

Možnosti robotizace technologického procesu ohraňování plechů

Ondřej Lokos

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Ondřej Lokos**
Osobní číslo: **A17212**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Inteligentní systémy s roboty**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Možnosti robotizace technologického procesu ohraňování plechů**
Téma práce anglicky: **Sheet Metal Bending Technological Process Robotisation Possibilities**

Zásady pro vypracování

1. Proveďte literární rešerši na zadané téma.
2. Popište použité technologie při procesu ohraňování plechů.
3. Identifikujte jednotlivé fáze procesu ohraňování plechů, ve kterých by bylo možno využít průmyslového robota.
4. Zdůvodněte volbu typu robota a jednotlivých doplňkových komponent pro robotizaci daného pracoviště.
5. Popište a porovnejte navržené řešení s existujícími řešeními, uveďte jejich výhody a nevýhody.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. WILSON, Mike. *Implementation of robot systems: an introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing*. Amsterdam: Elsevier, BH, 2015, xv, 229 s. ISBN 9780124047334.
2. KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTUM, 2016, 787 s. ISBN 9788021448285.
3. LAMB, Frank. *Industrial Automation: Hands On*. McGraw-Hill Education, 2013. ISBN 978-0-07-181647-2.
4. OPLATEK, František. *Automatizace a automatizační technika*. Praha: Computer Press, 2000, ix, 166 s. ISBN 8072262491.
5. GLASER, Andrew. *Industrial robotics: how to implement the right system for your plant*. New York: Industrial Press, c2009, 1 online zdroj. Dostupné také z: http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpLRHIRSY8/industrial_robotics__how_to_implement_the_right_system_for_your_plant
6. *Technický týdeník: Automatizace robotizace* [online]. ČR: Business Media CZ, 2019 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://www.technickytydenik.cz/rubriky/automatizace-robotizace/>

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Navrátil, Ph.D.
Ústav řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: 20. prosince 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. května 2020



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 20. prosince 2019

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Cílem práce je vytvořit teoretické seznámení s problematikou automatizace procesu ohraňování a teoretický podklad při výběru vhodného řešení pro praktický provoz. Práce má posloužit jak firmám, které k automatizaci přechází, tak pro nově budované provozy. V práci jsou představeny stěžejní body týkající se procesu tváření plechů jako takového, požadavky a charakteristické prvky robotizace, a v rámci dostupných zdrojů i srovnání různých řešení, která jsou v současné době nabízena na trhu.

Klíčová slova: Robotizace pracoviště, ohraňování plechů, návrh řešení, porovnání parametrů

ABSTRACT

The purpose of this work is to create a theoretical acquaintance with the issue of automation of the bending process and a theoretical basis for selecting a suitable solution for practical operation. The work is to serve both companies that are moving to automation and newly built operations. The thesis presents the key points concerning the sheet metal forming process as such, the requirements and characteristic elements of robotics, and within the available resources also a comparison of various solutions that are currently offered on the market.

Keywords: Workstation robotization, sheet metal bending, solution design, comparison of parameters

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petrovi Navrátilovi, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 OHÝBÁNÍ	11
1.1 OHRAŇOVÁNÍ PLECHŮ	11
1.1.1 Metody ohýbání	12
1.1.2 CNC ohraňovací lisy	13
1.1.3 Nástroje	15
1.2 TECHNOLOGICKÝ POSTUP OHRAŇOVÁNÍ NA CNC LISU	17
1.2.1 Příprava programu.....	17
1.2.2 Operace ohraňování	19
1.2.3 Kontrolní měření a korekce programu	19
2 ROBOTIKA	21
2.1 AUTOMATIZACE	21
2.1.1 Historie a vývoj automatizace	21
2.2 ROBOTY	22
2.2.1 Historie robotů	22
2.2.2 Oblasti využití	24
2.2.3 Dělení robotů.....	24
2.3 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY	25
2.3.1 Rozdělení průmyslových robotů podle generace	25
2.3.2 Typy konstrukce.....	26
2.3.3 Základní parametry	29
2.3.4 Efektory.....	31
2.4 SENZORICKÉ SYSTÉMY ROBOTŮ	32
2.4.1 Základní druhy senzorů.....	32
2.4.2 Strojové vidění	32
2.5 MOTIVACE PRO ROBOTIZACI VÝROBY	32
2.5.1 Rozhodovací parametry	33
2.5.2 Výhody a nevýhody využití robotu.....	34
II PRAKTICKÁ ČÁST	35
3 NÁVRH KONKRÉTNÍHO ŘEŠENÍ PRO REÁLNÝ PROVOZ	36
3.1 POPIS STÁVAJÍCÍHO PRACOVIŠTĚ	36
3.1.1 Parametry stroje	36
3.1.2 Stanovení vzorového výrobku.....	39
3.1.3 Stanovení požadavků návrhu robotizace procesu	39
3.2 NÁVRH ŘEŠENÍ	39
3.2.1 Stanovení požadovaných vlastností robotu	40
3.2.2 Výběr vhodného robotu/manipulátoru	40
3.2.3 Výběr efektoru	42
3.2.4 Výběr příslušenství.....	43
3.2.5 Návrh robotizovaného pracoviště	44
4 SROVNÁNÍ NÁVRHU S EXISTUJÍCÍMI ŘEŠENÍMI	49

4.1	PŘÍKLAD NĚKTERÝCH NA TRHU DOSTUPNÝCH ŘEŠENÍ.....	49
4.1.1	Robotické buňky	49
4.1.2	Robotizovaná pracoviště	51
4.2	POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH PARAMETRŮ.....	52
4.2.1	Manuální a robotizované pracoviště	52
4.2.2	Existující a navržené řešení.....	53
4.3	VYHODNOCENÍ VÝHOD/NEVÝHOD NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ.....	54
	ZÁVĚR	56
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ	61
	SEZNAM TABULEK.....	63
	SEZNAM PŘÍLOH.....	64

ÚVOD

Už od nepaměti se člověk snažil svou práci zrychlit a zjednodušit. Uvědomoval si, že čím více vyrobí, tím lépe zabezpečí svou rodinu. Snaha o jakousi automatizaci měla v podstatě vliv na vývoj lidského druhu jako celku. Nebýt prvních větrných mlýnů, zavlažovacích systémů a kovářského měchu, člověk by se nestal vládnoucím druhem na Zemi. Pouze lov a sběr plodin by nestačil k vývoji, kterým člověk prošel.

Řekne-li se automatizace, nejspíš každého napadne až parní stroj. Ten byl sice základem první průmyslové revoluce, ale automatizace začala už mnohem dříve. Určitě by se za první stupeň automatizace dalo považovat mlýnské kolo poháněné vodním proudem či větrem, nebo dokonce koněm (či volem). Vrátime-li se k parnímu stroji, jeho velký rozvoj znamenal na přelomu 18. a 19. století až zásah Jamese Watta a zefektivnění využití parní síly pomocí Wattova regulátoru otáček.

Než se svět ponořil do Velké války, stihl projít druhou průmyslovou revolucí. Mezi její přínosy můžeme počítat například elektrický proud, především střídavý, žárovku, a v neposlední řadě spalovací motor.

Třetí velká průmyslová revoluce probíhala hlavně v osmdesátých letech dvacátého století. Je nazývána též digitální, protože se objevily vynálezy typu osobního počítače (do té doby pouze nepraktické sálové), internetu a využití průmyslových robotů.

Dnes, na přelomu desátých a dvacátých let dvacátého prvního století, jsme uprostřed čtvrté velké průmyslové revoluce. Označujeme ji nejčastěji termínem Průmysl 4.0 a jejím hlavním rysem je masové rozšíření umělé inteligence, robotiky, nanotechnologií, internetu věcí, autonomních vozů a dalších moderních technologií [1].

Nabízí se otázka, proč vlastně člověk pořád vymýšlí nové a sofistikovanější způsoby, jak si ušetřit práci. Jedním z důvodů je ochrana lidského života. Ať už se jedná o různé bezpečnostní systémy, tak hlavně o robotizaci činností, které by ohrožovaly dělníka na životě (podmořské svařování, různé vědecké činnosti ve vesmíru). Dalším z důvodů je neustále se zvyšující počet lidí, které musí omezené výrobní kapacity „uživit“ [2].

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OHÝBÁNÍ

Ohýbání je technologická operace, při které dochází k trvalé deformaci materiálu vlivem ohybového momentu od ohybové síly, při níž se materiál vzniklým napětím buď ohýbá nebo rovná. Docílujeme tak požadovaného tvaru obrobku, aniž by došlo k větší změně průřezu materiálu. Z tohoto důvodu řadíme ohýbání do oboru plošného tváření.

1.1 Ohraňování plechů

Ohraňování je ohýbání plechu na jednoúčelových tzv. ohraňovacích lisech [3]. Jde o ostré ohýbání plechu v různých úhlech. U plechů s menší silou průřezu a s nižší pevností se z pravidla využívá technologie tváření za studena. Tedy tváření při teplotách pod hodnotou 30 % teploty tání tvářeného materiálu. Naopak pro plechy o větší síle a pevnosti se užívá tváření za tepla. Plech se v tomto případě zahřívá na hodnotu nad 70% teploty tání daného materiálu. Pro ohýbání se v závislosti na požadovaných tvarech a velikostech obrobků používají nej-různější stroje a zařízení k tomu určená (Obrázek 1).



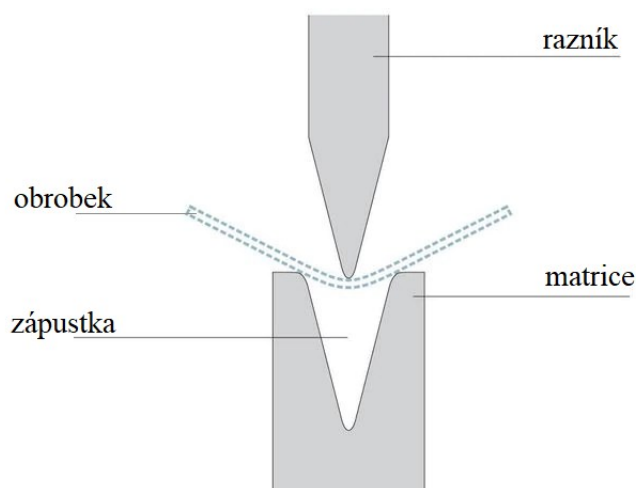
Obrázek 1. Ohýbací stroje [4][5]

V současné době má ohýbání na poli výroby plechových polotovárů většinový podíl. Ohýbání postupně nahrazuje dříve využívanější technologie, jako například odlévání, svařování z více částí, nebo třískové obrábění. Hlavním důvodem je mnohem snazší výroba a z toho vyplývající nižší výrobní náklady. Zejména to platí pro málo kusové série, které nevyžadují žádné počáteční investice nad rámec stávajícího vybavení, jako je například zhotovení formy v případě odlévání či dodatečné náklady na broušení svárů v případě svařování. Ve srovnání s třískovým obráběním se zase jedná, jak o velkou úsporu času, tak i surového materiálu [6][7][8].

1.1.1 Metody ohýbání

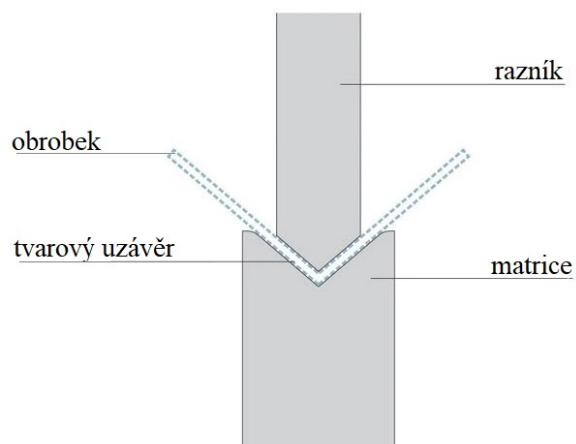
Při výrobě ohýbaných součástí z plechu využíváme několik základních metod. Jsou založeny na stejném principu, při kterém se ohybu dosahuje natlačením materiálu razníkem do zápusky matrice. Mezi tyto metody patří zejména volné ohýbání, ohýbání ražením a falcování s následným přitisknutím.

Volné ohýbání (Obrázek 2), nebo také ohýbání ve vzduchu je metoda, při které se po dosažení požadovaného ohybu vtlačení plechu do matrice, nedotýká lisovaný materiál stěny zápusky. Jinými slovy mezi razníkem a matricí je vždy větší vůle, než je síla lisovaného materiálu. Požadovaného úhlu ohybu se zde dosahuje mírou hloubky průniku razníku do matrice. Tuto hloubku vypočítá řídicí systém stroje v závislosti na požadované hodnotě úhlu zadané operátorem [7][8][9].



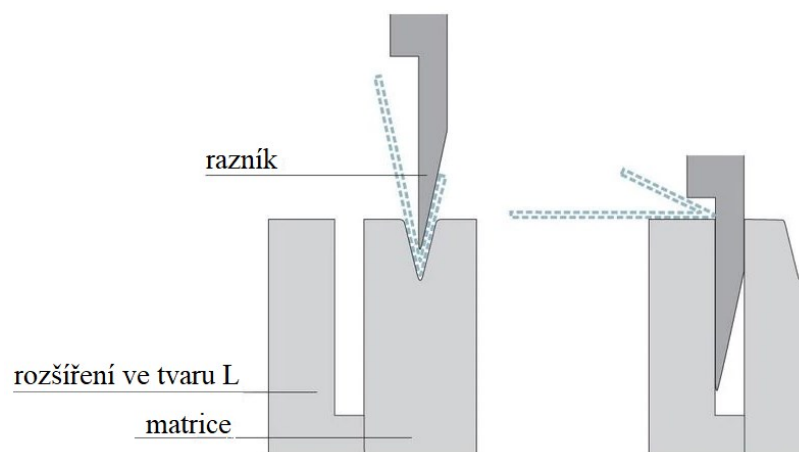
Obrázek 2. Volné ohýbání [7]

Ohýbání ražením (Obrázek 3) se provádí na rozdíl od volného úplným dotlačením materiálu do matrice. Mezi oběma nástroji a obrobkem nezůstává žádná vůle a tvar ohybu se tak vlivem působení lisovací síly naprosto shoduje s tvarem tvarového uzávěru matrice. Tento tvar se tedy nedá měnit pouhým řízením, ale je nutné zaměřovat přímo nástroje [7][8][9].



Obrázek 3. Ohýbání ražením [7]

Falcování a přitisknutí (Obrázek 4) je rovněž často využívanou metodou. Výsledný tvar ohybu má hned několik velice praktických využití, ať už jako konstrukční vyztužení obrobku, vytvoření mechanického spoje či vytvoření oblé hrany tam, kde by ostrá hrana plechu představovala ať už mechanický, nebo bezpečnostní problém. Výrobní postup se skládá ze dvou základních kroků. V prvním kroku se plech ohne na co možná nejostřejší úhel. Ten by měl být alespoň 30° , jinak obrobek při domačkávání působí jako klín a má tendence z nástroje vyklouznout. V druhém kroku se ohyb slisuje úplně, což je přitisknutí, nebo se mezi rameny ohybu nechá vůle o požadované velikosti a jedná se zde tedy o falcování [7][8][9].



