastností se stroj přes všechna svá pozitiva neukázal jako nevhodnější investice z několika důvodů:

- Pro plné využití potenciálu přístroje je nutné přesné upnutí kusu nejlépe mezi hroty (hřídele). Ve výrobním programu firmy takových součástí příliš není. Upínání součástí bez vnitřních otvorů a součástí s malým poměrem L/d vyžaduje použití upínacích přípravků nebo sklíčidel s velmi přesnými čelistmi.
- Díl Collar bylo možné změřit ovšem v čase cca 37 vteřin bez automatizace (založení, vyložení, podepření koníkem pro zajištění přesnosti při dynamickém měření přítomnosti drážek). Výrobní čas kusu je 45s, což by v praxi vyžadovalo pořízení dvou přístrojů.
- Malý prostor pro obsluhu robotem při zakládání větších součástí.

2.4 Keyence IM – 6010

Novinka v oblasti optického měření od společnosti Keyence. Základem přístroje je optický snímací systém s kamerou 6,6 megapixel a CMOS snímačem. K dispozici je horní (stupně šedé) i dolní (světlo - tma) osvit. Konstrukce přístroje neobsahuje žádné pohyblivé prvky a optický systém je dokonale zakrytý. Je tedy možné umístění přístroje na dílně. Jedinou ochranu vyžaduje z hlediska přesnosti snímání před přímým slunečním svitem.



obr. 13 Keyence IM-6010

Technická specifikace

pracovní prostor.....	Ø100 mm
rozměr přístroje (Š x H x V)	265 x 482 x 550mm
hmotnost.....	25kg
max. hmotnost dílu	3kg
opakovatelnost	±0,001mm
přesnost	±0,005mm
počet vyhodnocovaných rozměrů v programu.....	99
kombinace programů.....	až 99
čas měření a vyhodnocení.....	max 3s

Přístroj lze jednoduše popsat jako digitální profilový projektor, sloužící k měření v rovině (X-Y). Základ přístroje tvoří soustava telecentrických čoček a snímací CMOS kamera. Ustavení dílu vyžaduje výškové zaostření v rozsahu 20mm a orientaci kolmo ke směru snímání. Natočení a poloha na inspekční ploše (100mm) není podstatná. K nastavení měřících funkcí a vyhodnocení měření slouží velmi jednoduché a intuitivní uživatelské prostředí. Již během návštěvy obchodního zástupce v Třemošné byl vytvořen měřící program pro díl Collar. Přístroj tedy najde využití i v kusové výrobě.

Automatizace

Komunikaci s robotem lze řešit dvěma způsoby. Prvním je přenos dat přes sériovou linku, který reprezentuje vyšší způsob komunikace. Druhým je zapojení základních signálů přes reléové výstupy. Po další konzultaci s obchodním zástupcem se ukázalo řešení přes sériovou linku jako značně komplikované, jelikož k zapojení bylo k dispozici pouze stručné schéma a detailnější informace nebylo možné sehnat. Z obr. 13 je patrný poměrně malý prostor nad inspekční plochou konstruovaný z hlediska možností optiky. Vstup robota je ztížený, ne však neřešitelný. Obrovskou výhodou z hlediska automatizace je čas měření, který dovoluje značně zrychlit měření ať již s ruční či robotickou obsluhou.

Zhodnocení

Kontrolu dílů Collar lze tímto přístrojem provádět v potřebné přesnosti a objemu výroby. Mimo to je možné využití pro kontrolu dalších součástí včetně kusové výroby. Jednoznačné je využití namísto konturoměru pro vnější tvary. Zakoupení bude dále zvažováno.

2.5 Zakázkový optický systém

Jak se ukázalo na MSV v Brně, nabídka optických přístrojů pro kontrolu rotačních součástí s možností automatizace není příliš široká. Řada vystavovatelů má samozřejmě v nabídce nejrůznější přístroje, ale po předložení vzorového dílu a vznesení požadavku na

komunikaci s robotem nejsou odpovědi příliš přesvědčivé. Proto bylo jako další možnost zvoleno řešení na zakázku.

Pro spolupráci byla vybrána firma FCC průmyslové systémy s.r.o., která se zabývá aplikací výpočetní techniky, řídicích systémů, průmyslových sítí, vývojem softwaru a právě tzv. strojovým viděním. Po návštěvě odborníka na strojové vidění v Třemošné byl po společné konzultaci a předložení požadavků navržen základní model měřicího systému s následujícími vlastnostmi:

- statické snímání obrazu průmyslovou kamerou přes telecentrický objektiv,
- nasvícení zadním LED osvětlovačem pro vyhodnocení obrysu (světlo / tma) a předním LED osvětlovačem pro vyhodnocení obrysů (stupně šedé),
- přesnost měření průměrů při použití zadního osvětlu $\pm 3\mu\text{m}$,
- přesnost umístění dílu mezi zdroj světla a objektiv umožňuje vkládání i držení dílů robotem,
- optika nevyžaduje extrémní ochranu před ostatními zdroji světla. Postačí vyvarovat se přímému slunečnímu záření a umístění přímo pod osvětlení,
- vyhodnocení pomocí softwaru, který bude vždy naprogramován pouze pro jednu součást,
- použité komponenty odolné vůči klimatickým podmínkám dílny,
- vizualizace, archivace dat a změna parametrů kontroly umožněna přes PC pro konečné uživatele,
- rozměry vlastní měřicí sestavy cca 600 x 200 x 200 mm.

K tomuto návrhu byla později vytvořena cenová nabídka (obr. 15) konkrétně pro díl Collar, dodavatel byl schopen garantovat vyhodnocení následujících rozměrů:

- všechny průměry v požadovaných přesnostech,
- celkovou délku, 7,55 ; 1,6,
- kužely,
- přítomnost drážek,
- vyhodnocení zaoblení nebylo možné.

Základním HW komponentem je průmyslová kamera Basler acA1300-30gm s parametry viz. obr. 14.



Výrobní řada:	Basler Ace (GigE)
Druh senzoru:	Progressive Scan CCD
Senzor:	Sony ICX445
Velikost senzoru:	1/3 "
Barva:	Monochrome
Rozlišení (V x H):	1296 x 966 pixelů
Velikost pixelu:	3,75 x 3,75 mikrometrů
Snímací frekvence:	30 fps
Komunikační rozhraní:	GigE
Napájení:	12 VDC (externí konektor)
Rozměry:	60,3 x 29 x 29 mm
Hmotnost:	0,09 kg

obr. 14 Kamera Basler [3]

Kód	Název produktu	Počet	Cena/jed.	Měna	DPH %	Základ	DPH	Celkem
PKKAM00124	kamera Basler - acA1300-30gm	1	14 980.00	Kč	20	14 980.00	2 996.00	17 976.00
S	telecentrický objektiv	1	22 500.00	Kč	20	22 500.00	4 500.00	27 000.00
S	zadní LED osvětlovač, 50x50 mm	1	6 000.00	Kč	20	6 000.00	1 200.00	7 200.00
S	přední LED osvětlovač	1	6 000.00	Kč	20	6 000.00	1 200.00	7 200.00
NISE 104	Kompaktní, pasivně chlazený jednoduchý kontroler, Intel Atom™ D	1	9 947.00	Kč	20	9 947.00	1 989.40	11 936.40
KVR1066D3S7/2G	KINGSTON 2GB 1066MHz DDR3 Non-ECC CL7 SODIMM	1	320.00	Kč	20	320.00	64.00	384.00
S	HDD - 160GB	1	1 200.00	Kč	20	1 200.00	240.00	1 440.00
ADAM-4050-DE	Ext. I/O modul, 7x DI, 8x DO	1	2 100.00	Kč	20	2 100.00	420.00	2 520.00
G82-00037	Windows XP Professional For Embedded Systems SP3 1-2CPU Lic	1	4 148.00	Kč	20	4 148.00	829.60	4 977.60
S	SW vývoj a naprogramování kontrolních a měřících programů vývoj a odladění funkcí	1	112 000.00	Kč	20	112 000.00	22 400.00	134 400.00
S	náklady na dopravu a oživení systému na místě	1	15 000.00	Kč	20	15 000.00	3 000.00	18 000.00

VOLITELNÉ POLOŽKY

pro možnost vizualizace, archivace dat a nastavení parametrů kontroly

VID-2212-1R1A1	12.1" LCD monitor s dotykovou obrazovkou, IP65 Cena: 14 980,00 bez DPH	1	0.00	Kč	20	0.00	0.00	0.00
S	SW - vizualizace, archivace dat, nastavení parametrů kontroly Cena: 16 000,00 bez DPH	1	0.00	Kč	20	0.00	0.00	0.00

Celkem: 30 980,00 bez DPH

obr. 15 Cenová nabídka optického systému pro díl Collar

Navržený způsob komunikace s robotem je pomocí I/O modulu ADAM 4050 DE zajišťujícím přenos digitálních signálů. Výhodou zakázkového systému je možnost deklarace libovolných signálů podle reálných požadavků uživatele.

Zhodnocení využití pro firmu Astro Kovo

Navržený způsob měření lze snadno automatizovat pomocí průmyslového robota díky jasnému způsobu komunikace a konstrukci podle vlastních požadavků. Značnou nevýhodou je jednoúčelovost díky vyhodnocovacímu softwaru uzpůsobenému vždy pro konkrétní součást. Podle cenové nabídky je právě software největší položkou. Případná změna softwaru např. při revizi výkresu nebo změna na zcela jiný díl bude finančně a časově náročná, i když nebude dosahovat vstupní investice. Velkým překvapením je poměrně malá cena HW vybavení a tedy snadné a levné opravy za zlomek cen oproti renomovaným výrobcům měřidel. V současnosti nemá firma zakázku, která by byla schopná plně vytížit automatizované pracoviště s jednoúčelovým systémem. Pokud se bude dále rozvíjet spolupráce s dodavateli automobilového průmyslu, není realizace návrhu vyloučena.

Shrnutí, výběr varianty

V oblasti dotykového měření je jednoznačnou volbou Renishaw Equator jako zcela inovativní měřidlo pro dílenskou kontrolu. Nabídka CMM je samozřejmě daleko širší, ovšem výše zmíněné nevýhody platí obecně pro všechny tyto stroje. Snad jen společnost Carl Zeiss má v nabídce CMM menších rozměrů, určené pro dílenské použití a již úspěšně automatizované firmou Misan. Za jeho cenu se ovšem nechají pořídit cca 3 Equatory. Vybraným řešením v následující kapitole, které je hlavní náplní této práce, bude realizace automatizované buňky právě s tímto přístrojem od společnosti Renishaw.

Výběr z návrhů optického měření není zcela jednoznačný. Jako nejvhodnější se jeví přístroj IM 6010. Jelikož prvním cílem je automatizovat dotekové měření, bude zakoupení optického přístroje odloženo až po úspěšné realizaci projektu s Equatorem. Tímto zůstává výběr optického přístroje stále otevřený.

3 Rozpracování vybrané varianty a zpracování vzorového příkladu

Záměrem projektu automatizace ve firmě je vytvořit buňku o rozměrech cca 3x3m se zvoleným měřidlem, robotem a navrhnout příslušný manipulační systém pro dopravu dílů. Navržené automatizované pracoviště musí nahradit 100% kontrolu rozměrů prováděnou v současnosti operátorem, případně kontrolu před expedicí (kapitola 1.), při minimálním nároku na manipulaci a skladování dílů. Záměrem je provádět kontrolu dílů až po výrobě. Nezasahovat do výroby například pomocí automatických korekcí a podobně. Tyto moderní metody kontroly mají jistě své opodstatnění především v hromadné výrobě. V podmínkách firmy Astro Kovo zatím současný stav organizace výroby, kvalifikace pracovníků a dalších faktorů působících na výrobu nesměruje k jejich nasazení. Z naměřených dat bude samozřejmě prováděno vyhodnocení a výroba zpětně analyzována. Řešení bude rozděleno do následujících kroků.

- výběr robota
- dispoziční řešení, materiálový tok
- konstrukční návrhy
- automatizace, výběr příslušenství
- identifikace a vyhodnocení pracovníků
- bezpečnost, elektroinstalace
- princip měření a tvorba programu
- vlastní řešení paletizace a obsluhy robotem
- vzdálená podpora

3.1 Výběr robota

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2., za dodavatele robota byla zvolena společnost Kuka, jako jeden z předních evropských výrobců průmyslových robotů. Z velmi širokého portfolia nabízených robotů je pro aplikaci do navrhované buňky snaha zvolit kompaktního šestiosého robota s nižší mezní zátěží, vyšší rychlostí a samozřejmě přijatelnou cenou. V úvahu tedy připadá řada robotů pro drobnou robotiku, ve které výrobce přišel na podzim 2012 se zcela novou modelovou řadou KR AGILUS (A, B, C, D), ve variantách s mezní zátěží 6 nebo 10kg a dosahem 700 až 1100mm. Prodej této modelové řady byl oficiálně zahájen v říjnu modelem A níže specifikovaným. Varianty B, C, D přijdou na trh až v roce 2013. Volba robota byla tedy zcela jednoznačná. Zvolená varianta zcela naplňuje očekávání a potřebné technické parametry.

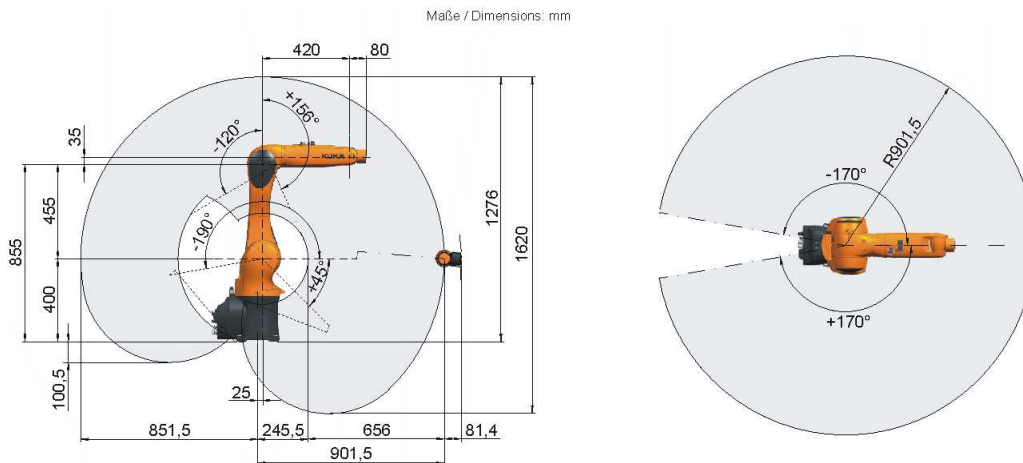
KR 6 R900 sixx

Max dosah.....	901mm
Mezní zátěž.....	6kg
Opakovatelnost najetí.....	$\pm 0,03$ mm
Hmotnost.....	52kg
Počet os.....	6
Napájení.....	220V
Stupeň ochrany.....	IP54
Řízení.....	KR C4 compact
Montážní základna.....	209x207mm



obr. 16 KR 6 R900 sixx [4]

Velmi důležitou charakteristikou pro návrh buňky a manipulačního systému je pracovní prostor robota uvedený na schématu níže, podle kterého byl prováděn prvotní návrh uspořádání pracoviště.



obr. 17 Pracovní prostor [5]

Další výhodou zvoleného robota je integrovaný systém na ruce robota obsahující šest ventilů na stlačený vzduch, konektor (XPN41) na průmyslový Ethernet a konektor (X41) s piny pro napájení 24V, šest vstupů a dva výstupy. Tato příprava od výrobce značně usnadňuje následnou montáž příslušenství na přírubu robota, není nutné řešit vedení kabelů a hadic po ramenech robota. Následnou volbu příslušenství je tedy vhodné podřídit uvedenému počtu ventilů a konektorů.

3.2 Dispoziční řešení, materiálový tok

Dispoziční řešení se znázorněným materiálovým tokem je součástí přílohy č. 5.

Umístění měřicího boxu ve stávajících prostorech firmy vychází ze základních požadavků a faktorů. Nejvýznamnějším je stávající dispoziční řešení, na které je nutno navázat z důvodu nákladnosti stěhování strojů a zachování pracovišť. Volné prostory pro umístění buňky se nachází v nově přistavené hale. Jedná se přibližně o plochu 80m² v moderní hale s dostupnými zdroji elektřiny, stlačeného vzduchu a v rámci strojírenského podniku s dobrými klimatickými podmínkami pro umístění měřidel. Umístění boxu v nové hale určuje trasy manipulace materiálem, které jsou poněkud delší. Intenzita materiálového toku bude malá. Menší intenzita materiálového toku je dána velikostí obrobků a navrženou přepravní jednotkou (vozík s paletami viz kapitola 3.3). Vzhledem k výrobním časům a časům měření bude intenzita materiálového toku v řádu jednotek za směnu.

Manipulaci s vozíky a obsluhu buněk budou zajišťovat pouze stávající pracovníci s následujícím rozdělením činností.

- Doprava nezměřených kusů k buňce – operátor
- Obsluha buňky – pracovník expedice
- Doprava změřených kusů do skladu – pracovník expedice
- Vykládání kusů z vozíku, balení – pracovník expedice
- Doprava vozíků zpět ke stroji – pracovník expedice

Pro zajištění plynulé manipulace s díly je zapotřebí minimálně pěti vozíků a čtyř sad palet. Dva vozíky jsou v buňce, jeden u stroje, jeden ve skladu a jeden zůstává pro kompenzaci při výrobě a kontrole. Jak je patrné ze schématu dispozice, na měřicí box není možné dohlížet přímo ze skladu. Lepší časovou orientaci pro obsluhu zajišťuje informační panel v boxu se zobrazením času do konce měření dávky (viz kapitola 3.5). Pokud se toto řešení během provozu ukáže jako nedostatečné, je možné připojit informační panel do sítě (Ethernet) a zobrazovat stav buňky ve skladu, což vyžaduje investici odhadem 10 000 Kč.

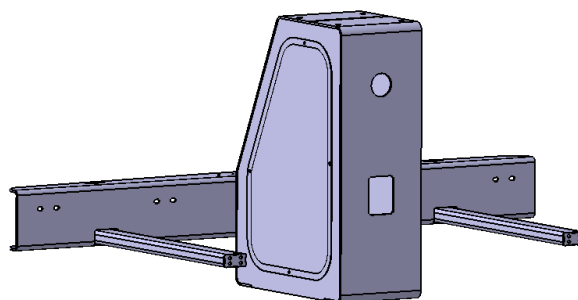
3.3 Konstrukční návrhy

Pro zajištění automatizace měření je nezbytné, kromě Equatoru a robota, navrhnout přepravní systém pro obrobky, příslušenství automatizace a samozřejmě vlastní konstrukci buňky, po jejichž spojení vznikne funkční celek zajišťující požadované vlastnosti s ohledem na bezpečnost, spolehlivost a design. Jelikož se firmy Kuka a Renishaw zabývají pouze prodejem vlastních přístrojů, je nutné navrhnout řadu doplňků. Dodávka Equatoru zahrnuje pouze vlastní přístroj, doteky, a modul pro automatizaci. Dodávka robota zahrnuje vlastního robota s kotevními šrouby, holou přírubu, PC skříň a KCP. Je tedy nutné zajistit následující prvky:

- podstavu pro robota,
- mezičlen na přírubu robota pro pneumatické upínače,
- přepravní vozík s paletami,
- upnutí dílů v Equatoru,
- vlastní buňku,
- bezpečnost buňky.

