

Kamerové systémy v průmyslové robotice

Anotace:

Bakalářská práce pojednává o robotickém vidění. Na úvod je vyhotovena rešerše strojového a robotického vidění, jejich výhod a omezení a příkladů aplikace. Dále je popsáno pracoviště s průmyslovým robotem a kamerou, úloha, kterou bude robot vykonávat a následné řešení s okomentovaným programem. Závěrem práce je zhodnocení přínosu automatizovaného procesu a rozvedení dalších možností využití.

Klíčová slova:

Strojové vidění, robotické vidění, robotika, detekce, manipulace, KUKA, KR3, Keyence

Camera systems in industrial robotics

Abstract:

Bachelor thesis topic deals with an application of a robotic vision. Search of its advantages, limitations and examples has been made in the introduction. Laboratory workplace with a robot and a camera is described in the second chapter together with the prepared task. Annotated program is located in the third chapter and the final part is dedicated to valorization of benefits and the next potential applications.

Key words:

Machine vision, robot vision, robotics, detection, manipulation, KUKA, KR3, Keyence

Obsah

Úvod	7
1. Kamerové systémy v průmyslové robotice	8
1.1 Obrazové snímače	8
1.2 Filtrování barev	11
1.3 Příslušenství kamerových systémů	12
1.4 3D kamery	14
1.5 Smart kamery	15
1.6 Nejčastější operace využívající robotické vidění	15
1.7 Základní rozdělení umístění kamery vůči robotu	16
1.8 Možnosti komunikace	17
1.9 Nabídka kamerových systémů na českém trhu	20
2. Testovací laboratorní pracoviště	24
2.1 Obecný popis pracoviště	24
2.2 Průmyslový robot KUKA KR 3	25
Efektorová technika	26
3. Programování řídicího systému kamery a robotu	27
3.1.1 Detekce symetrických objektů	28
3.1.2 Detekce nesymetrických objektů	30
3.2 Komunikace s kamerou Keyence	31
3.3 Programová komunikační subroutina	37
3.4 Programová subroutina pohybové úlohy robotu (symetrické předměty)	39
3.5 Programová subroutina pohybové úlohy (tvarově nesymetrické předměty)	40
4. Přínos navrženého řešení	44
Závěr	45
Seznam obrázků	46
Seznam tabulek	46
Seznam použitých zkratk	47
Zdroje	48
Zdroje obrázků	50

Úvod

Strojové vidění si našlo uplatnění jak v průmyslu, tak i v civilním sektoru. V dnešní době je téměř nemožná masová produkce bez průmyslové automatizace. Zaběhnutým a rozšířeným trendem se stala implementace robotického vidění do automatizovaných výrobních procesů. Při správném návrhu a vyhotovení začleněného samočinného systému do výroby jsou výhody zřejmé - patří mezi ně zvýšení bezpečnosti, opakovatelnosti a produktivity [1]. V současné době jsou tyto soustavy často využívány v automobilovém průmyslu a ve většině moderních výrobních závodů. Rozlišujeme dva pojmy. Strojové vidění je snímání signálu z průmyslové kamery a jeho následné zpracování. Robotické vidění do této soustavy přidává mechanický člen s efektořem, který vykonává mechanickou činnost podle signálů jdoucích z kamery.

Důležitým krokem nejen ve strojním průmyslu je kontrola kvality. Dříve se prováděla většinou pouze na konci výrobního procesu, protože lidská práce je drahá. Moderní heslo zní, že se kvalita nekontroluje, ale vyrábí. Toto lze dodržet i díky strojovému a robotickému vidění, které dohlíží na výrobu a díky opakovatelnosti produkce, které lze docílit moderními technologiemi a automatizovanými procesy. Dnes se výrobky kontrolují mnohem častěji především díky strojovému vidění, což zamezuje dalšímu použití vadných kusů a tím dochází k dramatickému snížení zmetkovitosti a úspoře na nákladech. S pokrokem techniky lze tyto operace vykonávat pomocí robotického vidění, které je schopné nahradit lidskou práci. Oproti dřívějším dobám je dnes tato možnost finančně dostupná, spolehlivá a relativně jednoduchá na zavedení.

1. Kamerové systémy v průmyslové robotice

Následující kapitola je věnována uvedení do problematiky strojového a robotického vidění, základních typů snímačů, rozdělení jejich rozložení, zpracování barevného obrazu a příslušenství kamerových systémů včetně rozboru jejich výhod a omezení.

1.1 Obrazové snímače

Pokud snímáme obraz scény, světlo prochází čočkou a dopadá na obrazový snímač, což je světlocitlivá elektronická součástka, která umožňuje převedení fotonů na elektrony. Tato klíčová komponenta je umístěná ve všech videokamerách, fotoaparátech a dalších zařízeních, které jsou určeny pro zpracování nebo zachování obrazu.

Obrazový snímač využívá jevu známého jako fotoefekt, kdy foton při nárazu do atomu převede některý z jeho elektronů do tzv. excitovaného stavu, kdy mu odevzdá energii

$$E = \nu \cdot h [\text{J}],$$

kde ν je frekvence fotonu (u viditelného světla v řádu stovek THz) [Hz],

h je Planckova konstanta [J·s]

Tato energie se uloží v poli kondenzátorů jako elektrický náboj, jehož velikost je závislá na vlnové délce světla jdoucího do obrazového snímače

Dřívějším a již překonaným vývojovým stádiem obrazových snímačů byly snímací elektronky, užívané v televizních kamerách od doby prvních plně elektronických televizorů. Koncem 80. let 20. století však byly vytlačeny polovodičovými snímači pro své četné nevýhody a zastaralost. V současnosti se používají CCD nebo CMOS snímače.

CCD snímač

CCD neboli charge-coupled device (zařízení s vázanými náboji) převádí náboj (vyvolaný světelnou expozicí odpovídajícího pixelu) na různě velké napětí a jako analogový signál, který je zesílen a mimo senzor převeden na signál digitální, (Obr. 1)

Mezi nevýhody snímače patří větší počet elektronických obvodů mimo senzor z důvodu práce s analogovými signály, větší náklady na výrobu a velká spotřeba elektrické energie (cca

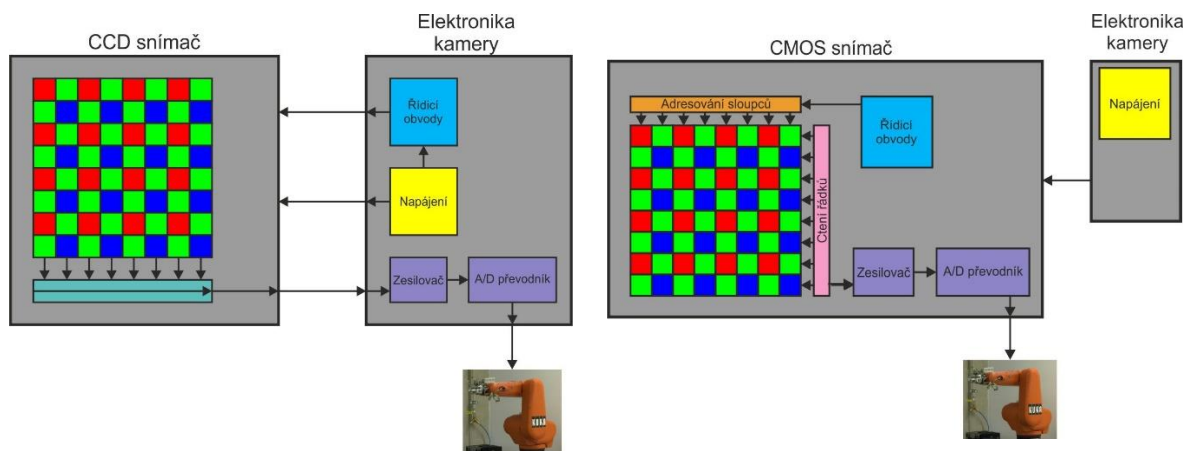
50x větší než u CMOS [6]). Z důvodu větší spotřeby zde vzniká riziko přehřívání, které také snižuje kvalitu snímaného obrazu.

Další nevýhodou je nutná větší přenosová rychlost na uzlech, protože veškerý signál jde přes jeden (nebo několik) zesilovačů. Na obrázcích 1a (CCD) a 1b (CMOS) lze porovnat složitost konstrukce na tištěném spoji. [6]

CMOS snímač

CMOS (complementary metal–oxide–semiconductor) senzor je v mnoha ohledech velmi podobný jako CCD snímač, liší se však v tom, že jednotlivé světlocitlivé buňky jsou čteny přímo a v jeden okamžik, protože u sebe mají elektronické obvody, které výrazně zesložitují konstrukci čipu. Jelikož se CMOS senzory vyrábí stejnou technologií jako procesory do počítače, výrobní cena CMOS čipu je menší než CCD čipu. V dřívějších dobách byla kvalita snímaného obrazu u CMOS senzorů omezená z důvodu menší světlocitlivosti, která se však v posledních letech díky použití pokročilejší technologie výrazně zlepšila a umožnila výrobu levných a kvalitních CMOS senzorů.

CMOS snímač má oproti CCD senzoru hned několik výhod. Každému pixelu náleží vlastní zesilovač i A/D převodník (Obr. 1b), což zvětšuje možnosti využití, může ale dojít k šumu, který se projeví jako pruhy nebo jiné vzory. CMOS snímače mají rychlejší odezvu, nižší spotřebu a menší velikost celého obvodu [6].



Obr. 1 – CCD senzor (a), CMOS senzor (b)

Porovnání

Tab. 1 - Porovnání CCD a CMOS senzorů

Vlastnost	CCD	CMOS
Cena	vysoká	nízká

Spotřeba	vysoká	nízká
Digitální šum	nízký	vysoký
Citlivost	vysoká	nízká
Možnost výřezu	ne	ano

Rozdělení podle tvaru snímače

Zde rozlišujeme dvě základní skupiny, které se liší především svým využitím. Obrazové snímače s řádkovým senzorem (Obr. 2a) se používají například ve skenerech nebo ve spojení s dopravníkovým pásem, plošné senzory (Obr. 2b) nachází využití hlavně v digitálních fotoaparátech a videokamerách.

Řádková kamera obsahuje snímač, který má v principu obvykle jeden jediný řádek obrazových bodů. Druhý rozměr snímání je zajištěn relativním pohybem senzoru oproti snímanému objektu. Díky jednodušší konstrukci je kamera s řádkovým senzorem v určitých aplikacích levnější a vhodnější varianta. Lineární snímač je až několikanásobně citlivější ve srovnání s plošným senzorem, proto může snímat s kratším expozičním časem vysokou frekvencí v řádu desítek tisíc řádků za sekundu. Také z pohledu optiky je řádková kamera lepší řešení, protože světlocitlivé buňky mohou být bezprostředně vedle sebe a zpracovávající elektronika vedle, což znamená při stejné velikosti pixelu až 2x vyšší jemnost oproti klasické kameře.

Nevýhody kamery s plošným senzorem vyvažuje její vlastnost snímat celou scénu během jednoho okamžiku. Vhodná je například pro prostory, kde se snímají stacionární objekty nepohyblivou kamerou. Zde je nutno zvolit rozlišení kamery podle aplikace (většinou podle přesnosti měření), což je faktor výrazně ovlivňující cenu kamery. Ve většině komerčně využívaných zařízeních se používá právě plošných obrazových snímačů, stejně jako v této bakalářské práci.



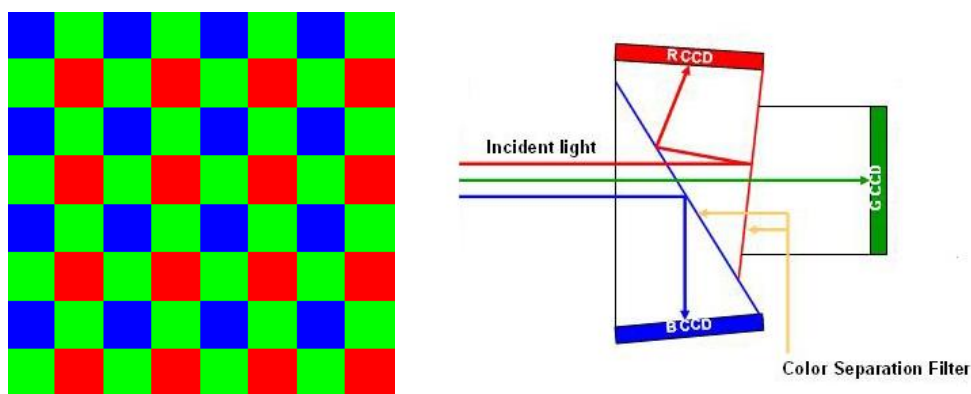
Obr. 2 - Lineární (a) a plošné (b) rozložení CMOS snímače

1.2 Filtrování barev

Obrazové snímače jsou v základní konfiguraci schopné rozpoznat pouze intenzitu dopadajícího světla bez jakékoliv informace o barvě. Tento nedostatek je řešen přidáním filtru před každý pixel propouštějící jen světlo jedné vlnové délky, kterému je potom přiřazen barevný odstín. Dvě základní metody registrace barev jsou pomocí modelů RGB (Red, Green, Blue) a CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Key), které v různých kombinacích dohromady skládají většinu barev viditelných lidským okem.

Nejpoužívanější jednočipové Bayerovo rozložení (Obr. 3a) obsahuje tři druhy filtrů (červený, zelený a modrý/RGB), které jsou rozloženy do pravidelné mřížky, přičemž zelených filtrů je 2x více než modrých nebo červených, protože lidské oko je nejvíce citlivé právě na zelenou barvu. [4]

Alternativou k Bayerově masce je například tříčipové uspořádání, které rozkládá světlo přicházející objektivem na základní RGB barvy pomocí optického hranolu (Obr. 3b). Výsledný obraz potom vykazuje vyšší sytost barev, kamera je ale pro svojí složitější konstrukci těžší a dražší než při jednočipovém uspořádání.



Obr. 3 - Bayerův filtr (a), tříčipové uspořádání (b) CCD senzoru

1.3 Příslušenství kamerových systémů

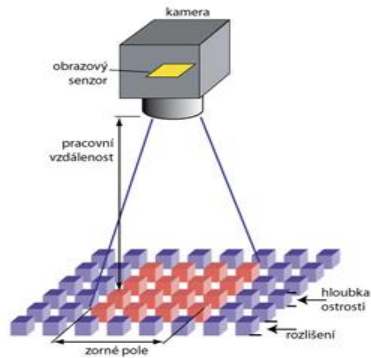
Obrazové snímače se nikdy nepoužívají samostatně. V kombinaci s objektivem, vhodným osvětlením a prostředím lze docílit obrazu vhodného pro další zpracování a analýzu. Uvedeno bude několik součástí optických soustav, které se používají ve strojovém vidění.

Objektivy

Objektivy jsou nedílnou součástí kamerových systémů vytvářející opticky změněný obraz soustředěný na snímač. Ačkoliv jako základní objektiv by stačila jakákoliv spojná čočka, v praxi se používají soustavy čoček, které potlačují různé optické vady, nebo jsou schopné měnit svou ohniskovou vzdálenost – optický zoom (přiblížení). Cílem objektivu je vytvořit na optickém senzoru takový dvojrozměrný obraz třírozměrné skutečnosti, který lze vyhodnotit pro řešení úlohy strojového vidění. V průmyslové praxi se však optický zoom využívá minimálně – složitější objektivy často zkreslují. [17]

Na Obr. 4 jsou znázorněny základní veličiny při snímání trojrozměrných objektů. Optická soustava vytváří obraz, který by měl vzhledem k požadavkům úlohy splňovat následující parametry:

- dostatečné rozlišení
- přijatelné geometrické zkreslení
- přijatelné perspektivní zkreslení
- dostatečnou hloubku ostrosti
- vhodný kontrast

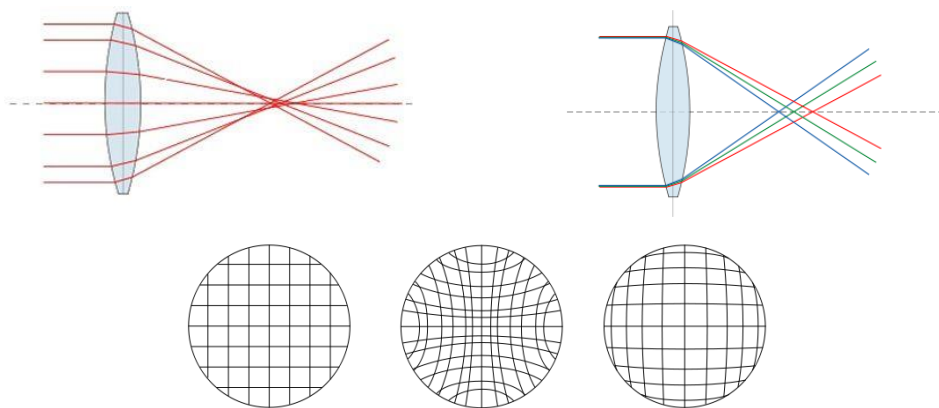


Obr. 4 - Základní parametry optické soustavy

Optické vady

Tato kapitola je obzvláště důležitá ve strojovém vidění, kde se často analyzují tvary a barvy, které mohou být zkresleny nevhodně použitým objektivem, znehodnocujícím výstup měření. Rozebrány budou základní druhy vad a jejich důležitost při současné úloze.