Obrázek 4. Falcování a přitisknutí [7]

1.1.2 CNC ohraňovací lisy

V základu se jedná o klasický mechanický lis. Svou konstrukcí je téměř shodný a velikost provedení se odvíjí od požadavků na velikost lisovaných výrobků. Je však doplněn o systém

CNC řízení, který zajišťuje přesné polohování dorazového mechanismu, sjezd lisovacího beranu a řídí bezpočet možných doplňků a příslušenství. Příkladem takovéto konstrukce (Obrázek 5) je stroj od firmy Trumpf, TruBend 7036 (Obrázek 5) [7][8][10].



Obrázek 5. Ohraňovací lis TruBend 7036 [10]

Pohon dorazového mechanismu je zajištěn krokovými motory. Pohyb beranu bývá buď hydraulický, což je výhodné při ohýbání silnějších materiálů pro potřebu vyvinutí větší lisovací síly, nebo elektromechanický. Elektromechanický pohon je výhodnější pro svou rychlost pohybu, který umožňuje vyšší takt výrobního procesu. U moderních strojů se již setkáváme i s kombinací obou a můžeme tak čerpat obou výhod [7][8][10].

Výsledného tvaru obrobku se dosahuje postupnou sekvencí ohybů, kdy není ve většině případů nutné měnit nástroje. Během této sekvence dochází k rychlému přenastavení dorazového mechanismu a celý proces ohýbání tak většinou závisí pouze na rychlosti operátora,

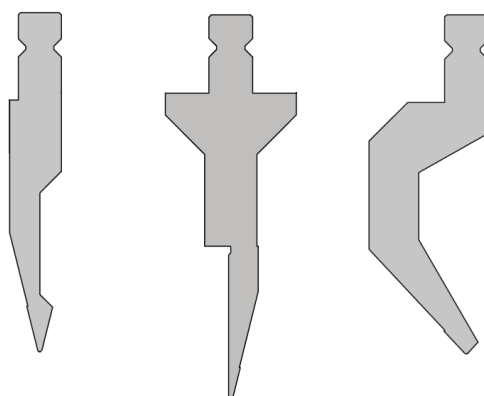
jenž do stroje obrobek zakládá. Tato výhoda oproti klasickým mechanickým lisům velice dobře kompenzuje vysoké pořizovací náklady moderních ohraňovacích lisů. Na trhu je dnes velmi mnoho výrobců ohraňovacích lisů, jako jsou firmy Trumpf, Safan, LVD a mnoho dalších (Obrázek 6) [8][10].



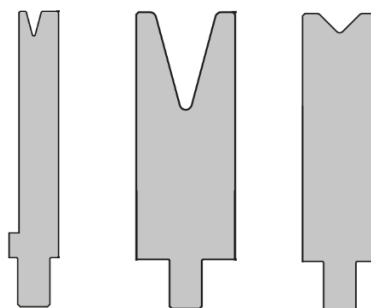
Obrázek 6. Ohraňovací lisy [7][11][12]

1.1.3 Nástroje

Pokud mluvíme o ohraňování, jako takovém, nástroj nazýváme ohraňovadlo. Obecně horní nástroj nazýváme razník (Obrázek 7), je připevněn k hornímu beranu pomocí upínání. Razník má daný rádius ohybu, výšku a je určen jen pro určitou tloušťku materiálu. Spodní nástroj nazýváme matrice (Obrázek 8). Ve většině případů má drážku ve tvaru V, jejíž šířka závisí též na požadovaném poloměru ohybu a síle lisovaného materiálu [10][13][14].

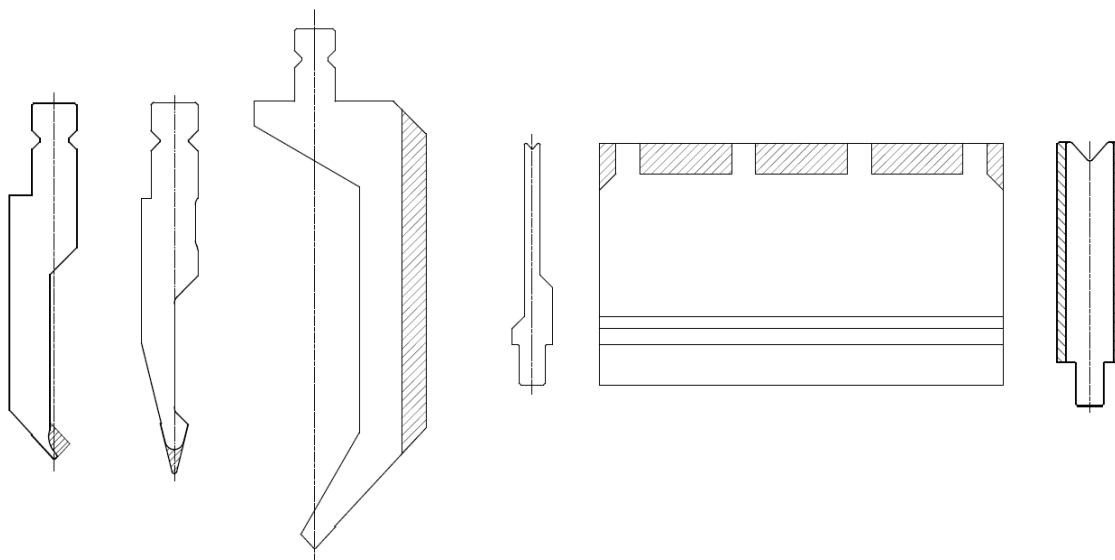


Obrázek 7. Razník [13]



Obrázek 8. Matrice [13]

Tyto nástroje se zhotovují z ušlechtilých ocelí v závislostech na daném profilu, a aby bylo dosaženo maximální odolnosti proti opotřebení, indukčně se kalí a podléhají 100 % kontrole. Nejčastěji se vyrábějí podle katalogových rozměrů daných firm, ale často využívané jsou i speciální nástroje dělané přímo na zakázku (Obrázek 9) [10][13][14].



Obrázek 9. Modifikované nástroje [13]

Nástroje se do strojů zakládají ručně, nebo v případě robotizovaného pracoviště automaticky. Ve stroji jsou zajištěny pomocí upínačů. Upínání může být řešeno manuálně pomocí šroubů, nebo hydraulicky [10][13][14].

1.2 Technologický postup ohraňování na CNC lisu

Technologický postup se skládá z několika dílčích kroků a může se lišit v závislosti na dané firmě, druhu provozu, povaze obrobku, nástrojů, typu a vybavenosti stroje. V základním principu je však podobný. Tento popis se bude vztahovat k běžnému typu provozu a k práci na ohraňovacím lisu firmy Trumpf TruBend 7036.

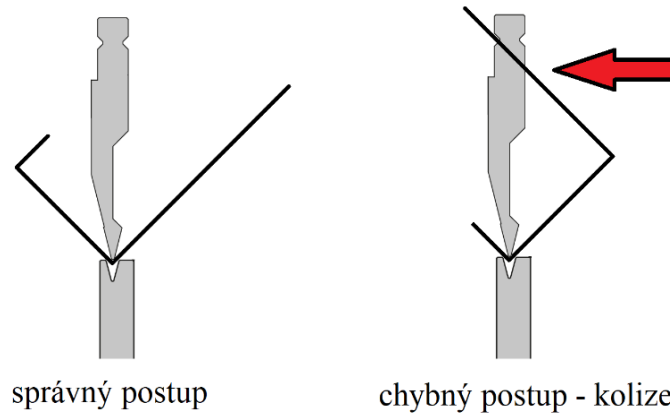
1.2.1 Příprava programu

Základním požadavkem pro práci s jakýmkoli CNC strojem je program. Bez něj lze stroj používat pouze v tak zvaném ručním režimu. To přináší značná omezení potenciálu stroje a umožňuje vykonávat úkony pouze s aktuálním nastavením zadaných vstupních parametrů. Pokud není program již předem připraven a sekvence ohybů stanovena off-line metodou pomocí technologií CAD/CAM, provádí vlastní programování obsluha přímo na ovládacím panelu stroje (Obrázek 10).



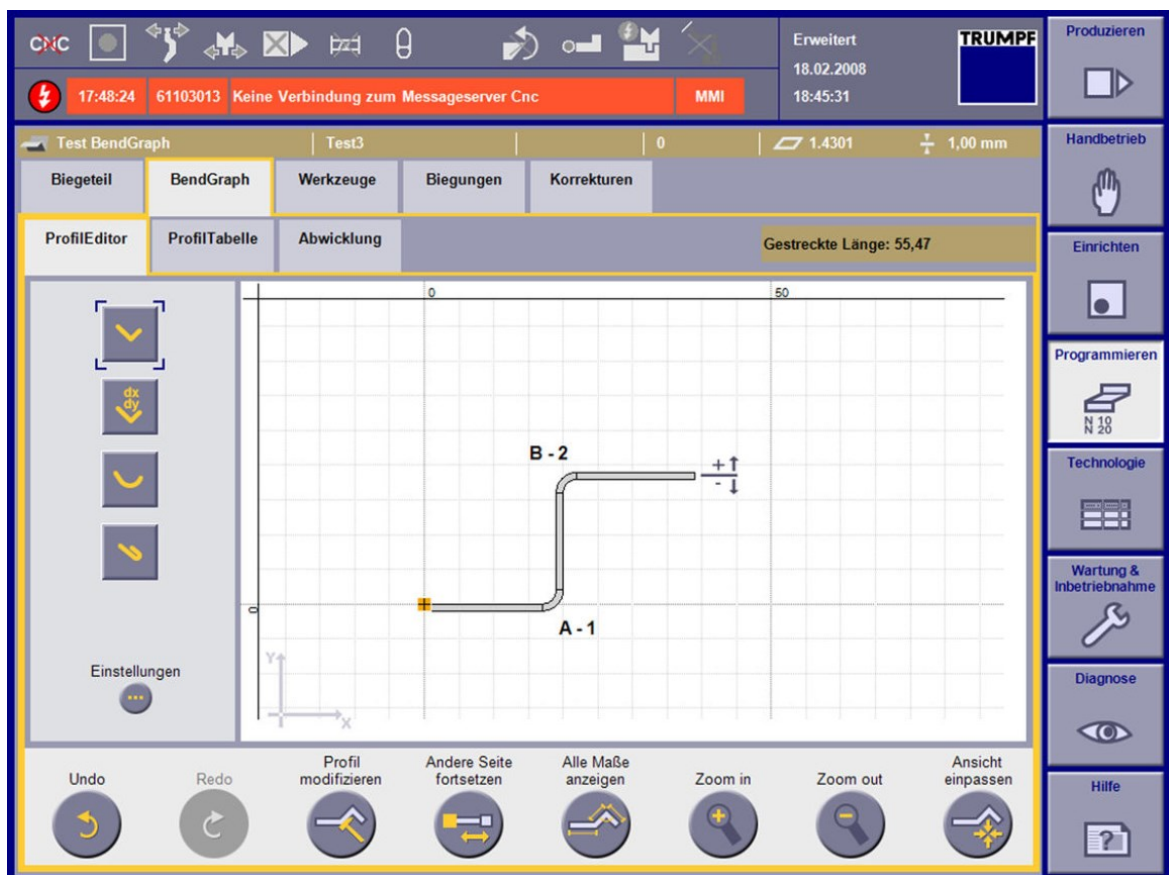
Obrázek 10. Ovládací panel [10]

Po nastudování výkresové dokumentace je zvolena taková posloupnost ohybů, která umožní postupně vykonat všechny jednotlivé kroky a nezpůsobí během procesu kolizi s nástroji, či částmi stroje (Obrázek 11).



Obrázek 11. Volba posloupnosti ohybů

Následně je třeba v závislosti na tvaru ohybů a síle materiálu vybrat vhodný nástroj. Rozhodujícím parametrem je maximální hodnota úhlu požadovaného ohybu a šířka ohybu. Pokud i ovládací panel stroje nedisponuje technologií CAD/CAM, kde lze ohýbaný díl kompletně zakreslit (Obrázek 12), zadávají se potřebná data jako délka, úhel a pořadí ohybu rovnou do tabulky programového rozhraní.



Obrázek 12. Grafické dílenské programování (volitelné vybavení) [10]

V dnešní době je již většina strojů v provozech připojena na lokální síť. Ukládání a načítání programů je tak zprostředkováno společnou databází a příprava výroby se tak zjednodušuje [10].

1.2.2 Operace ohraňování

Po vytvoření, nebo načtení programu a nastrojení vybraných nástrojů, lze přejít k samotnému procesu ohraňování. Obsluha založí předem připravenou součást na matrici a mírně ji zatlačí směrem do stroje tak, aby mezi součástí a dorazovými palci nebyla žádná vůle. Po stlačení nožního pedálu se posuvem beranu a k němu upnutého razníku natlačí materiál do zápusťky matrice. Po dosažení průniku vypočítaného řídicím systémem stroje se vytvoří požadovaný ohyb a beran se zvedne do výchozí polohy. Obsluha součást vyjme ze stroje. Tento postup se stále opakuje, dle počtu a posloupností ohybů, dokud není součást kompletně ohraňena. Hotový díl se odkládá na paletu volně, nebo podle požadovaného balícího předpisu [10].

1.2.3 Kontrolní měření a korekce programu

Kontrolní měření se v závislosti na vybavenosti stroje a pracoviště provádí ručně, nebo přímo na stroji za pomoci senzorů a odchylky se automaticky zanáší do korekcí v programu. V případě ručního měření provede operátor po dokončení prvního ohybu kontrolu jeho rozměru a úhlu. Naměřené odchylky se zadávají jako korekce do programu pomocí ovládacího panelu.

Příslušenství umožňující strojní měření přímo v průběhu ohýbání je dnes nabízené téměř všemi výrobci ohraňovacích lisů. U firmy Trumpf je to například systém ACB (Automatically Controlled Bending) který měří úhel ohybu pomocí aktivního razníku (Obrázek 13) nebo laserového senzoru (Obrázek 14) [7][13][15].



Obrázek 13. Úhlový snímač ACB [7]



Obrázek 14. Úhlový snímač ACB Laser [7]

2 ROBOTIKA

Robotika je věda, která se zabývá designem, výrobou a aplikací robotů. Spojuje v sobě elektroniku, mechaniku a informatiku. Robotiku můžeme členit na:

- teoretickou – řeší otázky teoretické, koncepční, umělé inteligence, sensoriky, navigace, simulace, aj.
- technickou – označovanou také jako robotechnika, zahrnující výzkum (aplikační a průmyslový) a vývoj jednotlivých subsystémů robotů, výpočty, metody jejich návrhu, konstrukční problematiku, provoz a údržbu, aj.
- aplikační – označovanou také jako robotechnologie, řeší problematiku nasazování průmyslových robotů ve výrobních systémech a jejich efektivnosti, projektování těchto systémů s PR, periferie robotizovaných pracovišť, programování robotů, aj. [16].