3.3.1 Podstava robota

Podstava musí zajistit bezpečné ukotvení robota k podlaze s ohledem na dosah robota (obr. 17) při minimální šířce a možnosti vedení kabelů. Součástí podstavy je dále systém pro aretaci vozíků zajišťující opakovatelnost ustavení vozíku. Pro řešení tohoto úkolu byl nejdříve sestaven prototyp podstavy z materiálu dostupného pro údržbu. Základní rozměry byly zvolené podle dosahu robota a na základě požadavku vytvořit co největší objem pro uložení dílů na vozíku. Výchozím výškovým rozměrem je minimální konstrukční výška vozíku cca 200mm. Při rozměru palety 500x500mm je robot schopný odebrat díl při výšce podstavy cca 600mm (určeno z obr. 17). Vzdálenost vozíku od podstavy je na jedné straně limitována dosahem robota, na druhé velikostí upínačů při odebírání kusů blízko podstavy - u prototypu byla zvolena 470mm. Aretace vozíků je zajištěna pomocí dvou prizmat (detail v kapitole 3.3.2) a pákové upínky.



obr. 18 Konečný model podstavy robota

Na základě zkoušky prototypu byl po drobných rozměrových a konstrukčních úpravách navržen konečný model podstavy robota (obr. 18), zadaný do výroby v zámečnictví. Výkres je součástí přílohy č. 5.

3.3.2 Přepravní vozík, paletový systém

Přepravní vozík bude využíván k dopravě kusů z pracoviště k měřicímu boxu a následnému ustavení do boxu při odebírání kusů pro měření. Musí být tedy zajištěny následující požadavky:

- stabilita při pohybu po dílně,
- nosnost,
- poloha palet vůči robotu, u všech vozíků
- opakovatelnost najetí vzhledem k souřadnému systému robota,
- cena s ohledem na množství vozíků.



obr. 19 Přepravní vozík

Pozn. Výkres vozíku je součástí přílohy č. 5.

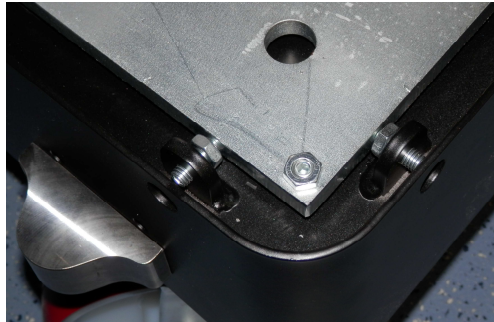
Princip ustavení vozíku vůči podstavě robota je založený na dvou prizmatech a přítlačné síle vyvinuté pomocí rychloupínky (obr. 20). Prizmata jsou dostatečně široká pro navedení vozíku do požadované polohy. Zaoblený tvar prizmat napomáhá najetí, ale především vyhovuje z hlediska bezpečnosti.



obr. 20 Detail upínacího systému vozíku

Tímto řešením je zaručená opakovatelnost najetí celým vozíkem, který je ovšem vyrobený v tolerancích odpovídajících zámečnické výrobě. Poloha palety na každém vozíku je seřiditelná pomocí základní desky se stavěcími šrouby (obr. 21). Je možné velice přesně docílit identického seřízení všech vozíků a zaručit přesnou polohu dílů vůči souřadnému

systému robota. Ustavení desky probíhá pomocí přípravku a mechanické sondy upevněné na přírubu robota, pohyb sondy je dán programem s potřebnými prodlevami pro seřízení.



obr. 21 Detail šroubů pro seřízení desky

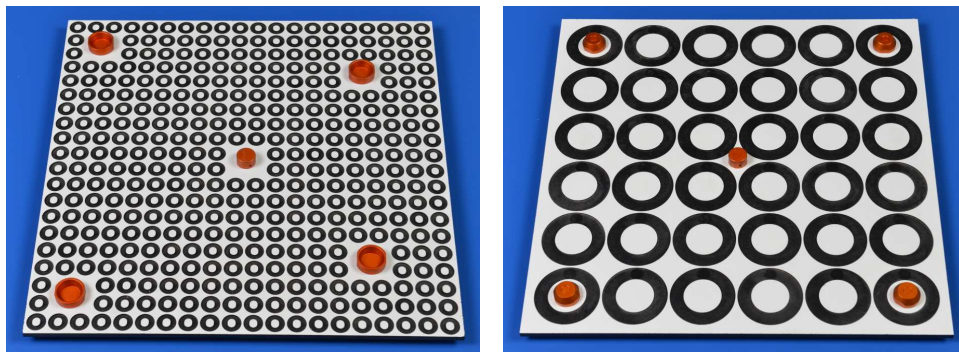
Důležitým prvkem vozíku jsou samozřejmě kolečka, která musí být dostatečně tuhá pro zaručení stability a v provedení zaručujícím životnost. Ustavení vozíku podle prizmat vyžaduje všechna čtyři kola otočně uložená podle vertikální osy, což mírně zhoršuje ovladatelnost. Aby nedocházelo k vibracím, které vychýlí díly z palet, musí být povrch kol z měkkého materiálu. Tím vzniká u gumových kol problém při paletizaci, protože dochází k deformaci kol až o 2mm. Tento problém je nutné řešit v programu robota, aby se vyrovnala změna deformace při odebrání dílů. Pro kvalitní povrch podlah, jaký je v hale firmy, je možné použít tvrdší kolečka. Zvolený model je otočné kolo bez brzdy s polyuretanovým běhounem odolným vůči olejům a emulzím. Disk kola a montážní příruba jsou uloženy na valivých ložiskách.

Hlavním prvkem, na kterém je celý proces automatizace založený, je paletový systém pro dávkování dílů do měřicí buňky. Palety musí splňovat základní požadavky:

- přesnost polohy dílu při stohování palet,
- odolnost proti olejům a emulzím,
- pevnost v ohybu,
- obrobitelnost,
- nízkou hmotnost vzhledem k nosnosti pneumatického upínače.

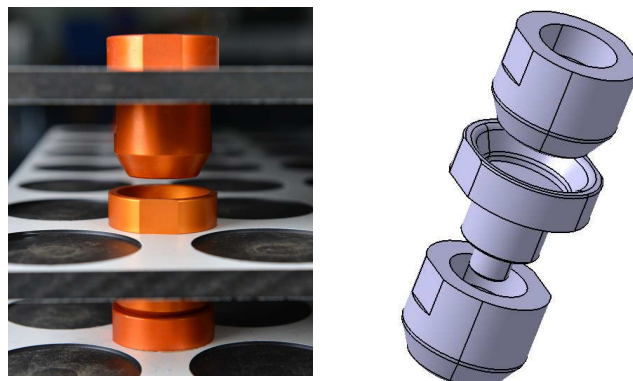
Jako nejvhodnější materiál k výrobě samotné palety byl po dlouhém výběru zvolen Compact o síle 8mm z formátu 2030x3050, tento formát dovoluje dělení desky na rozměr 500x500mm prakticky bez odpadu. Pevnost desky je při zvoleném rozměru a rozteči středících čepů 400x400mm dobrá. Dokonce dovoluje oboustranné frézování desky. Obrobitelnost desek je při použití HM nástrojů velmi dobrá. Základní rozměr palety je dán využitím formátu desky. Rozteč nosných čepů je zvolena na základní desce 300x300 a 400x400, což umožňuje zlepšit využití palet. Případná kombinace roztečí dovoluje usazení palety pouze jedním směrem (nelze otáčet kolem vertikální osy po 90°). Samotné zahloubení a rastr na paletě je nutné řešit samostatně pro každou součást s ohledem na maximální využití palety, ale i programové řešení vybírání kusů robotem. Je tedy vhodné volit konstantní rozteče

a samotný návrh provést v CAD systému. Výkres palety pro díl Druckscheibe je součástí přílohy č. 5.



obr. 22 Palety pro díl Collar a Druckscheibe

Palety jsou stohovány za pomoci kuželových čepů (obr. 23), které zaručují perfektní usazení palety a stabilitu do výšky přesahující dosah robota. Výroba čepů vyžaduje ovšem poměrně velkou přesnost zaručující výšku pater a dodržení roztečí mezi čepy, která je dána přesností roztečí děr v paletě a nesoustředností čepu. Jelikož se jedná o rotační díl, jsou čepy vyráběné přímo ve firmě na soustruhu Mazak 200MY, kde dodržení přesnosti při obrábění na jedno upnutí není problémem. Pro přenášení palety robotem je ve středu palety umístěný čep standardně o průměru 24mm. V případě potřeby je možné vytvořit středový čep jako kopii dílu a používat stejné čelisti. Všechny čepy jsou vyrobené z hliníku pro snížení hmotnosti palety. Vzhledem k velkým dosedacím plochám je opotřebení čepu minimální.



obr. 23 Detail čepu

Dosažené parametry paletizačního řešení:

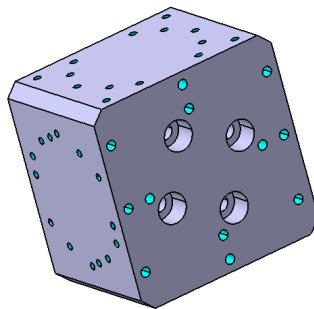
- využitelný objem pro ukládání dílů 500x500x650mm, výška sloupce je omezená dosahem robota,
- opakovatelnost najetí vozíkem $\pm 0,1$ mm,
- přesnost najetí vozíkem $\pm 0,3$ mm (měřeno v desátém patře u tří seřizovaných vozíků),
- nosnost vozíku 200kg,
- hmotnost prázdné palety < 3kg.

3.3.3 Mezičlen na přírubu robota

Zakončení robota na šesté ose je řešeno jako příruba s osmi otvory M5 a kolíkem pro zajištění polohy. Příruba je otočná o $\pm 350^\circ$. Pro montáž příslušenství je nutné zhotovit element, který umožní montáž upínačů včetně magnetických čidel. Nebude svými rozměry omezovat pohybové možnosti robota pro danou aplikaci a samozřejmě zaručí dostupnost při vybírání dílů z palet a zakládání dílů do měřidla. Základními údaji a požadavky pro konstrukci jsou:

- rozměry montážní příruby,
- rozměry a počet upínačů,
- vnitřní prostor Equatoru,
- způsob paletizace,
- požadavek na přenášení palety,
- vedení přívodu vzduchu.

Na základě požadavků byla zamítnuta konstrukce s paralelním umístěním upínačů vzhledem k šesté ose, která je nevhodná při vstupu do prostoru Equatoru. Nevyhovující je dále samotné umístění upínačů vedle sebe z důvodu kolize se středními čepy při paletizaci. Konstrukční návrh tedy vychází z polohy upínačů kolmo na šestou osu a zároveň z rozmístění upínačů po devadesáti stupních.



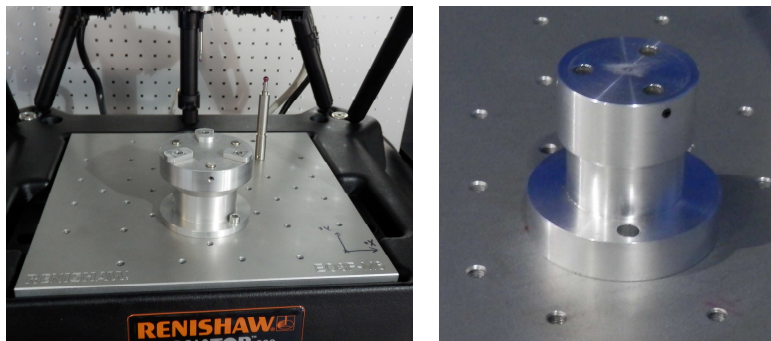
obr. 24 Model upínací kostky pro PGN a PZN

Navržený model pro montáž upínačů PGN, PZN rozměrové řady 50 (popis v kapitole 3.4.2) v několika možnostech natočení je zobrazený na obr. 24. Kromě montážních otvorů pro upínače je model doplněn o další závity v roztečích pro příslušenství, případně pro uchycení kabelů a hadic. Připojovací otvory vzhledem k přírubě robota jsou natočené o $22,5^\circ$ z důvodu ztotožnění orientace os a tím usnadnění definice nástroje v systému robota. Zvoleným materiálem je z důvodu nosnosti robota hliník. Výroba kostky je provedena v přesnostech umožňujících numerické zadání polohy nástroje v systému robota. Tím se eliminuje nepřesnost při najíždění nástrojů jinou metodou seřízení.

Výkres upínací kostky je součástí přílohy č. 5.

3.3.4 Upínač dílu v měřidle Equator

Podstata měření na Equatoru nevyžaduje přesné upnutí dílu z hlediska polohy a orientace. Silové působení doteku odpovídá zatížení v gramech. Polohová nepřesnost upnutí je omezená především programovým řešením nájezdů, způsobem vyrovnání souřadného systému a velikostí obrobku. Z hlediska přesnosti při komparačním měření je vhodné upínat díl s odchylkou $\pm 1\text{mm}$ oproti poloze měření vzorovému dílu, aby docházelo k porovnání za stejných podmínek pohybu. Cílem je tedy zvolit co nejjednodušší upnutí z hlediska konstrukce a obsluhy. Do úvodu projektu bylo navrženo upínání na hliníkovou podstavu s permanentními magnety zajišťujícími upevnění dílu. Tento způsob lze samozřejmě využít pouze pro magnetické materiály, které ovšem tvoří většinu produkce firmy. Působení magnetického pole neovlivňuje dotek, který je vyrobený z nemagnetické oceli, případně z uhlíkových vláken či keramiky. Přesnou konstrukci upínače je vhodné zvolit pro každý díl samostatně, aby bylo možné vhodně řešit dosedací plochy a sílu magnetů. Tímto řešením se zkracuje seřizovací čas, protože je možné připravit upínač na náhradní desku Equatoru předem a výměnu provést v několika sekundách pouhou záměnou desek. Pro výrobu upínačů je používán zbytkový materiál ze zakázek a strojní vybavení údržby (soustruh, frézka, vrtačka). Náklady jsou dány především cenou práce. Do budoucna je zamýšleno samozřejmě vytvoření upínacího systému s pneumatickými upínači pro nemagnetické díly, který bude vyžadovat větší investici do samotných upínačů a ovládacích prvků vzduchotechniky.



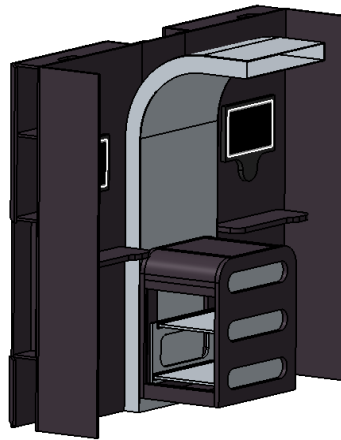
obr. 25 Magnetické upínače

3.3.5 Vlastní konstrukce buňky

Projekt měřicí buňky je součástí přílohy č.5.

Konstrukce buňky je řešena jako samostatně navržený funkční celek, který zabezpečuje vhodné klimatické podmínky pro měření, tvoří bezpečnou zónu pro práci robota a svým designem upoutává řadu zákazníků. Hlavní rozměry buňky (Š 2900 x H 2800 x V 2600) jsou dány velikostí manipulačního systému a bezpečnou zónou pro vstup obsluhy a seřízení přístrojů. Konstrukci buňky lze rozdělit na tři hlavní části: čelo, obvod, strop. Čelo buňky je vyrobené z materiálu HPL jako skříňová konstrukce včetně podstavy pro měřicí přístroj, nosičů pro monitory a světelných panelů. Skříňová konstrukce umožňuje vedení napájecích, signálových kabelů a rozvodů stlačeného vzduchu. Čelo lze demontovat na tři

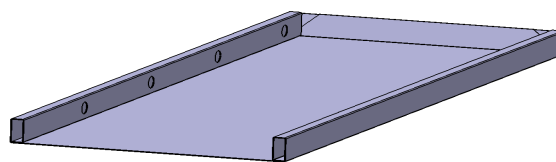
části s šířkou 1m pro snadnější manipulaci a dopravu. Podstava pro měřicí přístroj je doplněna o dva výsuvy zajišťující snadný přístup k řízení robota, počítači měřidla a přídatným modulům.



obr. 26 Model čela buňky

Obvodová část včetně posuvných dveří je vyrobená z plexiskla o síle 8mm, které udržuje nízkou prašnost a zabraňuje vniku aerosolů. Plexisklo je spojené s čelem a předním ocelovým rámem pomocí hliníkové lišty s pěnovým pásem. Tímto řešením dojde k extrémnímu zpevnění konstrukce, kde postačí ukotvení pouze předního ocelového rámu dvěma šrouby. Rám slouží pro montáž pojízdných dveří, připevnění panelu KCP a umístění bezpečnostních spínačů.

Stropní konstrukce o ploše 8m² je tvořena třemi deskami z kompozitního materiálu Debond o síle 3mm (Al plech – PE – Al plech). Deska o šířce 950mm je zpevněná dvojitým ohybem o výšce 100mm. Konstrukce stropu nevyžaduje další zpevnění a při své hmotnosti 55kg dovoluje dokonce umístění klimatizační jednotky přímo na střed stropu.



obr. 27 Řez modelem stropní deky

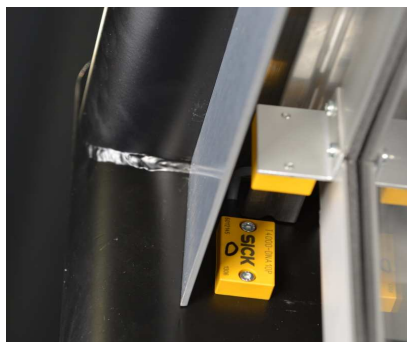
3.3.6 Bezpečnost, řešení elektroinstalace

Bezpečnostní řešení se vztahuje na ochranu obsluhy vzhledem k vysokým rychlostem pohybu robota v automatickém provozu přesahujícím 250mm/s. Pracovní prostor robota je oddělený konstrukcí buňky. Zapotřebí je zabezpečit vstup za automatického běhu způsobem, který vyloučí kontakt robota s člověkem. Pro zabezpečení posuvných dveří byl zvolen bezkontaktní indukční snímač Sick T4000-DNA10P s vyhodnocovací jednotkou T4000-

1RCA02. Pro řešení bezpečnosti nelze vybrat libovolný snímač polohy, je potřeba dodržet hlídání ve dvou kanálech a způsob zapojení do robota, který je dán elektrickým schématem a softwarem robota.

Technická specifikace dveřního snímače:

životnost.....	10x10 ⁶ cyklu
pracovní teplota	0-55°C
napájení.....	24V
počet výstupních okruhů.....	2 (relé)
rozpínací vzdálenost.....	15mm
spínací vzdálenost.....	7mm
čas detekce.....	max 300ms
tlačítko souhlasu.....	ANO



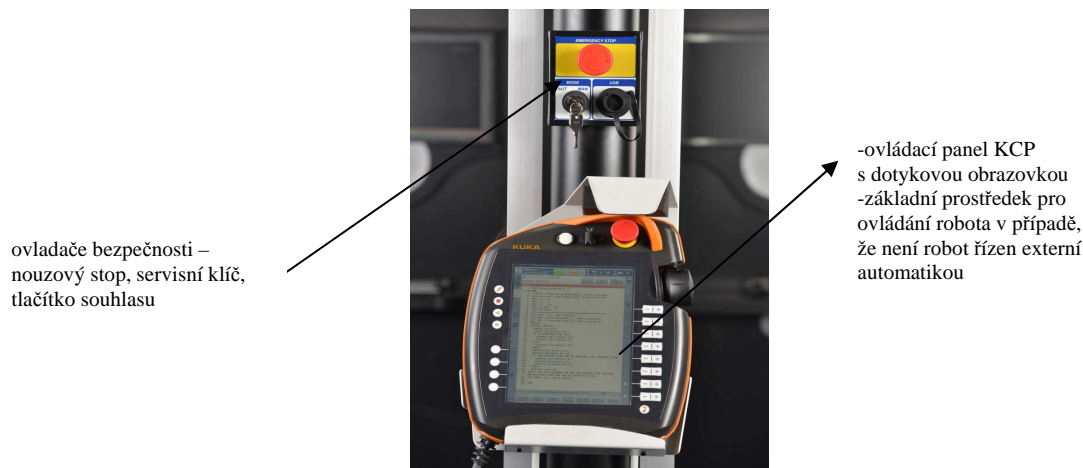
obr. 28 Detail umístění snímačů

Připojení jednotky k robotu je realizováno přes bezpečnostní okruhy robota pomocí konektoru X11 (D-SUB 50Pin). Robot do okruhů bezpečnosti neustále posílá taktované napětí, které je nutné vracet do robota právě přes relé vyhodnocovací jednotky. Jednotka je připojena na bezpečnostní okruh robota Operator safety, který při otevření dveří odpojí okamžitě pohony robota. V ručním režimu T1 a T2 zůstává ochrana dveří vyřazena, což je důležité pro odladění programu a seřízení robota. Na vyhodnocovací jednotku je dále připojeno tlačítko pro potvrzení zavření dveří, nemůže dojít ke spuštění robota v automatu z vnitřního prostoru buňky.