Sférická vada (též kulová či otvorová) je způsobena tehdy, pokud na čočku dopadá široký svazek paprsků, přičemž paprsky jdoucí blízko kolem středu se za čočkou setkávají v jiném bodě, než okrajové paprsky širokého svazku (Obr. 5a). Barevná vada neboli chromatická aberace vzniká při průchodu světla čočkou, které rozkládá bílé světlo na jednotlivé vlnové délky podle indexu lomu. V důsledku této vady je obrazem bodu bod určité barvy, který je obklopen mezikružemi jiných barev (Obr. 5b). Ke zkreslení obrazu dochází tehdy, je-li zvětšení vnější části obrazu odlišné od zvětšení vnitřní části (Obr. 5c) To lze nejlépe zobrazit pomocí tzv. rastru, kdy se ve skutečnosti rovné úsečky zakřivují podle typu zkreslení. Roste-li zvětšení od středu k okraji, nastává tzv. poduškovité zkreslení. Vyrůstá-li naopak od okraje do středu, nazýváme toto zkreslení soudkovité. Tato vada se projevuje nejvíce u širokoúhlých objektivů [18].



Obr. 5 - Sférická vada (a), barevná vada (b), distorze obrazu (c)

Temné boxy

V některých aplikacích je důležité dodržet přesně navržené osvětlení, které nebude rušeno vnějšími vlivy (denní světlo, vypnuté/zapnuté osvětlení atp.). Pro tyto případy se používá tzv. dark box (temný box), kde se sledovaný objekt většinou nachází v uzavřeném prostoru spolu s vhodně zvoleným osvětlovačem, kde probíhá snímání obrazu za předem definovaných podmínek.

Osvětlení

Velmi důležitou součástí optické soustavy je správné nasvícení objektu a podklad, které často rozhodují o kvalitě či dokonce použitelnosti výstupu, který může být nulový, pokud jsou tyto podmínky zvoleny nevhodně (nevýrazné světlo, odlesky, splývající pozadí, ...). Na trhu existuje velký počet různých typů osvětlovačů a zdrojů světla, které je třeba vhodně zvolit pro jednotlivé případy. Důležité taky je, aby celá sledovaná oblast byla rovnoměrně nasvícena, což se dá ovlivnit buď vzdáleností zdroje světla od plochy, výkonem osvětlení nebo počtem svítidel [20].

1.4 3D kamery

Takzvané 3D skenování se stalo čím dál používanějším způsobem záznamu především tvaru a pak i barev, kdy cílem skenování je vygenerovat 3D model. Na zaznamenání trojrozměrného prostoru existuje mnoho technologií, přičemž každá má své výhody i limity, například technologie CT (industrial computed tomography) je nevhodná pro skenování lesklých nebo průhledných dílů. Většina technologií 3D skenování je založená na minimálně dvou kamerách, které zaznamenávají samostatné obrazy, a následně se digitálně rekonstruuje prostorový

model. Výhoda těchto kamer spočívá v nedestruktivní inspekci tvaru, například v reverzním inženýrství, prototypování a kontrole tvarů a rozměrů.

1.5 Smart kamery

Smart kamery jsou autonomní zařízení, ve kterém probíhá nasnímání obrazu, analýza a odeslání úlohy v jediném přístroji. Nejvíce se inteligentní kamery liší rozlišením obrazu, rychlostí čipu a softwarovou výbavou. Charakteristické pro ně je několik digitálních vstupů a výstupů, hlavní výhodou je kompaktnost a snadné nastavení rozhodovacího procesu. Složitější úlohy však mohou být nad možností inteligentních kamer a je na místě zvolit vhodnější řešení.

1.6 Nejčastější operace využívající robotické vidění

V této kapitole bude uvedeno několik nejpoužívanějších aplikací, bez kterých by byly některé výrobní procesy drahé, pomalé či neekonomické. Stroje jsou schopny tyto činnosti vykonávat neměnně a přesně.

Kontrola stavu výrobků na dopravníkovém pásu

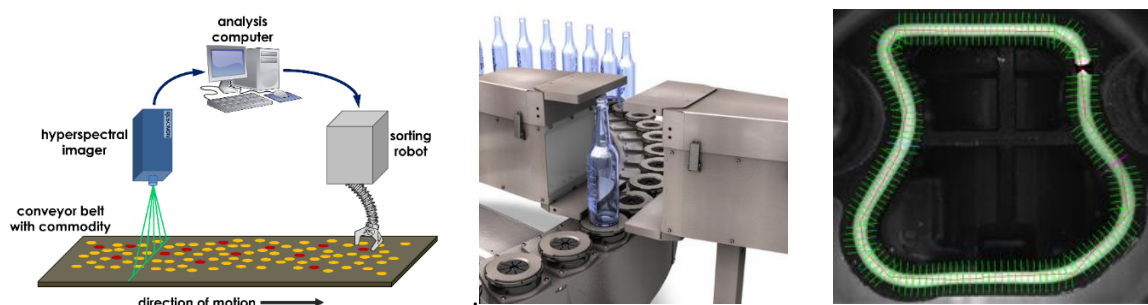
Kamera snímající dopravníkový pás i s výrobky (Obr. 6a) je schopná detekovat překrývající se kusy či zmetky. Tyto úchytky se potom mohou z linky manipulátorem vyřadit či zajistit jejich správná poloha, pokud to vyžaduje další zpracování. Dalším využitím může být čítání počtu objektů na pásu a jejich následné balení. Velkou výhodou je nenarušení kontinuity výroby.

Kontrola etiket a výrobních kódů dílů

V průmyslové praxi je důležité vyrobit výrobek s čitelnou etiketou, což pomáhá usnadnit strojové vidění. Zde je možné kontrolovat správnou pozici a natočení etikety a její neporušený stav. Často se využívá data matrix či čárových a QR kódů. Se vzrůstajícím počtem informací obsažených v kódu vzrůstá jejich složitost, což může zvyšovat riziko nečitelnosti či poškození. Jejich výstupem je pak řetězec znaků, se kterými je možné dále pracovat. Linka na kontrolu etiket (Obr. 6b) je schopná zpracovat 66 000 lahví za hodinu.

Kontrola nanesených materiálů

Pro kontrolu lepených, těsněných či svařených dílů je nutné zkontrolovat, zda bylo lepidlo, těsnění či přídatný materiál správně nanesen na daný povrch. To lze realizovat kamerou, která snímá pracovní prostor v reálných barvách, tudíž je schopná rozpoznat nanesený materiál od podkladu (Obr. 6c). Lze kontrolovat například tloušťku (množství) nebo polohu materiálu v různých bodech, výstupem tedy je OK/NOK informace. Díly vyhodnocené jako zmetky se očistí od špatně naneseného tmelu a zařadí se znovu do výrobního procesu.



Obr. 6 - Výrobní linka s kamerou a manipulátorem (a), kontrola etiket (b), kontrola nanesení těsnění (c)

1.7 Základní rozdělení umístění kamery vůči robotu

Jednou z prvních otázek při sestavování soustavy kamera-řídící jednotka-robot je volba umístění kamery vůči robotu. Toto rozhodnutí hraje v dalším návrhu zásadní roli, jelikož si často každý případ vyžaduje vlastní řešení a jejich konstrukce velmi ovlivňuje výsledné řešení, ať se jedná o jeho nejlepší provedení či konečnou cenu. Jejich vhodnost bude dále rozvedena v následujícím rozdělení.

Kamera umístěná na těle robota

Tento způsob se používá všude tam, kde je třeba zkoumat detailní části sledovaného objektu či pohybovat kamerou v různých směrech a natáčet jí do různých úhlů (obr. 7a). To ovšem může způsobit změny v nasvícení nebo přímo natočení kamery do zdroje světla, kde hrozí riziko dramatického omezení rozpoznávací schopnosti kamery. Toto nastavení většinou vyžaduje složitější analytické algoritmy. Pohyb kamery v prostoru také může způsobit vibrace a rozmazání obrazu, což vede k nedokonalému zpracování informací [5].

Kamera umístěná mimo tělo robota

Velmi používaná konfigurace, ve které je výhodou statický obraz kamery. Při programování robota je ale nutné počítat s tím, že může část ramene nebo efektoru zakrývat sledovanou plochu. Pokud je nutné sledovat velkou pracovní oblast, zvyšuje se minimální nutné rozlišení kamery, což se může negativně odrazit na výpočetní době ovládací jednotky.

Kamera může být umístěná buď stacionárně, nebo na pohybovém zařízení. První možnost se používá v případě, kdy se sledování objektů odehrává v zorném poli stacionárně umístěné kamery, nevzniká proto nutnost s ní pohybovat. U druhé varianty se kamera nachází mimo tělo robota, je však schopna svojí polohu v prostoru měnit posuvným či rotačním pohybem. Lze použít například na dopravníkovém pásu, kdy se rychlost posuvu kamery sladí s rychlostí pásu a je možné sledovat výrobek v relativním klidu po delší dobu. Tato aplikace se netěší takovému využití jako první možnost, protože většinou změnu polohy zajišťují pohybující se sledované objekty. Výhodou jsou nízké nebo žádné vibrace v případě správně navrženého rámu (tuhý a ukotvený) a snadné vedení datových a napájecích kabelů [5].



Obr. 7 - Kontrola kvality automobilového sedadla (a), kontrola kvality solárních panelů (b)

1.8 Možnosti komunikace

Přístroje, které spolu spolupracují, spolu musí komunikovat buď fyzicky přes datový kabel, nebo bezdrátově. Komunikační rozhraní zprostředkovává datový přenos obrazu mezi kamerou/ami a systémem strojového vidění. Maximální rychlost snímání kamery nejvíce ovlivňuje komunikační rychlost, proto je účelné zaznamenat jen tolik dat, kolik je možné z kamery odeslat. Rozhraní, která kamery používají, vycházejí většinou z komerčních rozhraní používaných u PC. Často nelze jednoznačně určit, které rozhraní je nejvýhodnější a je nutné zvolit nejvíce příznivé i s různými nedostatky či omezeními, ať už je to délka kabelu, šířka pásma či napájení.

Komunikačních rozhraní je mnoho, nejvíce se však v dnešní době používá standard USB 2.0/3.0, Gigabitový Ethernet, RS232 a Camera Link. Každý z uvedených standardů má svoje výhody a omezení, je proto třeba je pro každou aplikaci vybírat podle jejich parametrů (Tab. 2) co nejvhodněji [15].

Porovnání rozhraní

Tab. 2 - Porovnání typů rozhraní

	FireWire	GigE	USB 3.0	Camera Link	RS 232
Šířka pásma	80 MB/s	125 MB/s	400 MB/s	680 MB/s	14,4 KB/s
Délka kabelu	4.5 m	100 m	3 m	10 m	15 m
Zátěž CPU	Nízká	Střední	Nízká	Střední	Nízká
Využití	Klesající	Vysoké	Vysoké	Nízké	Klesající
Napájení	45 W	15,4 W	4,5 W	Bez napájení	0,1 W
Standard	IIDC DCAM	GigE Vision	USB3 Vision	Camera Link	RS-232C

Komunikační standard RS-232

Jelikož je právě tohoto standardu využito pro přenos informací mezi řídicími jednotkami kamery a robota, bude v této kapitole popsáno detailněji, než jeho alternativy. Standard RS-232C (jeho poslední varianta z roku 1969), označovaný také jako sériová linka nebo sériový port se využívá jako komunikační rozhraní pro dvě zařízení, kde jsou jednotlivé bity přenášených dat vysílány v sérii po zvláštních vodičích, jedná se tedy na rozdíl od ostatních rozhraní o zcela bezkolizní fyzickou vrstvu [15].

V současné době rozhraní RS-232C (a jeho modifikace RS-422 a RS-485) u větších datových toků ustoupilo novějším standardům, používá se ale stále pro méně náročné aplikace zejména pro svůj jednodušší princip, například v průmyslové praxi.

Přenos dat zajišťuje standard s asynchronní komunikací (vysílač a přijímač se taktují vzájemně pomocí potvrzovacích signálů, nejde tedy o hodinový takt). Pořadí přenosu bitů je od nejméně významného bitu (LSB) po bit nejvýznamnější (MSB). Počet datových bitů lze volit, nejčastěji se používá 8 bitů, ve výjimečných případech i 7 nebo 9 bitů. Logický stav 0 nebo 1 je reprezentován pomocí dvou možných bipolárních úrovní napětí nabývajících hodnot nejčastěji ± 10 V (záporné napětí odpovídá log. 1 a kladné napětí odpovídá log. 0).

I když komunikační zařízení znají rychlost, s jakou se data přenášejí, musí nejprve proběhnout synchronizace zasláním definovaných dat, v případě RS-232 každé sekvenci datových bitů předchází jeden tzv. start bit, kterým se přepne linka z klidového stavu do stavu opačného. Po start bitu následují tzv. paritní bity a za ním jeden nebo dva tzv. stop bity,

kterými se linka opět uvede do klidového stavu. Nejdůležitějšími vodiči jsou Tx (vysílání), Rx (přijímání) a GND (zem) sloužící k samostatnému přenosu dat.

Tab. 3 - Popis konektorů RS 232

DCD - Data Carrier Detect	Detekce nosné. Modem oznamuje terminálu, že na telefonní lince detekoval nosný kmitočet.
RXD - Receive Data	Tok dat z modemu (DCE) do terminálu (DTE).
TXD - Transmit Data	Tok dat z terminálu (DTE) do modemu (DCE).
DTR - Data Terminal Ready	Terminál tímto signálem oznamuje modemu, že je připraven komunikovat.
SGND - Signal Ground	Signálová zem
DSR - Data Set Ready	Modem tímto signálem oznamuje terminálu, že je připraven komunikovat.
RTS - Request to Send	Terminál tímto signálem oznamuje modemu, že komunikační cesta je volná.
CTS - Clear to Send	Modem tímto signálem oznamuje terminálu, že komunikační cesta je volná.
RI - Ring Indicator	Indikátor zvonění. Modem oznamuje terminálu, že na telefonní lince detekoval signál zvonění.

Parita

Parita je nejjednodušší způsob, jak bez vysokých nároků na výpočetní výkon zabezpečit přenos dat. Ve vysílacím zařízení se sečte počet jedničkových bitů a doplní se paritním bitem tak, aby byla zachována předem dohodnutá podmínka lichého nebo sudého počtu jedničkových bitů. Zde rozlišujeme:

- Sudá parita – počet jedničkových bitů + paritní bit = sudé číslo
- Lichá parita – počet jedničkových bitů + paritní bit = liché číslo
- Space parity – paritní bit je vždy v log. 0, používá se například při komunikaci s 7bitového zařízení s 8bitovým, kdy paritní bit nahrazuje tvrdou log. 0 poslední bit v byte, tím je zachována kompatibilita s 8bitovým přenosem.
- Mark parity - Paritní bit je nastaven tvrdě na log. 1, při kompenzaci 7bitového provozu je třeba jej na přijímací straně nulovat, jinak není kompatibilní s ASCII

Rychlost

Zde se jako směrodatná jednotka použít Baud za sekundu (symbolová nebo znaková rychlost), což je počet změn stavu přenosového média za sekundu. Na běžných sériových portech lze dosáhnout maximální rychlosti 115200 Bd/s, ostatní rychlosti jsou odvozené dělením tohoto čísla. Nejpoužívanější rychlosti jsou: 115200, 57600, 38400, 19200, 9600,

4800, 2400 Bd/s. Přenosová rychlost je vždy nižší než rychlost baudová, protože ke každým osmi bitům se připojuje ještě jeden startbit, jeden nebo dva stopbity a případně paritní bit. Různá přenosová rychlost také znamená různé maximální délky vodičů, protože je potom přenos více odolný vůči zvýšené kapacitě vedení.

1.9 Nabídka kamerových systémů na českém trhu

V této kapitole bude uvedena řada kamerových systémů dostupných na trhu, jejich stručný popis a charakteristika a případně vhodnost aplikace v průmyslové praxi. Porovnávat se budou pouze kamerové systémy pro podobné využití jako je předmětem této práce, tzn. rozpoznávání barev, tvarů, rozměrů atp.

Cognex In-Sight 500

Řada In-Sight 500 je výkonný stacionární systém strojového vidění umístěný v robustním litém hliníkovém pouzdru s utěsněnými průmyslovými konektory M12, který najde uplatnění v extrémních podmínkách. Pro potravinářský průmysl se používá obal z nerezové oceli, obě varianty jsou certifikované na stupeň krytí IP65. In-Sight 500 prosazuje systém zrychleného snímkování, u kterého lze dosáhnout snímkovací frekvence až 500 fps. Tento systém strojového vidění disponuje vestavěným osvětlením a dostupné rozlišení lze nastavit na 320x240, 640x480 a 1024x768 pixelů.

Cognex In-Sight Micro

In-Sight Micro je jeden z nejmenších systémů strojového vidění na trhu. Se svými rozměry 30x30x60 mm je vhodný pro použití do stísněných prostorů. Pouzdro z tlakově litého zinku a oceli dokáže čelit těžkému provozu v průmyslové praxi. Objektiv je výměnný a lze ho upevnit pomocí CS závitu (nebo s mezikroužkem pro objektiv se závitem C). Jediný kabel pro napájení a Ethernet lze zapojit průmyslovým konektorem M12, další konektor M8 potom zajišťuje vysokorychlostní spínání a výstupy.