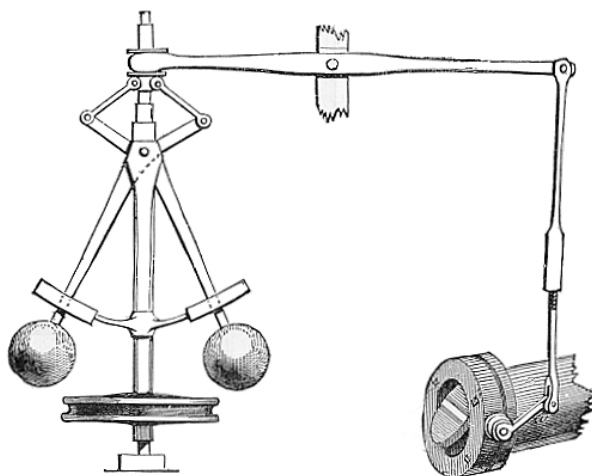
2.1 Automatizace

Automatizací označujeme využití různých přístrojů a zařízení k nahrazení lidské řídicí činnosti při výrobním procesu i mimo něj. Na rozdíl od mechanizace poskytující lidem k práci zařízení, které jim usnadňuje práci, automatizace snižuje potřebu přítomnosti člověka při této práci. Moderní pojetí výrobní automatizace pomáhá lidem udržovat technologické procesy efektivní a bezpečné. Cílem automatizace je také odstranění nebo potlačení vlivu člověka a jeho schopnost včas a přesně zasahovat při jeho řídicí činnosti. Příkladem může být např. udržování konstantní teploty v místnosti, udržování výšky hladiny v zásobníku, udržování rychlosti otáčení parní turbíny, udržování vlhkosti v líně, eliminace poruchových veličin atd. [17][18][19][20].

2.1.1 Historie a vývoj automatizace

Již odedávna mají lidé snahu ulehčovat si práci, která je fyzicky, nebo duševně namáhavá a stále se opakuje. První záznamy o automatizaci pocházejí už ze starověku. Jednalo se o jednoduchá zařízení regulující například přísun zrní mezi mlýnské kameny v závislosti na jejich otáčkách, nebo výšku hladiny v nádrži za pomoci plováku a táhel. K nejvýznamnějším skokům ve vývoji automatizace docházelo během průmyslových revolucí. Tu první například odstartoval vynález parního stroje, který usnadnil přepravu osob a materiálu na velké vzdálenosti. Byl také častěji využíván jako hnací síla ve výrobě a umožnil výrobu na pásových dopravnících. K jeho efektivnímu využití přispěl James Watt svým vynálezem Wattova

regulátoru otáček. Ten za pomoci principu odstředivé síly reguloval průtok páry do hnacího válce stroje (Obrázek 15).



Obrázek 15. Wattův regulátor otáček parního stroje [20]

Automatické stroje schopné fungovat téměř samostatně, začaly vznikat již před druhou světovou válkou. Z tohoto období pocházejí první teoretické práce, popisující zákonitosti automatického řízení. Pro historický vývoj automatizace byly zásadní například Nyquistovy práce v oblasti stability a Zieglerova-Nicholsova metoda optimálního nastavení regulátoru z roku 1942 [17][18][20][21].

2.2 Roboty

Slovo robot poprvé popularizoval český spisovatel Karel Čapek ve své hře R.U.R. (Rossumovi univerzální roboti), která byla vydána v roce 1920. Slovo je odvozeno od slova „robota“, což má ve feudálním systému význam osobní služby sedláků a rolníků pro jejich pány. V češtině se vyvinuly dva způsoby skloňování podle charakteru robota: Pro inteligentní nebo humanoidní roboty se zpravidla používá životné skloňování vzoru pán. Pro průmyslové a jiné člověku nepodobné roboty se používá spíše neživotné skloňování podle vzoru hrad.

2.2.1 Historie robotů

Historie robota jako umělé bytosti je však mnohem delší. Například měděný obr Talos známý již z řecké mytologie.

Vývoj průmyslových robotů začal až ve druhé polovině 20. století v Americe. Jako první jich v roce 1961 začala využívat ve své lince na výrobu automobilů firma General Motors, sídlící v New Jersey, USA. Jednalo se o robot Unimate (Obrázek 16) vyrobený společností

Unimation. Díky příznivé hospodářské situaci a zvyšujícím se požadavkům zákazníků na výrobky se robotika v západních zemích koncem 70. let dočkala velkého úspěchu. V Evropě to byla Anglie, která jako první v roce 1967 získala licenci pro jejich výrobu. Průmyslový robot začal obsazovat výrobní linky, kde nahradil člověka při nadměrně namáhavých nebo nebezpečných pracích.



Obrázek 16. Průmyslový robot Unimate [22]

Důležitá data v historii robotiky

1920 – Poprvé použito slovo robot ve hře R.U.R.

1956 – Vývoj prvního průmyslového robota Unimate

1961 – Unimate nahradil dělníky v továrně v New Jersey

1967 – Anglie získala licenci pro výrobu robotů

1974 – První robot FANUC v Japonsku

1983 – Automatizace výroby v Anglii a Bulharsku s roboty FANUC

Důležité milníky v historii průmyslových robotů

1974 – Robotické rameno Silver Arm, řízené minipočítačem

1977 – Průmyslový robot s elektrickým pohonem ve dvou velikostech

1979 – První motorem poháněný robot pro bodové svařování

1988 – Řídicí systém s možností řízení až 12 os

1992 – Založení školy robotiky FANUC

1998 – XRC regulátor, možnost ovládat až 27 os, synchronizované ovládání 4 robotů

V současné době se počet robotů, využívaných v průmyslu, stále navyšuje. Například v roce 2011, tedy 50 let od využití prvního průmyslového robota ve výrobním procesu, vzrostlo množství kusů ve světě meziročně o 38 % na celých 166 028 kusů. Tržby z prodeje robotů dosáhly ve světovém měřítku neuvěřitelných 8,5 miliard dolarů [21][23].

2.2.2 Oblasti využití

Dnes si již těžko představíme obor lidské činnosti, kde by nebylo pro roboty uplatnění. Lze uvést hned několik příkladů.

- průmyslová výroba: manipulátory, dopravníková soustavy, lakovny, svařovny
- průzkumy a práce v nebezpečných podmínkách: záchranářské práce, vojenský průzkum, pyrotechnika, kontrola potrubí, Hubbleův teleskop
- lékařství: operace na dálku, protetika
- osobní výpomoc: domácí vysavač, robotický administrativní asistent v nemocnicích
- doprava: letecký autopilot (robotem je pak celé letadlo), kolejové vozy bez řidiče, vývoj samořízeného automobilu

Na okraj pole působení robotů lze zařadit i značně distribuované systémy: městské semaforey, systém řízení dopravy např. v pražských tunelech na Smíchově (včetně závor a poloautonomních informačních tabulí) [1][24].

2.2.3 Dělení robotů

Roboty obecně, můžeme rozdělovat podle mnoha různých specifikací a parametrů. Uvedeme některé základní.

Podle generace na:

- roboty 1. generace – pracují na základě pevného programu
- roboty 2. generace – vybavené senzory a čidly, díky nimž reagují na okolní podmínky
- roboty 3. generace – disponuje prvky umělé inteligence, schopností přizpůsobení a učení

Podle jejich schopnosti přemísťovat se na:

- stacionární – nemohou se pohybovat z místa na místo (například průmyslové manipulátory)

- mobilní – mohou se přemisťovat (například vesmírné sondy a vozítka na Marsu)

Dále také podle pohybových možností, stupně autonomie, účelu (boj, výroba, tiskárny a plotry, přeprava, průzkum), způsobu programování, a i jinak.

Podle účelu, vzhledu, způsobu vzniku, schopností a dalších aspektů rozlišujeme tyto roboty:

- Manipulátor – stroj nemající vlastní inteligenci. Je ovládán na dálku.
- Kuchyňský robot – kombinace mixéru, hnětače a dalších kuchyňských strojů, obvykle provedený jako motorová jednotka s nástavci
- Android – robot podobný člověku – obvykle se očekává biologické složení. Roboti v R.U.R. byli podle tohoto dělení androidi.
- Droid – jakýkoliv inteligentní a samočinný robot, jeho typem je i dron, tedy droid pracující jako dělník.
- Humanoid – robot podobný člověku principiální stavbou těla a zejména způsobem pohybu.
- Antropomorfní – stroj, který se člověku přibližuje (napodobuje ho) buď fyzicky, způsobem pohybu, nebo naopak mentálně.

2.3 Průmyslové roboty

Definování přesně toho, co je a co není robot, není v žádném případě jednoduché.

Stručný Oxfordský anglický slovník definuje robota jako: „Stroj schopný provádět složitou sérii činností automaticky, zvláště programovatelný počítačem.“

Průmyslová definice podle RIA (the Robotic Industries Association): „Robot je reprogramovatelný, multifunkční manipulátor určený k přesunu materiálu, dílů, nástrojů nebo specializovaných zařízení pomocí variabilních programovaných pohybů pro provádění různých úkolů.“

Definice podle ISO8373: „Automaticky řízený, reprogramovatelný víceúčelový manipulátor programovatelný ve třech nebo více osách, který může být buď pevný nebo pohyblivý pro použití v průmyslových automatizačních aplikacích.“ [16]

2.3.1 Rozdělení průmyslových robotů podle generace

Podle míry inteligence se průmyslové roboty rozdělují do vývojových generací, přičemž různé literární prameny přistupují k tomuto problému opět značně odlišně. Vzhledem k

předpokládanému dalšímu vývoji v oblasti robotů se posuzují všechny současné průmyslové roboty jako nultá generace a současné špičky světového výzkumu inteligentních robotů se zařazují do první generace. Toto třídění má jistě své opodstatnění, ale vzhledem k různorodosti a rozmanitosti průmyslových robotů je nutné jejich další třídění.

Roboty 1. generace – jsou roboty s programovým řízením, tyto roboty jsou určeny pro vykonávání pevně naprogramovaných postupných operací. Jednoduchost změny programu učinila tyto roboty dostatečně universálními. První generace, se omezuje hlavně na tzv. pohybové aplikace, což znamená „zdvihnout a umístit“, 1,5 generace využívá pro svou činnost již senzory a vykonává funkci „udělej a ověř“.

Roboty 2. generace – jsou roboty vybavené vnímáním. Liší se od programovatelných robotů 1,5 generace především větším sortimentem a počtem senzorů, jak vnějších, tak vnitřních, ale i mnohem složitějším řízením, které neslouží jen k řízení pohybu u robotů 1. generace, ale potřebuje k realizaci řídicí počítač. Jsou to průmyslové roboty vyšší úrovně, roboty, které jsou vybavené koordinačním systémem „oko-ruka“ 2,5 generace bude představována roboty zabezpečujícím komplexní „vnímatelně-pohybové“ funkce.

Roboty 3. generace – jsou inteligentní roboty, které se liší od robotů druhé generace pouze složitostí a objemem řídicího systému, zahrnujícího elementy umělé inteligence. Inteligentní roboty nejsou určeny pouze k imitaci fyzické činnosti člověka, ale též pro automatizaci jeho intelektuální činnosti. Charakteristickou vlastností inteligentních robotů je jejich schopnost k učení a adaptaci v procesu řešení úloh. Mimo jiné má mít 3. generace základní inteligenci pro diskrétní manipulaci se součástkami, zejména při montáži [23].

2.3.2 Typy konstrukce

Průmyslový robot je zpravidla nějaká forma kloubní struktury s různou konfigurací. Odvětví robotiky má definované názvy pro nejčastější typy konstrukce:

- Karteziánské roboty – jinak nazývané také přímočaré nebo portálové, mají nejméně tři lineární osy řízení a velmi často se používají při těžkých a precizních operacích. Zvládnou přenášení jednotlivých dílů karoserií automobilů a hradě si poradí i s výrobou detailních povrchových vzorů. Disponují třemi lineárními klouby, které používají karteziánský souřadný systém (X, Y a Z). Často mívají připojené zápěstí, které umožňuje rotační pohyb. Tři prismatické spoje dovolují lineární pohyb kolem osy.

- SCARA (Obrázek 17) – (Selective Compliant Articulated Robot for Assembly) jsou kompaktní, rychlé, přesné roboty a umožňují precizní manipulaci. V posledních letech se s oblibou využívají k montážním pracím v továrnách. Precizní robotická ruka si hravě poradí s vysokorychlostní montáží, kováním, balením a jemnou manipulací s různými materiály a nástroji. Roboty SCARA bývají rychlejší než karteziánské a mají i menší půdorys. Nejnovější modely poskytují i přes malou velikost a nízkou váhu skvělý výkon, pokročilé řízení trajektorie a perfektní přesnost.



Obrázek 17. Robot SCARA [2]

- Kloubové roboty (Obrázek 18) – s rotačními spoji mají otočný trup, rameno, biceps, předloktí a zápěstí. Rameno je se základnou spojeno pomocí kroužku, spojky v rameni u sebe drží díky rotačním spárám. Tyto typy robotů mají obvykle čtyři nebo šest os a s přesností dovedou balit, umisťovat malé díly a paletizovat.



Obrázek 18. Kloubový robot [2]

- Roboty se dvěma rameny – umí pracovat rychle a účinně. Jsou určené převážně pro montážní práce v elektrotechnickém průmyslu.
- Šestiosé roboty – mají rychlý a přesný pojezd, slibují velkou výrobní kapacitu a zvýšení ekonomické životaschopnosti. Moderní stroje mají nižší hmotnost a poměrně nízkou spotřebu energie.
- Paralelní roboty (Delta) (Obrázek 19) – připomínají svým vzhledem pavouky. Jsou postaveny z propojených paralelogramů připojených ke společné základně a schopny jemných a přesných pohybů. Vysokorychlostní rovnoběžníkové roboty jsou ideální k nakládání a podávání různých materiálů a součástek. Využití mají i v případě balení, vkládání do krabic a kompletaci sad nebo při práci v bezprašných místnostech. Setkat se s nimi můžeme ve farmaceutickém, potravinářském a elektronickém průmyslu.