Ochranné funkce	T1	T2	AUT	AUT EXT
Ochrana obsluhy	-	-	aktivní	aktivní
Zařízení pro NOUZOVÉ ZASTAVENÍ	aktivní	aktivní	aktivní	aktivní
Zařízení souhlasu	aktivní	aktivní	-	-
Snížená rychlost při verifikaci programu	aktivní	-	-	-
Impulzní provoz	aktivní	aktivní	-	-
Softwarové koncové spínače	aktivní	aktivní	aktivní	aktivní

Tabulka 2 Bezpečnostní funkce robota

Dalším nezbytným prvkem je tlačítko nouzového zastavení. Panel KCP již tlačítko obsahuje, ovšem tento panel je možné odpojit i během automatického provozu, robot se tak stává nezastavitelným. Je tedy nutné připojit do bezpečnostního okruhu robota sériově další nouzový spínač umístěný vně buňky. Dalším prvkem bezpečnosti je servisní klíč sloužící pro deaktivaci dveřních snímačů při zásahu servisního technika. Celou buňku je možné odpojit od přívodu elektřiny hlavním vypínačem.



obr. 29 Bezpečnostní spínače

Všechna externí bezpečnostní zařízení jsou k robotu připojena na konektoru X11, který je realizován pomocí D-SUB konektoru Harting, bez jehož montáže není možné spustit program ani v režimu T1. Řešení bezpečnosti je nutné věnovat značnou pozornost díky snaze získat prohlášení o shodě.

Řešení elektroinstalace

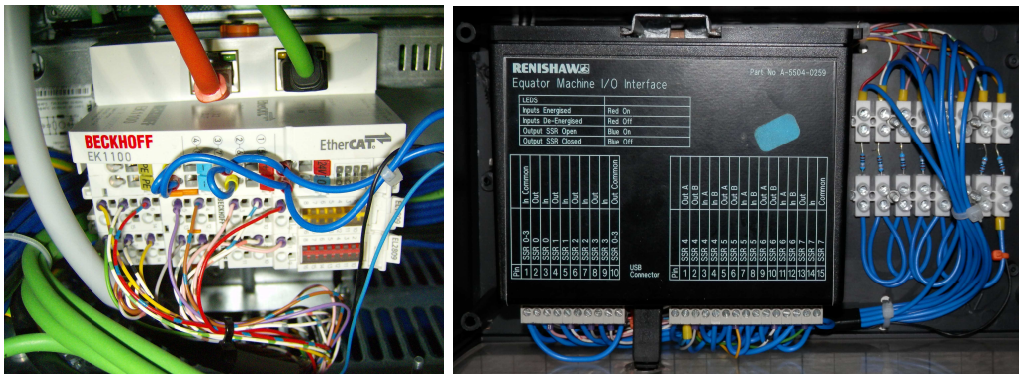
Současná podoba elektroinstalace odpovídá postupnému vývoji projektu, kdy byly přidávány postupně moduly, relé, konstrukční krabičky apod. Provedení nevyhovuje absolutně z hlediska spolehlivosti a nepůsobí profesionálně. Z tohoto důvodu bude veškerá přidaná elektroinstalace sloučena do konstrukčních krabiček. Odděleně pro bezpečnost, spínané zdroje (5V, 12V, 24V) a pro zbytek elektroinstalace. Pro výrobu byl zvolen opět kompozitní materiál Debond s výbornou opracovatelností umožňující montáž potřebných konektorů apod. Víko z plexiskla dovoluje snadnou kontrolu signalizačních led diod. Zmíněné úpravy nemají vliv na funkčnost, jsou spíše finální úpravou na závěr projektu, která nemohla být z důvodu velkého počtu neznámých řešena v úvodu projektu.

3.4 Automatizace, výběr příslušenství

3.4.1 Komunikace robot - Equator

Nejdůležitějším úkolem automatizace pro zvolenou kombinaci robot – Equator je jejich vzájemné propojení a řešení komunikace mezi přístroji. Robot Kuka má z hlediska

komunikace poměrně široké možnosti využití průmyslových sběrnic Profibus, DeviceNet, EtherCat, EtherNet. Ze strany Equatoru je řešení komunikace omezeno na využití speciálního I/O rozhraní A-5504-0259, jehož výstupem jsou napěťové signály 24V. S Equatorem je rozhraní spojeno USB kabelem. Z pohledu robota je přenášeno 10 výstupů a 8 vstupů. Pro přenesení napěťových signálů do robota byl zvolen komunikační terminál pro sběrnici EtherCAT Beckhoff EK1100 s moduly EL1809 pro 16 digitálních vstupů a EL2809 pro 16 digitálních výstupů. Z hlediska zapojení bylo zapotřebí vyřešit napájení modulu EK1100, pro který bylo využito napájení z volných konektorů robota 24V DC 50mA. I/O rozhraní vyžaduje také napájení, které není řešeno ze strany Equatoru přes USB, což by technicky možné bylo. Opět bylo zvoleno napájení přes robota, tentokrát ovšem se zařazením odporů pro snížení proudového zatížení I/O rozhraní. Vzhledem k nedostatku technické dokumentace bylo nutné zapojení řešit intenzivně přímo s výrobcem.



obr. 30 Modul Beckhoff, interface Renishaw s odpory

Softwarově je automatizace z pohledu Equatoru (slave) řešena nadstavbovou verzí softwaru Automation 1.7, který využívá měřicího programu DMI vytvořeného v softwaru Modus. Samotný software Automation spravuje především vzájemnou komunikaci mezi přístroji, z hlediska tvorby měřicích programů nedochází k žádné změně.

Význam jednotlivých vstupů a výstupů je následující (z pohledu robota):

Vstupy:

READY FOR ROBOT SERVICE

Souhlas pro bezpečný vstup robota do prostoru Equatoru.

READY FOR INSPECTION

Signalizuje připravenost EQ pro měření, přepne se do nuly automaticky se startem měření.

SAFE POSITION

Signalizuje pozici doteku za hranicí bezpečné roviny nastavené uživatelem.

BUSY

Zaneprázdněný EQ během měření, a vyhodnocení výsledků.

GOOD PART

Signál pro dobrý díl.

BAD PART

Signál pro špatný díl.

ERROR

Signalizace nouzových stavů.

HEART BEAT

Pulzní signál pro kontrolu činnosti Equatoru, který musí být monitorován robotem.

Výstupy:

CLEAR OF GAUGE

Robot tímto signalizuje svoji polohu mimo prostor Equatoru nadefinovaný v systému robota.

GAUGE CYCLE START

Signál pro start měření, jeho zadání následuje po uložení kusu a odjetí z prostoru měřidla.

UNLOADED

Potvrzení vyložení dílu z měřidla, zahájí přípravu pro další měřicí cyklus.

MASTER MODE

Přepne z měřicího módu do porovnávacího při založení vzorového dílu do Equatoru.

STOP

Okamžité zastavení pohybu sondy.

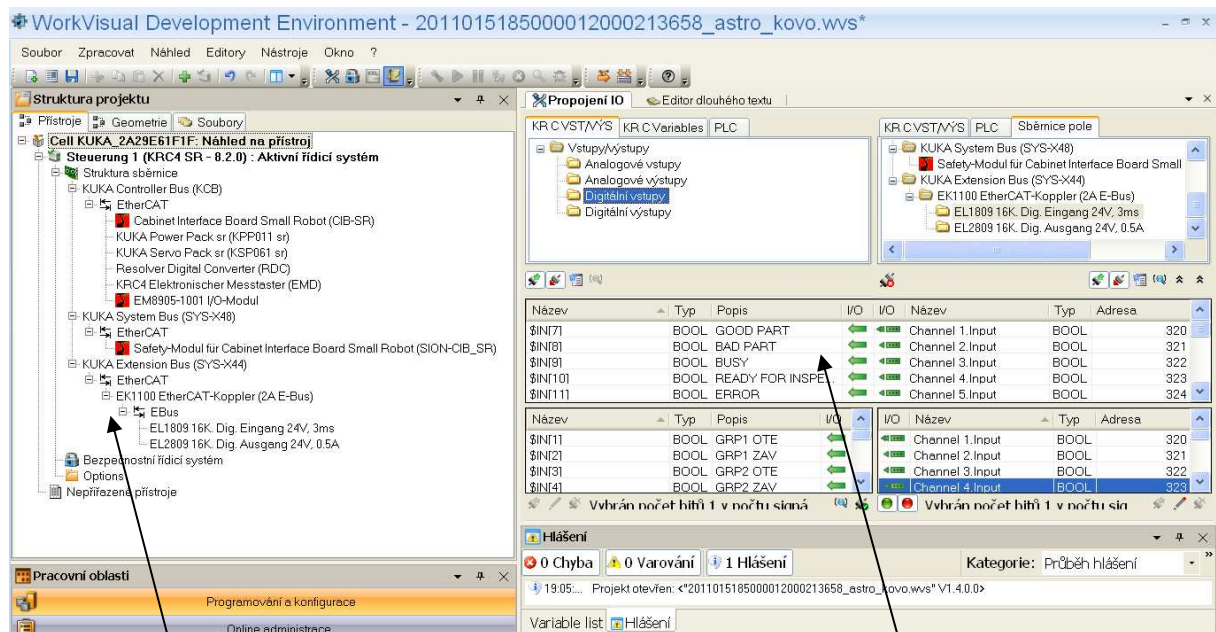
RESET

Dovoluje reset měřicího programu po chybovém hlášení, uvede automatizační software do stavu před naložením dílu.

DMI SELECT BIT 0/3

Kombinace těchto čtyř bitů dovoluje zvolit až 15 měřících programů přímo z robota. Programy musí být předem přiřazené v konfiguraci.

Softwarové řešení z pohledu robota (master) je složitější. Začíná definováním komunikačních modulů do struktury sběrnice robota a konfigurací vstupů/výstupů v softwaru Kuka WorkVisual sloužícím pro kompletní správu projektů robota. Potřebné datové soubory je nutné získat od výrobce komunikačních modulů. Není tedy možné zakoupit libovolné příslušenství bez prověření požadavků řízení robota a dostupnosti nezbytných datových souborů.



Zařazení modulů do struktury sběrnice

Konfigurace digitálních vstupů/výstupů

obr. 31 Nastavení projektu ve WorkVisual

Dalším úkolem je cyklické řešení hlídání signálu HART BEAT, který neustále signalizuje činnost Equatoru. Řešení je provedeno podprogramem neustále se opakujícím na pozadí softwaru robota v tzv. Submit interpoleru.

```

DEF heart_beat_detect( )
;detekce zivota equatoru s periodou 500 ms
IF $TIMER_STOP[10] == TRUE THEN
    $TIMER[10] = - 500
    $TIMER_STOP[10] = FALSE
ENDIF

IF SI_HEART_BEAT == NOT VB_HEART_BEAT_MEMORY THEN
    VB_HEART_BEAT_MEMORY = SI_HEART_BEAT
    $TIMER[10] = - 500
ENDIF

VB_EQUATOR_OK = NOT $TIMER_FLAG[10]

END
    
```

Posledním úkolem je programové řešení komunikace, které je popsáno v kapitole 3.6.

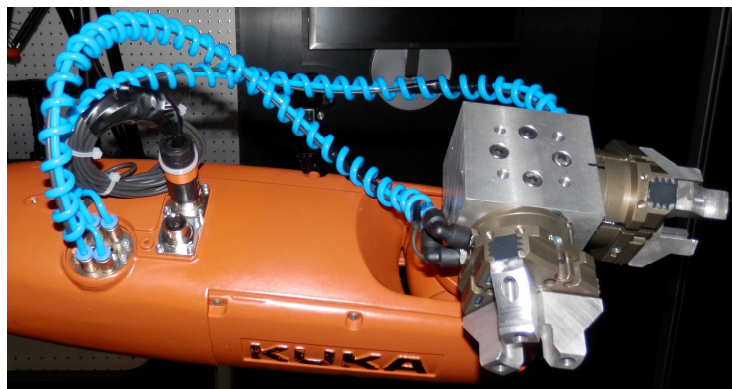
3.4.2 Upínací systém

Pro upínání součástí při přenášení robotem byly vybrány pneumatické upínače Schunk na základě kriteria velikosti a nosnosti pro přenášení palet. Z poměrně rozsáhlého sortimentu byl zvolen typ PGN 50-2 s níže uvedenou specifikací a kompaktními rozměry Ø65 x 35mm. Malé rozměry jsou důležité pro manipulaci v prostoru Equator a snadnou paletizaci.

Technická data:

krok na prst.....	2mm
upínací síla.....	700N
hmotnost.....	0,27kg
max. hmotnost obrobku při dynamickém zatížení.....	3,4kg
min/max pracovní tlak.....	2/8bar
spotřeba vzduchu pro upínací cyklus.....	9 cm ³
upínací čas.....	0,3s
max. výška čelistí.....	68mm

Snímání stavu upínače je možné pomocí jednoho nastavitelného magnetického čidla, které hlásí dva stavy. Pro potřebné pneumatické ovládání a snímání signálů je na ruce robota připraveno 6 ventilů, konektor pro napájení, šest vstupů a dva výstupy. Přes tuto technickou přípravu lze v případě potřeby připojit až 3 zvolené upínače. Základní ovládání je přednastaveno na prvních 8 digitálních výstupů a prvních 6 vstupů v systému robota.



obr. 32 Detail ruky robota s ventily a upínači

Pro snadné ovládání upínačů byl do softwaru robota dokoupen software GripperTech umožňující snadnou definici a ovládání upínačů, jak ručně na KCP tak programově pomocí inline formulářů.

Výhody GripperTech balíčku:

- ruční ovládání na KCP soft klávesami,
- využití formulářů pro tvorbu programu se snadnou kontrolou funkce upínače, upínacího času, zpoždění nebo předstihu upnutí,
- odpadá zdlouhavé ovládání jednotlivých vstupů a výstupů.

Výše popsané technické řešení včetně softwaru výrazně usnadňuje používání robota při paletizaci z hlediska obsluhy a programování, včetně samotného vedení kabelů a hadiček, které je zkráceno na minimum.

3.5 Identifikace a vyhodnocení pracovníků

Záměrem automatizace měření je mimo jiné získávání podrobnějších dat o výrobě. Tato problematika je řešena vyhodnocením ze softwaru Modus Reporter v podobě protokolů o měření apod. Při měření ovšem není možné v softwaru Automation 1.7 rozlišit díly jednotlivých pracovníků a tím získávat statistiku jednotlivých osob. Za účelem vyhodnocení pracovníků byl navržen zcela originální systém se zobrazením na LCD monitor umístěný přímo v měřicím boxu, který informuje o počtech změřených kusů a jejich původcích.

Základem přístroje je průmyslový počítač dodaný firmou Esit CZ s.r.o. s operačním systémem Linux a originální softwarovou aplikací pro vyhodnocení pracovníků. Aplikace byla zpracována na základě požadavků funkčnosti a grafické podoby firmou ESIT CZ s.r.o. Informace o dobrém či špatném dílu jsou předávány opět přes modul EL2809, informace o pracovníkovi zadává čtečka čárového kódu. Pro čtení čárového kódu byla zvolená miniaturní laserová čtečka SICK CLV 503, která je nesena robotem.



obr. 33 Obrazovka pro vyhodnocení pracovníků

Software pro vyhodnocení pracovníků obsahuje dvě základní databáze:

- databáze pracovníků s přidělenými čárovými kódy
- databáze projektů (zakázek)

Podle zvoleného projektu (zakázky) a aktuálního pracovníka je ukládána historie, ze které je vytvořen výstup tříděný na základě:

- projektů (vyhodnocuje všechny zakázky stejného dílu),
- pracovníků (vyhodnocení pracovníka bez ohledu na projekt),
- pracovníků v kombinaci s projektem.

Postup při identifikaci a vyhodnocení:

- operátor uloží vyrobené díly do palety, na jednu paletu vždy jen své díly
- do připravené pozice na paletě vloží štítek se svým osobním číslem v podobě čárového kódu
- takto postupně naplní libovolná kombinace pracovníků vozík předem určeným počtem pater
- vozík se ustaví do měřicího boxu seřizovaného pro daný výrobek, je spuštěn program
- na začátku každého patra robot najede na pozici s čárovým kódem, načte aktuálního pracovníka
- na konci změření dílu pošle robot signál do PC, je připočten dobrý nebo špatný díl aktuálnímu pracovníkovi
- základní počítadla jsou zobrazena přímo na LCD, historie zakázek je ukládána pro zpětné dohledání dat s výše uvedeným tříděním

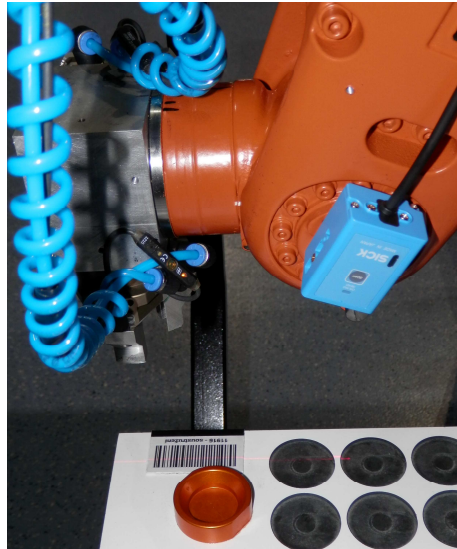
Informace o zakázce jsou předem zadány do PC a lze je měnit pouze ručně, pro jednodušší obsluhu bude aplikace v budoucnu doplněna rovněž o změnu zakázky pomocí čárového kódu.

Technické řešení

Čárové kódy pracovníků jsou řešeny jako přenosné štítky snadno odnímatelné z palet při oběhu ve výrobě. Provedení nepodléhá opotřebení a zachovává si čitelnost, která závisí především na kontrastu černé a bílé. Z důvodu opotřebení nelze použít vytištěné samolepící štítky, případné překrytí fólií či plexisklem zhoršuje čitelnost. Zvoleným materiálem je dvouvrstvý plast o síle 1,5mm se svrchní černou vrstvou a bílým podkladem, do kterého je kód laserově vygravírovaný. Vzniklý reliéf má výbornou čitelnost a odolnost proti opotřebení.

Čtečka kódu SICK CLV503 je od výrobce zakončena USB konektorem (čtyř žilový vodič), toto řešení dovoluje využít integrovanou koncovku na ruce robota. Koncovka se čtyřmi piny sice neodpovídá zakončení USB, ovšem čtyři vodiče postačí pro přenos signálu včetně napájení. Koncovka není napojená do řízení robota, ale je vyvedená na patu robota. Tvoří tedy v podstatě prodloužení, které není nutné vést pracně po těle robota. Zvýšením počtu konektorů a prodloužením kabelů došlo ke zhoršení kvality signálu. Problém se podařilo vyřešit zařazením napájeného rozvaděče USB a vyžádáním si elektrického schématu konektorů robota, podle kterého bylo provedena zapojení do odstíněných dvojic svazků kabelů.

Samotná čtečka je umístěna na čtvrtou osu robota (ruka s konektory), kde nedochází ke kroucení kabelů. Tato varianta zhoršuje programování pohybů při snímání kódu, ovšem předchází jistým problémům s poškozením vodičů.



obr. 35 Umístění čtečky, snímání kódu

3.6 Měření - Renishaw Equator 300

Přístroj byl zakoupen v říjnu 2012 od oficiálního zastoupení společnosti Renishaw v Brně, jednalo se o první prodaný kus v ČR.