Simatic VS-110

Tento model se používá především pro kontrolu úplnosti smontovaného dílu, bezchybného výlisku nebo všude tam, kde se dá vyšetřit bezchybnost dílu z kontrastního dílu snímaného objektu. Prodává se jako celý komplet (optický senzor s přednastaveným objektivem, procesorovou jednotkou infračerveným back light osvětlovačem, kabely a CD nosičem se softwarem) a tělo optického snímače z litého hliníku je navrženo pro co největší flexibilitu upnutí do požadované pozice. CCD čip na kameře je schopný snímat v rozlišení 640x480 pixelů při snímkovací frekvenci 58 fps. Do procesorové jednotky se zapojuje jak senzorová hlava, tak napájení osvětlovače. Simatic VS-110 se používá především pro jednodušší aplikace, kde se

jednotka naučí rozpoznávací analýzu a výstupy jsou pak údaje OK/NOK nebo OK_A/OK_B/NOK 24V DC, které se dají napojit například přímo na pneumatické ventily.

PPT Vision Impact A10

Tato inteligentní kamera pro strojové vidění disponuje integrovaným vyhodnocováním a díky vývojovému prostředí Impact s ní lze provádět inspekce jako detekce objektu, inspekce úhlu, natočení, zarovnání, rozměru, pozice a rozpoznání čarového kódu, rozpoznání znaků a tak dále. Datovým výstupem jsou rozhraní Gigabitový Ethernet a RS232.

Datalogic DataVS2

Optický senzor od firmy Datalogic se vyznačuje kompaktními rozměry (70x52x40 mm) a jednoduchou konstrukcí s krytým vyměnitelným objektivem a vestavěným kruhovým osvětlovačem. Starší VGA standard zprostředkovává obraz ve stupních šedi s rozlišením 640x480 pixelů při snímkovací frekvenci 60 fps. Všechny verze optického snímače VS2 lze připojit k přístroji VSM, který zobrazuje obraz kamery společně s analyzovanými výsledky.

Keyence CV-200c

Průmyslová kamera Keyence CV-200c obsahuje CCD optický snímač schopný zachytit a přenést barevný obraz o rozlišení 1600x1200 pixelů za 59 ms. Na závit typu C lze namontovat objektiv vyhovující požadavkům aplikace, který nabízí přímo výrobce včetně konkrétních doporučení. Řídící jednotka s názvem Keyence CV-5000p umožňuje analyzovat široké spektrum případů, například kontrola celistvosti, poškození, rozměrů, tvarů, pozice, montáže a tak podobně. Také lze obraz ještě před rozhodovacím procesem digitálně upravovat, měnit lze kupříkladu kontrast, světlost, filtrace odlesků, intenzita barev, digitální zoom a další. Všechny tyto úpravy se provádí na připojeném monitoru za pomoci přiloženého ovladače. Tato

kamera je pro aktuální úlohu vhodná především díky svému vysokému rozlišení a softwarovému vybavení řídicí jednotky [7].



a) Cognex In-Sight 500



b) Cognex In-Sight Micro



c) Simatic VS-110



d) PPT Vision Impact A10



e) Datalogic DataVS2



f) Keyence CV-200c

Obr. 8 – Nabídka kamerových systémů na českém trhu

Tab. 4 - Porovnání kamerových systémů

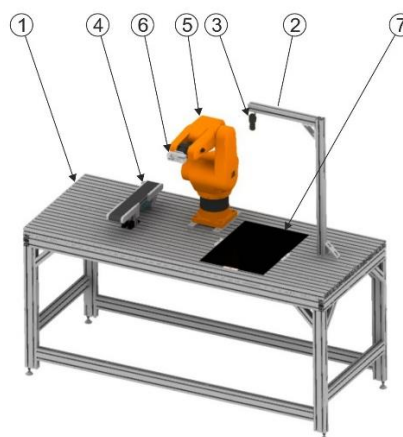
	Typ snímače	Rozlišení	Fps	Rozhraní výstupu	Výhody
Cognex In-Sight 500	CMOS	640x480	200	GigE, I/O	Vysoké fps nebo rozlišení
Cognex In-Sight Micro	CMOS	640x480	58	Ethernet	Miniaturní rozměry
Simatic VS-110	CCD	640x480	58	RS232	Vhodné pro jednoduché úkoly
PPT Vision Impact A10	CMOS	752x480	69	RS232, Ethernet, I/O	Všestrannost, pokročilé funkce
Datalogic DataVS2	CMOS	640x480	60	Ethernet	Rychlé zavedení, konektivita
Keyence CV-200C	CCD	1600x1200	40	RS232, Ethernet, USB,	Vysoké rozlišení

2. Testovací laboratorní pracoviště

Pracoviště se nachází v areálu Technické univerzity v Liberci v budově G na katedře sklářských strojů a robotiky. Podrobněji je popsáno v několika dalších podkapitolách.

2.1 Obecný popis pracoviště

Na pracovním stole je upevněný robot KUKA KR 3 s pneumatickým dvojčelistovým efektozem. Kamera upevněná na rameni Keyence CV-200c s rozlišením 1,92 Mpix a objektivem značky Kowa CCTV HR F1.4/8 snímá nastavenou pracovní plochu o rozměrech 425x590 mm, kde se nachází tvarově nesymetrické předměty, které jsou odkládány na pásový dopravník (Obr. 10b).

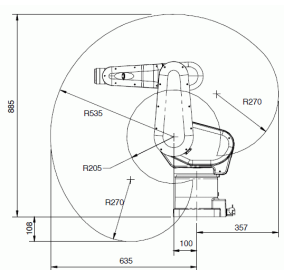
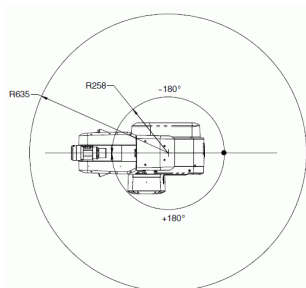


1 - pracovní stůl, 2 - rameno kamery, 3 - kamera, 4 - dopravníkový pás, 5 - robot, 6 - efektor, 7 - pracovní deska

Obr. 9 – Pracoviště (a) a jeho popsaný 3D model (b)

2.2 Průmyslový robot KUKA KR 3

Je určený pro rychlou a přesnou manipulaci s lehkými předměty (max. 3 kg). Disponuje šesti stupni volnosti a jeho stupeň krytí je IP 54, lze ho tudíž použít i do těžších provozů, kde nehrozí jeho poškození prachem či vodou. Opakovatelnost je 0,05 mm a maximální dosah 635 mm (Obr. 10a,b). Programování robotu probíhá přes univerzální controller KUKA KR C2 podporující analogové a digitální vstupy včetně rozhraní RS232, je tedy schopen komunikovat s řadou přístrojů od různých výrobců. Řídicí systém controlleru je založen na operačním systému Windows XP, který lze ovládat teach pendantem (KCP), připojenou klávesnicí a myší v uživatelsky příjemném prostředí. Počátek souřadného systému robotu se nachází uprostřed pracovní desky a souřadný systém chapadla má počátek mezi čelistmi (viz obr.12b)



Obr. 10 - Pracovní prostor robotu KUKA KR 3 (a),(b), teach pendant (KUKA Control Panel) (c)

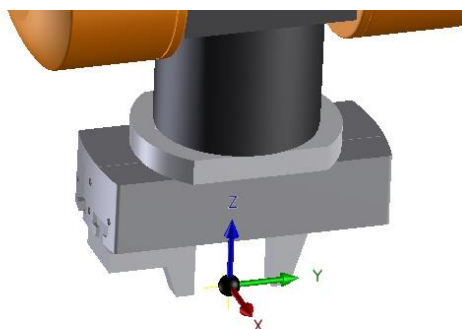
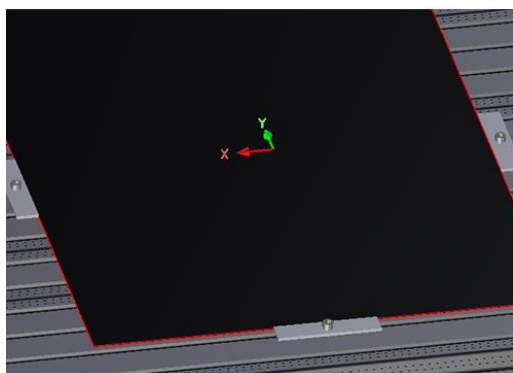
Efektorová technika

Uchopování předmětů zajišťuje FESTO pneumatický lineární dvojčinný grabber HGPL-14-40-A připevněný k robotu pomocí mezipříruby (viz výkres 1-BP-S11000246-0-01-02) se stabilní silou stisku hliníkových čelistí 158 N. Maximální rozevření čelistí je 30 mm, přičemž největší uchopovaný rozměr je 20 mm u písmena U (viz výkres BP-01-02).



Obr. 11 - Efektor robotu

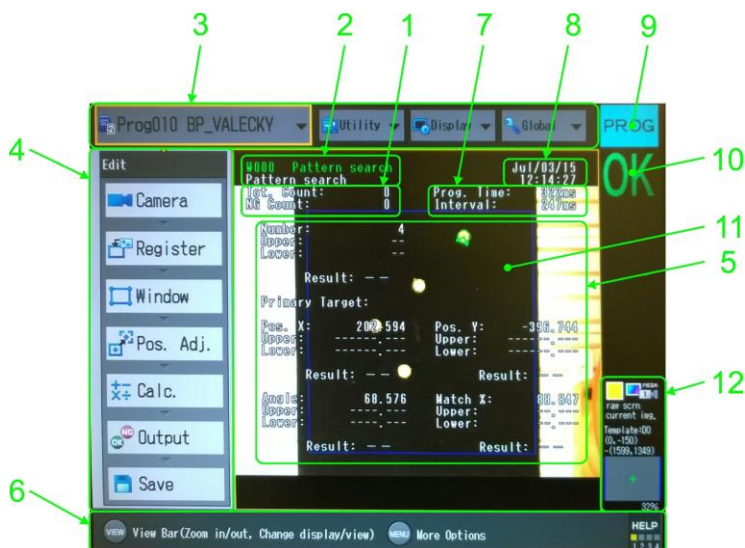
Mezipříruba je navržena s ohledem na minimální hmotnost a snadnou montáž. K robotu je připevněná pomocí čtyř šroubů s vnitřním šestihranem M8, vystředěná kolíkem a efektor je uchycen k mezipřírubě dvěma šrouby M4. Posledním členem jsou hliníkové čelisti s číslem výkresu BP-02-01 připevněné k pohyblivé liště grabberu celkem čtyřmi šrouby M2,5. Jejich pozice je zajištěna vystředovacími dutinkami (viz výkres 1-BP-S11000246-0-01)



Obr. 12 – Souřadný systém řídicího systému kamery (b), souřadný systém robotu

3. Programování řídicího systému kamery a robotu

Programování úloh na řídicím systému kamery probíhá v grafickém prostředí zobrazeném na LCD monitoru, kde se lze pomocí přiloženého ovladače navigovat. Následující kapitola je věnována popisu programování rozpoznávacích úloh (tvarově symetrické a nesymetrické předměty).



Obr. 13 - Uživatelské prostředí řídicího systému kamery

Tab. 5 - Popis uživatelského prostředí kamery

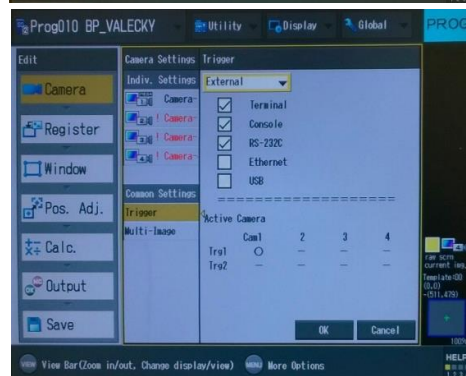
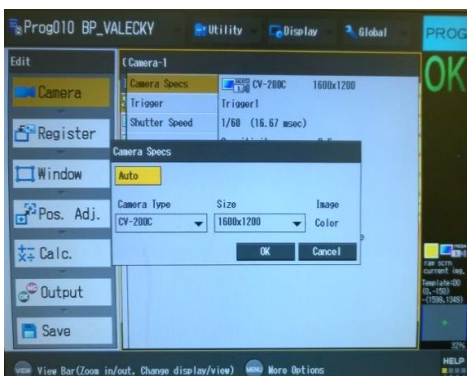
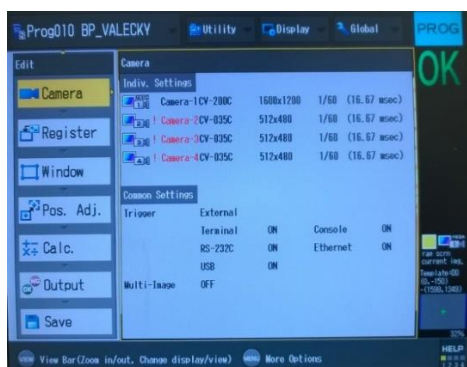
Pozice	Název	Popis
1	Celkový počet/NOK počet	Zobrazuje kumulativní počet a kumulativní počet vyhodnocený jako NOK během Run módu.
2	Název okna	Zobrazuje inspekční nástroj, číslo a název programu.
3	Pás menu	Zobrazuje počet programů a tři pokročilé programovací nabídky.
4	Edit menu	Zobrazuje se pouze v program módu. Většina možností základních inspekcí se nachází v Edit Menu.
5	Náhled výsledku	Zobrazuje výsledky a stav pro aktuální okno.
6	Pomocný pás	Zobrazuje nápovědu pro operace s ovladačem.
7	Datum/Čas a interval programu	Zobrazuje čas, za který byla úloha zpracována (od aktivace spouště až po výpis výsledků), interval udává nejmenší možný interval automatické spouště v závislosti na složitosti úlohy.
8	Datum/Čas	Zobrazuje datum a čas z poslední aktualizace obrazu.
9	Program/Run mód	Zobrazuje aktuální operační mód.
10	Status inspekce	Zobrazuje celkový status inspekce v aktuálním oknu.
11	Obraz kamery	Zobrazuje obraz, který zachycuje kamera.
12	Informace	Zobrazuje informace o připojené kameře a o pozici displeje.

3.1.1 Detekce symetrických objektů

Po zapnutí řídicí jednotky kamery se zobrazí základní domovská obrazovka, na které je nejdominantnější náhled snímané scény spolu s vyhodnocenými parametry. V levém horním rohu se nachází nabídka s programy, kde je lze editovat, vytvářet nové či volit již hotové. Rozklikneme si tedy nabídku s programy a v nabídce New/Edit/Del (Nový/Upravit/Smazat) vybereme možnost New. Zobrazí se nové okno, kde vybereme umístění, kam bude nový program uložen. Vybrat lze jednu ze dvou paměťových karet, označíme paměťovou kartu číslo 2, kde se nachází všechny vytvořené programy. V dalším kroku zvolíme číslo programu, v tomto případě vytvoříme program s číslem 010 a názvem „BP_VALECKY“ a vše potvrdíme příkazem Execute (Provést).

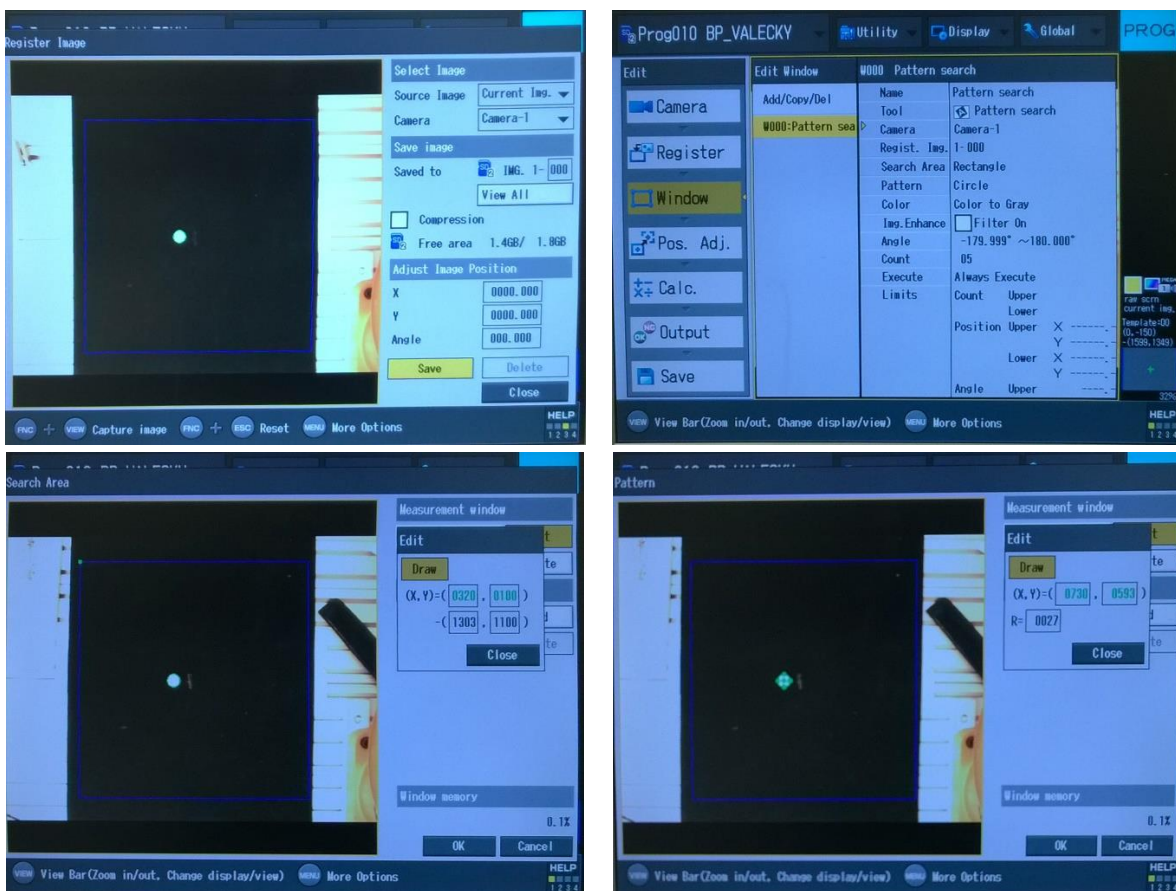
Dále je nutné nastavit parametry kamery v záložce Camera. Nejprve u Common Settings (Běžná Nastavení) v nabídce pro Trigger (Spoušť) zaškrtneme pouze možnost RS-232 pro spoušť č. 1 a možnost multi-image vypneme. V nabídce Indiv. Settings (Individuální Nastavení) vybereme kameru č. 1, u které v dalším menu Camera Specs (Vlastnosti Kamery) zvolíme typ kamery CV-200c a nejvyšší rozlišení 1600x1200 pixelů. Vrátime se o krok zpět do menu Camera-1, kde nastavíme spoušť č. 1, rychlost závěrky 1/60 a citlivost 3.