Obrázek 19. Paralelní robot [2]

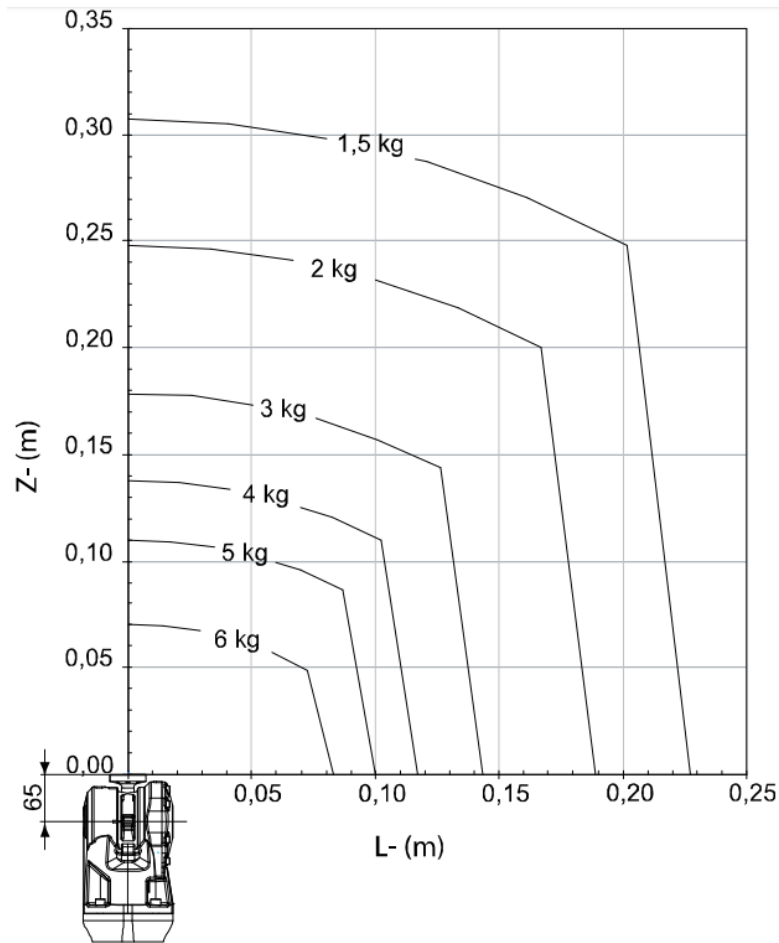
- Cylindrická konfigurace – je vhodná pro roboty pro střední zátěž efektoru. Téměř 15 % průmyslových robotů je tohoto typu. První kloub cylindrického manipulátoru je rotační a vytváří rotaci okolo báze, zatímco druhý a třetí kloub jsou translační. Jak naznačuje jméno kloubové souřadnice jsou cylindrické souřadnice efektoru vzhledem k bázi...

Těchto konstrukcí je dosaženo kombinací několika rotačních anebo translačních kloubů. Každý z kloubů umožňuje pohyb, který může společně přemístit konstrukci nebo rameno robotu do konkrétní polohy. Možnost umístit nástroj namontovaný na konci robotu na libovolné místo s natočením v jakémkoli úhlu, vyžaduje šest kloubů nebo šest stupňů volnosti, běžně známé jako šest os [21][23][25][26].

2.3.3 Základní parametry

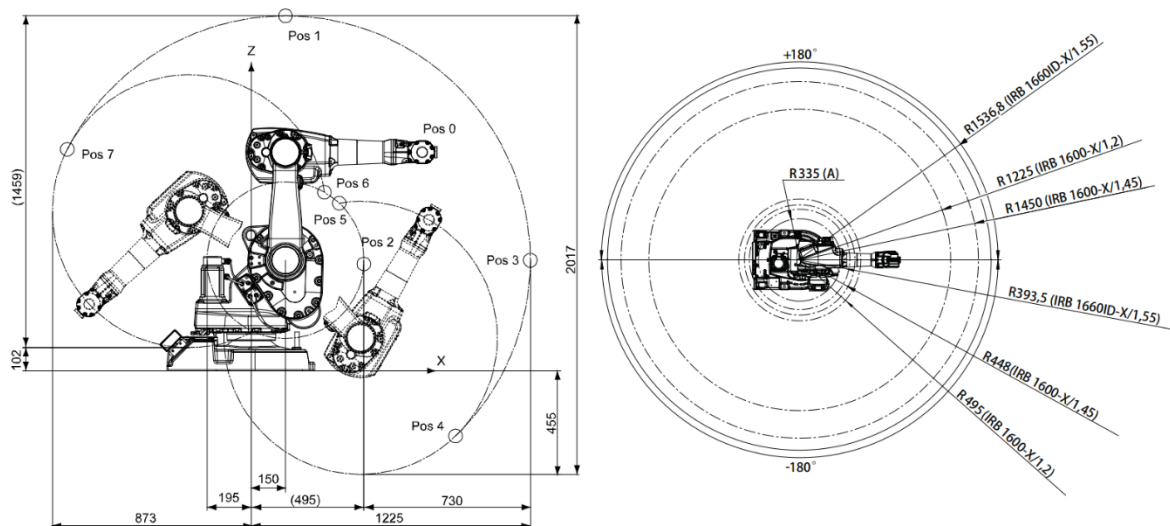
Kromě počtu os a konfigurace jsou hlavní výkonové charakteristiky robota definovány čtyřmi parametry:

- **Užitečné zatížení** je obvykle maximální zatížení, které lze připojit na příruby zápěstí robotu. S tímto zatížením by měl být robot stále schopen dosahovat ostatních specifikací, včetně opakovatelnosti a rychlosti, stejně jako plné životnosti. Toto zatížení je však závislé na vzdálenosti těžiště nákladu od příruby. Výrobci PR většinou uvádějí zátěžový diagram jako je například Obrázek 20.



Obrázek 20. Diagram užitečného zatížení robota IRB 1600-6 výrobce ABB [27]

- **Opakovatelnost** pro průmyslové roboty specifikovaná normou ČSN EN ISO 9283 je obvykle opakovatelnost polohy, ale v některých případech je také uvedena opakovatelnost dráhy. Opakovatelnost polohy je užitečná pro bodové svařování, manipulace, montáže a podobné typy aplikací, ale pro procesní aplikace, jako je svařování a nanášení lepidla, je zásadnější opakovatelnost dráhy.
- **Velikost pracovního prostoru** je pro šestiosého robota definována do středu osy 5, což znamená, že je tento prostor dosažitelný pro zápěstí robotu ve všech úhlech jeho orientace. Pracovní prostor se obvykle zobrazuje jako bokorys a půdorys (Obrázek 21). Robot by měl být schopen dosáhnout libovolného bodu v pracovním prostoru. Tvar pracovního prostoru je přímo závislý na konfiguraci robotů.



Obrázek 21. Pracovní prostor robota IRB 1600 výrobce ABB [27]

- **Rychlost** je často definována jako maximální dosažitelná rychlost jednotlivých os. To má omezenou informační hodnotu, protože osy nefungují nezávisle a v mnoha aplikacích existují kroky, které jsou často krátké a neumožňují robotu dosáhnout maximální rychlosti. Skutečná rychlost robota má však zásadní vliv na dobu cyklu mnoha aplikací [26].

2.3.4 Efektory

Mluvíme-li o efektorech v robotice, máme na mysli tzv. koncové efektory. Je to součást robotu, která přichází do nejužšího styku s výrobkem, jenž má robot zpracovat. Koncové efektory dělíme z konstrukčního hlediska na technologické (svařování, lakování), manipulační (přesouvání či tvarování), kombinované (spojení manipulační a technologické hlavičky) a speciální.

Nejrozšířenějším druhem jsou manipulační. Mezi něž patří i efektory typu lidské ruky, jenž jsou stále ve vývoji, navíc jsou zbytečně složité a drahé. Pro běžnou výrobu se proto používají efektory nahrazující uchopovací funkci. Ty mohou být chapadlové, pneumatické nebo třeba magnetické. Často má robotická sestava i několik různých efektorů, které si může sama vyměnit, vyžaduje-li to výrobní proces. K pohonu efektorů se používá nejčastěji elektrického motoru a z důvodu nižší hmotnosti pneumatického pohonu [23][26].

2.4 Senzorické systémy robotů

2.4.1 Základní druhy senzorů

Senzory dělíme na digitální a analogové. Mezi digitální patří například fotoelektrický senzor, termočlánek nebo ultrazvukový senzor. K analogovým pak řadíme různé tlakové, silové či průtokové senzory. Analogové senzory jsou méně přesnější, záleží u nich na pečlivé kalibraci. Využívají se na konkrétní typy ručních měřidel (dle použití) nebo na ucelené zkušební stanice. Digitální (neboli též diskrétní) senzory ovládáme pomocí tlačítek či spínačů [2][18].

2.4.2 Strojové vidění

Strojového vidění je dosahováno pomocí optických, nekontaktních senzorů, které automaticky přijímají a vyhodnocují obrazy. Systémy vidění jsou využívány například jako inspekční nástroje nebo v rámci širšího automatizačního procesu. V poslední době se náklady na jejich pořízení snížily, proto se strojové vidění používá v mnoha automatizačních procesech a systémech. Hlavně v prostředí nebezpečné člověku, kde se využívá konzistentního a stereotypního použití. Strojové vidění je vhodné pro identifikaci součástí, nalezení správných pozic, kontrolu či měření. Nejčastěji se s ním můžeme setkat na vysokorychlostních výrobních linkách, ve sterilním prostředí či jako mikroskopická kontrola [26].

Strojového vidění plně využívá i automatizační úloha zvaná bin picking, zajišťující detekci a výběr náhodně rozmístěných dílů a jejich přesné polohování do předem stanovených pozic prostřednictvím průmyslových robotů [28].

2.5 Motivace pro robotizaci výroby

Malé a střední podniky se často nachází v situaci, kdy chtějí rozšiřovat výrobní kapacity, avšak nemají k tomu dostatek kvalifikované pracovní síly. Jsou navíc často až izolované od možnosti k takové pracovní síle se dostat. A tu přichází na řadu možnost částečné automatizace, nebo i robotizace výroby. Automatizací výroby lze dosahovat vyšší produktivity za stejnou časovou jednotku. A získat tím, nebo znovuobnovit, konkurenční schopnost na globálním trhu.

Mnozí experti věří, že robotizace a automatizace povede ke ztrátám pracovních míst. To samé si kdysi mysleli i naši předci. Výrobní proces dnešní doby vypadá jinak, než jak bude vypadat v blízké budoucnosti či jak vypadal před několika lety v minulosti. Díky robotizaci

lze uvolnit pracovní jednotky, které mohou vykonávat jinou práci a tím se firmě minimalizuje nárůst výdajů při rozšíření výroby.

Nejvhodnější podniky pro robotizaci či automatizaci jsou výroby potravinářských, stavebních či strojírenských podniků. Velkým přínosem pro lidstvo byla automatizace v zemědělství, kde se takto snížil počet potřebných pracovních míst mnohdy i o desítky procent a tito lidé mohli být po přeškolení a rekvalifikaci použiti na jiných místech výrobního procesu buď opět v zemědělství nebo jiného oboru.

S vývojem moderních technologií se lidé dostávají do míst, kde by člověk neobstál bez různých ochranných pomůcek a speciálních přístrojů. Proto se vyrábí robotické stroje, které tyto věci dělají místo člověka. Lze tak říct, že robotizace přispívá i k ochraně lidského zdraví. Jde například o hloubkové podmořské svařování, různé vědecké činnosti ve vesmíru a další, člověku nebezpečné věci [2][29][30].

2.5.1 Rozhodovací parametry

Můžeme vlastně robotizovat jakoukoli výrobu? Odpověď na takto jednoduchou otázku je kupodivu složitější. Teoreticky ano. Ale robotizujeme, aby se zvýšila produktivita, a hlavně efektivita práce. To znamená, že je snazší robotizovat rutinní manuální práci (dávkování, plnění, počítání, svařování výlisků nebo obrobků). Určitě nejde v dnešní době zrobotizovat třeba restaurátorská práce, která závisí na mnoha faktorech jako je stav restaurovaného předmětu nebo jeho historická důležitost (od toho související dodržení tehdejších historických postupů při renovaci). Zde ještě vládne osvědčená, lety prověřená, lidská zručnost a řemeslný fortel. Výjimkou jsou robotizované stroje pro činnosti, kde by člověku hrozilo nebezpečí na zdraví nebo ztráta života.

Dalším parametrem, který rozhoduje o případné robotizaci je cena, kterou firma zaplatí, chce-li robotizovat část nebo celou výrobu. Nejedná se o malé položky na výdajové stránce, proto se robotizace zatím týká hlavně velkých podniků. Některé druhy robotických zařízení můžeme objednat přímo u výrobce a po dodání hned zapojit do výrobního procesu. ale jsou odvětví, kde se robotizace dělá tzv na tělo. Proto je jednodušší a levnější robotizovat část výroby a ponechat lidské pracovní jednotky, aby zprostředkovali přesun materiálu mezi jednotlivými středisky výroby [2][29][30].

2.5.2 Výhody a nevýhody využití robotu

Jednou z velkých výhod je právě navýšení produktivity výroby za stejný čas. Robotický stroj se neunaví, nedělá chyby (má-li dostatečně kvalitní vstupní materiál), může dělat monotónní práci pořád dokola nebo naopak zvládne vykonávat také práci, která vyžaduje velkou přesnost a správné načasování. Dále může provádět úkoly v prostředí nepřátelském vůči člověku, jako jsou radioaktivní prostředí, prostředí s vysokým, nebo naopak s nízkým, tlakem apod. Výroba pomocí robotických strojů je rychlá, přesná a levná. Správně vyškolený pracovník dokáže ovládat a kontrolovat i několik takových robotických strojů najednou. Zde je právě ta ekonomická výhoda, že se nezvyšují mzdové náklady na výrobu.

Mezi nevýhody určitě patří vysoké pořizovací náklady, které se odvíjejí od složitosti provedení a náročnosti automatizace či robotizace. To je důvod, proč se některé malé a střední podniky tomu brání. Jako další nevýhodu můžeme uvést nerealizovatelnost veškerých činností, které člověk dělá. Jsou postupy a výroby, které nejde zrobotizovat, a proto je musí vykonávat pouze člověk. Pokrok jde ale dopředu a už dnes existují robotické stroje na činnosti, kde se to zprvu zdálo nemožné. Nesmíme také zapomenout, že to jsou stroje a jako každý stroj, i tyto potřebují pravidelný a odborný servis. Což často stojí nemalé peníze. Zanedbání takového servisu může často vést k poškození robotického stroje nebo ke snížení kvality výroby.

Celkově určitě převažují výhody nad nevýhodami. Při správně provedené robotizaci či automatizaci výroba získá vyšší efektivitu i produktivitu práce. Vezmeme-li v potaz, že pracovníky, kteří byli nahrazeni při zavádění robotizace, může firma použít jinde, jde o skvělého pomocníka [2][29][30].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

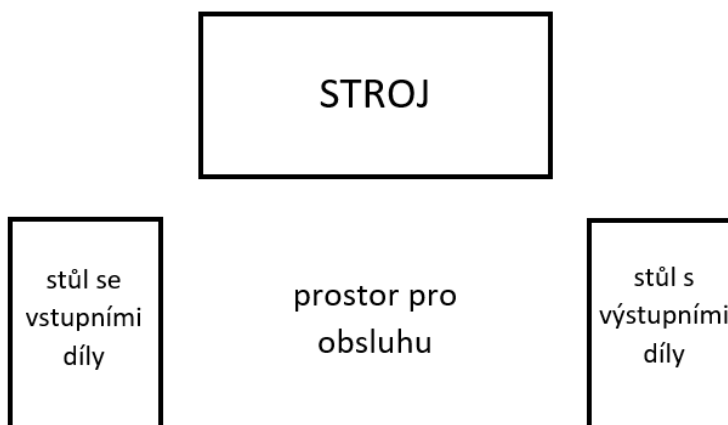
3 NÁVRH KONKRÉTNÍHO ŘEŠENÍ PRO REÁLNÝ PROVOZ

Návrh se týká reálného provozu ve firmě European Data Project s.r.o. provozovna Rousínov. Jde o obor kovovýroby, oddělení ohraňování plechových dílů na ohraňovacích lisech. Úkolem praktické části této práce je navrhnout vhodné řešení robotizace procesu ohraňování plechových dílů. To vše v závislosti na charakteru pracoviště a požadovaném stupni automatizace.