3.6.1 Popis, princip měření

Technická specifikace a popis konstrukce jsou součástí kapitoly 2.2.

Obsahem dodávky měřicího systému Equator jsou kromě samotného měřicího přístroje:

- Controller – řídicí jednotka s operačním systémem Windows a Linux a možností připojení do sítě (Ethernet).
- Monitor – libovolný monitor se vstupem VGA, DVI. Musí být připojený vždy.
- Klávesnice, myš – minimálně jeden z těchto prvků musí být připojen vždy, aby bylo možno odstranit chybová hlášení apod.
- Joystick – nezbytný pro programování, pro obsluhu není nutný, v automatickém režimu prakticky zbytečný.
- Nouzové tlačítko – připojeno pouze pokud není k dispozici joystick.

Celou tuto sestavu je možné přemístit a uvést do provozu během několika minut.

Základním principem, který je nutné pochopit a přijmout před začátkem smysluplné činnosti s tímto přístrojem je, že se v podstatě nejedná o měřicí nýbrž porovnávací

(komparační) přístroj. Princip činnosti je tedy naprosto shodný například s pasametrem, mikrokátorem apod. Stovky bodů jsou snímány dotykovou (skenovací) sondou a je porovnávána odchylka vůči nominální poloze každého bodu. Nastavení nominálních hodnot nelze provádět koncovou měrkou, ale je zapotřebí mít vzorový (výrobce uvádí přímo „zlatý kus“ nebo master) od kterého budou odchylky vyhodnoceny. Vzorový díl nemusí být přímo na nominálních hodnotách, měl by být ovšem vyrobený s co nejlepší geometrickou přesností a proměření by mělo probíhat s minimální chybou. Equator tedy nenahrazuje běžná měřidla nebo CMM, ale je na nich přímo závislý. Pro složitější součásti použití Equatoru bez CMM ztrácí efektivitu. Vzorový díl je „měřen“ na Equatoru za použití DMIS programu shodného s programem pro následné porovnávání, pouze je spuštěn v tzv. Master mode. Samotné zadání nominálních hodnot (rozměru vzorového dílu) je možné dvěma způsoby:

- Skutečné rozměry vzorového dílu jsou zadávány přímo do programu. Tolerance jsou přepočítány úměrně vzorovému dílu.
- Do programu jsou zadány nominální hodnoty z výkresu, rozměry vzorového kusu jsou změřeny na CMM a připojeny v podobě tzv. kalibračního souboru. Vhodný formát kalibračního souboru lze zatím získat pouze z CMM vybavených softwarem Modus. Pro konkurenční programy zatím není možné kalibrační soubor využít, stejně tak pro CMM Impact (kapitola 2.1).

V prvním kroku je nutné spustit program v *Master mode*, kdy se vytvoří master data. Poté je program spuštěn v režimu *Measure* a je možné porovnávat jeden kus za druhým. Obrovskou výhodou je eliminace změn teploty na přesnost porovnávání za předpokladu, že rozměry vzoru jsou naměřeny při 20°C a vzorový díl má při vytváření master dat stejnou teplotu jako následně porovnávané díly. Postup měření s Equatorem lze shrnout do následujících kroků:

- Výběr vzorového kusu ze série, popřípadě jeho speciální výroba.
- Proměření dílu běžnými měřidly nebo na CMM ideálně při 20°C.
- Tvorba programu.
- Spuštění programu v režimu Master, vytvoření master dat.
- Sériová kontrola v režimu Measure.
- Při změně teploty nebo v předem stanoveném intervalu opětovné spuštění programu v režimu Master, automatické přepsání master dat.

Vzorový díl je v současnosti proměřován vždy na začátku měření dávky (vozíku) a následně v pravidelném intervalu stanoveném v programu pro paletizaci. Po aplikaci počítače pro vyhodnocení pracovníků, který obsahuje i teploměr, byl navržen výstup z tohoto PC signalizující změnu teploty o stanovenou diferenci. Na základě výstupu přes komunikační modul (EL1809) by určitý vstup do robota signalizoval potřebu přeměření vzoru. Po konzultaci s technikem společnosti Renishaw bylo od tohoto záměru upuštěno, jelikož nová verze softwaru bude tuto funkci poskytovat přímo v Equatoru.

3.6.2 Softwarové vybavení

Zakoupený přístroj ve verzi pro programátory obsahuje tyto aplikace:

- Modus Equator – verze programovacího softwaru Modus běžně používaného na CMM upravená pro porovnávací měření, slouží pro tvorbu a editaci programů.
- Modus Organiser – aplikace pro operátory sloužící k volbě a spouštění programů.
- Equator Server – řídicí server, zde se vytváří uživatelské prostředí (doteky, zásobníky, kalibrace doteku apod.), hlášení o stavu stroje.
- RenCompare – aplikace běžící na pozadí, provádí matematické výpočty pro porovnávání, uživatel nezasahuje.
- Modus Reporter – aplikace pro tvorbu protokolů a statistik měření.
- Automation – verze SW pro práci s robotem.

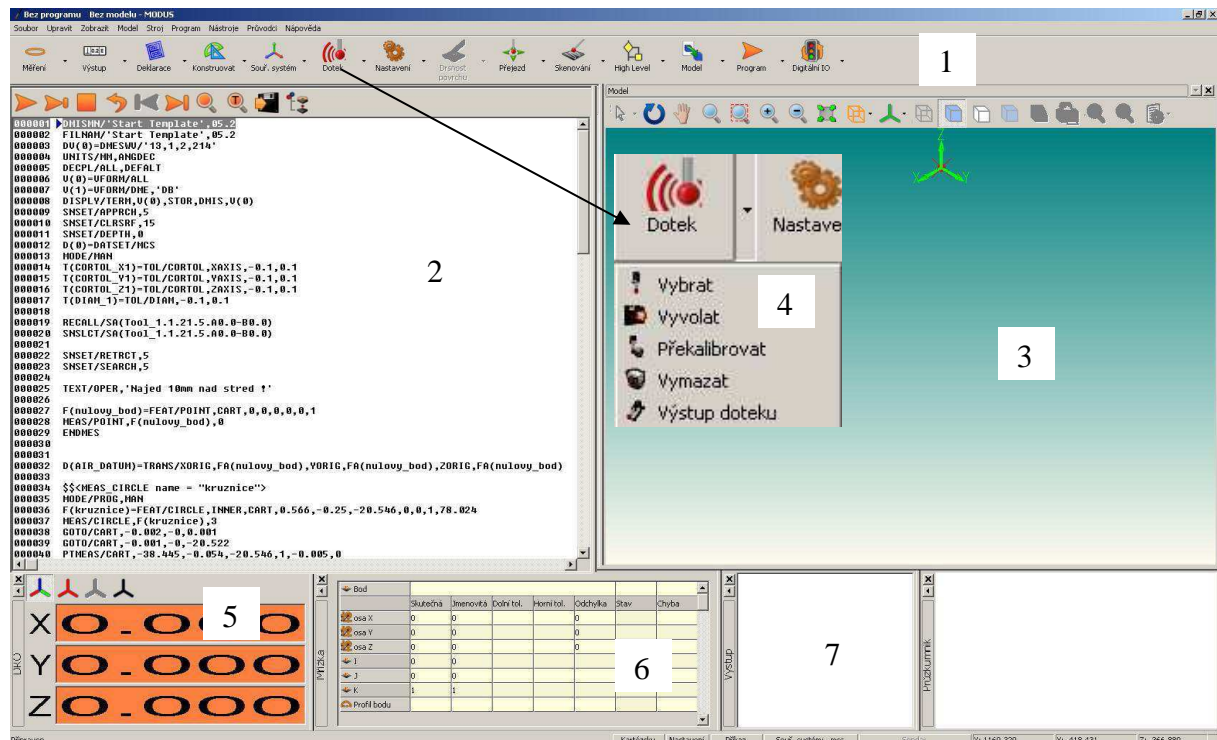
3.6.3 Programování

Tvorba měřících programů pro komparační měření probíhá v SW ModusEquator. Uživatelské prostředí je velmi podobné moderním CAD systémům. Program je tedy tvořen postupně z nabídky funkcí bez nutnosti znalosti programového kódu. Bohužel k verzi SW pro Equator je zatím dostupné omezené množství dokumentace zaměřené na základní funkce.

Hlavní oblasti obrazovky Modus (obr. 36):

1. nabídka funkcí potřebných pro tvorbu programu
2. hlavní okno se záznamem programu v textovém formátu, zde je možná ruční editace případně při znalosti příkazů psaní programu
3. obrazovka pro zobrazení modelu z CAD a drah sondy
4. příklad nabídky příkazů
5. zobrazení polohy doteku
6. dialogové okno pro zápis a zobrazení nominálních a aktuálních hodnot jednotlivých prvků
7. okno pro výstup naměřených hodnot

Orientace v prostředí SW Modus je snadná. Vytvoření měřícího programu pro jednoduchý díl je otázkou několika desítek minut. Nutnou podmínkou je ovšem znalost metod vyrovnání souřadného systému a způsobů měření, bez kterých není možné dosáhnout přesnosti měření. Vyrovnání dílu (souřadného systému) je nutné věnovat pozornost zejména při nakládání dílů robotem, kdy nemůže být dosaženo citlivosti obdobné při zakládání dílů rukou.



obr. 36 Obrazovka Modus

Stavbu programu lze rozdělit do následujících kroků:

- základní nastavení měření, volba doteků
- vyrovnání souřadného systému
- spuštění porovnávacího režimu
- měření
- vyhodnocení
- ukončení porovnávacího režimu
- konce programu

pozn. plný výpis programu pro díl Druckscheibe je přílohou č. 1 této práce.

Základní nastavení

Nastavení jednotek, nájezdů, rychlostí, tvorby protokolů apod. Nastavené hodnoty jsou automaticky používány do zvolených měřících funkcí. Při zpětné editaci je nutné provádět změny přímo u jednotlivých prvků, změny na počátku programu nejsou zpětně provedeny. V úvodu programu je vhodné vyvolat data všech používaných doteků, volba doteku ze zásobníku je provedena následně rychleji. Posledním příkazem ze základního nastavení je zastavení předstihu (DMESW/DELAY), které má obrovský vliv na zrychlení měření při automatizaci. Po ukončení měření se automaticky spustí program znovu a úvodní část je načtena již během manipulace s robotem. Úvod programu samozřejmě nesmí obsahovat žádné pohybové bloky. Ušetřený čas je v závislosti na počtu úvodních bloků programu až 10 sekund.

Vyrovnání souřadného systému

Vzhledem k nepřesnosti uložení dílce je nutné před každým měřením provést vyrovnání souřadného systému. Pro práci se souřadným systémem nabízí SW celou řadu funkcí. Samotný postup vyrovnání je závislý na typu dílce, zkušenostech programátora a způsobech upnutí. Přesné vyrovnání je základní podmínkou pro další práci. Pro díl Druckscheibe bylo zvoleno vyrovnání podle vnitřní kružnice (XY) a natočení SS podle horní plochy (směr osy Z), jelikož se jedná o díl s malým poměrem L/D.

Spuštění porovnávacího režimu

Provádí se příkazem COMPARE/ON, přičemž je nutné v dialogovém okně zvolit způsob porovnávání (kalibrační soubor, vytvoření kalibrace z měřicího programu). Po zadání příkazu se již nesmí posouvat souřadný systém.

Měření

Vlastní měřicí funkce, nájezdy, volba doteků ze zásobníku apod. Většina funkcí je zadávána přes dialogová okna. Příklad zadání měření vnější kružnice 58k7 na čtyři doteky bez kalibračního souboru z CMM je na obr. 37.

Okno pro zadání názvu, nominálních rozměrů a dalších možností měření. Zde je nutné zadat skutečný rozměr vzorového dílu při měření bez kalibračního souboru z CMM.

	Actual	Nominal	Low tol	High tol	Deviation	Status	Error
X axis	0	0			0		
Y axis	0	0			0		
Z axis	0	-1.3			1.3		
I	0	0					
J	0	0					
K	1	1					
Diameter	5	58.027			-53.027		
Circularity							
Rounding	Lengths	1	Angles	1	Directions	1	Disabled
Fitting Algorithm	Type	Default					Enabled
Elimination Fil	STD Devs	3.000000					Disabled
Filter	Type	Circular	UPR	15			Disabled

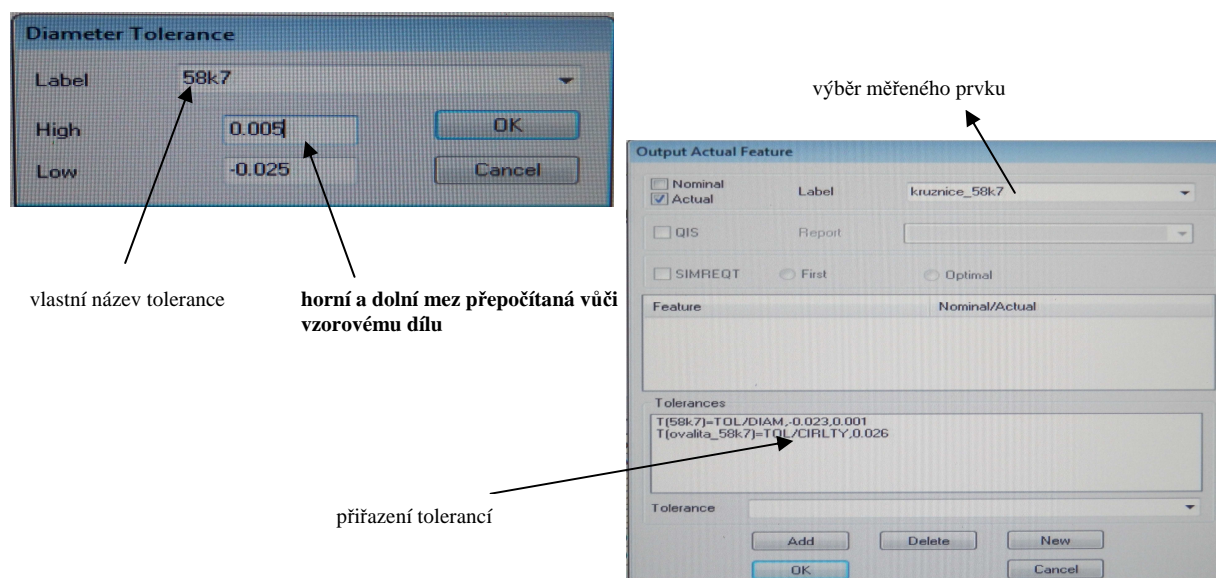
vygenerované měřicí body na základě zadaných hodnot

Ručně dopsané přejezdy mezi měřicími body. Na rozdíl od CMM nelze používat automatický mód pro měření, který řeší přejezdy automaticky. Se zvyšujícím se počtem bodů narůstá výrazně pracnost tohoto řešení a je lepší přechod ke skenování s plynulejším a rychlejším chodem.

obr. 37 Zadání měření kružnice

Vyhodnocení

Nastavení výstupu výsledků pro vyhodnocení dílu (GOOD/BAD PART) musí být mezi příkazy COMPARE/ON/OFF a nesmí být změněn souřadný systém. Tolerance pro jednotlivé prvky je nutné přepočítat podle rozměrů vzorového dílu (platí pro měření bez kalibračního souboru z CMM). Příklad zadání tolerance a výstupu výsledku měření pro kružnici 58k7 je na obr. 38.



obr. 38 Nastavení výstupu měření

Ukončení porovnávacího režimu

Ukončení příkazem COMPARE/OFF. Následuje konec programu nebo práce se souřadným systémem a další měření s novým porovnávacím souborem. Opět zahájeným a ukončeným příkazem COMPARE/ON/OFF.

Konec programu

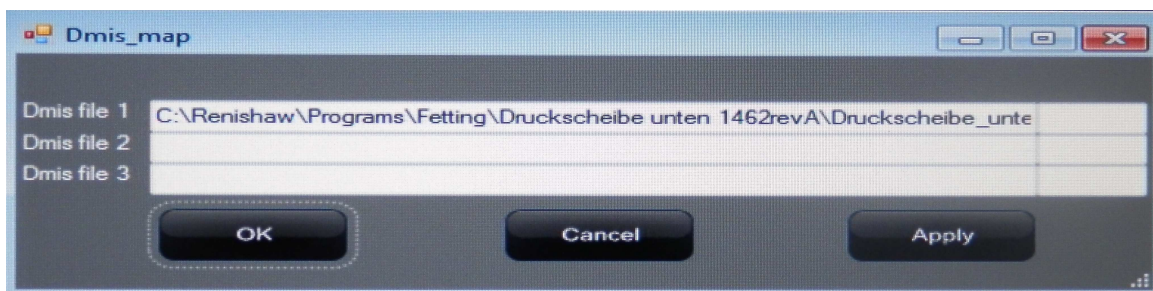
Ukončení příkazem ENDFIL.

Naměřené hodnoty se standardně zobrazí v okně pro výstup hodnot na obrazovce Modus. Uložení výsledků ve formě protokolu či další zpracování je nutné nastavit v SW Modus Reporter. Výsledky je možné uložit ve formátu pdf a csv odděleně pro každý kus nebo do jednoho souboru společně. Obě metody mají obrovskou nevýhodu. Není možné dohledat efektivně rozměry neshodných dílů v souboru nebo složce se stovkami či tisíci naměřených dílů. Na základě tohoto zjištění byl vznesen požadavek na společnost Renishaw o vytvoření možnosti generovat protokol jen pro neshodné výrobky. Řešení bylo přislíbeno v příští verzi softwaru.

3.6.4 Režim automatizace

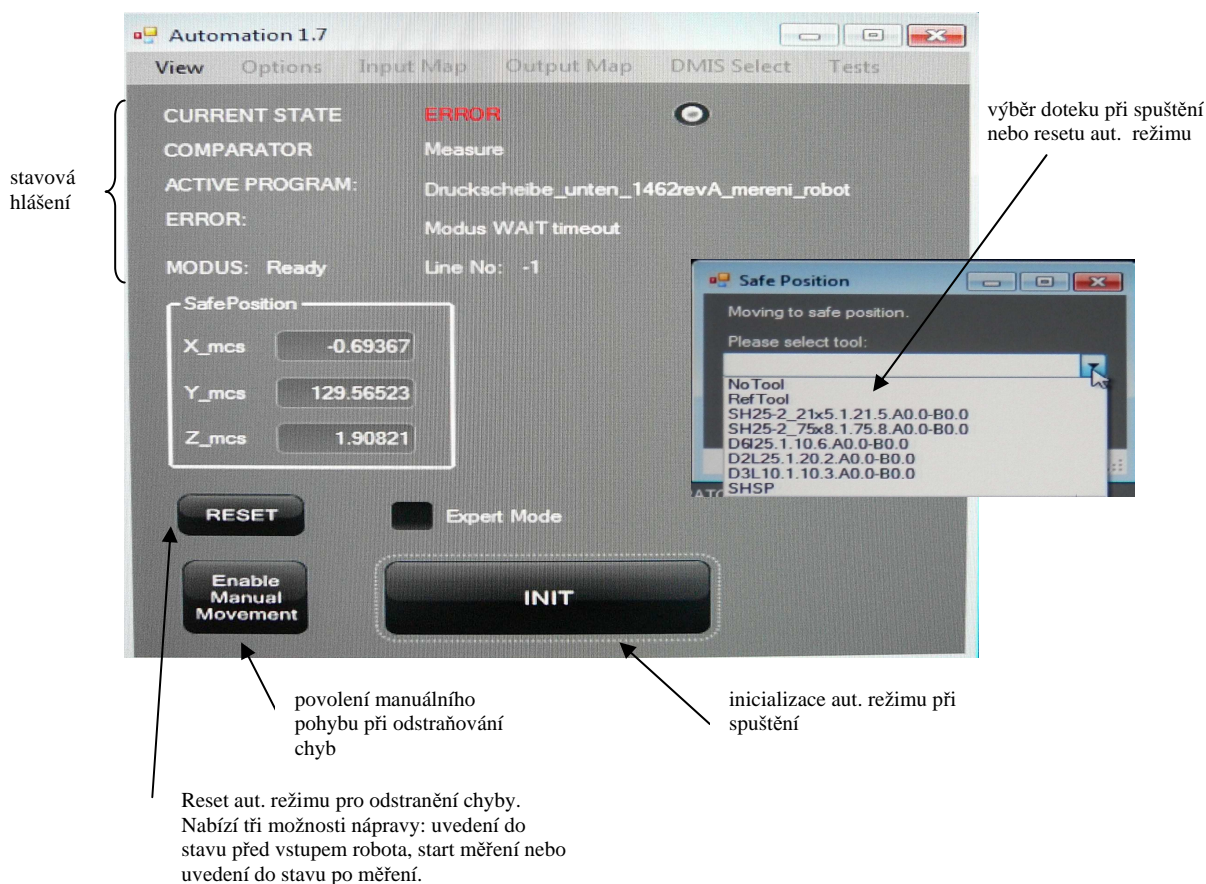
Při měření v automatizovaném režimu s robotem je nutné využívat software Automation, který zabezpečuje komunikaci s robotem a měření podle běžného programu ve formátu DMI.