Podle referenčního obrazu software kamerové soustavy porovnává objekty, je tedy nutné vytvořit vzor a podmínky vyhledávání. Nejprve na pracovní plochu umístíme detekovaný objekt, v tomto případě ocelový váleček postavený na základnu. V menu Register - Camera-1 zvolíme aktuální (Current) obraz jako ten zdrojový. Vstup nastavíme opět z portu č. 1, a obraz uložíme stisknutím tlačítka Save.



Obr. 14 – Záložka nastavení kamery (a), individuální nastavení (b), specifikace kamery (c), nastavení spouště (d)

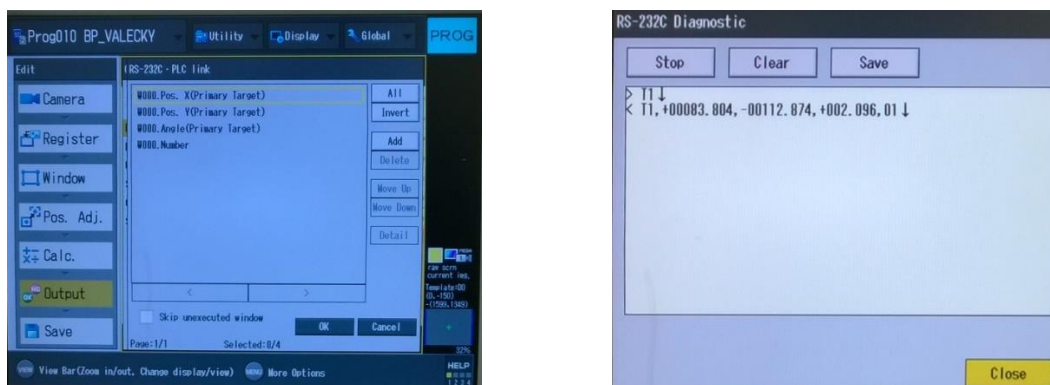
Následujícím krokem je nastavení vyhledávání vzoru. V panelu Window zvolíme nabídku Add/Copy/Del (přidat/kopírovat/smazat) a vybereme přidat. Nastavíme číslo okna a vybereme funkci Pattern search (vyhledávání vzoru). V nové nabídce lze nastavit parametry vyhledávání. Na defaultní hodnotě ponecháme název „Pattern search“ a stejnojmennou funkci. Dále zvolíme číslo kamery 1 a referenční obraz 1-000, na kterém je umístěn vzor pro vyhledávání. V menu Search area u nabídky Measurement window (Měřící okno) tlačítkem Edit vybereme obrazec, který bude podléhat obrazové analýze. V našem případě jde o obdélníkový výřez, který se definuje polohou dvou úhlopříčných bodů. Dále je třeba nastavit tvar obrazce. V menu Pattern lze podobně jako u předchozího případu přidat v nastavení Measurement window tentokrát takový tvar, který bude v definovaném prostoru vyhledáván. V tomto případě to bude kružnice zadaná poloměrem a polohou, která se umístí na ocelový válec na referenčním obrazu. Jelikož není podstatné snímat v barevném spektru, v nastavení Color vybereme color type color to grey (v odstínech šedi). Přestože je válec rotačně symetrický tvar, výstupem řídicí jednotky je úhel detekované součásti. Je proto nutné nastavit rozsah úhlu v rozmezí $-179,999 \div 180^\circ$ a maximální počet válečů (Count) 5, protože větší množství není třeba detekovat. V menu parametry nastavíme počátek (Origin) do středu snímané plochy, tedy $x=800, y=600$ [px], což je počátek i pro efektor robotu. Odsazení bodu vyhledané součásti (detection point) ponecháme nulové a minimální shodu přenastavíme na 75%.



Obr. 15 – Referenční obraz (a), nabídka window (b), oblast, ve které probíhá vyhledávání (c), nastavení vyhledávaného tvaru (d)

Dále je nutné nastavit, jaké informace budou po sériové lince přenášeny. Vybrat lze z mnoha proměnných, které se konfiguruji v záložce output. Tam nadefinujeme výstup pouze pro sériovou linku. V našem případě jsou relevantní souřadnice polohy, úhel a množství, což jsou data typu INT a REAL oddělené čárkou v pořadí: „POZICE_X, POZICE_Y, ÚHEL, POČET“ (viz obr. 16a, 16b). Data budou po sériové lince odesílány v pořadí, v jakém se nastaví v ŘS kamery. Historii přenášených dat lze zapnout v horní záložce Utility.

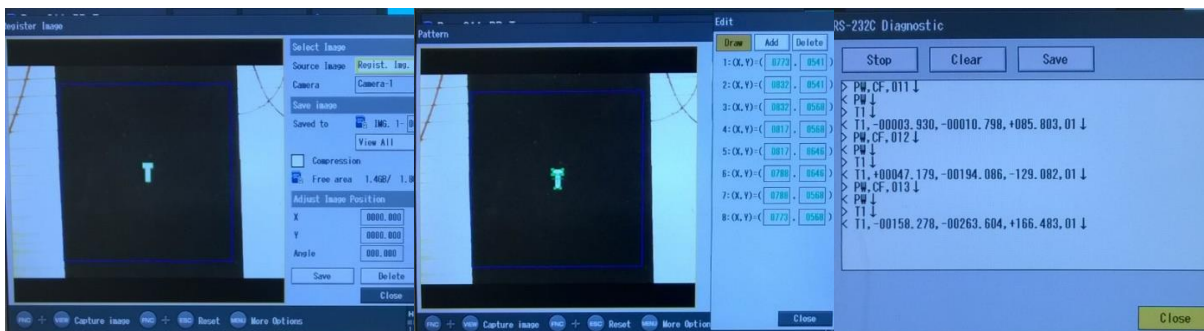
- Symbols: > Směr přenosu informací je z ŘS robotu do ŘS kamery
 < Směr přenosu informací je z ŘS kamery do ŘS robotu
 ↓ Data přenesena



Obr. 16 – Nastavení výstupu po sériové lince (a), komunikační historie (b)

3.1.2 Detekce nesymetrických objektů

Nastavení detekce nesymetrických předmětů probíhá velice podobně jako v předchozí kapitole, rozdíl je v nastavení referenčního obrazu, kam umístíme postupně pro každý program příslušné písmeno. V nabídce Measurement vybereme obrazec typu polygon a zadáme souřadnice hran hledaného písmena (Obr. 17a). Koncový bod musí mít identické souřadnice jako ten počáteční, jinak by nešlo o uzavřený obrazec.



Obr. 17 – Nastavení referenčního obrazu lince (a), nastavení vyhledávaného obrazce (b) komunikační historie celé úlohy včetně přepínání programů (c)

Tab. 6 - Seznam programů

Číslo programu	Název programu
010	BP_VALECKY
011	BP_T
012	BP_U
013	BP_L

3.2 Komunikace s kamerou Keyence

CREAD/CWRITE jsou flexibilní výroky, které mohou být využity při komunikaci mezi controllerem robotu a jinou řídicí jednotkou popisující otevření vstupních a výstupních kanálů (COPEN), čtení z nich dat (CREAD), zapisovat data na otevřené kanály (CWRITE) a uzavírat je (CCLOSE).

95% aplikací CREAD/CWRITE je na poli průmyslových senzorů spojeno sériovou linkou [10]. Řídicí jednotka KR C2 disponuje třemi sériovými porty, které lze jednotlivě otevírat a číst z nich, doporučený je však port č. 3, který je vyhrazen pro komunikaci se systémem VxWorks.

- Přehled příkazů:**
- CHANNEL – deklarace signálových jmen pro vstupní a výstupní kanály
 - COPEN – otevření kanálu
 - CREAD – čtení dat z kanálu
 - CWRITE – zápis dat na kanál
 - CCLOSE – uzavření kanálu

Přiřazení sériové linky KR C2

Standardně jsou sériové linky přiřazeny systému Windows. Aby mohly být využity v KR C2, musí být přiřazeny operačnímu systému VxWorks v systémovém souboru „HW_INF.INI“ (ve složce „C:\KRC\Roboter\INIT“). Požadovaná linka COMx může být vypnuta či zapnuta příkazy ENABLE či DISABLE.

ENABLE – k rozhraní může být přistupováno systémem VxWorks

DISABLE – k rozhraní může být přistupováno systémem Windows

HW_INF.INI

```
[SERIAL]
;ENABLE: COM is accessible by VxWorks
;DISABLE: COM is accessible by WinXp
COM1=DISABLE      ; [ENABLE,DISABLE]
COM2=DISABLE      ; [ENABLE,DISABLE]
COM3=ENABLE       ; [ENABLE,DISABLE] useable only for VxWorks
```

Definice rozhraní

Sériové rozhraní je definováno souborem „SERIAL.INI“ (ve složce „C:\KRC\Roboter\INIT“)

SERIAL.INI

```
;Configuration of the serial ports and their procedures
;
;Lindemann 15.02.99 R12/S4: Protocol XON/XOFF implemented
;Lindemann 19.03.99 R12-T9: Receive buffer expanded to 2048 characters
;Lindemann 27.09.00 R12-T9: COM3/4 implemented

[COM1]
BAUD=9600
CHAR_LEN=8          ; 7,8
STOP_BIT=1         ; 1,2 at time not changeable
PARITY=2           ; EVEN=2, ODD=1, NONE=0
PROC=1            ; 3964R=1, SRVT=2, WTC=3, XONXOFF=4
[COM2]
BAUD=9600
CHAR_LEN=8          ; 7,8
STOP_BIT=1         ; 1,2 at time not changeable
PARITY=2           ; EVEN=2, ODD=1, NONE=0
PROC=1            ; 3964R=1, SRVT=2, WTC=3, XONXOFF=4
[COM3]
BAUD=9600
CHAR_LEN=8          ; 7,8
STOP_BIT=1         ; 1,2 at time not changeable
PARITY=2           ; EVEN=2, ODD=1, NONE=0
PROC=1            ; 3964R=1, SRVT=2, WTC=3, XONXOFF=4
[3964R]
CHAR_TIMEOUT=500   ; msec
QUITTIMEOUT=500   ; msec
TRANS_TIMEOUT=2000 ; msec
MAX_TX_BUFFER=2    ; 1..5
MAX_RX_BUFFER=10   ; 1..20
SIZE_RX_BUFFER=100 ; 1..2048
PROTOCOL_PRIOR=1   ; HIGH=1, LOW=0
[SRVT]
CHAR_TIMEOUT=200   ; msec
MAX_TX_BUFFER=2    ; 1..5
```

```

MAX_RX_BUFFER=2          ; 1..20
SIZE_RX_BUFFER=100       ; 1..2048
[WTC]
CHAR_TIMEOUT=200         ; msec
MAX_TX_BUFFER=2          ; 1..5
MAX_RX_BUFFER=2          ; 1..20
SIZE_RX_BUFFER=50        ; 1..2048
[XONXOFF]
CHAR_TIMEOUT=50          ; msec Timeout after last received character
                          ; to recognize the end of telegram

MAX_TX_BUFFER=2          ; 1..5
MAX_RX_BUFFER=2          ; 1..20
SIZE_RX_BUFFER=100       ; 1..2048 longest expected telegram ; length
XON_VAL=17               ; 0..255 XON character (decimal)
XON_VAL=19               ; 0..255 XON character (decimal)
                          ; if XON_VAL=0 and XOFF_VAL=0 then XON/XOFF
                          ; protocol is disabled (pure ; communication)

[TEST]
;teleprint (Rx/Tx-telegrams) on telnet is value > 0
TESTPRINT=0
[END SECTION]

```

Příkazy

CHANNEL

Řídící systém robota obsahuje dva typy rozhraní. První jsou jednoduché procesní rozhraní – signály, druhé jsou logická rozhraní – kanály. Všechny rozhraní jsou přiřazeny pomocí symbolických názvů.

Syntaxe: **CHANNEL** :Channel_Name:Interface_Name Structure_Variable

Argument	Typ	Popis
Channel_Name		Jakýkoliv symbolický název
Interface_Name		Předdefinovaná proměnná signálu SER_1 - sériové rozhraní 1 SER_2 - sériové rozhraní 2 SER_3 - sériové rozhraní 3
Structure_Variable		Systémová proměnná \$PSER_1, \$PSER_2 nebo \$PSER_3 specifikující protokol.

COPEN

Tento příkaz otvírá vstupní nebo výstupní kanály, které byly dříve deklarovány pomocí funkce CHANNEL. Proměnná „Handle“ identifikuje relevantní kanál pro všechny následující přístupy. Pokud systém odmítne kanál otevřít, vrátí zpět 0.

Syntaxe: **COPEN** (:Channel_Name, Handle)

Argument	Typ	Popis
Channel Name		Název kanálu deklarovaný funkcí „CHANNEL“
Handle	INT	Zpětný signál otevřeného kanálu: 1, 2 nebo 3 (nebo 0 v případě chyby)

CREAD

Funkce „CREAD“ se používá při čtení dat z otevřených kanálů. Zde se mohou vyskytnout dva případy:

- a) **Aktivní čtení** – program si vyžádá skrze kanál data. Ovladače kanálu nastaví požadavek vstupu a zpět pošlou data, která jsou přijata funkcí CREAD.
- b) **Pasivní čtení** – data již byla bez vyžádání odeslána kanálem a čeká se na jejich čtení.

Rozlišujeme také způsob, kterým systém čeká na feedback čtecího požadavku. Funkce „CREAD„ může číst absolutně nebo podmíněně.

- absolutně je způsob, při kterém systém čeká, dokud kanál neposkytne požadovaná data.
- v případě podmíněného čekání systém zkontroluje, zda jsou data k dispozici. Pomocí zpětného signálu může být určeno, zda byl čtecí proces úspěšný či neúspěšný. Příslušná procedura je definována parametrem „Mode“

Syntaxe: **CREAD** (Handle, State, Mode, Timeout, Offset, Format, Var1(, ... , VarN))

Argument	Typ	Popis
Handle	INT	Proměnná Handle je přenesená pomocí „COPEN”.
State	STATE_T	„CMD_STAT“ popisuje výsledek čtení z linky a může nabývat hodnot popsaných v publikaci KR C [10].
Mode	MODUS_T	„MODUS_T“ udává způsob procesu zápisu na kanál. (viz [10]).
Timeout	REAL	Parametr „Timeout“ je určený pro definování času v sekundách, po kterém je přerušeno čekání na data. Nulový čas znamená nekonečné čekání a hodnoty větší než 60s nebo záporná čísla nelze zadat.
Offset	INT	Proměnná „Offset“ se používá pro specifikaci počtu přijatých bytů po tom, co začal systém číst. Offset bude 0 v případě, že čtení začalo ve stejný okamžik jako přijímání dat.
Format	CHAR[]	„Format“ je datový typ textstring obsahující formát textu, který má být generován.
VarX		Proměnné odpovídající funkci „Format“

CWRITE

„CWRITE“ umožňuje zápis dat nebo příkazů na otevřený kanál

Syntaxe: **CWRITE** (Handle, State, Mode, Format, Var1(, ... , VarN))

Argument	Typ	Popis
Handle	INT	Proměnná Handle je přenesená pomocí „COPEN”.
State	STATE_T	„CMD_STAT“ popisuje výsledek čtení z linky a může nabývat hodnot popsaných v KR C [10].
Mode	MODUS_T	„MODUS_T“ udává způsob procesu zápisu na kanál. (viz [10]).
Format	CHAR[]	„Format“ je datový typ textstring obsahující formát textu, který má být generován.
VarX		Proměnné odpovídající funkci „Format“

Přípustné typy dat

Přípustné typy dat	Specifikace formátu											
	%d %l %x	%f %e %g	%c	%s	%1 r	%1 . (z) r	%2 r	%2 . (z) r	%4 r	%4 . (z) r	%r	%. (z) r
INT (signál)	X	X	-	-	X	-	X	-	X	-	X	-
INT array	-	-	-	-	-	X	-	X	-	X	X	X
REAL	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-
REAL array	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
BOOL (signál)	X	-	-	-	X	-	X	-	X	-	X	-
ENUM	X	-	-	-	X	-	X	-	X	-	X	-
ENUM array	-	-	-	-	-	-X	-	X	-	X	X	X
CHAR	X	-	X	-	X	-	-	-	-	-	X	-
CHAR array	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	X	X

CCLOSE

Vstupní/výstupní kanály dříve deklarované příkazem „CHANNEL“ mohou být zavřeny příkazem „CCLOSE“, který smaže všechny data čekající k přečtení.