3.1 Popis stávajícího pracoviště

Na základě aktuálního stavu spíše malosériové výroby a charakteru pracoviště se jedná o pružnou automatizaci. Na základě velké variability výrobků a průměrného času zakázky něco málo přes jednu hodinu, je nutné stroje často přenastavit a přeprogramovat. Od výrobení prvních kusů po dobu trvání celé dávky je nutné provádět kontrolu měřením a korekce zanášet do programu stroje.

Konkrétní pracoviště určené k robotizaci využívá ohraňovací lis značky Trumpf model TruBend 7036 (Obrázek 5) podrobněji popsany v kapitole 3.1.1 a dispozici tohoto pracoviště znázorňuje Obrázek 22.



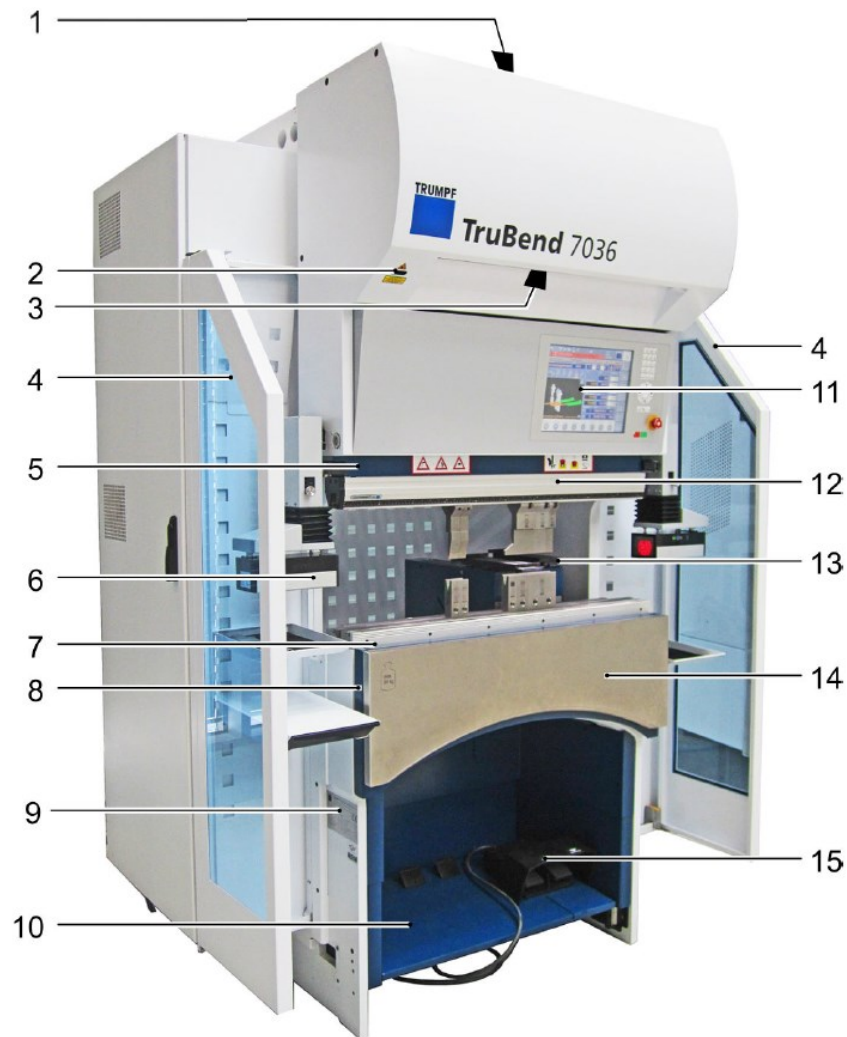
Obrázek 22. Schéma stávajícího pracoviště

Zabraná plocha pracoviště činí necelých 7 m² a pracovní prostor obsluhy lisu je ze stran vymezen dvěma stoly. Na tyto stoly se za pomoci vysokozdvížného vozíku nakládají euro-palety s díly pro zpracování a vykládají se palety s díly již zpracovanými.

3.1.1 Parametry stroje

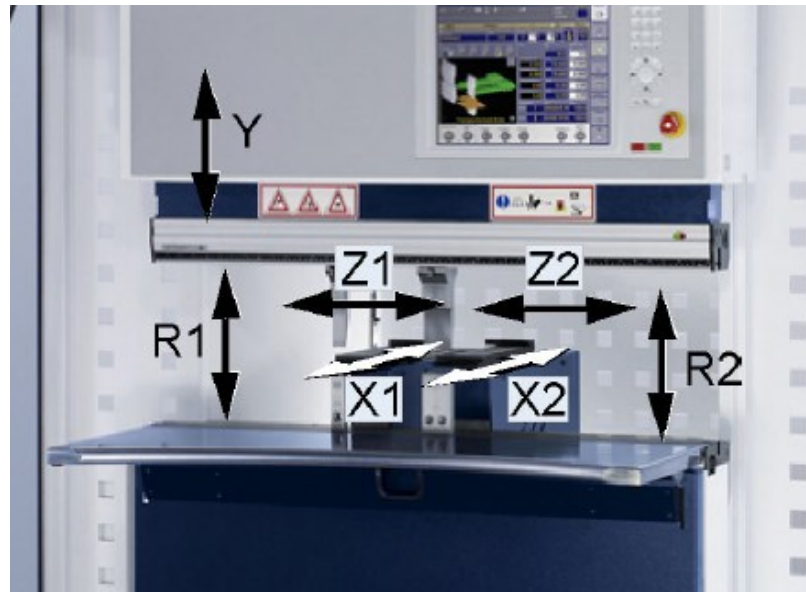
Stroj využívaný na pracovišti je TruBend 7036 vyrobený německou firmou Trumpf. Jedná se o CNC řízený ohraňovací lis určený ke tváření plechových výrobků. Základními částmi,

ze kterých je lis sestaven jsou rám stroje, lisovací beran s upínáním horních nástrojů (razník), lisovací stůl s upínáním dolních nástrojů (matrice), pohon beranu a zadní doraz vymezující polohu výrobku. Podrobnější popis a přehled funkčních os je na následujících obrázcích (Obrázek 23, Obrázek 24). Základní parametry stroje jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 1) [10].



Obrázek 23. Popis částí stroje TruBend 7036 [10]

1 – Elektromechanický přímý pohon. 2 – Čárový laser pro vyznačení linie ohybu. 3 – Osvětlení pracovního prostoru vpředu. 4 – Boční ochranné dveře. 5 – Beran. 6 – BendGuard. 7 – Upínání dolního nástroje. 8 – Lisovací stůl. 9 – Typový štítek. 10 – Nožní opěrka. 11 – Ovládací panel. 12 – Upínání horního nástroje. 13 – Zadní doraz. 14 – Úložný stůl. 15 – Nožní spínač. [10]



Obrázek 24. Osy stroje TruBend 7036 [10]

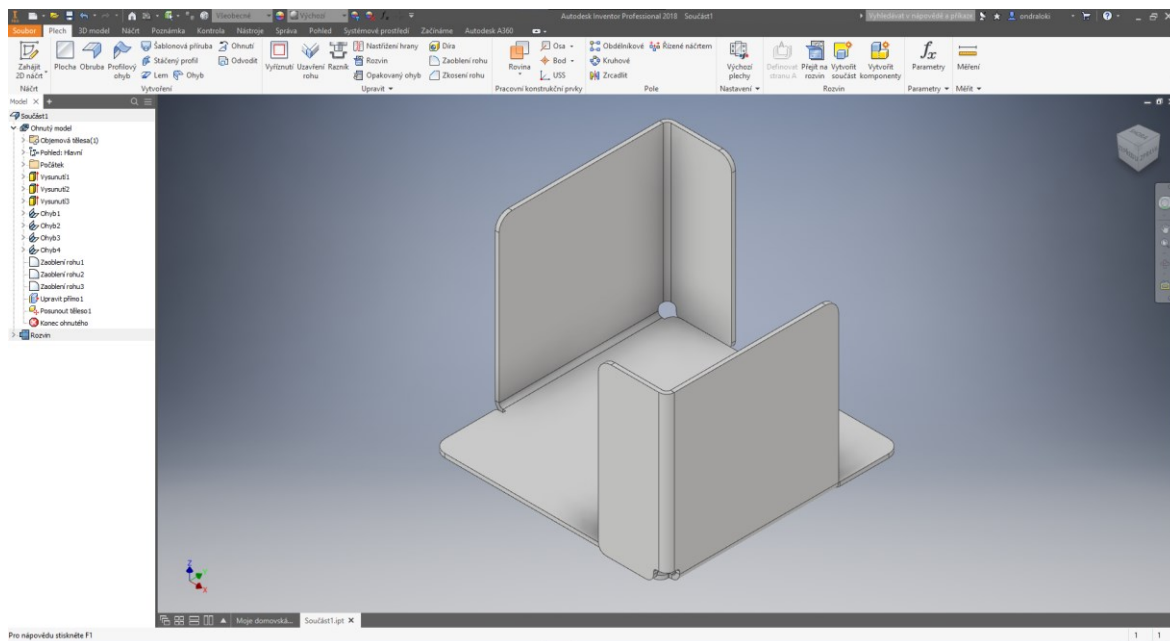
Y – Pohyb beranu nahoru a dolů. R – Pohyb zadního dorazu nahoru a dolů. X – Pohyb dorazových palců dopředu a dozadu. Z – Pohyb zadního dorazu doprava a doleva.

Tabulka 1. Základní parametry stroje TruBend 7036 [10]

Stroj	Lisovací síla	360 kN
	Délka ohybu	1020 mm
	Pracovní výška	1150 mm
Rychlosti	Pracovní chod osy Y	25 mm/s
	Osa X	1000 mm/s
	Osa R	330 mm/s
	Osa Z	1000 mm/s
Přesnost polohování	Osa Y	0,001 mm
	Osa X	0,04 mm
	Osa R	0,06 mm
Rozměry a hmotnost	Délka	1805 mm
	Šířka	1330 mm
	Výška	2380 mm
	Hmotnost	2600 kg

3.1.2 Stanovení vzorového výrobku

Na základě průzkumu historie výroby na strojích této velikosti je stanoven průměrný počet ohybů na jeden výrobek, průměrná velikost výrobku a síla materiálu. Podle těchto parametrů a s využitím programu Autodesk Inventor je zkonstruován vzorový díl (Obrázek 25), který slouží k návrhu, simulaci a následně srovnání jednotlivých variant řešení daného pracoviště.



Obrázek 25. Vzorový díl v prostředí Autodesk Inventor

Na výrobku jsou 4 ohyby, velikost rozvinu je 220 x 142 mm, síla plechu je 1,5 mm a váží 0,23 kg. Výkresová dokumentace je přiložena (Příloha I).

3.1.3 Stanovení požadavků návrhu robotizace procesu

Požadovaným výsledkem je co možná nejvíce nahradit člověka ve výrobním procesu ohraňování plechových dílů na tomto pracovišti. V závislosti na charakteru jednotlivých dílčích úkonů vybrat vhodný způsob automatizace. Zároveň stanovit takové body procesu, u kterých by se automatizace nevyplácela nebo byla neefektivní. Tyto body bude nadále vykonávat člověk s tím rozdílem, že bude moci během výroby střídavě obsluhovat více robotizovaných pracovišť. Velikost zastavěné plochy by neměla příliš překročit tu aktuální.

3.2 Návrh řešení

Návrh je vytvořen na základě stanovených požadavků, charakteru pracovního procesu ohraňování, velikosti a tvaru stávajícího pracoviště a pracovní výšky a šířky stroje. Vše je zhodnoceno na základě informací uvedených v teoretické části této práce.

3.2.1 Stanovení požadovaných vlastností robotu

Vzhledem ke kinematickým nárokům při procesu ohraňování na daném pracovišti je výhodné a téměř nezbytné použít šestiosého kloubového robotu. Jedním důvodem je jak velká horizontální, tak i výšková vzdálenost mezi pracovním a manipulačním prostorem. Druhým důvodem jsou velké nároky na polohování a orientování dílu během jeho zakládání a vykládání ze stroje. Pohyb dílu během samotného ohybu se děje u ohraňovacího lisu s použitím standartního nářadí zpravidla po kružnici v ose nástroje, převážně směrem nahoru.

Přes malou hmotnost stanoveného výrobku, je nutné brát v úvahu parametry stroje, a tedy i možnost výroby větších a těžších dílů o hmotnosti až 5 kg. Dále se musí počítat s hmotností efektoru, který v případě aktivního efektoru samotný dosahuje váhy několika kilogramů.

I když se tolerance v oblasti ohraňovaných dílů pohybuje v řádu desetin milimetru, o přesný rozměr ohybu se stará dorazový mechanismus lisu. Plechové díly jsou zároveň dost pružné a nároky na opakovatelnost robotu se tím velice snižují. S hodnotou opakovatelnosti polohy 0,02 mm kterou dnes zajišťuje téměř většina výrobců kloubových šestiosých robotů, je tento bod při výběru zanedbatelný.

Na základě velikosti dosavadního pracoviště, je nutný výběr robotu s dostatečně velkým pracovním prostorem. To se dá částečně kompenzovat doplněním robotu o translační pojezdové ústrojí, avšak tato varianta podstatně zvyšuje nároky na zastavěný prostor.

Rychlost robotu zde také nebude hrát příliš velkou roli. Až na manipulaci s polotovarem a již dokončeným dílem jsou pohyby během ohýbání velmi krátké a jen zřídka lze u nich dosáhnout maximální rychlosti. Velký vliv má na to také takt stroje a charakter výrobku. Větší díly z tenkého plechu při rychlých pohybech kmitají a nelze tak dosáhnout přesného založení do stroje [26].