V prvním kroku je přiřazen měřicí program k signálům DMI SELECT, aby bylo možné volit program z robota. Přiřazení je platné do vymazání na uživatelské úrovni expert, není tedy nutné kontrolovat nastavení při spouštění přístroje.



obr. 39 Přiřazení měřicího programu

Následuje navolení aktuálního doteku, které je spojené s odjezdem do bezpečné pozice a inicializací automatického režimu tlačítkem INIT obr. 40. Tímto je při běžném provozu Equator připraven pro obsluhu robotem. Pokud nedojde k poruše, využívá obsluha pouze níže uvedenou obrazovku se základními údaji o režimu měření, chybovém hlášení a tlačítky pro opětovné spuštění. V nastavování a obsluze softwaru Automation nelze aplikovat vlastní nová řešení, proto nebude dále popisována práce se softwarem, kterou lze vyhledat ve stručném manuálu dodaném výrobcem.



obr. 40 Hlavní obrazovka Automation1.7

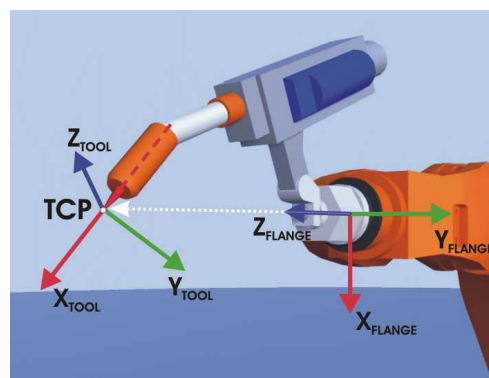
3.7 Řešení paletizace a obsluhy robotem

Nejnáročnější a technologicky nejzajímavější částí celého projektu je řešení paletizace a obsluhy robotem. Na rozdíl od samotného měření, které má vcelku pevně daný postup, je práce s robotem daleko obecnější a do značné míry závisí na pojetí uživatele. Pro výše popsany měřicí box lze řešení rozdělit do následujících kroků:

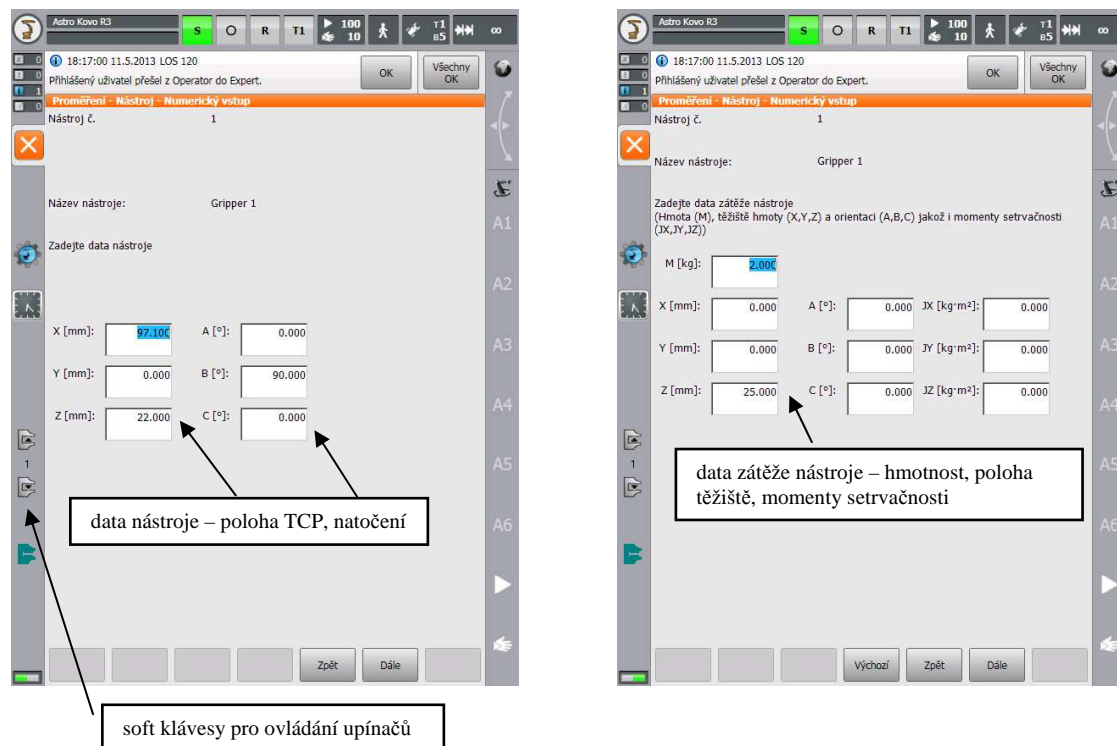
- proměření nástrojů,
- proměření bází (souřadných systémů),
- definice globálních proměnných a signálů do konfiguračního souboru,
- návrh logiky hlavního programu,
- sestavení podprogramů pro paletizaci,
- sestavení podprogramů pro obsluhu Equatoru.

3.7.1 Proměření nástrojů

Při proměření nástroje je zadávána poloha seřizovacího bodu nástroje (TCP) vzhledem k montážní přírubě (flange) šesté osy obr. 41. Lze využít tři metody proměření 4 bodová metoda, metoda reference a numerický vstup. Pro přesné zadání je nejvhodnější numerický vstup dat známých z výkresové dokumentace. V případě výše popsanych upínačů a upínací kostky lze numerická data snadno dopočítat a zadat do systému robota přes dialogové okno (obr. 42). Data zátěže nástroje je nutné dopočítat, získat z CAD systému nebo proměřit robotem se speciálním vyhodnocovacím softwarem.



obr. 41 Princip TCP proměření [6]



obr. 42 Dialogová okna pro nastavení nástrojů

V systému robota je možné přes dialogová okna nadefinovat 16 nástrojů, což nemusí být dostatečné. Jednou možností řešení je zapisovat data nástrojů do technologické dokumentace (seřizovací list) a přepisovat data v případě potřeby ručně. Elegantnějším řešením je zapisovat data nástrojů do hlavního programu paletizace. Při načtení dat z programu se změní uložená globální data nástrojů v konfiguračním souboru (\$config.dat), ve kterém jsou uložena všechna data nástrojů, bází, proměnné, signály apod. Tímto opatřením dojde ke zkrácení času seřízení a navíc je možné ve všech programech používat stejné názvy a čísla nástrojů což urychlí zakládání nového programu a zpřehlední obsluhu.

```
DECL FRAME TOOL_DATA[16]
TOOL_DATA[1]={X 97.1,Y 0.0,Z 22.0,A 0.0,B 90.0,C 0.0}
TOOL_DATA[2]={X 37.1,Y -89.6,Z 21.8,A 180.0,B 0.0,C -90.0}

DECL CHAR TOOL_NAME[16,24]
TOOL_NAME[1,]="Gripper 1"
TOOL_NAME[2,]="Gripper 2"

DECL LOAD LOAD_DATA[16]
LOAD_DATA[1]={M 2.0,CM {X 0.0,Y 0.0,Z 25.0,A 0.0,B 0.0,C 0.0},J {X 0.0,Y 0.0,Z 0.0}}
LOAD_DATA[2]={M 2.0,CM {X 0.0,Y 0.0,Z 0.0,A 0.0,B 0.0,C 0.0},J {X 0.0,Y 0.0,Z 0.0}}
LOAD_DATA[3]={M -1.0,CM {X 0.0,Y 0.0,Z 0.0,A 0.0,B 0.0,C 0.0},J {X 0.0,Y 0.0,Z 0.0}}
```

obr. 43 Data nástrojů v \$config.dat

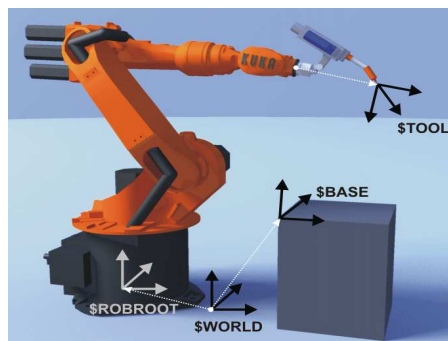
Systém robota není založený na prostém zadávání hodnot do dialogových oken, nahlížení do tabulek apod. Většinu dat a příkazů je možné dohledat v příslušných souborech a pracovat s nimi na vyšší programátorské úrovni.

3.7.2 Proměření bází

Báze jsou kartézské souřadné systémy využívané pro efektivní programování pohybů v potřebném prostoru. Pro aplikaci v měřicím boxu byly zavedeny následující báze:

- nabírací paleta,
- odkládací paleta,
- upínač v Equatoru,
- odkládací místo vzorového dílu.

Zadání polohy báze probíhá vzhledem k pevně stanoveným souřadnicím v patě robota opět přes dialogové okno. Metody jsou numerický vstup, nepřímá metoda, metoda 3 bodů. Po získání dat báze je vhodné opět data uložit přímo do hlavního programu a tím se vyvarovat zdlouhavého přepisování dat při opětovném seřizování. Zvolená metoda zapisování dat do hlavního programu je v úvodu složitější, ovšem s postupem času, kdy by došlo k zaplnění všech tabulek s daty bází a nástrojů je výhodnější.



obr. 44 Přehled souřadných systémů

3.7.3 Deklarace v souboru \$config.dat

Soubor config.dat slouží mimo jiné i pro deklarování uživatelských proměnných využívaných při tvorbě programu. Data v tomto souboru mají globální platnost. Mimo samotné deklarování jim lze přímo přiřadit hodnotu. V tomto souboru je vhodné deklarovat všechny logické podmínky, proměnné pro výpočty pozic, signály apod. Údaje jsou na jednom místě, je snadná jejich editace a kontrola.

```
USER GLOBALS
;vytvoreni noveho datoveho typu
STRUC PAL_TYPE REAL
ROZTEC, DIF_ROZTECE, VYSKA_PATRA, VYSKA_DILU, VYSKA_CEPU, DELKA_UCHOPENI_DILU, DELKA_UCHOPENI_CEP
U, POLOHA_CEPU_X, POLOHA_CEPU_Y, INT IX, IY, IZ, IX_MAX, IY_MAX, IZ_MAX

;deklarace promene noveho typu
DECL PAL_TYPE PAL1
DECL PAL_TYPE PAL2

;signaly
SIGNAL SI_READY_FOR_SERVICE $IN[7]
SIGNAL SI_READY_FOR_INSPECTION $IN[8]

;logicke podminky a priznaky
DECL BOOL VB_GRIPPER1_PLNY
DECL BOOL VB_EQUATOR_PLNY
DECL BOOL VB_HEART_BEAT_MEMORY=FALSE ;pocatecni stav pri kontrole cinnosti equatoru

;deklarace pole pro rotaci A na PAL1
DECL INT ROTACE_PRIM_PAL1[10]
DECL INT ROTACE_SEK_PAL1[10]
DECL INT HRANICE_PRIM_ROTACE_PAL1[10]
```

obr. 45 Část souboru config.dat

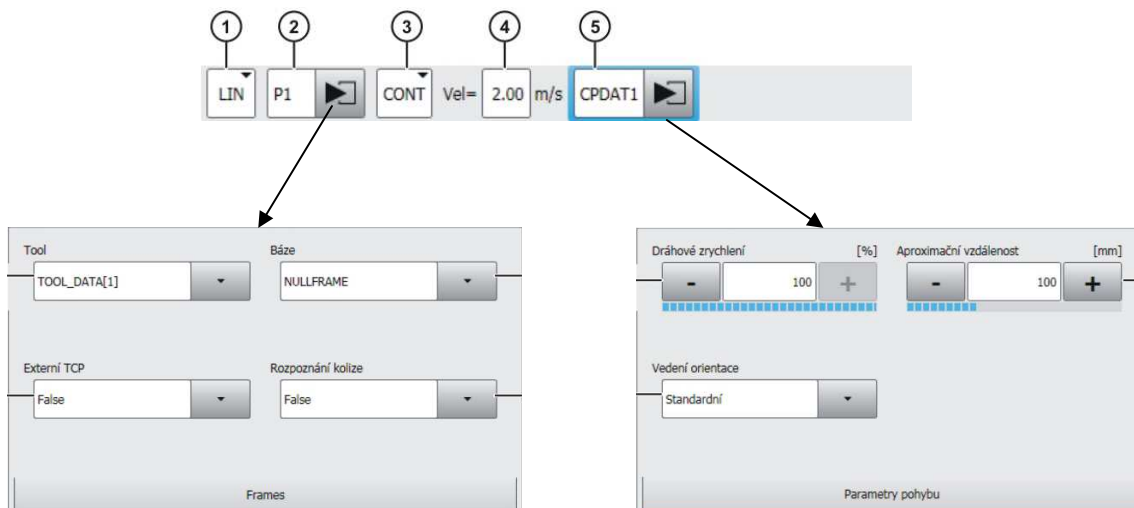
3.7.4 Základy programování

Programovacím jazykem je KRL (Kuka Robot Language), instrukce je možné zadat dvěma způsoby:

- online programování metodou teachingu
- programování na úrovni vyššího programovacího jazyka

Online programování metodou teachingu

Využívá tzv. inline formulářů přístupných od uživatelské úrovně Operator. Dostupné jsou formuláře pro programování pohybů, základních logických funkcí, ovládání výstupů a s aplikací GripperTech ovládání upínačů. Zadání příkazu probíhá jednoduše přes zvolený formulář zajišťující kompletní nastavení příkazu. U pohybových příkazů probíhá nastavení souřadnic metodou teachingu. Příkladem je formulář pro zadání lineárního pohybu popsany níže.



obr. 46 Inline formulář pro lineární pohyb

1. Druh pohybu – PTP, LIN, CIRC, SPLINE
2. Název cílového bodu
3. Volba aproximace cílového bodu
4. Rychlost pohybu TCP – pro LIN max. 2m/s
5. Parametry pohybu

Výhodou inline formulářů je přehlednost a rychlost zadání pro pohyby nevyžadující přesné numerické zadání souřadnic. Při tvorbě programů paletizace samotné inline formuláře nepostačují. Řešení vyžaduje využití možností programování na vyšší úrovni.

Programování na úrovni vyššího programovacího jazyka

Metoda programování je dostupná na uživatelské úrovni Expert, dovoluje vytvářet obecné programy za použití programovacího jazyka KRL, kombinujícího pohybové, technologické a logické příkazy známé z vyšších programovacích jazyků. KRL program se může skládat ze souboru SRC a seznamu dat DAT.

SRC – soubor s vlastním programovým kódem (záleží na posloupnosti příkazů)

DAT – seznamem dat (např. souřadnice bodů zadaných v inline formulářích)

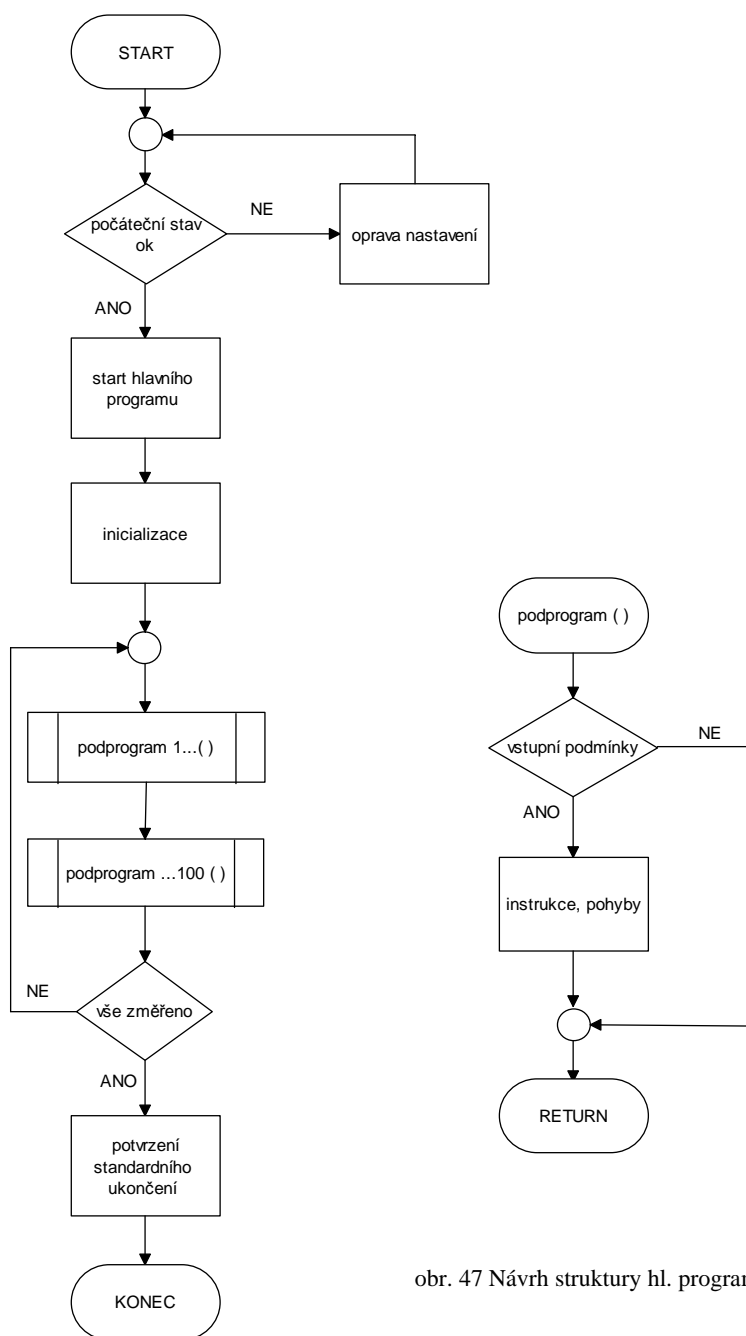
Pokud má seznam dat a soubor stejný název, mohou lokální proměnné, které jsou deklarovány v seznamu dat, být použity stejným způsobem jako ty, které jsou deklarovány v SRC souboru. Toto dovoluje kombinaci inline formulářů s obecným programováním např. pro výpočet polohy naučeného bodu. Založení pohybu v souboru SRC automaticky vytvoří příslušná data v seznamu dat se stejným názvem. Vytvořená data je možné změnit ve vhodném okamžiku, daném stavbou programu, přímo ze souboru SRC. Například souřadnice bodu jsou deklarovány jako struktura E6POS (STRUC E6POS REAL X, Y, Z, A, B, C, E1, E2, E3, E4, E5, E6, INT S, T). Proměnné A, T, X, Y, Z je tedy možné změnit následovně a tím například přepočítávat souřadnice při běhu programu ve smyčce.