Syntaxe: **CCLOSE** (Handle, State)

Argument	Typ	Popis
Handle	INT	Proměnná Handle je přenesená pomocí „COPEN“.
State	STATE_T	„CMD_STAT“ popisuje výsledek zavření a může nabývat hodnot popsaných v KR C [10].

3.3 Programová komunikační subrutina

Pro vykonání úlohy jsou zapotřebí dva programy, jeden pro komunikaci mezi kamerou a robotem a druhý pro samostatné přemísťování předmětů. Komunikační program otevře sériovou linku, odešle příkaz „T1“, což je povel pro řídicí systém kamery, aby sejmula obraz a podle svého programu zpět odeslala veličiny (x,y,úhel,počet). Pozice je pak na konci programu přepočítána na milimetry.

```

1      DEF Komunikace(x,y,uhel,pocet:out)
2
3
4      DECL MODUS_T mode
5      DECL STATE_T status
6
7      %deklarace proměnných
8      INT handle,offset,pocet
9      CHAR command[2],prefix[3],carka,cr
10     REAL timeout,x,y,uhel
11
12     INI
13
14     %otevření sériové linky č.3
15     COPEN(:ser_3,handle)
16
17     %specifikace příkazu
18     COMMAND[]="T1"
19     mode=#sync
20     %zápis na sériovou linku
21     CWRITE(handle,status,mode,"%s%1r",COMMAND[],13]
22     offset=0
23     mode=#abs
24     timeout=2
25
26     %čtení ze sériové linky
27     CREAD(handle,status,mode,timeout,offset,
28     "%s%1r%10f%1r%10f%1r"prefix[],x,carka,y,carka,uhel,
29     carka,pocet,cr)
30
31     %přepočítání na milimetry
32     x=-x/2.523
33     y=-y/2.523
34
35     %uzavření sériové linky
36     CCLOSE(handle,satus)
37
38     END

```

3.4 Programová subrutina pohybové úlohy robotu (symetrické předměty)

Následující program vykonává manipulaci v tomto případě s ocelovými válečky. Data ohledně rozmístění předmětů získá z programu bp_komunikace a na jejich základě provede samotnou pohybovou úlohu.

```
1 DEF BP_VALECKY( )
2 INI
3
4 %deklarace proměnných
5 REAL x,y,z,uhel,timeout
6 INT pocet,i,handle,offset
7 CHAR command[9],carka,cr,prefix[2]
8
9 %cyklus repeat pro odebrání všech válečků
10 repeat
11 %Rozevření čelistí
12 PULSE 33 'Uvolneni' State= TRUE Time= 0.2 sec
13
14 %Odvolání se na program bp_komunikace
15 bp_komunikace(x,y,uhel,pocet)
16
17 %Definování uchopovacích souřadnic a orientace
18 XPriprava.x=x
19 XPriprava.y=y
20 XPriprava.z=5
21 XPriprava.A=uhel
22
23 %Nájezd nad objekt
24 PTP Priprava Vel=100 % PDAT42 Tool[0] Base[0]
25
26 %Přepsání souřadnice z
27 XPriprava.z=-10
28
29 %Nájezd do uchopovací pozice
30 LIN Priprava Vel=0.05 m/s LDAT1 Tool[0] Base[0]
31 %Uchopení předmětu
32 PULSE 34 'Uchopeni' State= TRUE Time= 0.2 sec
33
34 %Přepsání souřadnice z
35 XPriprava.z=20
36
37 %Vyzvednutí předmětu
38 LIN Priprava Vel=2.0 m/s LDAT2 Tool[0] Base[0]
```

```

39
40 %Změna souřadnic na odkládací pozici (nad dopravníkem)
41 XOdlozeni.x=270
42 XOdlozeni.z=20
43 XOdlozeni.A=270
44
45 Nájez nad dopravník
46 PTP Odlozeni Vel=100 % PDAT43 Tool[0] Base[0]
47
48 %Změna souřadnice z
49 XOdlozeni.z=-10
50
51 %Nájezd na odkládací pozici
52 LIN Odlozeni Vel=0.1 m/s LDAT3 Tool[0] Base[0]
53 %Rozevření čelistí
54 PULSE 33 'Uvolneni' State= TRUE Time= 0.2 sec
55
56 %Změna souřadnice z
57 XOdlozeni.z=20
58
59 %Nájezd nad odkládací pozici
60 LIN Odlozeni Vel=2 m/s LDAT4 Tool[0] Base[0]
61
62 %Posuv předmětu na dopravníku
63 PULSE 01 'Dopravnik' State= TRUE Time= 0.8 sec
64
65 %Nájezd do domovské pozice
66 PTP HOME10 Vel=100 % PDAT44 Tool[0] Base[0]
67
68 %ukončení cyklu
69 Until pocet == 0
70
71 %Ukončení programu
72 END

```

3.5 Programová subrutina pohybové úlohy (tvarově nesymetrické předměty)

Zde je uveden program podobný jako v předchozí kapitole, nyní však navíc přibyla nutnost správně zvolit orientaci efektoru pro uchopení předmětů ve správném úhlu. Do programu je implementována optimalizace rotačního pohybu, kdy se efektor otáčí o menší úhel a snižuje tak čas potřebný k uchopení a odložení předmětu.

```

1  DEF BP_TUL( )
2  INI
3
4  %deklarace proměnných
5  REAL x,y,z,uhel,timeout
6  INT pocet,i,handle,offset
7  CHAR command[9],carka,cr,prefix[2]
8
9
10 DECL MODUS_T mode
11 DECL STATE_T status
12
13 %cyklus repeat pro odebrání všech předmětů
14 Repeat
15
16 %začátek for cyklu přepínajícího programy ŘS kamery
17 for i=1 TO 3
18
19 %nájezd do domovské pozice
20 PTP HOME9 Vel=100 % PDAT41 Tool[0] Base[0]
21 %rozevření čelistí
22 PULSE 33 'Uvolneni' State= TRUE CONT Time= 0.2 sec
23
24 %přepnutí na program č. 011 (BP_T)
25 if i == 1 THEN
26 command[]="PW,CF,011"
27 XOdlozeni.y=-170
28 ENDIF
29
30 %přepnutí na program č. 012 (BP_U)
31 if i == 2 THEN
32 command[]="PW,CF,012"
33 XOdlozeni.y=-130
34 ENDIF
35
36 %přepnutí na program č. 013 (BP_L)
37 if i == 3 THEN
38 command[]="PW,CF,013"
39 XOdlozeni.y=-90
40 ENDIF
41
42 %otevření sériové linky
43 COPEN(:ser_3,handle)
44 mode=#sync
45 %zápis na sériovou linku (požadavek na sejmutí obrazu a vyhodnocení
situace)

```

```

46 CWRITE(handle,status,mode,"%s%1r",command[],13)
47 offset=0
48 mode=#abs
49 timeout=2
50
51 %čtení ze sériové linky
52 CREAD(handle,status,mode,timeout,offset,"%r",prefix[],cr)
53
54 %uzavření sériové linky
55 CCLOSE(handle,status)
56
57 %rozevření čelistí
58 PULSE 33 'Uvolneni' State= TRUE Time= 0.2 sec
59
60 %odvolání se na program bp_komunikace
61 bp_komunikace(x,y,uhel,pocet)
62
63 %Definování uchopovacích souřadnic a orientace
64 XPriprava.x=x
65 XPriprava.y=y
66 XPriprava.z=5
67 XPriprava.A=uhel
68
69 %optimalizace rotačního pohybu efektoru
70 IF uhel > 90 THEN
71 XOdlozeni.A=180-uhel
72 ENDIF
73
74 %optimalizace rotačního pohybu efektoru
75 IF uhel < 90 THEN
76 XOdlozeni.A=90-uhel
77 ENDIF
78
79 %nájezd nad předmět
80 PTP Priprava Vel=100 % PDAT42 Tool[0] Base[0]
81
82 %přepsání souřadnice z
83 XPriprava.z=-10
84
85 %nájezd do uchopovací pozice
86 LIN Priprava Vel=0.05 m/s LDAT1 Tool[0] Base[0]
87 %uchopení předmětu
88 PULSE 34 'Uchopeni' State= TRUE Time= 0.2 sec
89
90 %přepsání souřadnice z
91 XPriprava.z=20

```

```

92
93 %vyzvednutí přemětu
94 LIN Priprava Vel=2.0 m/s LDAT2 Tool[0] Base[0]
95
96 %přepsání souřadnic nad pásový dopravník
97 XOdlozeni.x=270
98 XOdlozeni.z=20
99 XOdlozeni.A=270
100
101 %nájezd nad dopravník
102 PTP Odlozeni Vel=100 % PDAT43 Tool[0] Base[0]
103
104 Přepsání souřadnice z
105 XOdlozeni.z=-10
106
107 %Nájezd na odkládací pozici
108 LIN Odlozeni Vel=0.1 m/s LDAT3 Tool[0] Base[0]
109 PULSE 33 'Uvolneni' State= TRUE Time= 0.2 sec
110 %rozevření čelistí
111
112 %přepsání souřadnice z
113 XOdlozeni.z=20
114
115 %nájezd nad dopravník
116 LIN Odlozeni Vel=2 m/s LDAT4 Tool[0] Base[0]
117
118 %Posuv předmětu na dopravníku
119 PULSE 01 'Dopravnik' State= TRUE Time= 0.8 sec
120
121 %konec for cyklu pro přepínajícího programy
122 ENDFOR
123
124 %nájezd do domovské pozice
125 PTP HOME10 Vel=100 % PDAT44 Tool[0] Base[0]
126
127 %konec repeat cyklu
128 Until počet == 0
129
130 END

```

4. Přínos navrženého řešení

Aby mohl robot ve stejné aplikaci odebírat a přemísťovat popsané předměty, musely by mít bez obrazového vstupu pevně dané souřadnice, které by byly definovány v programu pohybové úlohy robotu. Toho se dá docílit například zakládáním do přípravku. V praxi se však výrobky procházející výrobním cyklem často nacházejí v nahodilých pozicích, díky výše popsanému řešení manipulace s nimi probíhá samočinně. Přínosem je tedy snížení chybovosti a dlouhodobých nákladů.

Dalším využitím by mohlo být třídění obrobků podle jejich tvaru a jejich následná transportace pomocí dopravníků. Po lehké úpravě programu lze nastavit systém i na identifikaci a oddělování zmetků ve výrobním procesu bez narušení jeho kontinuity či na balicí operace včetně výstupního čítání počtu zabalených kusů.

Závěr

V první kapitole byla vyhodnocena řešení systémů RobotVision s důrazem na použité technologie. Rozbor byl tedy zaměřen na typy obrazových snímačů, zpracování barev, příslušenství kamerových systémů, porovnání kamer na českém trhu a popis komunikačního protokolu využitého v práci.

S dostupným vybavením bylo vytvořeno laboratorní pracoviště s robotem, pásovým dopravníkem, kamerou, mezipřírubou a upínacími prvky. Všechny tyto komponenty byly vytvořeny v konstrukčním programu Autodesk Inventor a jejich technická dokumentace se nachází v příloze.

Na základě daných požadavků byl vytvořen popis při postupování programování řídicího systému kamery pro tvarově symetrické a nesymetrické předměty. Rovněž byly vypracovány komentované programy zprostředkávající komunikaci mezi řídicím systémem kamery a robotem a programy vykonávající samostatnou pohybovou úlohu.

Na závěr je vyhotoveno zhodnocení přínosu navrženého řešení pro nasazení prostředků RobotVision a další možnosti využití při současné konfiguraci hardwarového a softwarového vybavení laboratoře.

Seznam obrázků

Obr. 1 - CCD senzor (a), CMOS senzor (b)	9
Obr. 2 - Lineární (a) a plošné (b) rozložení CMOS snímače	11
Obr. 3 - Bayerův filtr (a), tříčipové uspořádání (b) CCD senzoru.....	11
Obr. 4 - Základní parametry optické soustavy	13
Obr. 5 - Sférická vada (a), barevná vada (b), distorze obrazu (c).....	14
Obr. 6 - Výrobní linka s kamerou a manipulátorem (a), kontrola etiket (b), kontrola nanesení těsnění (c).....	16
Obr. 7 - Kontrola kvality automobilového sedadla (a), kontrola kvality solárních panelů (b).	17
Obr. 8 - Nabídka kamerových systémů na českém trhu	23
Obr. 9 - Pracoviště (a) a jeho popsaný 3D model (b)	25
Obr. 10 - Pracovní prostor robotu KUKA KR 3 (a),(b), teach pendant (KUKA Control Panel) (c)	25
Obr. 11 - Efektor robotu	26
Obr. 12 - Souřadný systém řídicího systému kamery (b), souřadný systém robota.....	26
Obr. 13 - Uživatelské prostředí řídicího systému kamery	27
Obr. 14 - Záložka nastavení kamery (a), individuální nastavení (b), specifikace kamery (c), nastavení spouště (d)	29
Obr. 15 - Referenční obraz (a), nabídka window (b), oblast, ve které probíhá vyhledávání (c), nastavení vyhledávaného tvaru (d).....	30
Obr. 16 - Nastavení výstupu po sériové lince (a), komunikační historie (b)	30
Obr. 17 - Nastavení referenčního obrazu lince (a), nastavení vyhledávaného obrazce (b) komunikační historie celé úlohy včetně přepínání programů (c)	31

Seznam tabulek

Tab. 1 - Porovnání CCD a CMOS senzorů	9
Tab. 2 - Porovnání typů rozhraní.....	18
Tab. 3 - Popis konektorů RS 232.....	19
Tab. 4 - Porovnání kamerových systémů	24
Tab. 5 - Popis uživatelského prostředí kamery	27
Tab. 6 - Seznam programů	31

Seznam použitých zkratek

CCD	Charge-coupled device
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
CMYK	Cyan, Magneta, Yellow, Key
CT	Computed tomography
CTS	Clear to Send
DCD	Data Carrier Detect
DSR	Data Set Ready
DTR	Data Terminal Ready
Fps	Frames per second
KRL	KUKA Robot Language
RGB	Red, Green, Blue
RI	Ring Indicator
RTS	Request to Send
RXD	Receive Data
ŘS	Řídicí Systém
SGND	Signal Ground
TXD	Receive Data

Zdroje

Literatura

- [1] BABINCOVÁ, Adriana. *Počítačové vidění*. Brno, 2014. Bakalářská práce. VUT.
- [2] CHARVÁT, J.: *Teorie mechanismů. Vybrané stati. /Skripta VŠST/*. Liberec, VŠST, 1980.
- [3] COGNEX. *In-Sight Vision Systems product guide*. Massachusetts, USA, 2012.
- [4] FLORCZYK, Stefan. *Robot vision: video-based indoor exploration with autonomous and mobile robots*. Weinheim: Wiley-VCH, c2005, xviii, 198 p. ISBN 3527405445.
- [5] GERALD SOMMER, Reinhard Klette (eds. *Robot Vision International Workshop RobVis 2008, Auckland, New Zealand, Februari 18-20, 2008: proceedings*. Berlin [etc.]: SpringerLink [host], 2008. ISBN 9783540781578.
- [6] HOTAŘ, Vlastimil. *Úvod do problematiky strojového vidění*. Vyd. 1. V Liberci: Technická univerzita, 2015, 132 s. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [7] KEYENCE CORPORATION. *Super-High-Speed-Multi-Camera Machine Vision CV-5001 series: User's Manual*. Yodogava-Ku, Osaka, 2008.
- [8] KOPŘIVA, Jaroslav. *Návrh a realizace výstupní kontroly dílů na vstříkovně plastů pomocí kamerového systému*. Liberec, 2013. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [9] KUKA ROBOTER GMHH. *KR C2 / KR C3 Expert Programming: KUKA System Software (KSS) Release 5.2*. Germany, 2003. Dostupné také z: [file:///C:/Users/Petr/Downloads/Expert_Programming_manual%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Petr/Downloads/Expert_Programming_manual%20(2).pdf).
- [10] KUKA ROBOTER GMBH. *KR C.: CREAD CWRITE*. Augsburg, Germany, 2007. Dostupné také z: http://kempelen.ii.fmph.uniba.sk/kuka/KSS_ED5_70_en.pdf.
- [11] KUKA ROBOTER GMBH. *KUKA System Software 5.5*. Augsburg, Germany, 2011. Dostupné také z: <http://sites.poli.usp.br/d/PMR2560/Manual%20KUKA.pdf>.
- [12] KUKA ROBOTER GMBH. *Návod k použití a k programování pro KUKA System Software V5.2, V5.3, V5.4*. Augsburg, Germany, 2006.
- [13] NOVÁK, Tomáš. *Využití optického rozpoznávání pro řízení robota v rámci automatizovaných testů v automobilovém průmyslu*. Praha, 2009. Diplomová práce. ČVUT.
- [14] ŠTILEC, Jakub. *Využití počítačového vidění v robotice*. Liberec, 2008. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci.