3.2.2 Výběr vhodného robotu/manipulátoru

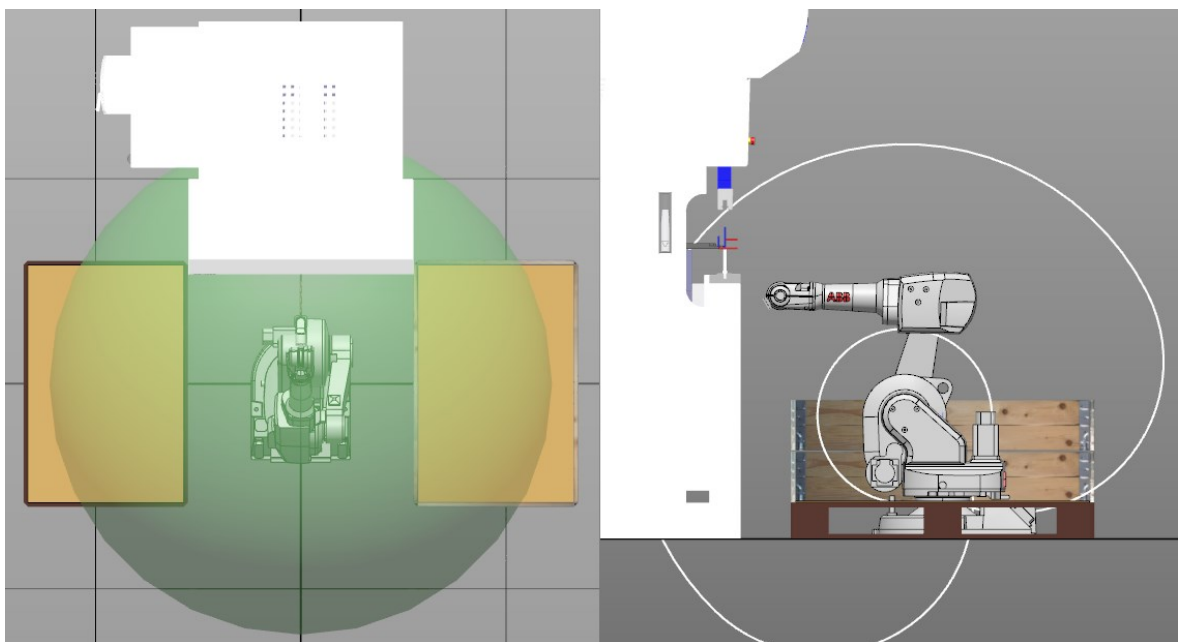
Výše zmíněné požadavky splňuje mnoho robotů mnoha výrobců. Konečnými argumenty pro výběr robotu se tedy stávají parametry jako pořizovací cena, náklady na servis a jeho dostupnost, spolehlivost, životnost, praktickou zkušenost nebo dosavadní zastoupení jednotlivých značek v konkrétní výrobě. Toto jsou však spíše ekonomické a statistické úvahy a jako takové, nejsou předmětem této práce, která se robotizací zabývá hlavně z technického hlediska.

S výhodou, kterou při návrhu a simulaci řešení robotizace poskytuje off-line programovací prostředí RobotStudio od společnosti ABB a s využitím školní licence, bude vhodný robot vybrán z produkce výše zmiňované společnosti ABB.

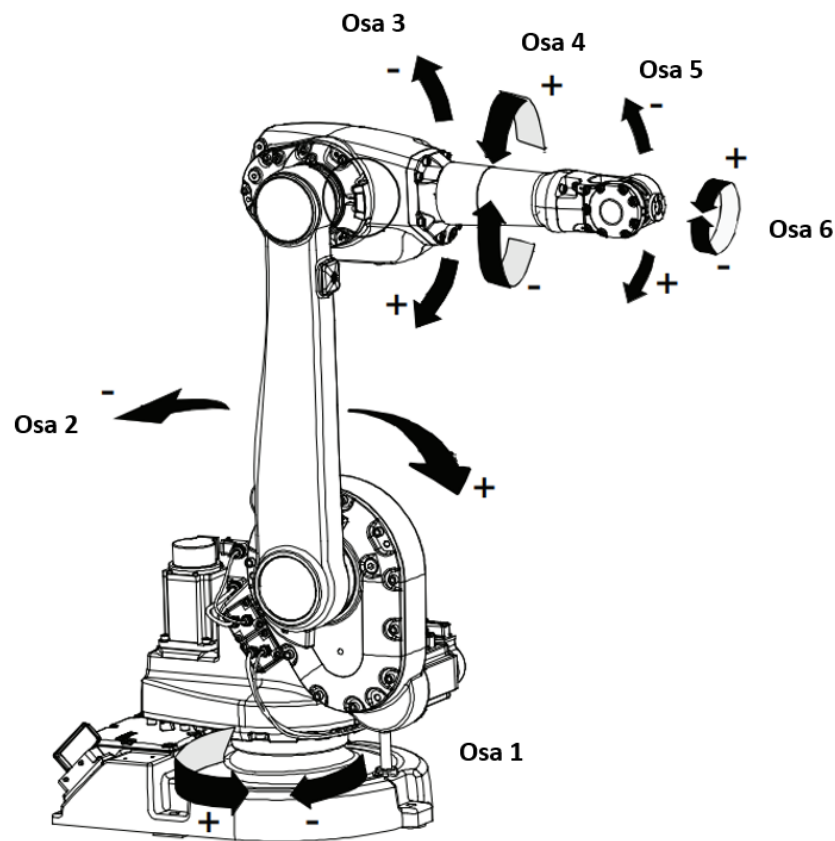
Na základě požadavků stanovených v bodě 3.2.1 je vybrán robot IRB 1600-10/1.2. Disponuje dostatečnou hodnotou užitečného zatížení i opakovatelností (Tabulka 2). Velikost pracovního prostoru je pro řešené pracoviště rovněž dostačující (Obrázek 26). Stavba robota a jednotlivé osy jsou vyznačeny na obrázku (Obrázek 27).

Tabulka 2. Základní parametry robota IRB1600-10/1.2 [27]

Užitečné zatížení	10 kg
Opakovatelnost polohy	0,02 mm
Opakovatelnost dráhy	0,06 mm
Maximální dosah	1,2 m



Obrázek 26. Pracovní prostor IRB 1600-10/1.2 na pracovišti



Obrázek 27. Stavba a jednotlivé osy IRB 1600 [27]

Rychlosti otáčení jednotlivých os jsou v následující tabulce (Tabulka 3).

Tabulka 3. Rychlosti otáčení os IRB 1600-10 [27]

Osa	1	2	3	4	5	6
Rychlost	180°/s	180°/s	180°/s	385°/s	400°/s	460°/s

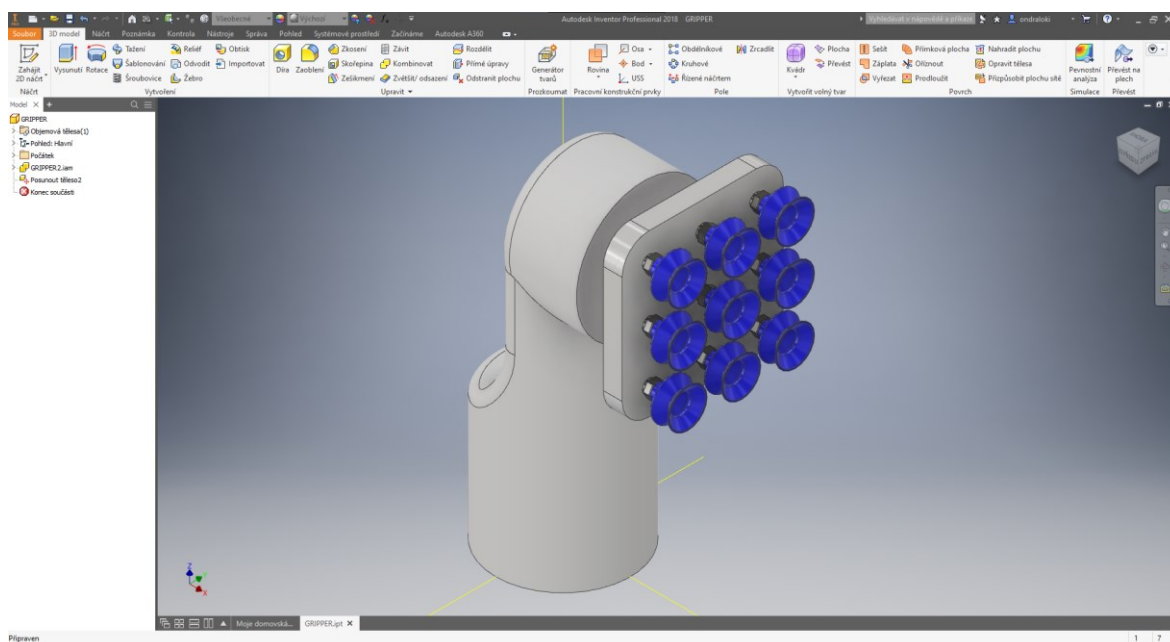
3.2.3 Výběr efektoru

Vzhledem k povaze prostředí není vhodné využití magnetického efektoru. Výrobky jsou sice převážně z magnetického plechu, ale přítomnost kovového prachu by vyžadovala častou údržbu a čištění efektoru. Mechanický drapák má výhodu v potřebě malé plochy pro uchopení. Není však schopen uchopit plechový díl z rovne podložky. V případě větších výrobků dochází vlivem pružnosti a váhy plechu k prohnutí výrobku. Při zrychlení a brždění pohybu zase k velkým zákmitům. Pro plechové díly je tak výhodné použít efektor s podtlakovými přísavkami. Může snadno uchopit díl ležící na podložce, nebo ve vrstvách. Jeho hmotnost je při použití slitin hliníku velmi nízká a není příliš náročný na výrobu. Většina strojírenských

závodů je schopna zkonstruovat a vyrobit podtlakový efektor sama podle vlastních požadovaných vlastností.

Jako názorný příklad je zde využit podtlakový efektor vlastní konstrukce.

Vzhledem k velikosti vzorového dílu a jeho základní plochy pro uchopení, je vhodné použít efektor s malou plochou. Polohování při zakládání do stroje lze řešit pomocí zápěstí robotu, nebo přidáním rotační osy přímo na efektor. Pro pohon této osy je použit servomotor umístěný přímo v těle efektoru. Tím lze zároveň zajistit rovnoměrné doražení výrobku na oba dorazy ohraňovacího lisu. Výsledkem těchto požadavků je tento návrh efektoru vymodelovaný v programu Autodesk Inventor (Obrázek 28).



Obrázek 28. Návrh přísavkového efektoru v prostředí Autodesk Inventor

3.2.4 Výběr příslušenství

Robot je v případě IRB 1600 dodáván spolu s řídicím modulem a ovládacím panelem Flex-Pendant. Veškeré další příslušenství je nutné pořídit zvlášť.

Úkol správného přitisknutí výrobku na dorazové zařízení lisu je v tomto návrhu zajišťován pomocí momentového řízení robotu. Lze však v případě potřeby doplnit o senzory tlaku umístěné na dorazech stroje.

Pro přesné uchopení výrobku je nutné znát jeho přesnou polohu před uchopením, nebo ji ověřit po uchopení a provést korekci. V tomto návrhu je použit systém Integrated Vision

(Obrázek 29), který je díky dodavateli ABB přímo kompatibilní s prostředím RobotStudio a řídicím systémem robotu IRB 1600 (Obrázek 29).



Obrázek 29. Kamera Integrated Vision společnosti ABB [31]

Nezbytné je také zajistit bezpečnost pracoviště. Pro tento účel je vybráno oplocení o výšce 2 m a vstupní prostor opatřený světelnou závorou MLC510 o délce 1,8 m a dosahem 6 m od německého výrobce Leuze (Obrázek 30).

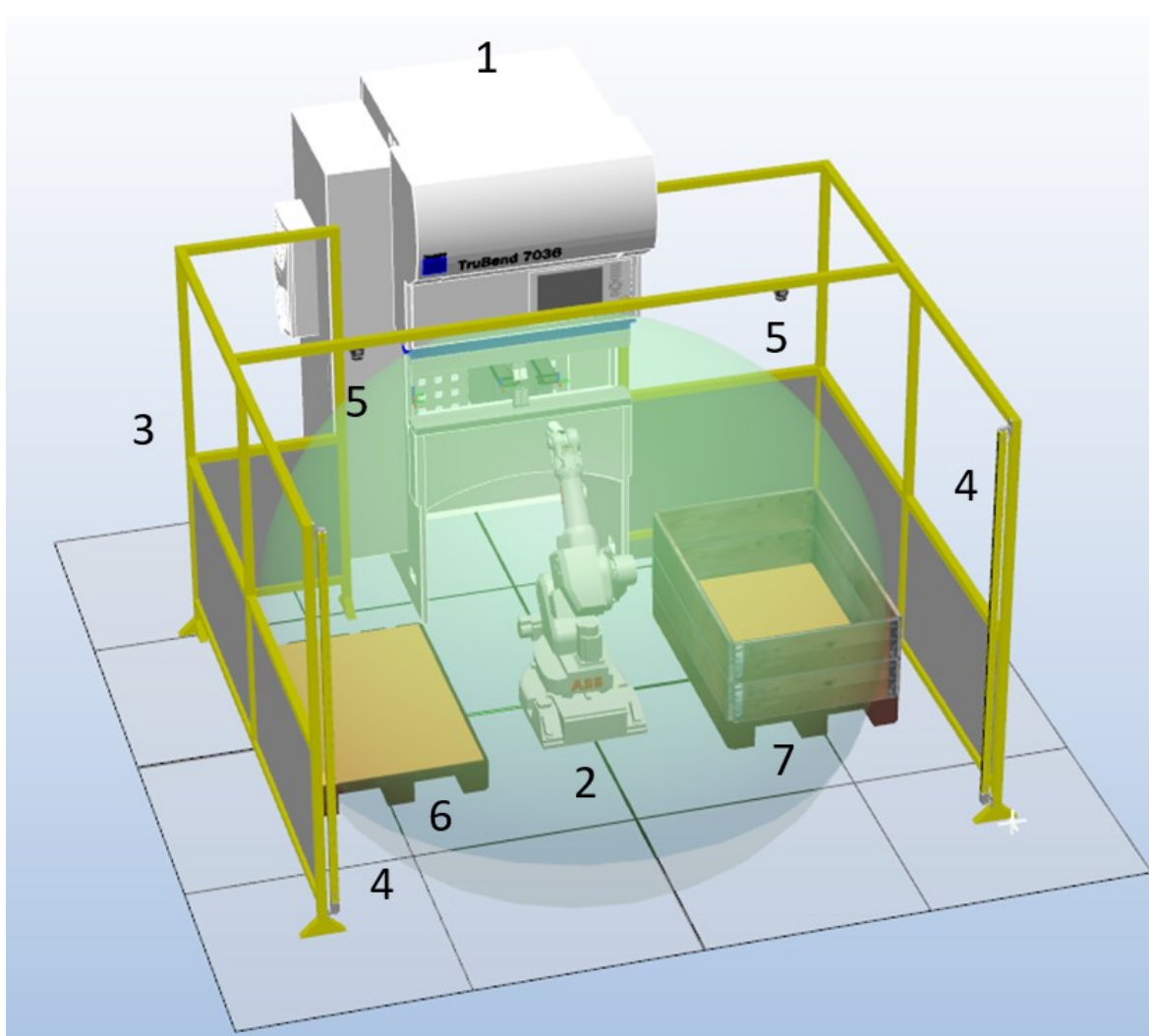


Obrázek 30. Světelná závara MLC510 značky Leuze [32]