<pre><code>;vypocet pozic pro prenaseni palety XNAD_NABIRACI_PALETOU.A = - 90 XNAD_NABIRACI_PALETOU.T = 50 XNAD_NABIRACI_PALETOU.X = PAL1.POLOHA_CEPU_X XNAD_NABIRACI_PALETOU.Y = PAL1.POLOHA_CEPU_Y XNAD_NABIRACI_PALETOU.Z = 300. ;inline formulář pro pohyb PTP PTP NAD_NABIRACI_PALETOU CONT Vel=100 % PDATO Tool[2]:Gripper 2 Base[6]:PAL2</code></pre>	<p>} přiřazení vybraných souřadnic bodu NAD_NABIRACI_PALETOU</p> <p>} inline formulář PTP</p>
<pre><code>DECL E6POS XNAD_NABIRACI_PALETOU={X 200.0,Y 200.0,Z 300.0,A -90.0,B 0.0,C 180.0,S 6,T 50,E1 0.0,E2 0.0,E3 0.0,E4 0.0,E5 0.0,E6 0.0} DECL FDAT FNAD_NABIRACI_PALETOU={TOOL_NO 2,BASE_NO 6,IPO_FRAME #BASE,POINT2[] " ",TQ_STATE FALSE}</code></pre>	<p>} část datového souboru pro bod NAD_NABIRACI_PALETOU</p>

Výše popsaná metoda, včetně dalších možností KRL programování, je použita pro parametrizaci programů paletizace a obsluhy Equatoru. Další možnosti programování jsou popsány v z následujících kapitolách a v příloze s programy pro vzorový díl Druckscheibe.

3.7.5 Návrh hlavního programu, vývojový diagram

Proces paletizace a obsluhy Equatoru lze rozdělit do několika samostatných částí, jejichž postupným spojením bude tvořen univerzální program zajišťující logickou posloupnost operací vykonávaných robotem v měřicím boxu. V zásadě je možné rozdělit činnost robota na část paletizace a vlastní obsluhy měřidla. Nejlepší představu o posloupnosti činností dává vývojový diagram, na jehož základě je postavena struktura programů.



obr. 47 Návrh struktury hl. programu

Rozdělení činností do podprogramů:

- načtení čárového kódu z palety
- nabrání dílu z palety
- založení dílu do Equatoru
- vyjmutí dílu z Equatoru
- odložení dobrého dílu
- odložení neshodného dílu
- přenesení palety
- nabrání vzorového dílu
- odložení vzorového dílu

Každý z výše uvedených programů může být vykonán pouze při splnění vstupních logických podmínek uvedených na začátku programu v podmíněném větvení. Hlavní program a program pro nabrání dílů včetně stručného popisu jsou součástí přílohy č. 2. Programy pro založení a vyložení dílu Druckscheibe do měřidla jsou názorně popsány v následující kapitole.

3.7.6 Programové řešení obsluhy Equatoru

Obsluha měřidla je rozdělena do dvou samostatných podprogramů vykonávaných nezávisle na sobě. Na těchto programech pro díl Druckscheibe budou názorně ukázány možnosti programování a vzájemné komunikace.

3.7.6.1 Založení dílu do Equatoru

Úkolem programu je založení nezměřeného dílu do měřidla a spuštění měřícího programu. S výjimkou signálu pro volání měřícího programu je program plně parametrizovaný, lze jej využít pro zakládání dílů se stejným způsobem uchopení. Program také rozlišuje mezi vzorovým a normálním dílem a dokáže spustit měření v režimu *Master*.

V levém sloupci je zobrazen program ve formátu SRC. V pravém popis a části datového souboru DAT.

<pre>DEF zalozit_dil_equator_3() INI</pre>	} -název programu -inicializační proces daný šablonou programu
<pre>IF (NOT VB_EQUATOR_PLNY AND VB_GRIPPER1_PLNY) THEN</pre>	} -logická podmínka pro vykonání obsahové části programu, musí být prázdné měřidlo a nabraný díl v upínači 1

<pre> INICIALIZACE VR_VULE_ODLOZENI_EQ = 0.8 ;vypocet souradnic Z pro zalozeni XPRED_EQ_ZALOZENI.Z = PAL1.VYSKA_DILU + 30. XDO_EQ_ZALOZENI.Z = PAL1.VYSKA_DILU - PAL1.DELKA_UCHOPENI_DILU + 5. XZALOZIT_KUS.Z = PAL1.VYSKA_DILU - PAL1.DELKA_UCHOPENI_DILU + VR_VULE_ODLOZENI_EQ XODJEZD_PO_ZALOZENI.Z = PAL1.VYSKA_DILU + 5. XDO_EQ_ZALOZENI.Z = PAL1.VYSKA_DILU - PAL1.DELKA_UCHOPENI_DILU + 7. </pre>	<ul style="list-style-type: none"> -název FOLDU, ve kterém jsou zabalené níže uvedené příkazy -zadání vůle pro odkládání dílu -výpočet souřadnic Z pro nájezdy, odložení, a odjezdy konstantní souřadnice X0, Y0. jsou pevně zadány v datovém souboru, jelikož díl je vždy odkládán na střed upínače (souřadného systému)
<pre> CHECK GRP 1 State=CLO at START Delay=0 ms PTP PRED_EQ_ZALOZENI Vel=100 % PDAT2 Tool[1]:Gripper 1 Base[4]:EQUATOR_STRED_UPINACE </pre>	<ul style="list-style-type: none"> -kontrola upnutí dílu pomocí inline formuláře -pohyb PTP před měřidlo pomocí inline formuláře, nástroj Gripper1, báze střed upínače v Equatoru
<p>-část datového souboru k bodu <code>PRED_EQ_ZALOZENI</code>, souřadnice x,y,a,b,c, byly přepsány ručně po naučení polohy budu v inline formuláři</p>	<pre> DECL E6POS XPRED_EQ_ZALOZENI={X -350.0,Y 0.0,Z 47.0499992,A -70.0,B 0.0,C 180.0,S 2,T 10,E1 0.0,E2 0.0,E3 0.0,E4 0.0,E5 0.0,E6 0.0} DECL FDAT FPRED_EQ_ZALOZENI={TOOL_NO 1,BASE_NO 4,IPO_FRAME #BASE,POINT2[] " ",TQ_STATE FALSE} </pre>
<pre> WAIT FOR SI_READY_FOR_SERVICE AND SI_READY_FOR_INSPECTION AND SI_SAFE_POSITION AND NOT SI_BUSY AND NOT SI_ERROR AND NOT SO_GAUGE_CYCLE_START AND NOT SO_UNLOADED AND VB_GRIPPER1_PLNY AND VB_EQUATOR_OK SO_CLEAR_OF_GAUGE = FALSE SO_DMI_SELECT_0 = TRUE IF VB_GRIPPER1_VZOR == TRUE THEN SO_MASTER_MODE = TRUE ELSE SO_MASTER_MODE = FALSE ENDIF </pre>	<ul style="list-style-type: none"> -čekání na splnění podmínek pro vstup robota -ohlášení vstupu robota do Equatoru -navolení měřicího programu -rozhodnutí o nastavení měřicího programu do režimu Master se vzorovým dílem
<pre> LIN DO_EQ_ZALOZENI Vel=0.5 m/s CPDAT1 Tool[1]:Gripper 1 Base[4]:EQUATOR_STRED_UPINACE LIN ZALOZIT_KUS Vel=0.01 m/s CPDAT2 Tool[1]:Gripper 1 Base[4]:EQUATOR_STRED_UPINACE SET GRP 1 State=OPN GDAT1 LIN ODJEZD_PO_ZALOZENI Vel=0.02 m/s CPDAT3 Tool[1]:Gripper 1 Base[4]:EQUATOR_STRED_UPINACE TRIGGER WHEN DISTANCE = 1 DELAY = 0 DO SO_CLEAR_OF_GAUGE = TRUE TRIGGER WHEN DISTANCE = 1 DELAY = 0 DO SO_GAUGE_CYCLE_START = TRUE LIN PRED_EQ_ZALOZENI Vel=0.5 m/s CPDAT4 Tool[1]:Gripper 1 Base[4]:EQUATOR_STRED_UPINACE </pre>	<ul style="list-style-type: none"> -pohybové bloky pro založení dílu -příkazy pro nastavení signálů při dosažení cílového bodu <code>PRED_EQ_ZALOZENI</code>, ohlásí volno v měřicím prostoru a spustí měření -odjezd před Equator, cílový bod pro předchozí příkazy
<pre> PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT ELSE RETURN ;návrát do hl. programu ENDIF END </pre>	<ul style="list-style-type: none"> -odjezd do výchozí pozice -zakončení příkazu IF z úvodu programu -konec programu

3.7.6.2 Vyjmutí dílu z Equatoru

Program zajišťuje vyjmutí dílu z Equatoru a spravuje vyhodnocení zaměstnanců v podobě zaslání informace o dobrém či špatném dílu. Vzorový díl není započítáván.

```
DEF vyjmout_dil_equator_3( )
INI

IF (VB_EQUATOR_PLNY AND NOT VB_GRIPPER2_PLNY)
THEN

INICIALIZACE
CHECK GRP 2 State=OPN at START Delay=0 ms

PTP PRED_EQ_VYJMUTI Vel=100 % PDAT1
Tool[2]:Gripper 2 Base[4]:EQUATOR_STRED_UPINACE

WAIT FOR SI_READY_FOR_SERVICE AND NOT
SI_READY_FOR_INSPECTION AND SI_SAFE_POSITION AND
NOT SI_ERROR AND NOT SI_BUSY AND NOT
SO_GAUGE_CYCLE_START AND VB_EQUATOR_OK

SO_CLEAR_OF_GAUGE = FALSE

IF (SI_GOOD_PART AND NOT VB_EQUATOR_VZOR) THEN
SO_LCD_DOBRY_DIL = TRUE
ENDIF

IF (SI_BAD_PART AND NOT VB_EQUATOR_VZOR) THEN
SO_LCD_NESHODNY_DIL = TRUE
ENDIF

PTP DO_EQ_VYJMUTI Vel=30 % PDAT2 Tool[2]:Gripper
2 Base[4]:EQUATOR_STRED_UPINACE

SO_LCD_DOBRY_DIL = FALSE
SO_LCD_NESHODNY_DIL = FALSE

LIN VYJMUTI_DILU_EQ Vel=0.01 m/s CPDAT2
Tool[2]:Gripper 2 Base[4]:EQUATOR_STRED_UPINACE
SET GRP 2 State=CLO GDAT1
LIN ODJEZD_PO_VYJMUTI Vel=0.02 m/s CPDAT3
Tool[2]:Gripper 2 Base[4]:EQUATOR_STRED_UPINACE
TRIGGER WHEN DISTANCE = 1 DELAY = 0 DO
SO_CLEAR_OF_GAUGE = TRUE
LIN PRED_EQ_VYJMUTI Vel=0.5 m/s CPDAT4
Tool[2]:Gripper 2 Base[4]:EQUATOR_STRED_UPINACE

VB_DOBRY_DIL = SI_GOOD_PART

SO_UNLOADED = TRUE

WAIT FOR NOT SI_GOOD_PART AND NOT SI_BAD_PART
SO_UNLOADED = FALSE

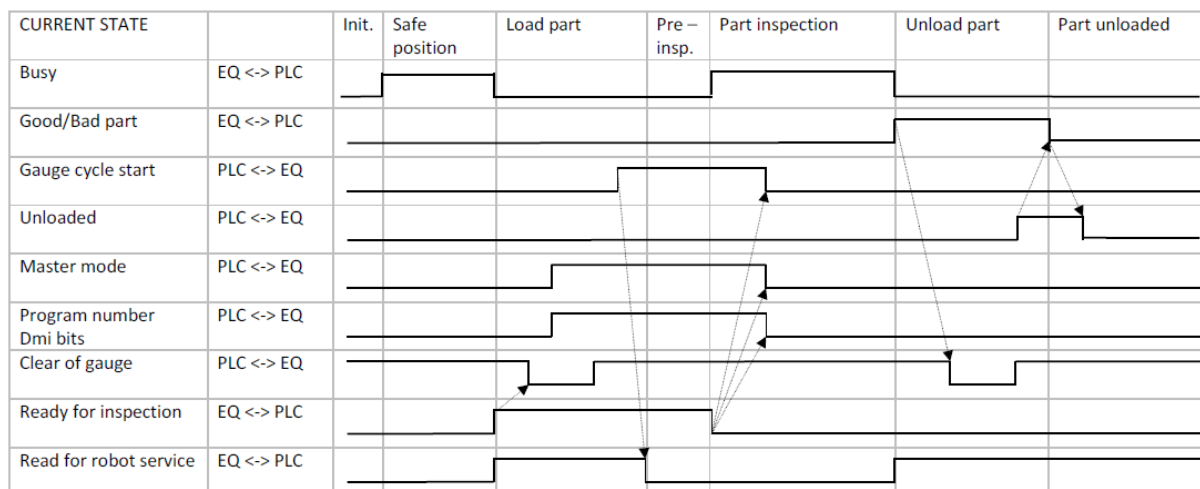
IF VB_EQUATOR_VZOR == TRUE THEN
VB_GRIPPER2_VZOR = TRUE
VB_EQUATOR_VZOR = FALSE
ENDIF

VB_GRIPPER2_PLNY = TRUE
VB_EQUATOR_PLNY = FALSE

ELSE
RETURN
ENDIF
END
```

- název programu
- inicializační proces
- podmínka pro vykonání obsahové části programu, díl v měřidle, prázdný Gripper2 pro vyjmutí dílu
- Fold obsahující výpočet pozic
- kontrola otevření upínače na začátku pohybu bez zpoždění
- nájezd před Equator, inline formulář PTP
- nastavení signálů na hodnotu false
- čekání na splnění podmínek pro vstup robota
- ohlášení vstupu robota do prostoru Equatoru
- přičtení dobrého nebo špatného dílu na obrazovku s vyhodnocením pracovníků, nezapočítává vzorové díly
- odjezd
- vypnutí signálu, musí být zadáno s prodlevou nebo po pohybu, jinak změnu hodnoty false/true/false nestačí systém při přechodu robot-modul Beckhoff-PC Esit zpracovat
- vyjmutí dílu zadané přes inline formuláře
- uložení hodnoty signálu do proměnné
- potvrzení vyjmutí dílu, nastaví signál dobrého a špatného dílu na false
- čekání na změnu hodnoty signálu
- podmínka pro změnu proměnných při manipulaci se vzorovým dílem
- nastavení logických proměnných po vyjmutí dílu
- ukončení rozhodovacího příkazu z úvodu programu
- konec

Programy byly vytvořené na základě doporučené signálové výměny (obr. 48) od tvůrce automatizačního softwaru společnosti Renishaw.



obr. 48 Schéma pro komunikaci robot – EQ [7]

Další programy potřebné pro obsluhu měřicího boxu mají obdobnou strukturu. V příloze jsou dále popsány hlavní program a program pro nabírání dílů z palet (příloha č.2). Parametrizace programů je provedena na úrovni změny inicializace v hlavním programu, kde jsou popsány rozměr dílu, palet a délky uchopení. Po perfektním odladění bude možné zakládat pouze hlavní programy pro nové díly s voláním neustále stejných podprogramů, což výrazně zjednoduší přípravu nové zakázky.

3.8 Vzdálená podpora

Jelikož se ve firmě jedná o zcela novou technologii v případě měřidla i robota, je nutné všechny zúčastněné osoby proškolení a seznámit s novým zařízením. Za tímto účelem bylo provedeno několik školení a byl vytvořen stručný manuál pro obsluhu. Není ovšem možné popsat všechny situace a řešení poruch. Vzhledem k pořizovacím nákladům a především konstrukci Equatoru, která by po kontaktu s robotem byla pravděpodobně nenávratně zničena byla navržena vzdálená podpora pro obsluhu buňky ve formě vizuální a hlasové podpory pomocí kamery umístěné uvnitř boxu (obr. 49).

Technická specifikace

model.....	Hikvision DS-2CD783E-F
typ.....	IP kamera
rozlišení.....	5Mpx
úhel záběru	33°- 75°
rotace.....	0-360°
auto zoom.....	ano
přenos dat.....	RJ45, RS485
audio.....	1 vstup/1 výstup
spotřeba.....	max 4,5W
napájení.....	12V



obr. 49 Umístění kamery

Zvolený model kamery je připojen do sítě pod svojí IP adresou, může být tedy ovládán a sledován prostřednictvím webové aplikace Hikvision nebo iVMS-4200 z jakéhokoli počítače připojeného do firemní sítě nebo s přístupem k internetu. Současný stav techniky dovoluje připojení k mobilním zařízením s operačními systémy Android a Apple. Parametry kamery dovolují najetí a zaostření na zvolený objekt včetně monitoru a KCP s rozlišením umožňujícím čitelnost běžného textu.

Využití kamery:

- podpora obsluhy při řešení nouzových situací,
- podpora při instalaci a programování ze strany dodavatele měřidla a robota,
- sledování průběhu měření z expedičního skladu (tímto je vyřešen problém se sledováním času do konce měření dávky viz. kapitola 3.2),
- kamera neslouží jako sledovací zařízení se záznamem.

4 Technicko - ekonomické zhodnocení

Metody hodnocení efektivnosti investičních projektů lze rozdělit dle toho, zda přihlížejí k faktoru času či nikoliv. Statické metody nerespektují faktor času, příkladem je prostá doba návratnosti. Naproti tomu dynamické metody jako například čistá současná hodnota respektují faktor času. Dalším hlediskem třídění metod hodnocení investičních projektů jsou efekty z investičních projektů.

- metody, kde hodnotíme očekávanou úsporu nákladů (nákladová kritéria hodnocení efektivnosti)
- metody, kde hodnotíme očekávaný účetní zisk (zisková kritéria hodnocení efektivnosti, tj. zisk snížený o daň ze zisku)
- metody, kde hodnotíme očekávaný peněžní tok z projektu (čistý peněžní příjem z projektu, tj. očekávaný zisk po zdanění zvýšený o odpisy a jiné možné příjmy)

Dodatečný peněžní příjem, který nová technologie přinese, je v našem případě možné spolehlivě odhadnout pouze pro výrobek Buchse, kdy zvýšením produktivity dojde k získání strojního času pro další zakázky. Celkový peněžní příjem posuzován nebude, neboť na celkový zisk působí ještě další faktory, od nichž nelze hodnověrně abstrahovat a vyčíslit tedy celkovou výši zisku, který by přineslo zavedení nové technologie do výrobního procesu. Samotné zavedení automatizovaného měření totiž negeneruje zisk v podobě navýšení ceny výrobku při 100% kontrole, kterou zákazník vyžaduje, ale není ji ochoten samostatně vyčíslit.

Efektivnost tohoto investičního projektu zhodnotíme pomocí nákladových kritérií hodnocení investic. Efekt investování totiž spočívá v úspoře nákladů. Může se jednat o úsporu nákladů jak investičních, tak nákladů spojených s fungováním projektu tj. nákladů provozních. Hodnotit pouze náklady investiční na vývoj a zakoupení nové technologie a nekalkulovat i s náklady provozními by bylo chybou. Provozní náklady vznikají po celou dobu životnosti hodnoceného projektu. Nákladová kritéria jsou používána při hodnocení projektů, jejichž cílem je pouze úspora nákladů nebo u projektů, kde je vybíráno z různých technických variant, které zajišťují stejný rozsah produkce (např. při náhradě starého stroje novým se stejnou kapacitou), v našem případě náhrada ručního měření automatizovaným.

Zhodnocení výhodnosti zavedení automatizované měřicí technologie oproti současnému stavu, tj. manuálnímu měření pracovníků skladu a měření obsluhy strojů popsanému v kapitole 1. bude provedeno na výrobcích Druckscheibe a Buchse (výkresy jsou součástí volných příloh, popis měření je v kapitole 1.1 a 1.2). Automatizace měření těchto výrobků byla požadavkem jednatele, jelikož se jedná o dlouhodobé zakázky pro významné zákazníky.