Internetové zdroje

- [15] GŘEŠ, Tomáš. Komunikační rozhraní ve strojovém vidění. *VisionX Components* [online]. 2013 [cit. 2015-07-06]. Dostupné z: <http://www.visionx.cz/know-how/srovnani-nejpouzivanejsich-komunikacnich-rozhrani-ve-strojovem-videni/>
- [16] KUKA ROBOTER GMBH. *CREAD/CWRITE*. Ausburg, 2007. Dostupné také z: http://kempelen.ii.fmph.uniba.sk/kuka/KSS_ED_CRCWR_54_55_70_en.pdf.
- [17] Machine Vision Applications. *SIGA Vision* [online]. 2009 [cit. 2015-07-06]. Dostupné z: <http://www.sigavision.com/applications.html>
- [18] Osvětlení ve strojovém vidění. *FCC PS* [online]. 2014 [cit. 2015-07-06]. Dostupné z: http://www.strojove-videni.cz/default.asp?inc=inc/tp_osvetleni.htm&id=23
- [19] Side by side with colleague robot. UNIVERSAL-ROBOTS. *A measuring robot ensures "just-in-time" assembly* [online]. 2014 [cit. 2015-07-06]. Dostupné z: http://www.universal-robots.com/GB/tasks/Quality_Inspection/Lear_Corporation.aspx
- [20] Strojové vidění – několik úskalí návrhu systémů. *Etm* [online]. 2013 [cit. 2015-07-06]. Dostupné z: <http://www.etm.cz/index.php/component/content/article/1014-strojove-vidni-nkolik-uskali-navrhu-system>
- [21] Strojové vidění VisionLab. *Moravské Přístroje, a.s.* [online]. 2013 [cit. 2015-07-06]. Dostupné z: <http://www.mii.cz/cat?id=147>

Zdroje obrázků

- Obr. 3 <http://www.laesieworks.com/digicom/digicom-images/BayerFilter.png>
- Obr. 4 http://www.strojove-videni.cz/images/podp_2_obr1.jpg
- Obr. 5 <http://www.wikiskripta.eu/images/thumb/4/47/Lens6a.svg/180px-Lens6a.svg.png>
- Obr. 6a <http://www.directindustry.com/prod/khs/visual-inspection-systems-labels-21322-1100565.html>
- Obr. 6b <http://www.sigavision.com/applications.html>
- Obr. 6c http://www.sigavision.com/images/apps_low/bead01.jpg
- Obr. 7a http://www.universal-robots.com/GB/tasks/Quality_Inspection/Lear_Corporation.aspx
- Obr. 7b <http://www.adept.com/products/robots/parallel/quattro-s650h/general>
- Obr. 8a <http://acrovision.co.uk/wp-content/uploads/2013/10/Cognex-In-Sight-500-300x254.jpg>
- Obr. 8b https://www.vision-supplies.com/content/images/thumbs/0008626_Cognex%20Insight%20Micro.jpg
- Obr. 8c <http://www.fccps.cz/img.asp?stiid=21648>
- Obr. 8d http://partimages.globalspec.com/26/3076/8076_large.png
- Obr. 8e http://www.datalogic.com/_img_gal_933_600.jpg
- Obr. 8f http://www.keyence.com/img/products/model/AS_3214_L.jpg
- Obr. 10 <https://www.robots.com/images/cellprints/kuka-kr3-dimensions1.gif>

1

2

3

4

A

30

1x45°

B

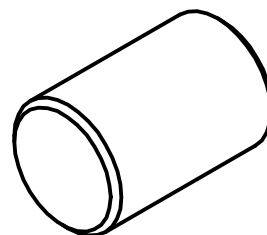
Ø20

C

D

E

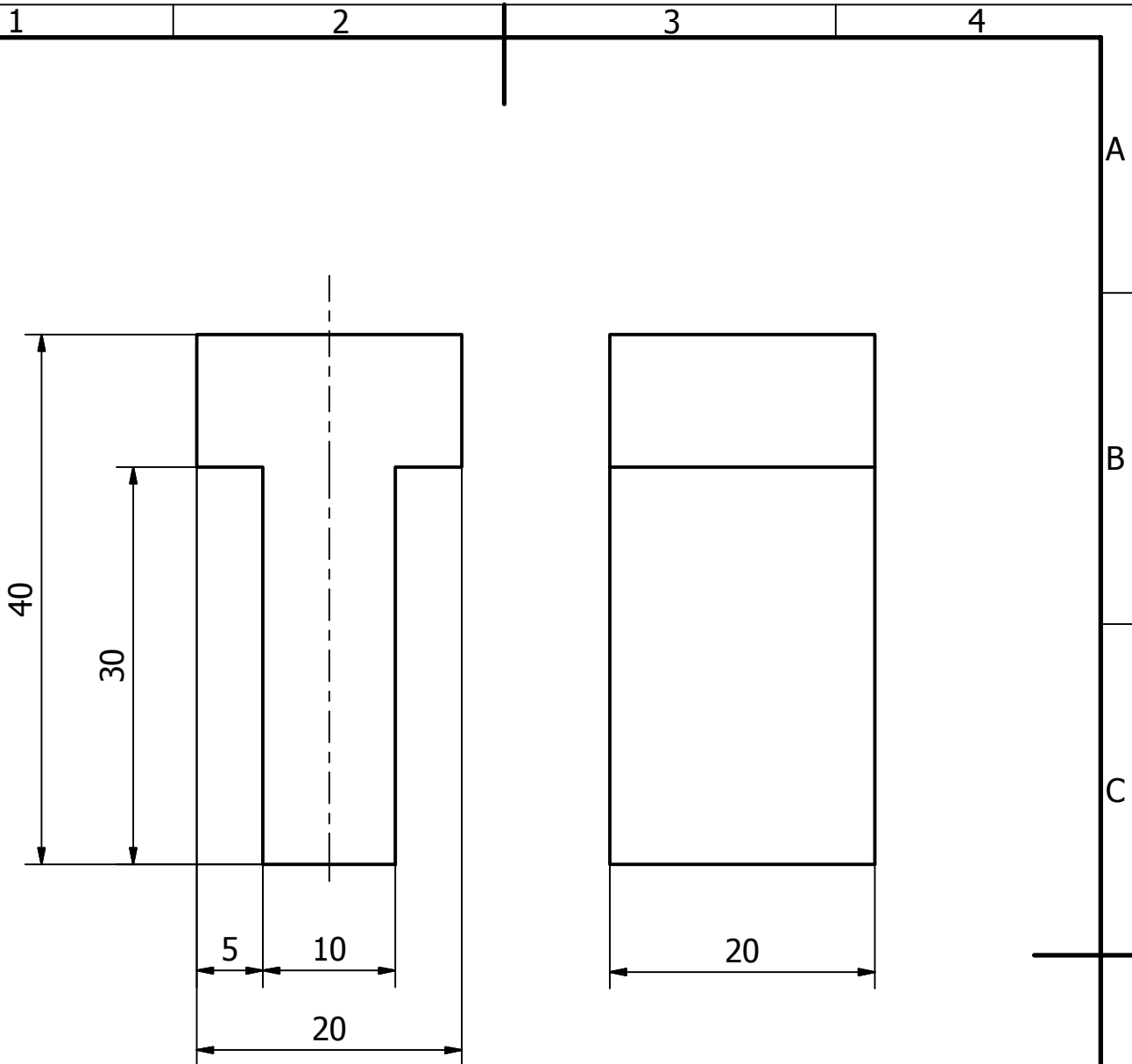
F



✓ Ra 0,8

VŠECHNY ROZMĚRY S TOLERANCÍ ±0,1 mm

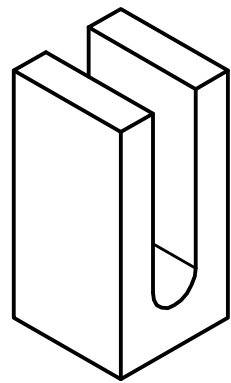
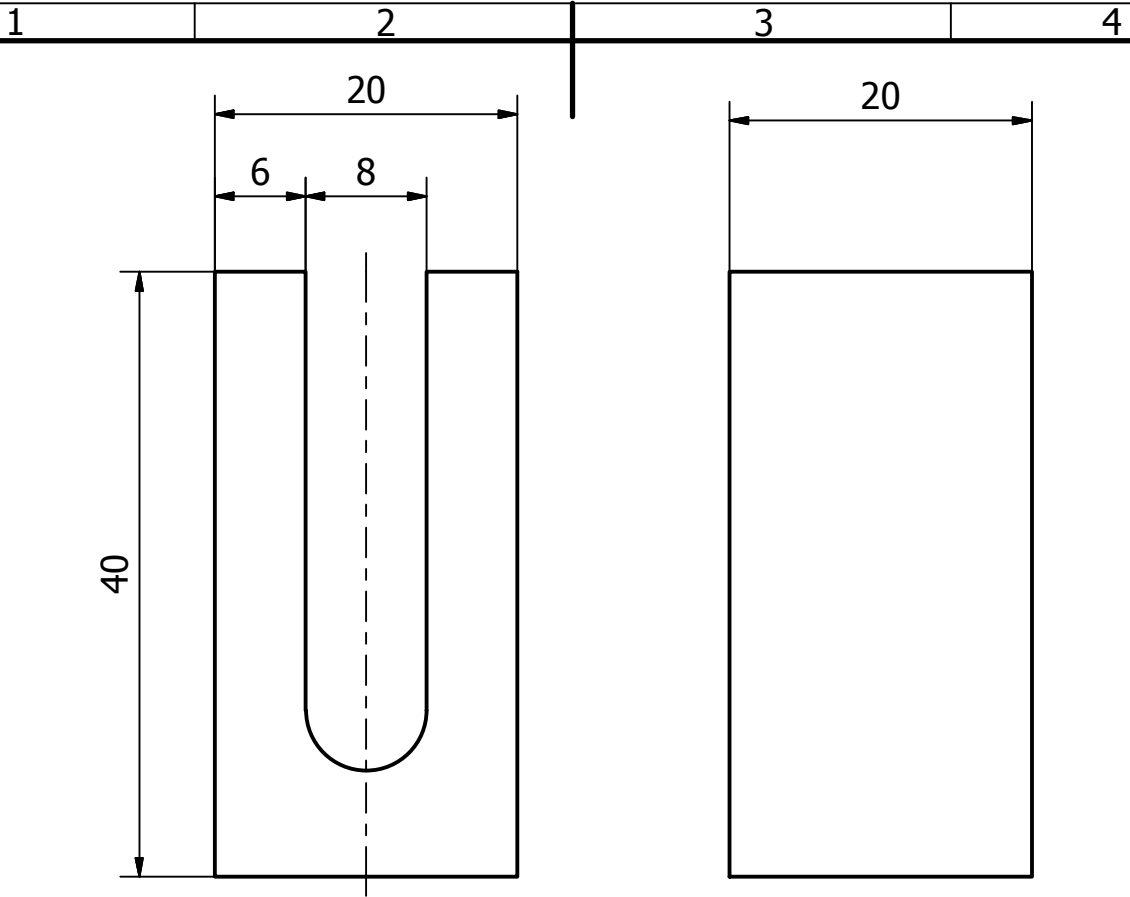
Rozm.-Polot.	PL25 ČSN EN 485-3						PŘESNOST ISO 2768-mK	
	Materiál	11 500	Tř. odp.		Pozice		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
	Č. hm.		Hr. hm.		Počet ks.	3	PROMÍTÁNÍ ISO-E	
Změna			Datum	Index	Podpisy			
Měřítko	Pozn.	Navrhl			 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní			
3:1		Kreslil	P. VOLENÍK	Název				Váleček
Číslo seznamu		Datum	22. 5. 2014	Typ	0-BP-S11000246-0-00-00			
Číslo sestavy		Technolog		Číslo výkresu				
Starý výkres		Normaliz.		Typ				
Nový výkres		Schválil		Číslo výkresu	0-BP-S11000246-0-00-00			
		Datum		Listů				List



√ Ra 1.6

VŠECHNY ROZMĚRY S TOLERANCÍ ±0,1 mm

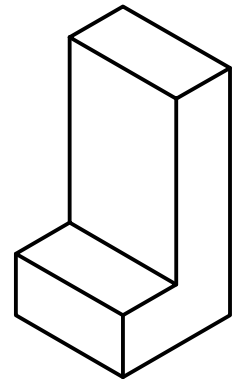
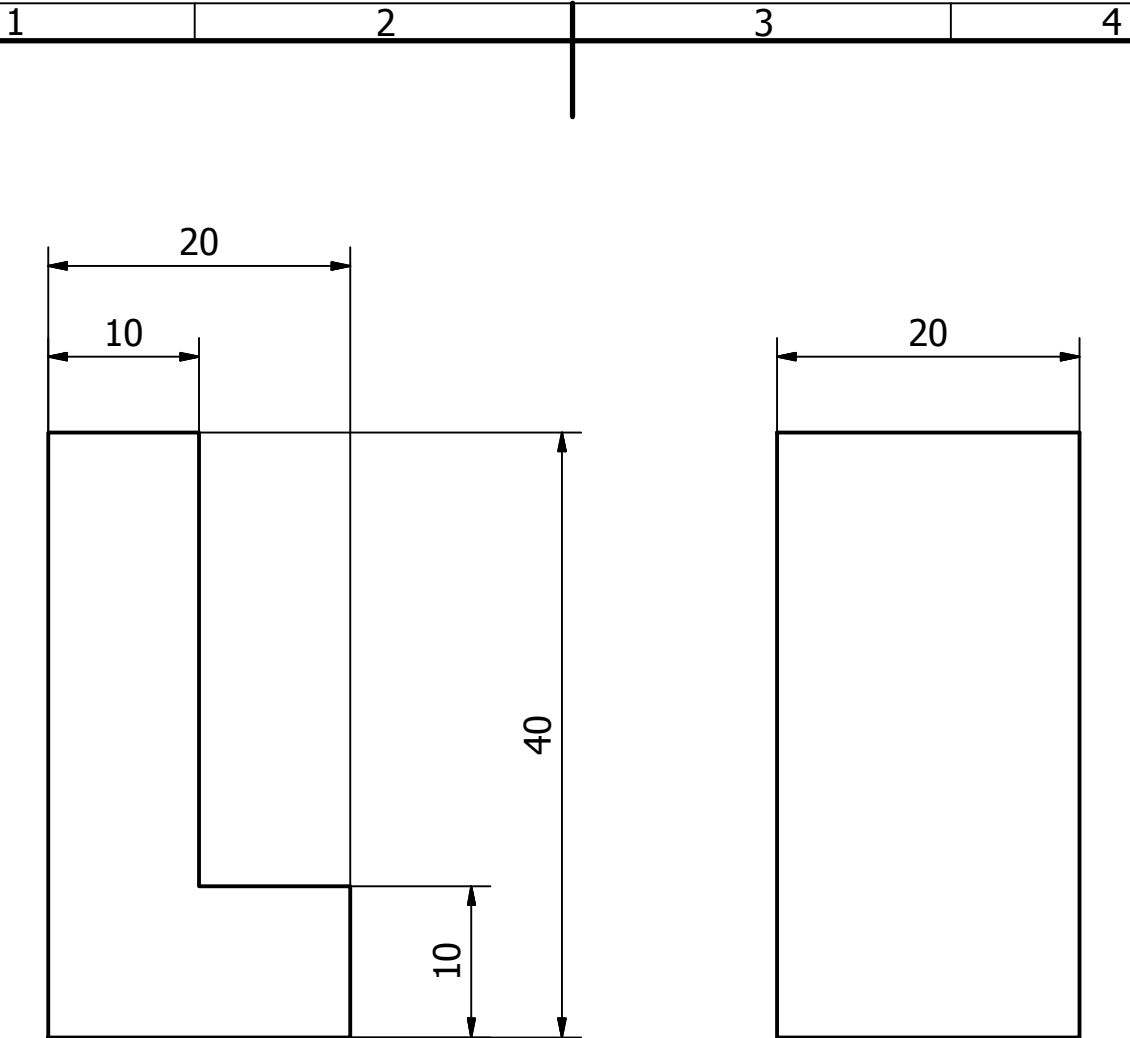
Rozm.-Polot.		PL25 ČSN EN 485-3				PŘESNOST ISO 2768-mK	
		Materiál	Hliník 6061	Tř. odp.		Pozice	
		Č. hm.		Hr. hm.	0,027	Počet ks.	1
						TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
						PROMÍTÁNÍ ISO-E	
Změna		Datum	Index	Podpisy			
Měřítko	Pozn.	Navrhl					
2:1		Kreslil	P. VOLENÍK				
		Datum	22. 5. 2014				
Číslo seznamu		Technolog					
Číslo sestavy		Normaliz.					
Starý výkres		Schválil					
Nový výkres		Datum					
				 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní			
				Název <p style="text-align: center;">T</p>			
				Typ Číslo výkresu <p style="text-align: center;">0-BP-S11000246-0-00-01</p>			
				Listů <p style="text-align: right;">List</p>			