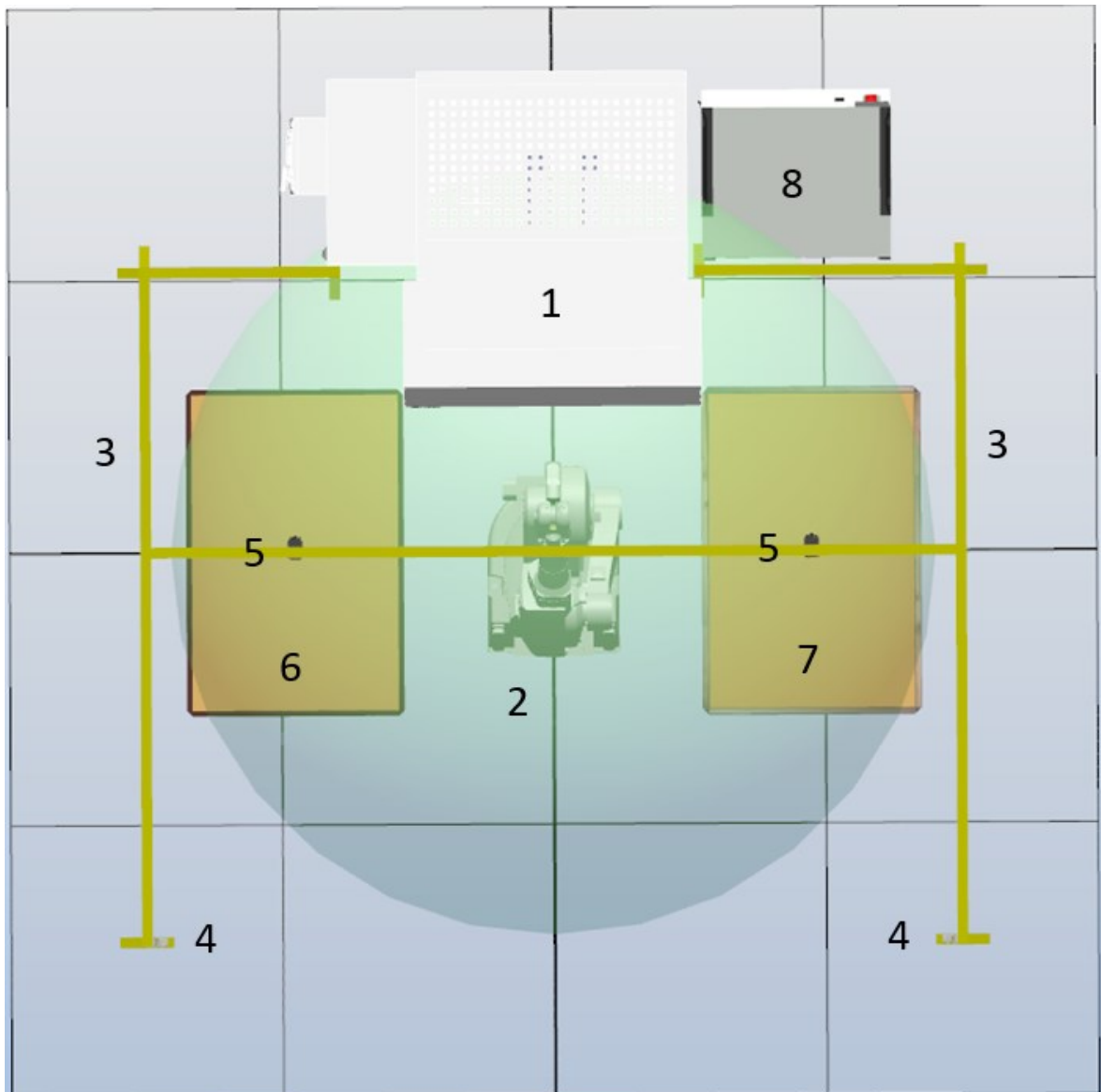
3.2.5 Návrh robotizovaného pracoviště

Návrh je realizován v prostředí programu RobotStudio. Za pomoci vizualizace a simulace pohybů robotu je možné snadno ověřit vhodnost zvolené konfigurace kinematického řetězce

a velikost i tvar pracovního prostoru robotu. Následující obrázky znázorňují kompletní návrh pracoviště včetně vybraného vybavení (Obrázek 31)(Obrázek 32).



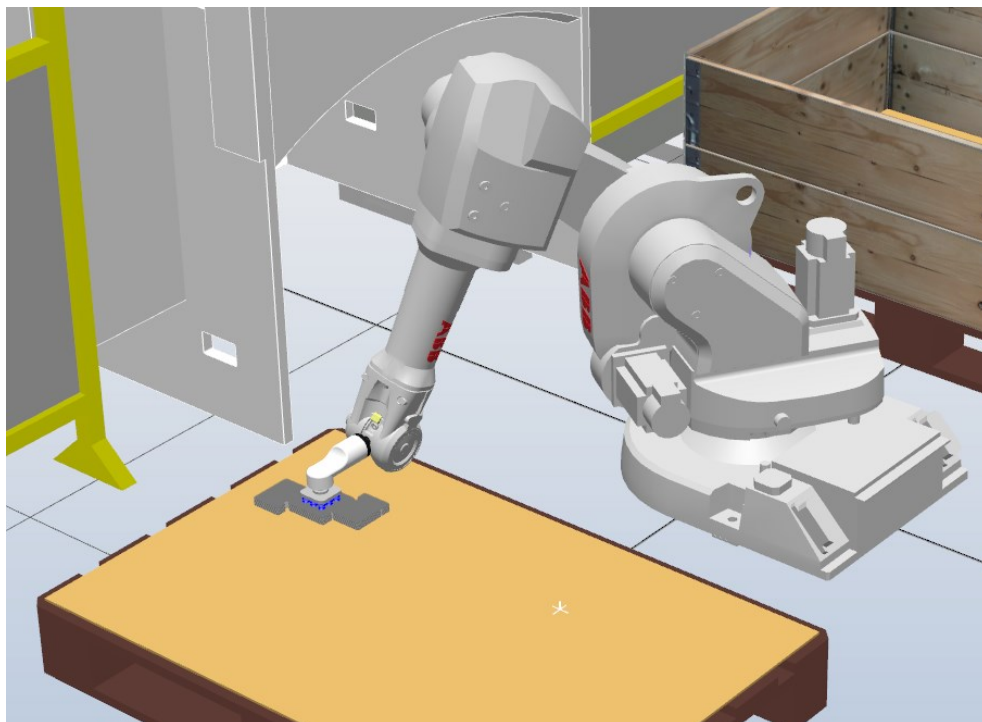
Obrázek 31. Návrh robotizovaného pracoviště



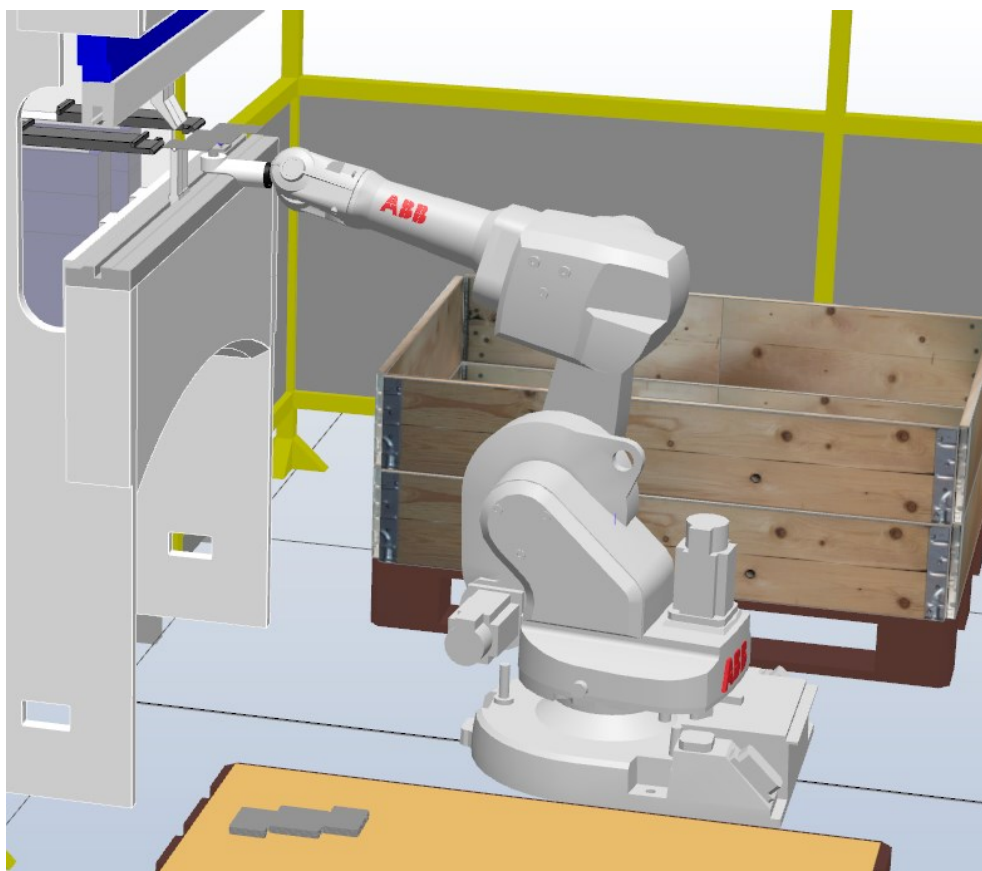
Obrázek 32. Návrh robotizovaného pracoviště

1 – Stroj TruBend 7036. 2 – Robot IRB 1600. 3 – Oplocení pracoviště. 4 – Světelná závora MLC510. 5 – Kamera Integrated Vision. 6 – Europaleta pro polotovary. 7 – Europaleta s ohrádkou pro volné odkládání ohraněných výrobků. 8 – Řídicí modul robotu.

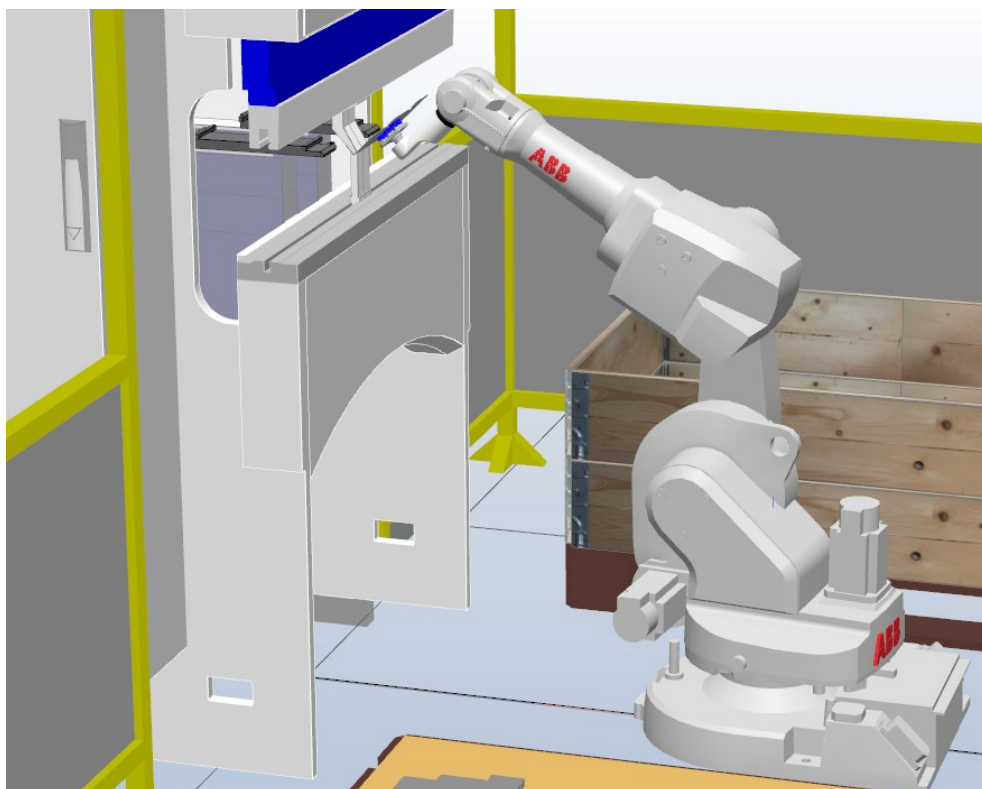
Nasimulováním celého procesu v prostředí programu je možné bezpečně ověřit bezkolizní chod robotu a jeho schopnost obsloužit celý potřebný pracovní prostor (Obrázek 33)(Obrázek 34)(Obrázek 35)(Obrázek 36). Je možné také přímo nasimulovat postupnou sekvenci ohybů prováděných na vzorovém výrobku (Příloha II).



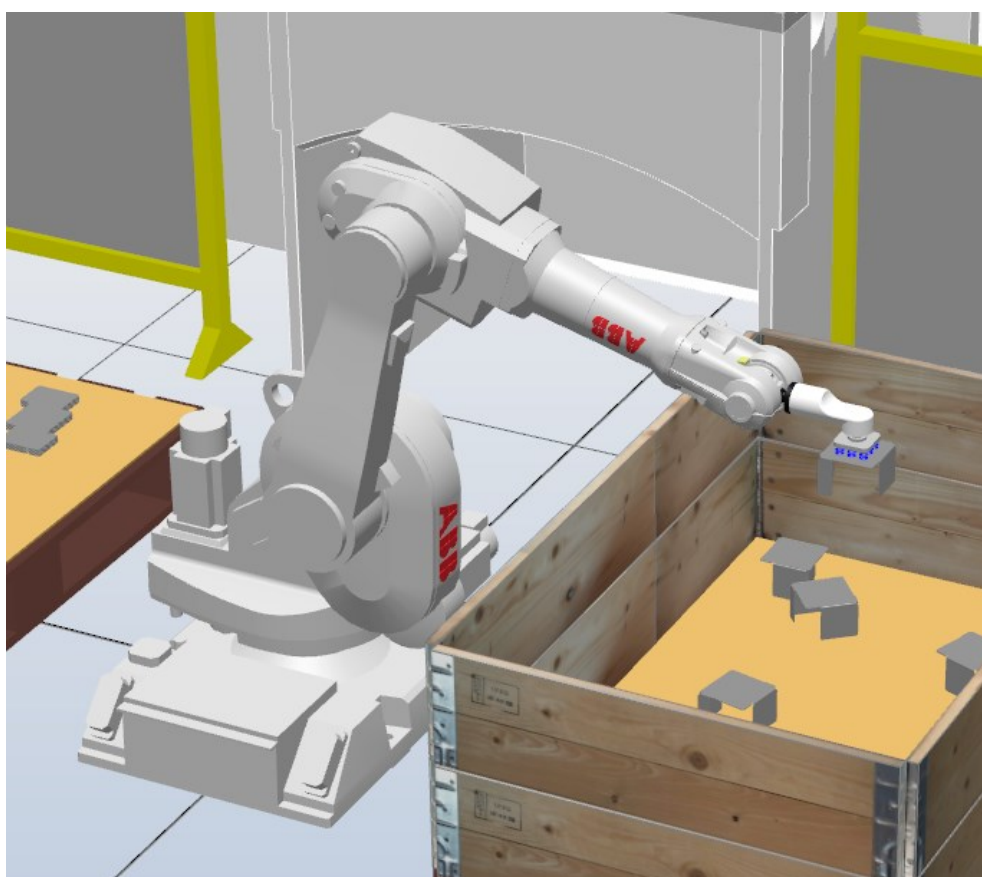
Obrázek 33. Uchopování rovného dílu



Obrázek 34. Zakládání dílu do stroje



Obrázek 35. Ohranění



Obrázek 36. Volné odkládání ohraněného výrobku

4 SROVNÁNÍ NÁVRHU S EXISTUJÍCÍMI ŘEŠENÍMI

Dnes je na trhu nabízeno stále více řešení tohoto výrobního procesu. Při výběru hrají velkou roli pořizovací a provozní náklady, ale hlavně technické specifikace a flexibilita co se týče vyrobiteľnosti dílů s velkou variabilitou velikostí a tvarů.