4.1 Rozbor

Pracovní fond (určený z roku 2013)

Kalendářní rok	Pracovních dnů	Placený svátek	Pracovních hodin směna 7,5 hod.	Pracovních hodin směna 8 hodin	Průměrný měsíc
2013	252	9	1890	2016	21

Díl buchse

Měsíční odbyt	13000ks/měsíc
Výrobní dávka	13000ks/měsíc
Kusů za směnu při 100% kontrole obsluhou	430ks/7,5h
Provoz	třisměnný
Běžná kontrola	každý 20kus
Čas ručního měření dílu	14s
Zvýšený produktivity při zrušení 100% kontroly	7%
Dílů za směnu bez 100% kontroly	460ks/7,5h

Měřicí dávka v boxu (paleta pro 60ks)	420ks
Čas měření dávky	5,5h
obsluha buňky	0,2h/dávka

Díl Druckscheibe

Měsíční odbyt	10000ks/měsíc
Výrobní dávka	10000ks/měsíc
Kusů za směnu při 100% kontrole obsluhou	360ks/7,5h
Provoz	třísměnný
Běžná kontrola	každý 20kus
Čas ručního měření dílu	33s
100% kontrola ve skaldu	500ks/7,5h
Měřicí dávka v boxu (paleta pro 36ks)	360ks
Čas měření dávky	6h
obsluha buňky	0,2h/dávka

Z důvodu kapacity měřicího boxu je nutné, aby nedocházelo k překrývání výroby těchto dvou dílů. Při současném objemu výroby činí počet potřebných směn pro oba díly 59, v průměrném měsíci je 63 směn. Kapacitně tedy měřicí box při zachování současného způsobu výroby dostačuje. Z časů měření dávek je patrná nevytíženost boxu v řádu hodin za den, kterou je možné v případě potřeby vykrýt měřením dílů uskladněných. Uskladněné nezměřené díly vzniknou při výrobě totožných dílů na dalším pracovišti, případně při souběhu výroby obou dílů. Z hlediska plánování výroby a především manipulace je vhodné se vyvarovat uskladnění dílu před měřením a dodržet koncept výroby a následného okamžitého měření i za cenu krátkého prostoje měřicího boxu, který za dobu nečinnosti vykazuje prakticky nulové provozní náklady.

4.1.1 Náklady na ruční měření

Mzdové náklady na ruční měření

	Hrubá mzda průměrný měsíc (vč. dovolené a placených svátků)	Náklady na zdravotní a sociální pojištění placené zaměstnavatelem	OOPP	Lékařské prohlídky	Průměrné měsíční náklady celkem	průměrné náklady na hodinu práce
sklad	18680	6352	122	38	25032	149
obsluha stroje	32279	10975	122	38	43254	275

Hodinová sazba pro ruční měření ve skladu je 149Kč/hod

Hodinová sazba pro ruční měření u stroje je 275Kč/hod

Fixní náklady na ruční měření

	Fixní náklady [Kč]
Měřidla (válnové a třmenové kalibry)	14500
Celkem	14500

4.1.2 Náklady na automatizované měření

Strojní náklady

	Náklady [Kč/rok]
Kalkulované odpisy (obvyklá doba provozu 10let)	141440
Kalkulované úroky	14144
Prostorové náklady	8100
Náklady na energie	12000
Náklady na údržbu a opravy	8000
Celkem	183684

$$\text{Strojní hod. sazba} = \frac{\text{strojní náklady}}{\text{využitelný časový fond stroje}} = \frac{183684}{6048} = 30,4\text{Kč/h}$$

Hodinová sazba pro obsluhu buňky je shodná se sazbou pro ruční měření **149Kč/hod**

Fixní náklady na automatizované měření

	Fixní náklady [Kč]
Robot KR6 R900Sixx	487000
Renishaw Equator 300 + interface	639600
Moduly Beckhoff	10300
Upínače PZN 50-2 (2ks) + magnetická čidla	40600
Konstrukce buňky	130000
Podstava robota + sada vozíků vlastní výroby	36000
Palety včetně čepů (80ks)	26000
LCD vizualizace	27500
Bezpečnostní prvky	15400
Drobný spojovací materiál	2000
Celkem	1414400

4.2 Porovnání nákladů

4.2.1 Díl Buchse

náklady na ruční měření = hod. sazba ruční prac. x čas měření dílu = $275 \times 0.0035 = 0,96\text{Kč/kus}$

náklady na aut. měření = hod. sazba aut. prac. x čas měření dílu = $30,4 \times 0.013 = 0,39\text{Kč/kus}$

náklady na obsluhu buňky = hod. sazba ruční prac. x čas obsluhy/měřicí dávka = $149 \times 0,2/420 = 0,07\text{Kč/kus}$

4.2.2 Díl Druckscheibe

náklady na ruční měření = hod. sazba ruční prac. x čas měření dílu = $149 \times 0.009 = 1,34\text{Kč/kus}$

náklady na aut. měření = hod. sazba aut. prac. x čas měření dílu = $30,4 \times 0.018 = 0,55\text{Kč/kus}$

náklady na obsluhu buňky = hod. sazba ruční prac. x čas obsluhy/měřicí dávka = $149 \times 0,2/360 = 0,08\text{Kč/kus}$

4.2.3 Měsíční úspora

	Měsíční produkce ks/měsíc	Náklady na měření dílu Kč/ks	Měsíční náklady na měření
Buchse (ruční)	13000	0,96	12480
Buchse (aut.)	13000	0,46	5980
Druckscheibe (ruční)	10000	1,34	13400
Druckscheibe (aut.)	10000	0,63	6300
Úspora Kč/měsíc			13600

4.2.4 Doba návratnosti

$$D_n = \frac{\text{pořizovací náklady aut.} - \text{pořizovací náklady ruční}}{\text{úspora}} = \frac{1399900}{13600} = 8,51\text{let}$$

4.2.5 Závěr technicko - ekonomického zhodnocení

Doba návratnosti 8,5 let splňuje požadavek návratnosti investice, který byl stanoven na 10let jako dvojnásobek doby účetních odpisů. Předpokládaná životnost zařízení 10let plně vyhovuje z hlediska konstrukce buňky a robota. Životnost Equatoru nelze určit na základě zkušeností ani výpočtů vzhledem k tomu, že se jedná o jedno z prvních zařízení nasazených v nepřetržitém provozu za dobu prodeje necelých dvou let. S tímto rizikem je ovšem počítáno od začátku projektu. Jak bylo psáno v úvodu, projekt automatizace není zaměřený na generování zisku, ale investice je hodnocena především podle dalších neekonomických kritérií. Největší význam má oslovení nových zákazníků a dokladování kontroly, kterou vyžaduje především automobilový průmysl. Při získávání zakázek je už jen přítomnost tohoto technologického zařízení na dílně často rozhodujícím faktorem v nekompromisním konkurenčním prostředí. Získaná stabilní zakázka pro automobilový průmysl v desetitisícových sériích následně přináší zisk, který kompenzuje delší dobu návratnosti. Již za krátkou dobu provozu měřicího boxu byly získány dvě zakázky, které svým objemem vytíží jeden soustruh Nakamura WT100.

5 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a realizovat řešení automatizace měření ve firmě Astro Kovo Plzeň s.r.o. za účelem splnění požadavků dodavatelů automobilového průmyslu. Na základě analýzy současného stavu měření a potřeb firmy byl navržen měřicí systém s měřidlem Renishaw Equatora integrovaným do buňky s manipulačním systémem založeným na spojení průmyslového robota a paletového zásobníku dílů. Celý tento systém dostal název Astro Measuring Box a byl nejen navržen, ale i kompletně realizován během šesti měsíců v rámci řešení diplomové práce. Realizace probíhala samozřejmě pod vedením majitele firmy pana Duška, bez jehož aktivního přístupu, podpory a zkušeností by projekt namohl být úspěšně dokončen.

V současnosti je měřicí box úspěšně využíván pro kontrolu dílů Buchse a Druckscheibe, kdy se v praxi osvědčuje nejen jeho funkčnost a spolehlivost, ale i působení na zvýšený firemní know how a upevnění vztahů se zákazníky. Úspěšné zavedení měřicího boxu s Equatorem bylo podnětem pro další projekt tentokrát s optickým měřidlem Keyence IM6010 určeným pro kontrolu dílu Collar. Pro řešení byla převzata kompletní konstrukce boxu, manipulačního systému a programového řešení paletizace. Díky rychlosti optického měření se jeví využití průmyslového robota a paletového systému v této aplikaci velice výhodně. Měřicí box tedy není vázán pouze na jeden druh měřidla, ale lze do něj zařadit prakticky všechna měřidla popsaná v kapitole 2. Astro Measuring Box měl původně sloužit jen pro vnitropodnikové účely a získání výhody oproti konkurenci. Ovšem po značném ohlasu ze strany zákazníků a především obchodních zástupců společností Renishaw a Keyence se naskytla vážná možnost vstoupit s tímto produktem na trh a zhodnotit tak nemalé finanční investice a úsilí vložené do tohoto projektu.

Zavedení nových technologií do firmy Astro Kovo lze hodnotit jednoznačně kladně. Zadaný úkol ze strany firmy byl splněn v plném rozsahu a jeho řešení nabízí nové možnosti pro kontrolu dílů v menších a středních firmách s obdobným výrobním programem. Jelikož byla práce zaměřená prakticky, bylo možné ověřit a použít spoustu znalostí získaných během studia a připravit se na vstup do průmyslové praxe což hodnotím velice pozitivně.



obr. 50 Modulární uspořádání tří boxů s měřidly Equator, IM6010 a značícím strojem Technomark

6 Zdroje

- [1] Investiční rozhodování a dlouhodobé financování, 2. přepracované vydání – Praha 2006, ISBN 80-86929-01-9, nakladatelství Ekopress, s.r. o.; autor Josef Valach
- [2] Vici & C S.r.l , Přehledový katalog.
<http://www.kubousek.cz/katalogy/Vici/vici.pdf8>, 10.12.2012
- [3] <http://eshop.prumyslove-kamery.cz/GigE-Vision-20145/117-acA1300-30gc>, 5.1.2013
- [4]http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/products/industrial_robots/small_robots/kr6_r900_sixx/start.htm, 20.2.2013
- [5]KUKA ROBOTER GMBH. *KR Agilus sixx with C variant specification*. Version: Spez KR AGILUS sixx V2 en (PDF), stav 22.08.2012
- [6] KUKA ROBOTER GMBH. *Návod k obsluze a programování pro konečné uživatele – KUKA Systém software 8.2*. Verze: KSS 8.2 END cs, stav 27.1.2011
- [7] RENISHAW PLC. *Installation and user guide H-5504-8500-02-A*. Gloucestershire UK
- [8] KOLÍBAL, Zdeněk a KNOFLÍČEK, Radek. Morfologická analýza stavby průmyslových robotů. 1. vyd. Košice: Vienaľa, 2000. 178 s. Edícia vedeckej a odbornej literatúry. ISBN 80-88922-27-5.
- [9] ZEHNULA, Karel. Čidla robotů. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1999. 370 s. Automatizace a regulace; Sv. 32. ISBN 80-03-00563-9.
- [10] TALÁCKO, Jaroslav a MATIČKA, Robert. Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. 236 s. ISBN 80-01-01291-3.
- [11] MLČOCH, Lubomír a SLIMÁK, Ivan. Řízení kvality a strojírenská metrologie. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987. 330 s
- [12] STANĚK, Jiří a NĚMEJC, Jiří. Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. 58 s. ISBN 80-7043-363-9

Seznam příloh

Vázané: Příloha č.1	Měřicí program pro díl Druckscheibe.....	II-IV
Příloha č.2	Programy pro paletizaci a obsluhu měřidla.....	V-VII
Příloha č.3	Globální uživatelské proměnné souboru config.dat.....	VII-IX
Příloha č.4	Výkresová dokumentace měřených součástí.....	X-XIII
Příloha č.5	Výkresová dokumentace k projektu měřícího boxu.....	XIV-XX

pozn. Výkresová dokumentace je z důvodů ochrany údajů poskytnuta s omezeným počtem rozměrů případně bez výrobních výkresů jednotlivých dílů.

Příloha č.1 Měřicí program pro díl Druckscheibe

<pre>\$\$ *****mereni s robotem***** DMISMN/'Start Template',05.2 FILNAM/'Start Template',05.2 DV(0)=DMESWV/'14,1,1,388' UNITS/MM,ANGDEC DECPL/ALL,DEFAULT V(0)=VFORM/ALL DISPLAY/TERM,V(0),STOR,DMIS,V(0) D(0)=DATSET/MCS T(CORTOL_X1)=TOL/CORTOL,XAXIS,-0.1,0.1 T(CORTOL_Y1)=TOL/CORTOL,YAXIS,-0.1,0.1 T(CORTOL_Z1)=TOL/CORTOL,ZAXIS,-0.1,0.1 T(DIAM_1)=TOL/DIAM,-0.1,0.1 \$\$ *****zakladni nastaveni***** RECALL/SA(D3L10.1.10.3.A0.0-B0.0) SNSLCT/SA(D3L10.1.10.3.A0.0-B0.0) SNSET/APPRCH,2 SNSET/RETRCT,1 SNSET/DEPTH,OFF SNSET/CLRSRF,OFF SNSET/SEARCH,2 FLY/10 FEDRAT/POSVEL,MMPS,350 ACL RAT/POSACL,MMPS,3000 FEDRAT/MESVEL,MMPS,3 RECALL/DA(Druckscheibe_unt en_1462revA) DMESW/DELAY, 'Wait' \$\$ *****vyrov nani dilu***** GOTO/CART,0,0,5 \$\$<MEAS_CIRCLE name = "kruz nice_vyrov nani_XY"> MODE/PROG,MAN F(kruz nice_vyrov nani_XY)=FEAT/CIRCLE,INNER,CART,0,0,-4,0,0,1,51.15 MEAS/CIRCLE,F(kruz nice_vyrov nani_XY),5 PTMEAS/CART,25.575,0,-4,-1,0,0 PTMEAS/CART,7.903,24.323,-4,-0.309,-0.951,0 PTMEAS/CART,-20.691,15.033,-4,0.809,-0.588,0 PTMEAS/CART,-20.691,-15.033,-4,0.809,0.588,0 PTMEAS/CART,7.903,-24.323,-4,-0.309,0.951,0 ENDMES \$\$<\MEAS_CIRCLE = kruz nice_vyrov nani_XY> GOTO/CART,0,0,5 D(Druckscheibe_unt en_1462revA)=TRANS/XORIG,FA(kruz nice_vyrov nani_XY),YORIG,FA(kruz nice_vyrov nani_XY) \$\$<MEAS_PLANE name = "rovina_prostorove_vyrov nani_Z"> MODE/PROG,MAN F(rovina_prostorove_vyrov nani_Z)=FEAT/PLANE,CART,1.083,-1.714,0,-0,0,1 MEAS/PLANE,F(rovina_prostorove_vyrov nani_Z),3 PTMEAS/CART,-2.301,27.26,0,0,0,1 PTMEAS/CART,-18.623,-19.705,0,0,0,1 PTMEAS/CART,24.047,-12.585,0,0,0,1 ENDMES \$\$<\MEAS_PLANE = rovina_prostorove_vyrov nani_Z> GOTO/CART,20,0,3 DATDEF/FA(rovina_prostorove_vyrov nani_Z).DAT(A)</pre>	<p>úvodní nastavení ze šablony programu</p> <p>vyvolání doteku</p> <p>nastavení nájezdů, vyhledávací vzdálenosti, aproximace</p> <p>zadání rychlostí, zrychlení</p> <p>vyvolání globálního souřadného systému získaného hrubým vyrovnáním podle samostatného programu</p> <p>zastavení předstihu při automatickém měření</p> <p>vyrovnání souřadného systému (X, Y), podle vnitřní kružnice na pět měřicích bodů s příjezdem a odjezdem na souřadnice 0, 0, 5</p> <p>přesunutí a uložení souřadného systému do středu kružnice (lokálně)</p> <p>prostorové vyrovnání osy Z podle horní roviny dílu měřené na tři body</p> <p>uložení prostorového vyrovnání (lokálně)</p>
--	---

```

$$ *****mereni*****
SNSSET/APPRCH,1
SNSSET/RETRCT,1
SNSSET/SEARCH,1

COMPARE/ON

$$<MEAS_POINT name = "bod_vyska_Z1">
MODE/PROG,MAN
F(bod_vyska_Z1)=FEAT/POINT,CART,0,20,-17.035,0,0,1
MEAS/POINT,F(bod_vyska_Z1),1
PTMEAS/CART,0,20,-17.035,0,0,1
ENDMES
$$<\MEAS_POINT = bod_vyska_Z1>

$$<MEAS_POINT name = "bod_vyska_Z2">
MODE/PROG,MAN
F(bod_vyska_Z2)=FEAT/POINT,CART,17.32,-10,-17.035,0,0,1
MEAS/POINT,F(bod_vyska_Z2),1
PTMEAS/CART,17.32,-10,-17.035,0,0,1
ENDMES
$$<\MEAS_POINT = bod_vyska_Z2>

$$<MEAS_POINT name = "bod_vyska_Z3">
MODE/PROG,MAN
F(bod_vyska_Z3)=FEAT/POINT,CART,-17.32,-10,-17.035,0,0,1
MEAS/POINT,F(bod_vyska_Z3),1
PTMEAS/CART,-17.32,-10,-17.035,0,0,1
ENDMES
$$<\MEAS_POINT = bod_vyska_Z3>

GOTO/CART,0,0,5
GOTO/CART,32.5,0,5

$$<MEAS_CIRCLE name = "kruznice_58k7">
P(PArc1)=PATH/ARC,CART,0,0,-1.3,0,0,1,29.014,0,360,1,0,0
MODE/PROG,MAN
F(kruznice_58k7)=FEAT/CIRCLE,OUTER,CART,0,0,-1.3,0,0,1,58.028
MEAS/CIRCLE,F(kruznice_58k7),8
PAMEAS/DISTANCE,0.5,SCNVEL,MMPS,30,P(PArc1),1,0,0
ENDMES
$$<\MEAS_CIRCLE = kruznice_58k7>

GOTO/CART,0,32,-1.3

$$<MEAS_POINT name = "bod_vyska_14">
MODE/PROG,MAN
F(bod_vyska_14)=FEAT/POINT,CART,0,32,-3.1,0,0,1
MEAS/POINT,F(bod_vyska_14),1
PTMEAS/CART,0,32,-3.1,0,0,1
ENDMES
$$<\MEAS_POINT = bod_vyska_14>
GOTO/CART,0,39,-0.5

$$<MEAS_CIRCLE name = "kruznice_70h8">
MODE/PROG,MAN
F(kruznice_70h8)=FEAT/CIRCLE,OUTER,CART,0,0,-7,0,0,1,69.986
MEAS/CIRCLE,F(kruznice_70h8),4
PTMEAS/CART,0,34.993,-7,0,1,0
GOTO/CART,-21,36.4,-7
GOTO/CART,-36.4,21,-7
GOTO/CART,-42,0,-7
PTMEAS/CART,-34.993,0,-7,-1,0,0 - měřící bod
GOTO/CART,-36.4,-21,-7
GOTO/CART,-21,-36.4,-7 } - přejezdy
GOTO/CART,0,-42,-7
PTMEAS/CART,0,-34.993,-7,0,-1,0
GOTO/CART,21,-36.4,-7
GOTO/CART,36.4,-21,-7
GOTO/CART,42,0,-7
PTMEAS/CART,34.993,0,-7,1,0,0
ENDMES
$$<\MEAS_CIRCLE = kruznice_70h8>

GOTO/INCR,15,0,0,1
GOTO/CART,0,180,90
    
```

Změna nájezdové vzdálenosti, odjezdu a vyhledávání. Po vyrovnání nehrozí nebezpečí kolize
spuštění režimu porovnávání, specifická funkce pro Equator

proměření výšky dílu ve třech bodech

přejezd

měření kružnice 58k7 metodou skenování rychlostí 30mm/s a opsáním plného úhlu

odjezd

měření výšky osazení v jedné bodě

-měření kružnice 70h8 bodovou metodou na čtyři doteky
-přejezdy mezi body je nutné u vnější kružnice dopsat ručně, měření na EQ oproti CMM nedovoluje použití AUTO módu