✓ Ra 1.6

VŠECHNY ROZMĚRY S TOLERANCÍ ±0,1 mm

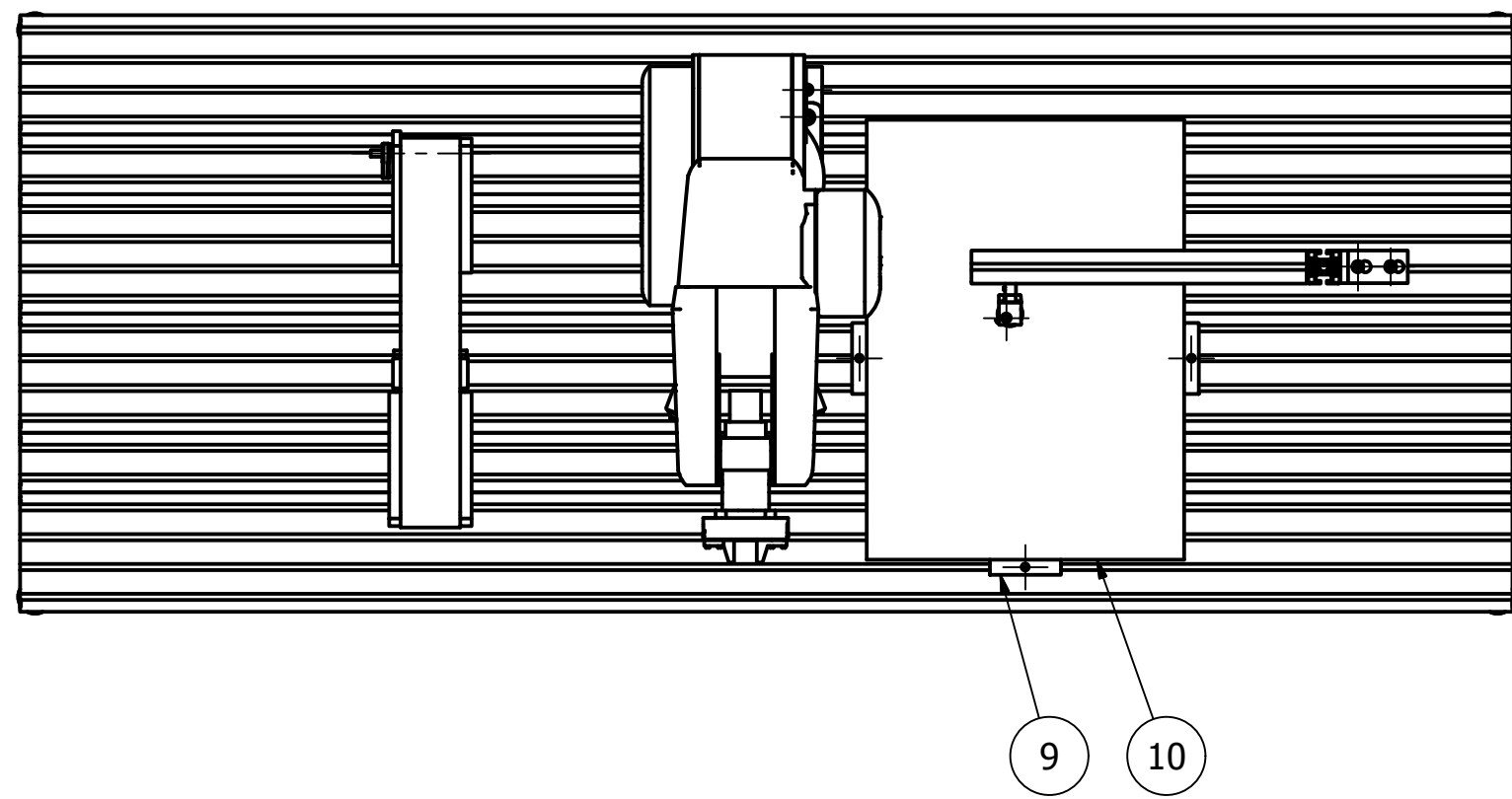
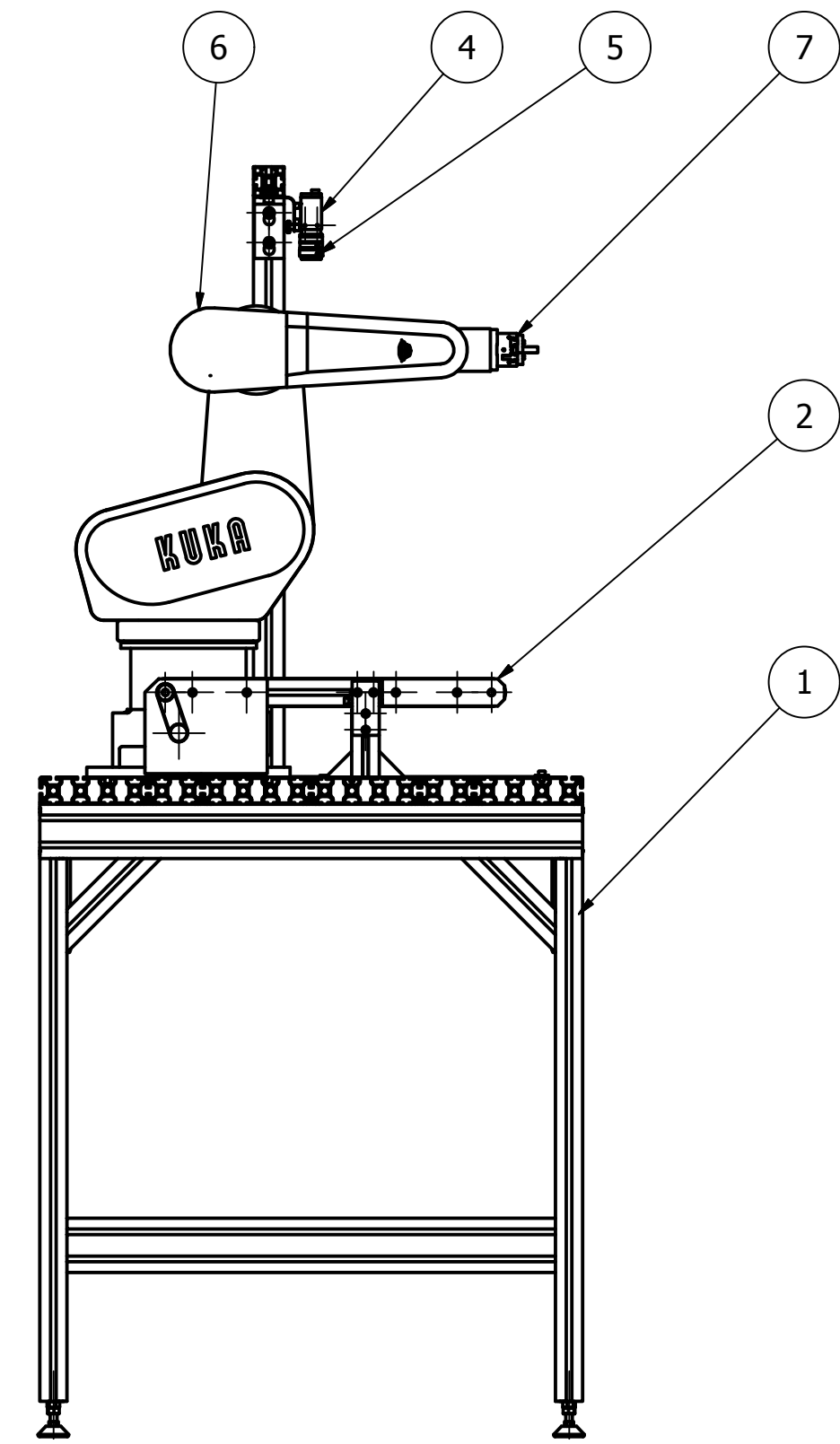
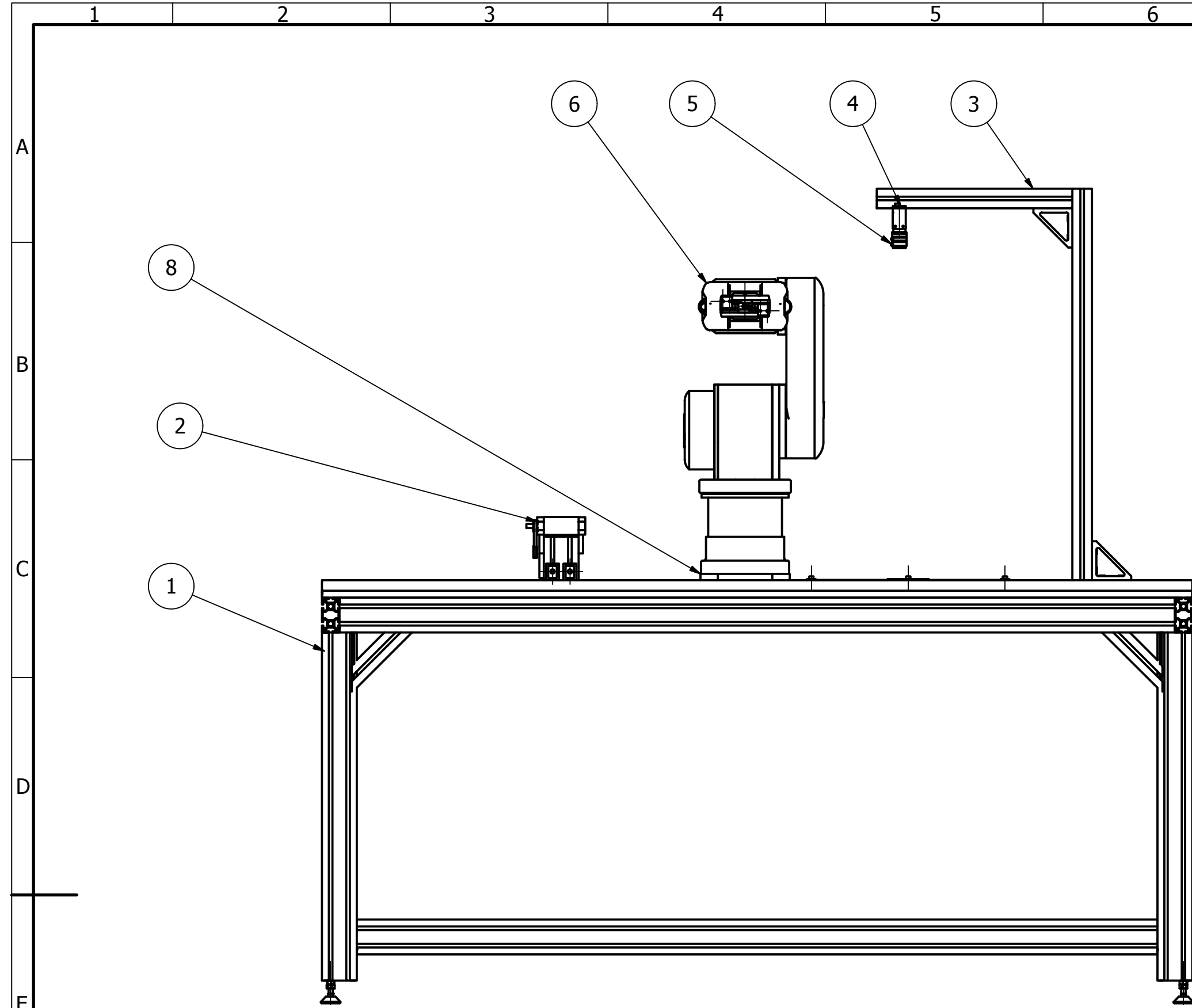
Rozm.-Polot.		PL25 ČSN EN 485-3				PŘESNOST ISO 2768-mK	
		Materiál	Hliník 6061	Tř. odp.		Pozice	
		Č. hm.		Hr. hm.		Počet ks.	3
						TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
						PROMÍTÁNÍ ISO-E	
Změna		Datum	Index	Podpisy			
Měřítko	Pozn.	Navrhl					
2:1		Kreslil	P. VOLENÍK				
		Datum	22. 5. 2014				
Číslo seznamu		Technolog					
Číslo sestavy		Normaliz.					
Starý výkres		Schválil					
Nový výkres		Datum					
				TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní			
				Název <p style="text-align: center;">U</p>			
				Typ <p style="text-align: center;">U</p>			
				Číslo výkresu <p style="text-align: center;">0-BP-S11000246-0-00-02</p>			
				Listů <p style="text-align: right;">List</p>			



✓ Ra 1.6

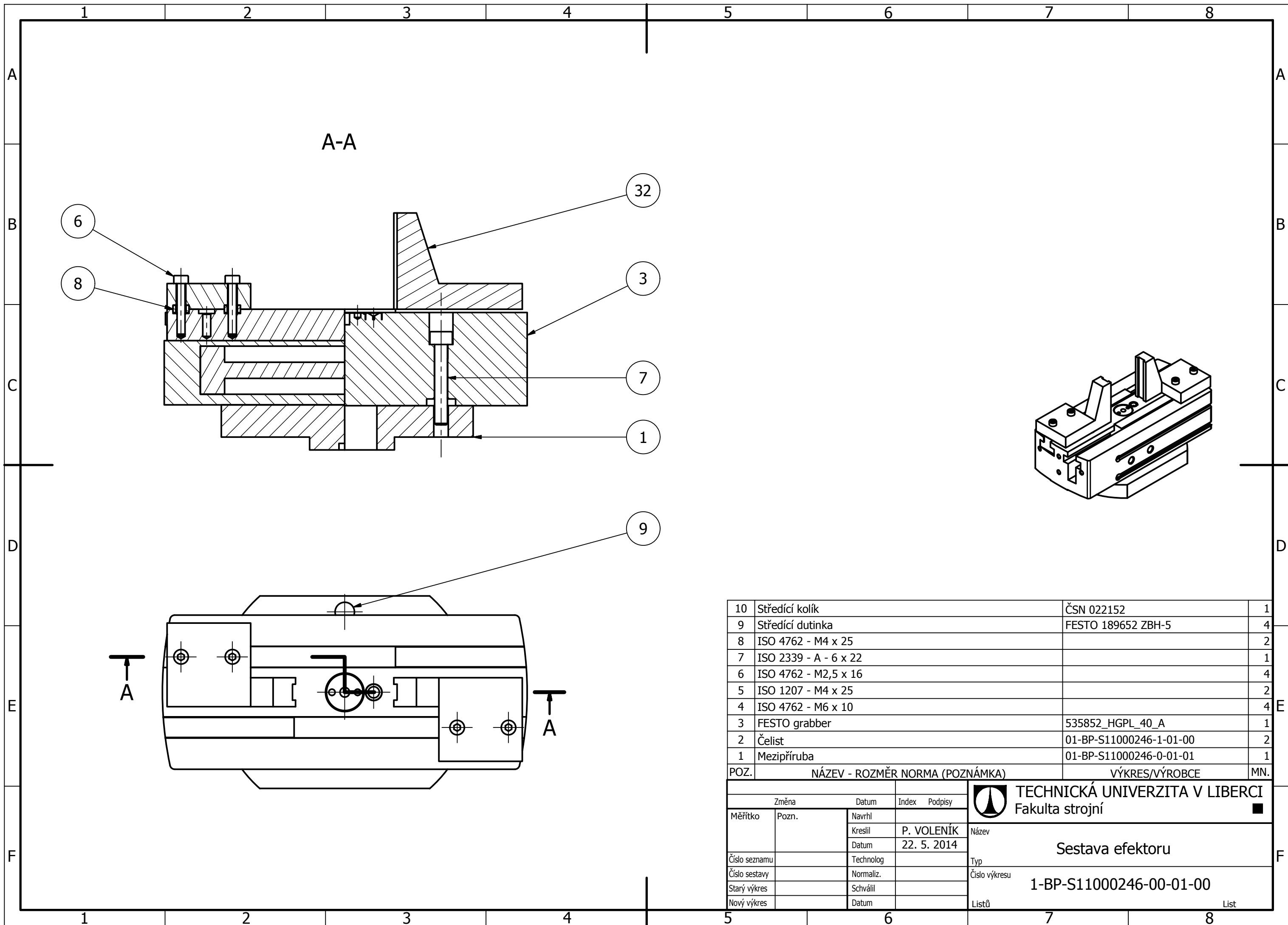
VŠECHNY ROZMĚRY S TOLERANCÍ ±0,1 mm

Rozm.-Polot.	PL25 ČSN EN 485-3					PŘESNOST ISO 2768-mK	
	Materiál	Hliník 6061	Tř. odp.	Pozice		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
	Č. hm.		Hr. hm.	Počet ks.	3	PROMÍTÁNÍ ISO-E	
Změna			Datum	Index	Podpisy	TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní	
Měřítko	Pozn.	Navrhl					
		Kreslil	P. VOLENÍK	Název	L		
		Datum	22. 5. 2014				
Číslo seznamu		Technolog		Typ	0-BP-S11000246-0-00-03		
Číslo sestavy		Normaliz.		Číslo výkresu			
Starý výkres		Schválil			List		
Nový výkres		Datum		Listů			



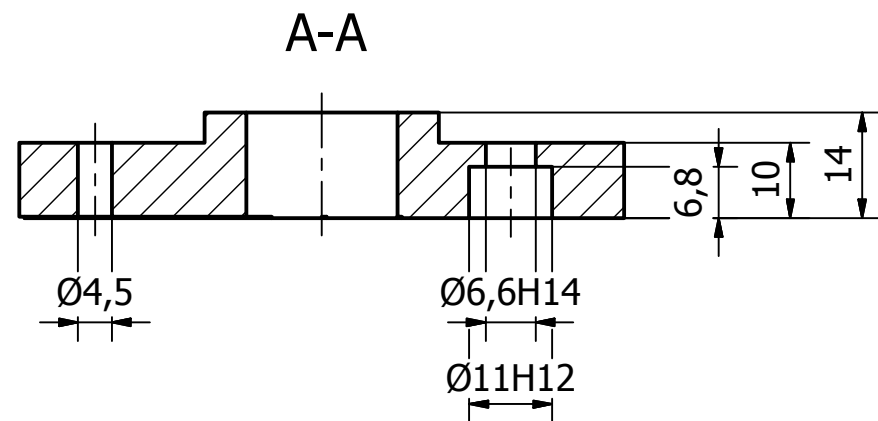
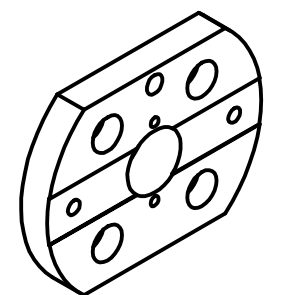
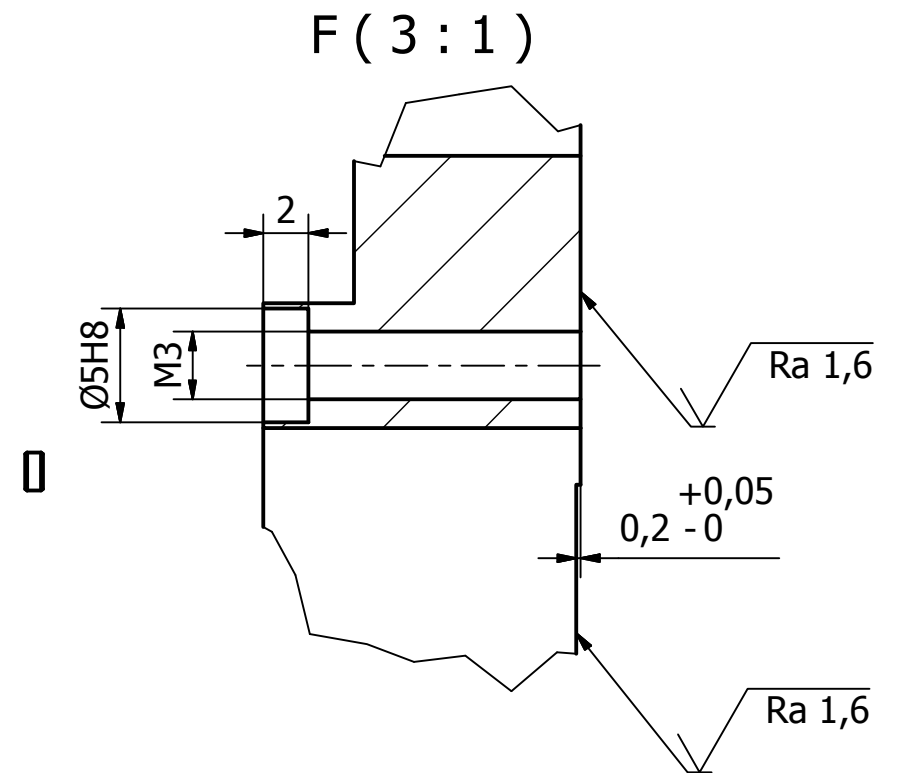
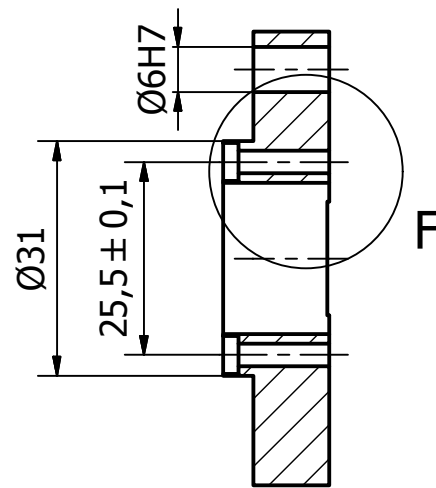
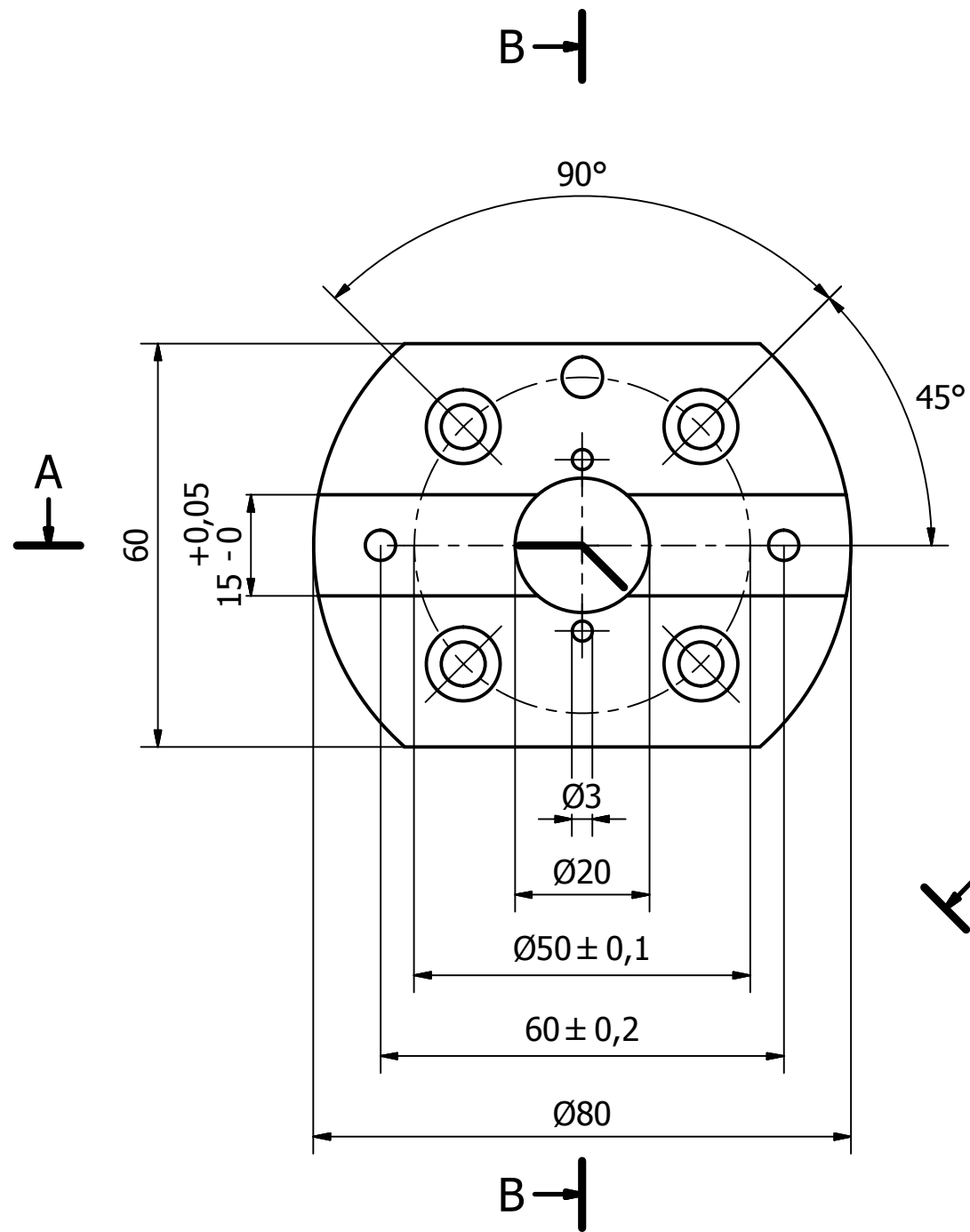
10	Pracovní deska		1
9	Vymezovací deska		3
8	Deska pod robot		2
7	Efektor		1
6	Robot	KUKA KR 3	1
5	Objektiv	Kowa CCTV HR F1.4/8	1
4	Kamera	Keyence CV-200c	1
3	Rám kamery		1
2	Prisový dopravník		1
1	Pracovní stůl		1
POZ.	NÁZEV - ROZMĚR NORMA (POZNÁMKA)	VÝKRES/VÝROBCE	MN.

Změna		Datum	Index	Podpisy	 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Ústav pro nanomateriální, pokročilé technologie a inovace
Měřítko	Pozn.	Navrhl			
1:10		Kreslil	P. VOLEŇÍK		Název
		Datum	22. 5. 2014		Sestava pracoviště
Číslo seznamu		Technolog			Typ
Číslo sestavy		Normaliz.			Číslo výkresu
Starý výkres		Schválil			1-BP-S11000246-0-00-00
Nový výkres		Datum			Listů
					List



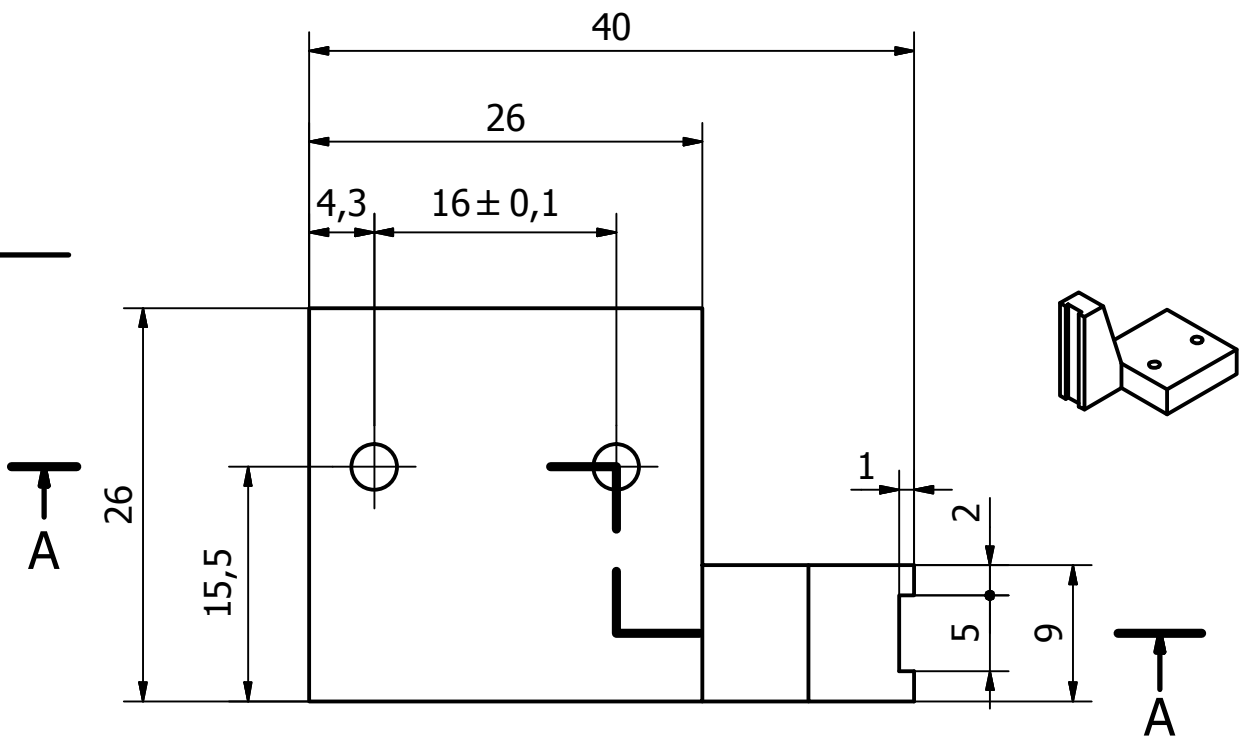
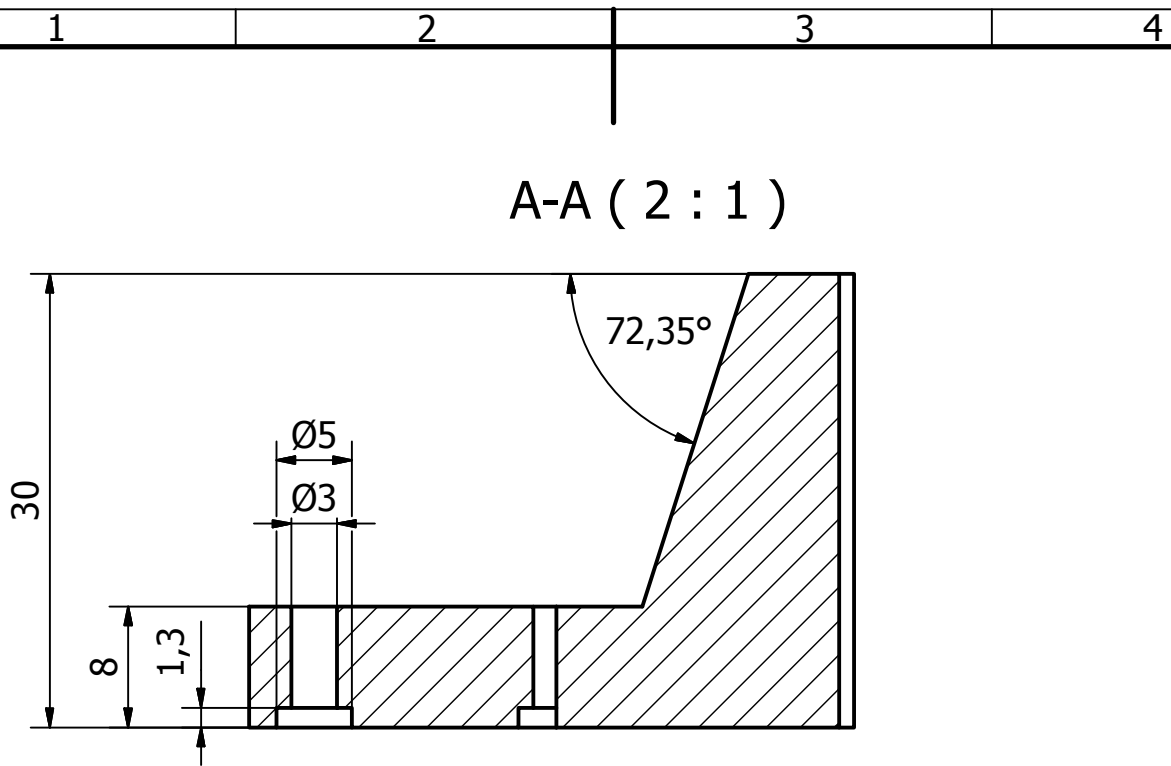
10	Středící kolík	ČSN 022152	1
9	Středící dutinka	FESTO 189652 ZBH-5	4
8	ISO 4762 - M4 x 25		2
7	ISO 2339 - A - 6 x 22		1
6	ISO 4762 - M2,5 x 16		4
5	ISO 1207 - M4 x 25		2
4	ISO 4762 - M6 x 10		4
3	FESTO grabber	535852_HGPL_40_A	1
2	Čelist	01-BP-S11000246-1-01-00	2
1	Mezipříruba	01-BP-S11000246-0-01-01	1
POZ.	NÁZEV - ROZMĚR NORMA (POZNÁMKA)	VÝKRES/VÝROBCE	MN.

Změna		Datum	Index	Podpisy	 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní
Měřítko	Pozn.	Navrhl			
		Kreslil	P. VOLENÍK	Název	Sestava efektoru
		Datum	22. 5. 2014		
Číslo seznamu		Technolog		Typ	1-BP-S11000246-00-01-00
Číslo sestavy		Normaliz.		Číslo výkresu	
Starý výkres		Schválil			Listů
Nový výkres		Datum			



$\sqrt{Ra\ 0,8}$ / $\sqrt{Ra\ 1,6}$ ($\sqrt{Ra\ 3,2}$)

Rozm.-Polot.		Materiál 6061		Tř. odp.	Pozice	PŘESNOST ISO 2768-mK	
		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg	Počet ks.	TOLEROVÁNÍ ISO 8015
						PROMÍTÁNÍ ISO-E	
Změna		Datum	Index	Podpisy		TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace	
Měřítko	Pozn.	Navrhl			Název		
1:1		Kreslil	P. VOLENÍK		Mezipříruba		
		Datum	22. 5. 2014		Typ		
Číslo seznamu		Technolog			Číslo výkresu		
Číslo sestavy	BP-02	Normaliz.			1-BP-S1100246-0-01-01		
Starý výkres		Schválil			Listů		
Nový výkres		Datum			List		



$\sqrt{Ra\ 1,6}$ $\left(\sqrt{Ra\ 3,2} \right)$

Rozm.-Polot.		4 HR 32 ČSN 42 7520.02				PŘESNOST ISO 2768-mK	
		Materiál	42 4254	Tř. odp.		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
		Č. hm.		Hr. hm.	0,023 kg	Počet ks.	PROMÍTÁNÍ ISO-E
Změna		Datum	Index	Podpisy			
Měřítko	Pozn.	Navrhl		TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní			
		Kreslil	P. VOLENÍK				
		Datum	22. 5. 2014				
Číslo seznamu		Technolog		Název			
Číslo sestavy	BP-02	Normaliz.		Čelist			
Starý výkres		Schválil					
Nový výkres		Datum		Typ			
				Číslo výkresu			
				1-BP-S11000246-00-01-02			
				Listů			
				List			