-odjezd za hranici bezpečného prostoru definovaného v aplikaci Automation

\$\$ *****vyhodnoceni***** T(58k7)=TOL/DIAM,-0.026,0.004 T(70h8)=TOL/DIAM,-0.032,0.014	-zadání tolerance 58k7 a 70h8 přepočítaných vůči skutečným rozměrům vzorového dílu
OUTPUT/FA(kruznice_58k7),TA(58k7) OUTPUT/FA(kruznice_70h8),TA(70h8)	-zadání výstupů měření pro zvolené prvky s jejich tolerancemi -na základě těchto výstupů je vyhodnocen dobrý nebo špatný díl
T(vyska_14)=TOL/DISTB,NOMINL,13.94,-0.04,0.06,ZAXIS,AVG OUTPUT/FA(bod_vyska_Z1),FA(bod_vyska_14),TA(vyska_14) OUTPUT/FA(bod_vyska_Z2),FA(bod_vyska_14),TA(vyska_14) OUTPUT/FA(bod_vyska_Z3),FA(bod_vyska_14),TA(vyska_14)	-zadání tolerance a výstupů pro měření délky 14mm
COMPARE/OFF	-ukončení komparačního režimu
ENDFIL	-konec programu

Příloha č.2 Hlavní program, program paletizace

<pre>DEF hlavni_program_3() INI ;zadani vstupnich promenych pri startu programu ;***** zkontrolovat pri startu ***** PAL1.IX = 0 PAL1.IY = 1 PAL1.IZ = 10 INICIALIZACE ;zadani vstupnich promennych ;rozmery v palete PAL1.IX_MAX = 6 PAL1.IY_MAX = 6 PAL1.IZ_MAX = 10 PAL1.POLOHA_CEPY_X = 200. PAL1.POLOHA_CEPY_Y = 200. PAL1.VYSKA_CEPY = 15.5 PAL1.DELKA_UCHOPENI_CEPY = 11. PAL1.ROZTEC = 80. PAL1.DIF_ROZTECE = 0. PAL1.VYSKA_PATRA = 26.8 PAL1.VYSKA_DILU = 17.05 PAL1.DELKA_UCHOPENI_DILU = 5. PAL2.IX = PAL1.IX PAL2.IY = PAL1.IY PAL2.IZ = (PAL1.IZ_MAX - PAL1.IZ + 1) VB_EQUATOR_PLNY = FALSE VB_GRIPPER1_PLNY = FALSE VB_GRIPPER2_PLNY = FALSE VB_GRIPPER1_VZOR = FALSE VB_GRIPPER2_PLNY = FALSE VB_DOBRY_DIL = FALSE VB_NABIRACI_PAL_PRAZDNA = FALSE VB_VSE_VYBRANO = FALSE VB_VZOR_VYJMUTY = FALSE VB_KONTROLA_VZORU = TRUE VI_KONTROLA_VZORU = 100 ;konec foldu ;***** PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT SET GRP 2 State=OPN CONT at START Delay=0 ms SET GRP 1 State=OPN CONT at START Delay=0 ms REPEAT VYPOCET MASTER IF VI_DILU_PO_VZORU == VI_KONTROLA_VZORU THEN VB_KONTROLA_VZORU = TRUE VI_DILU_PO_VZORU = 0 ENDIF nabrat_vzor_3() nabrat_dil_paleta_3() IF VB_EQUATOR_PLNY THEN vyjmout_dil_equator_3() zalozit_dil_equator_3() ELSE zalozit_dil_equator_3() ENDIF odlozit_dil_paleta_3() odlozit_neshodny_dil_3() IF (VB_EQUATOR_PLNY AND VB_NABIRACI_PAL_PRAZDNA) THEN vyjmout_dil_equator_3() odlozit_dil_paleta_3() odlozit_neshodny_dil_3() ENDIF odlozit_vzor_3() UNTIL (VB_VSE_VYBRANO AND NOT VB_EQUATOR_PLNY AND NOT VB_GRIPPER1_PLNY AND NOT VB_GRIPPER2_PLNY) PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT END</pre>	<p>název programu inicializační proces ze šablony</p> <p>zadání výchozí pozice na paletě při startu programu pomocí indexu pozic (X prvek v řadě, Y řada, Z patro)</p> <p>tzv. FOLD, obsahem tohoto řádku jsou všechny níže uvedené proměnné, při zabalení dojde k výraznému zřehlednění</p> <p>zadání rozměrů palety, délky a uchopení</p> <p>zadání výchozí pozice odkládací palety na základě výchozí pozice nabírací palety</p> <p>logické proměnné platné při startu programu</p> <p>podmínky pro práci se vzorovým dílem, vzor není vyjmutý, bude se měřit jako první díl a následně po 100ks</p> <p>najetí do výchozí pozice, otevření obou upínačů kontinuálně při startu pohybu</p> <p>vstup do smyčky s podmínkou na konci</p> <p>ověření kontroly vzoru, umístění do foldu</p> <p>posloupnost podprogramů pro paletizaci a obsahu EQ (přenesení palety a načtení kódu, jsou podprogramy programu nabrat_dil_paleta)</p> <p>podmínka pro vystoupení ze smyčky, prázdná nabírací paleta, prázdné upínače a EQ</p> <p>odjezd do výchozí pozice, konec programu</p>
---	--

<pre>DEF nabrat_dil_paleta_3() INI</pre>	<p>název programu inicializační proces ze šablony programu</p>
<pre>IF (NOT VB_GRIPPER1_PLNY) THEN</pre>	<p>podmínka pro vykonání obsahové části programu</p>
<pre>INICIALIZACE BODU DILU ;hranice rotace gripperul pri vyzvednuti dilu z palety HRANICE_PRIM_ROTACE_PAL1[1] = 3 HRANICE_PRIM_ROTACE_PAL1[2] = 3 HRANICE_PRIM_ROTACE_PAL1[3] = 3 HRANICE_PRIM_ROTACE_PAL1[4] = 3 HRANICE_PRIM_ROTACE_PAL1[5] = 3 HRANICE_PRIM_ROTACE_PAL1[6] = 4 HRANICE_PRIM_ROTACE_PAL1[7] = 4 HRANICE_PRIM_ROTACE_PAL1[8] = 4 HRANICE_PRIM_ROTACE_PAL1[9] = 4 HRANICE_PRIM_ROTACE_PAL1[10] = 4</pre>	<p>pole hodnot podle jednotlivých pater s určením mezní řady na paletě, kde má dojít ke změně orientace nástroje z důvodu kolize nástroje s rukou robota nebo podstavou</p>
<pre>;primarni rotace gripperul pri vyzvednuti dilu z palety ROTACE_PRIM_PAL1[1] = 180 ROTACE_PRIM_PAL1[2] = 180 ROTACE_PRIM_PAL1[3] = 180 ROTACE_PRIM_PAL1[4] = 180 ROTACE_PRIM_PAL1[5] = 180 ROTACE_PRIM_PAL1[6] = 180 ROTACE_PRIM_PAL1[7] = 180 ROTACE_PRIM_PAL1[8] = 180 ROTACE_PRIM_PAL1[9] = 180 ROTACE_PRIM_PAL1[10] = 180</pre>	<p>hodnota natočení nástroje kolem osy Z (rotace A) v první části palety, využitím pole hodnot lze jednoduše měnit natočí nástroje v každém patře samostatně</p>
<pre>;sekundarni rotace gripperul pri vyzvednuti dilu z palety ROTACE_SEK_PAL1[1] = - 90 ROTACE_SEK_PAL1[2] = - 90 ROTACE_SEK_PAL1[3] = - 90 ROTACE_SEK_PAL1[4] = - 90 ROTACE_SEK_PAL1[5] = - 90 ROTACE_SEK_PAL1[6] = - 90 ROTACE_SEK_PAL1[7] = - 90 ROTACE_SEK_PAL1[8] = - 90 ROTACE_SEK_PAL1[9] = - 90 ROTACE_SEK_PAL1[10] = - 90</pre>	<p>hodnota natočení nástroje kolem osy Z (rotace A) za hranic rotace</p>
<pre>;vypocet indexu pozic pro vyzvednuti dilu z palety IF (PAL1.IY == PAL1.IY_MAX) AND (PAL1.IX == PAL1.IX_MAX) AND (PAL1.IZ == 1) THEN RETURN ;návrát do hl. programu ELSE IF (PAL1.IY == PAL1.IY_MAX) AND (PAL1.IX == PAL1.IX_MAX) AND NOT (PAL1.IZ == 1) THEN ODNEST_PALETU_3() ELSE IF (PAL1.IX < PAL1.IX_MAX) THEN PAL1.IX = PAL1.IX + 1 ELSE PAL1.IX = 1 PAL1.IY = PAL1.IY + 1 ENDIF ENDIF ENDIF ENDIF</pre>	<p>-výpočet pozice na paletě pro vyzvednutí dílu v tomto kroku jsou vypočtené pouze indexy pozic, ne souřadnice -součástí této části je také skok do podprogramu přenesení palety v případě že index pozice dosáhne maximální hodnoty ve směru X,Y</p>
<pre>VB_NABIRACI_PAL_PRAZDNA = (PAL1.IY == PAL1.IY_MAX) AND (PAL1.IX == PAL1.IX_MAX) VB_VSE_VYBRANO = (PAL1.IY == PAL1.IY_MAX) AND (PAL1.IX == PAL1.IX_MAX) AND (PAL1.IZ == 1)</pre>	<p>nastavení logických příznaků prázdné palety a prázdného vozíku, využitých v hlavním programu</p>
<pre>;validace indexu</pre>	<p>-přeskočení pozic v palatě kde není díl z důvodu umístění čepů -pro paletu Druckscheibe nabyla vynechána žádná pozice</p>


```

;vypocet pozic pro vyzvednuti dilu
XNAD_NABIRACI_PALETOU.X = PAL1.POLOHA_CEPU_X
XNABRANI_PALETA_PRIJEZD.X = PAL1.ROZTEC * (PAL1.IX - 1)
IF (PAL1.IX > 1) AND (PAL1.IX < 8) THEN
    XNABRANI_PALETA_PRIJEZD.X = XNABRANI_PALETA_PRIJEZD.X +
    PAL1.DIF_ROZTECE
ENDIF
IF (PAL1.IX == PAL1.IX_MAX) THEN
    XNABRANI_PALETA_PRIJEZD.X = XNABRANI_PALETA_PRIJEZD.X + 2
    * PAL1.DIF_ROZTECE
ENDIF

XNAD_NABIRACI_PALETOU.Y = PAL1.POLOHA_CEPU_Y
XNABRANI_PALETA_PRIJEZD.Y = PAL1.ROZTEC * (PAL1.IY - 1)
IF (PAL1.IY > 1) AND (PAL1.IY < 8) THEN
    XNABRANI_PALETA_PRIJEZD.Y = XNABRANI_PALETA_PRIJEZD.Y +
    PAL1.DIF_ROZTECE
ENDIF
IF (PAL1.IY == PAL1.IY_MAX) THEN
    XNABRANI_PALETA_PRIJEZD.Y = XNABRANI_PALETA_PRIJEZD.Y + 2
    * PAL1.DIF_ROZTECE
ENDIF

XNABRANI_PALETA_PRIJEZD.Z = ((PAL1.VYSKA_PATRA * (PAL1.IZ -
1)) + PAL1.VYSKA_DILU + 5.)
XNABRANI_Z_PALETY = XNABRANI_PALETA_PRIJEZD
XNABRANI_Z_PALETY.Z = ((PAL1.VYSKA_PATRA * (PAL1.IZ - 1)) +
PAL1.VYSKA_DILU - PAL1.DELKA_UCHOPENI_DILU)

XNABRANI_PALETA_ODJEZD = XNABRANI_PALETA_PRIJEZD
XNABRANI_PALETA_ODJEZD.Z = (PAL1.VYSKA_PATRA * (PAL1.IZ - 1)
+ 2 * PAL1.VYSKA_DILU - PAL1.DELKA_UCHOPENI_DILU)

;vypocet rotace A pro vyzvednuti dilu
IF (PAL1.IY > HRANICE_PRIM_ROTACE_PAL1[PAL1.IZ]) THEN
    XNAD_NABIRACI_PALETOU.A = ROTACE_SEK_PAL1[PAL1.IZ]
    XNABRANI_PALETA_PRIJEZD.A = ROTACE_SEK_PAL1[PAL1.IZ]
    XNABRANI_PALETA_ODJEZD.A = ROTACE_SEK_PAL1[PAL1.IZ]
    XNABRANI_Z_PALETY.A = ROTACE_SEK_PAL1[PAL1.IZ]
ELSE
    XNAD_NABIRACI_PALETOU.A = ROTACE_PRIM_PAL1[PAL1.IZ]
    XNABRANI_PALETA_PRIJEZD.A = ROTACE_PRIM_PAL1[PAL1.IZ]
    XNABRANI_PALETA_ODJEZD.A = ROTACE_PRIM_PAL1[PAL1.IZ]
    XNABRANI_Z_PALETY.A = ROTACE_PRIM_PAL1[PAL1.IZ]
ENDIF

PTP HOME Vel=100 % DEFAULT
CHECK GRP 1 State=OPN at START Delay=0 ms

PTP NAD_NABIRACI_PALETOU CONT Vel=100 % PDAT1
Tool[1]:Gripper 1 Base[5]:PAL1
LIN NABRANI_PALETA_PRIJEZD Vel=2 m/s CPDAT1 Tool[1]:Gripper
1 Base[5]:PAL1
LIN NABRANI_Z_PALETY Vel=0.02 m/s CPDAT2 Tool[1]:Gripper 1
Base[5]:PAL1
SET GRP 1 State=CLO GDAT1 ;upnuti
VB_GRIPPER1_PLNY = TRUE ;logicky priznak
LIN NABRANI_PALETA_ODJEZD Vel=0.2 m/s CPDAT3 Tool[1]:Gripper
1 Base[5]:PAL1
PTP NAD_NABIRACI_PALETOU CONT Vel=100 % PDAT2
Tool[1]:Gripper 1 Base[5]:PAL1
PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT

ELSE
RETURN ;navrat do hl. programu
ENDIF

END

```

-výpočet souřadnice příjezdů, nabrání
dílu a odjezdů
-výpočet je proveden pro případ
nekonstantní rozteče první řady, která
může být upravená kvůli čepům
pomocí hodnoty
PAL1.DIF_ROZTECE
-vypočtené hodnoty jsou automaticky
změněny v datovém souboru, ze
kterého přebírají souřadnice níže
uvedené inline formuláře, musí být
tedy dodržena stavba programu
pozice-souřadnice -pohyby

přřazení hodnot natočení nástroje
kolem osy Z (rotace A) na základě
výše uvedených polí

-pohyb do výchozí pozice
- Kontrola otevření upínače, pokud
není splněno, zastaví se běh
programu. Je příznakem nesplnění
logiky programu

-pohybové bloky zadané pomocí
inline formulářů
-upnutí dílu a změna logické
proměnné

-ukončení podmínky z úvodu
programu

-konec programu

Příloha č.3 Globálně deklarované uživatelské proměnné

<pre>DEFDAT \$CONFIG BASISTECH GLOBALS ;zavreny FOLD AUTOEXT GLOBALS GRIPPERTECH GLOBALS SPOTTECH GLOBALS USER GLOBALS ;otevreny FOLD ;***** ;Make your modifications -ONLY- here ;***** ;vytvoreni noveho datoveho typu STRUC PAL_TYPE REAL ROZTEC ,DIF_ROZTECE ,VYSKA_PATRA ,VYSKA_DILU ,VYSKA_CEP U ,DELKA_UCHOPENI_DILU ,DELKA_UCHOPENI_CEPU ,POLOHA_CE PU_X ,POLOHA_CEPY ,INT IX ,IY ,IZ ,IX_MAX ,IY_MAX ,IZ_MAX ;deklarace promene noveho typu DECL PAL_TYPE PAL1 DECL PAL_TYPE PAL2 ;signaly SIGNAL SI_READY_FOR_SERVICE \$IN[7] SIGNAL SI_READY_FOR_INSPECTION \$IN[8] SIGNAL SI_ERROR \$IN[9] SIGNAL SI_GOOD_PART \$IN[10] SIGNAL SI_BAD_PART \$IN[11] SIGNAL SI_HEART_BEAT \$IN[12] SIGNAL SI_BUSY \$IN[13] SIGNAL SI_SAFE_POSITION \$IN[14] SIGNAL SO_CLEAR_OF_GAUGE \$OUT[9] SIGNAL SO_GAUGE_CYCLE_START \$OUT[10] SIGNAL SO_UNLOADED \$OUT[11] SIGNAL SO_MASTER_MODE \$OUT[12] SIGNAL SO_RESET \$OUT[13] SIGNAL SO_STOP \$OUT[14] SIGNAL SO_DMI_SELECT_0 \$OUT[15] SIGNAL SO_DMI_SELECT_1 \$OUT[16] SIGNAL SO_LCD_DOBRY_DIL \$OUT[20] SIGNAL SO_LCD_NESHODNY_DIL \$OUT[21] ;logicke podminky a priznaky DECL BOOL VB_GRIPPER1_PLNY=FALSE DECL BOOL VB_GRIPPER2_PLNY=FALSE DECL BOOL VB_GRIPPER2_VZOR=FALSE DECL BOOL VB_GRIPPER1_VZOR=FALSE DECL BOOL VB_EQUATOR_PLNY=FALSE DECL BOOL VB_EQUATOR_VZOR=FALSE DECL BOOL VB_HEART_BEAT_MEMORY=TRUE ;pocatecni stav pri kontrole cinnosti equatoru DECL BOOL VB_EQUATOR_OK DECL BOOL VB_NABIRACI_PAL_PRAZDNA=FALSE DECL BOOL VB_VSE_VYBRANO=FALSE DECL BOOL VB_DOBRY_DIL=FALSE DECL BOOL VB_KONEC_PROGRAMU=FALSE DECL BOOL VB_KONTROLA_VZORU=TRUE DECL BOOL VB_VZOR_VYJMUTY=FALSE</pre>	<p>foldy obsahující systémové proměnné</p> <p>fold pro uživatelské proměnné, jeho obsahem jsou všechny níže uvedené deklarace</p> <p>-založení nového datového typu obsahujícího proměnné typu REAL a INTEGER - zpřehlední program, na první pohled je patrné, k jaké paletě proměnná patří</p> <p>deklarace proměnných nového datového typu pro nabírací a odkládací paletu</p> <p>-deklarace vstupních signálů z EQ podle čísel vstupů -tato deklarace není nutná ovšem používat přímo čísla vstupů v programu je nepřehledné, navíc při změně hardwarové konfigurace je nutné opravovat všechny programy</p> <p>-deklarace výstupních signálů do EQ - čísla výstupů (i vstupů) záleží na konfiguraci v softwaru WorkVisual, nikoliv na elektroinstalaci</p> <p>-signály pro vyhodnocení pracovníků</p> <p>deklarace logických příznaků pro paletizaci a obsluhu EQ</p>
--	---

```
;deklarace pole pro rotaci A na PAL1  
DECL INT ROTACE_PRIM_PAL1[10]  
DECL INT ROTACE_SEK_PAL1[10]  
DECL INT HRANICE_PRIM_ROTACE_PAL1[10]  
  
;deklarace pole pro rotaci A na PAL2  
DECL INT ROTACE_PRIM_PAL2[10]  
DECL INT ROTACE_SEK_PAL2[10]  
DECL INT HRANICE_PRIM_ROTACE_PAL2[10]  
  
;deklarace pro odkladani neshodnych dilu  
DECL INT VI_SKLUZ_AKTUALNI_STAV=2  
DECL INT VI_SKLUZ_MAX_STAV=10  
  
;deklarace pro master mode EQ  
DECL INT VI_DILU_PO_VZORU=13  
DECL INT VI_KONTROLA_VZORU=100  
  
ENDDAT
```

-deklarace desetimístných polí celočíselných hodnot (tzn. deset pater)

-hodnoty pro počítání neshodných dílu při odkládání na skluz s omezenou kapacitou

-hodnoty pro výpočet spuštění master měření na základě počítání obrobků

Příloha č. 4 Výkresová dokumentace měřených součástí

Příloha č. 5 Výkresová dokumentace k projektu měřicího boxu