4.1 Příklad některých na trhu dostupných řešení

Tato řešení můžeme podle provedení rozdělit do dvou základních skupin. Robotické buňky, dodávané přímo výrobcem jako jeden kompletní celek a robotizovaná pracoviště stávající ze standartního stroje a k němu dodatečně doplněnému robotu, jako je tomu u tohoto návrhu, což je ve většině případů realizováno třetí stranou.

4.1.1 Robotické buňky

Příkladem tohoto komplexního řešení jsou robotické ohraňovací buňky Bending Cell švýcarské firmy Bystronic (Obrázek 37), Dyna-Cell belgické firmy LVD (Obrázek 38), Tru-Bend Cell Německé firmy Trumpf (Obrázek 39) a v neposlední řadě robotizované buňky nizozemského výrobce SafanDarley (Obrázek 40).



Obrázek 37. Bystronic BendingCell (vlevo) a MobileBendig Cell 40+80 (vpravo) [33]



Obrázek 38. Dyna-Cell belgické firmy LVD [12]



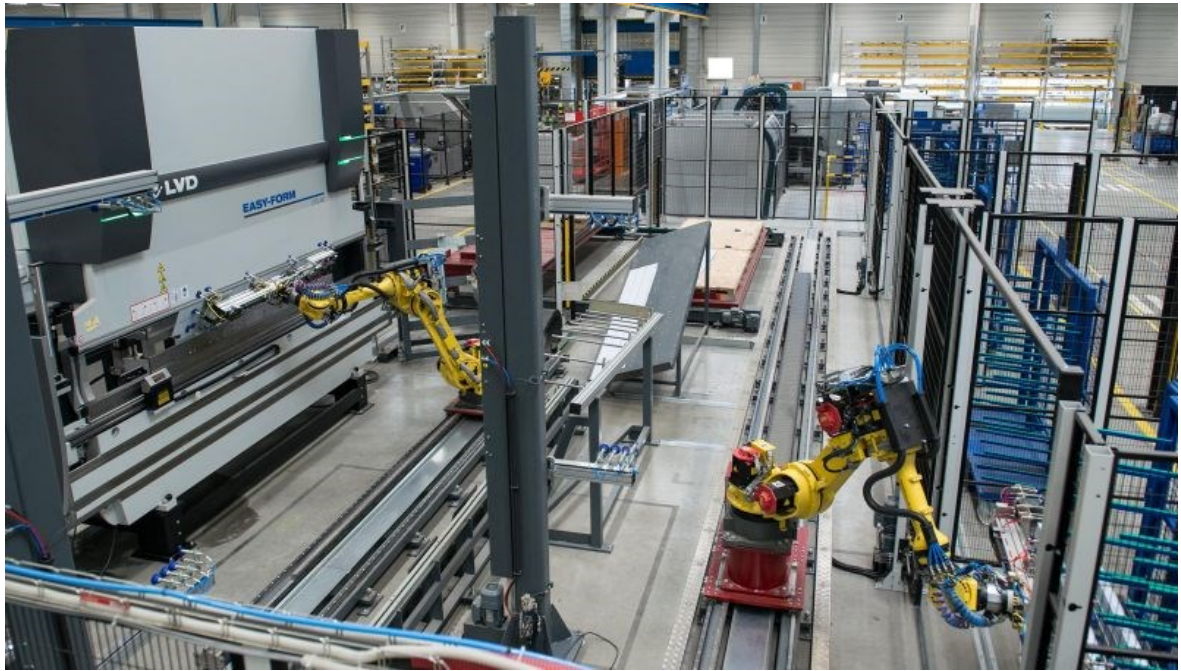
Obrázek 39. Trumpf TruBend Cell 5000 (vlevo) a TruBend Cell 7000 (vpravo) [7]



Obrázek 40. SafanDarley R-Brake 130 (vlevo) a Mini Cell (vpravo) [11]

4.1.2 Robotizovaná pracoviště

Pokud již zákazník vlastní ohraňovací lis a nemá přímo v plánu rozšiřovat výrobní kapacitu, je pro něj tato varianta výhodná zejména z ekonomického hlediska. V tomto případě se může obrátit na některou ze specializovaných firem, která celý projekt na základě zadaných požadavků realizuje. Mezi ně patří například česká firma Newtech (Obrázek 41), nebo italská firma Starmatik (Obrázek 42).



Obrázek 41. Pracoviště robotizované firmou Newtech [34]



Obrázek 42. Pracoviště realizované firmou Starmatik [35]

4.2 Porovnání jednotlivých parametrů

Vzhledem k teoretické povaze návrhu, jsou pro srovnání jednotlivých řešení použita pouze data poskytovaná výrobcí a kalkulace provedené firmou European Data Projekt s.r.o. pro jejíž výrobní podmínky se tento návrh vztahuje. Veškeré pořizovací ceny strojů a vybavení jsou pouze orientační, ale i tak plně postačují k účelu tohoto srovnání.

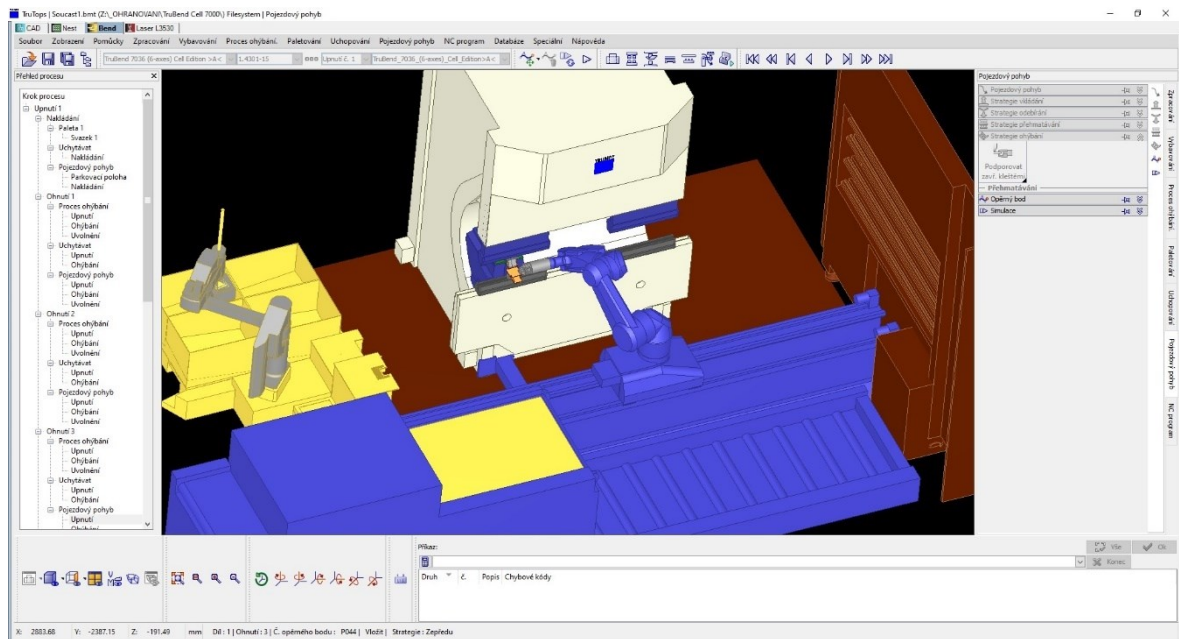
Srovnávacími parametry jsou:

- Zastavěná plocha.
- Maximální délka ohybu.
- Maximální rozměry dílu.
- Maximální váha dílu.
- Pořizovací náklady stroje.
- Čas potřebný k vytvoření programu pro ohraňování vzorového výrobku.
- Čas potřebný ke zhotovení vzorového výrobku.
- Strojní hodinová sazba dle kalkulace European Data Projekt s.r.o.

4.2.1 Manuální a robotizované pracoviště

Pro toto porovnání je použit vzorový výrobek (Obrázek 25), ohraňovací lis TruBend 7036 (Obrázek 5) a robotizované pracoviště zde bude pro účel porovnání zastupovat robotická ohraňovací buňka TruBend Cell 7000 (Obrázek 39).

Pro porovnání výrobního času vzorového výrobku na TruBend Cell 7000, je zhotoven program v off-line programovacím prostředí TruTops Bend (Obrázek 43). Čas potřebný k vytvoření programu činí zhruba 90 minut. Čas pro zhotovení programu pro stroj TruBend 7036 činí asi 15 minut. Čas ke zhotovení vzorového výrobku na TruBend 7036 je určen na základě kalkulace norem European Data Projekt s.r.o. Srovnání všech potřebných parametrů udává následující tabulka (Tabulka 4).



Obrázek 43. Programovací prostředí TruTops Bend

Tabulka 4. Porovnání parametrů TruBend 7036 a TruBend Cell 7000 [7]

Stroj	TruBend 7036	TruBendCell 7000
Zastavená plocha včetně pracovního prostoru	7 m ²	22 m ²
Maximální délka ohybu	1020 mm	500 mm
Maximální rozměry dílu	max. délka ohybu	500 x 380 mm
Maximální váha dílu	-	3 kg
Pořizovací náklady stroje	110.000 €	500.000 €
Čas potřebný k vytvoření programu pro ohraňování vzorového výrobku	15 min	90 min
Čas potřebný ke zhotovení vzorového výrobku	0,57 min/kus	0,47 min/kus
Strojní hodinová sazba	658 Kč/hod	671 Kč/hod

4.2.2 Existující a navržené řešení

Jako existující řešení je znovu vybrána robotická ohraňovací buňka TruBend Cell 7000. Pořizovací náklady na navrhované řešení se skládají z ceny stroje TruBend 7036, robotu IRB 1600 a veškerého vybraného příslušenství (Tabulka 5). Orientační ceny jsou poskytnuty na základě poptávky prodejci jednotlivého vybavení.

Čas potřebný k výrobě vzorového kusu lze u navrhovaného řešení jen těžko odhadovat. Strojní hodinová sazba je také závislá na více okolnostech, jako například délka odpisu. Tyto parametry tedy nejsou pro aktuální porovnání brány v potaz.

Tabulka 5. Ceník jednotlivých položek navrhovaného řešení

Položka	Cena
Ohraňovací lis TruBend 7036	110.000 €
IRB 1600	23.000 €
Koncový efektor + příslušenství	2.500
Kamera ABB Integrated Vision 2ks	7.000 €
Světelná závora Leuze MLC510	1.500 €
Oplocení pracovního prostoru	2.000 €
Náklady na montáž	2.000 €
Celkové náklady	148.000 €

Tabulka 6. Porovnání navrhovaného řešení a TruBend Cell 7000 [7][27]

Stroj	Návrh řešení	TruBendCell 7000
Zastavěná plocha včetně pracovního prostoru	10 m ²	22 m ²
Maximální délka ohybu	1020 mm	500 mm
Maximální rozměry dílu	max. délka ohybu	500 x 380 mm
Maximální váha dílu	10 kg – efektor	3 kg
Pořizovací náklady stroje	148.000 €	500.000 €

4.3 Vyhodnocení výhod/nevýhod navrženého řešení

V předchozím porovnání jsou jasně zřetelné rozdíly mezi různými parametry. Důležité je však také zhodnocení z pohledu praktického využití. Podstatná je například flexibilita, možnost konfigurace, nároky na údržbu nebo na kvalifikovanost obsluhy.

V případě srovnání návrhu s TruBend Cell 7000 je to právě „neomezená“ možnost modifikací a úprav, které robotizované pracoviště s využitím robotu IRB 1600 a off-line programovací prostředí RobotStudio umožňuje. Vytváření speciálních efektorů a jejich následná

aplikace je již téměř otázkou představivosti a konstruktérských dovedností. To je velkou výhodou hlavně pro malosériovou výrobu s velkou variabilitou výrobků.

Pořizovací náklady jsou také pádným argumentem při výběru vhodného řešení. Zvláště v případě, kdy už jsou ohraňovací lisy v dané firmě k dispozici a navrhované řešení má kompenzovat nedostatek pracovníků.

Nevýhodou se může stát obtížné řešení komunikace robotu se strojem v závislosti na použitém systému řízení, a jeho implementace do programovacího prostředí.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo provést literární rešerši na téma možnosti robotizace technologického procesu ohraňování plechů, popsat použité technologie při procesu ohraňování plechů, identifikovat jednotlivé fáze procesu ohraňování plechů, ve kterých by bylo možné využít průmyslového robotu, zdůvodnit volbu typu robotu a jednotlivých doplňkových komponent pro robotizaci daného pracoviště a popsat a porovnat navržené řešení s existujícím řešením. Uvést jejich výhody a nevýhody.

Provedení literární rešerše se ukázalo být komplikovaným z důvodu absence literatury řešící problematiku robotizace, vztaženou přímo na proces ohraňování plechů. Většina zdrojů popisuje robotizaci běžnějších technologických procesů jako je svařování, lakování, montáž a paletizace. Bylo tedy nutné udělat rešerši na robotizaci jako takovou a získané informace poté skloubit s informacemi získanými literární rešerší na téma ohraňování plechů.

Technologie spojené s ohraňováním plechů byly popsány jen do té nutné míry, kterou vyžaduje následný proces robotizace. Tváření plechů samotné je velmi komplikovanou a rozsáhlou problematikou strojírenského odvětví. Pro účely této práce bylo využito zejména informací o strojích a zařízeních, které tuto činnost vykovávají a průběhu daného procesu z hlediska kinematiky.

Na základě popisu daného technologického procesu byly identifikovány jednotlivé body, pro které je vhodné využití robotu. Vzhledem k manipulační povaze při zakládání polotovarů do stroje, bylo možné tento proces, až na kontrolní měření a provádění korekcí programu, robotu kompletně svěřit.

Vzhledem k povaze vyráběných dílů, stroje a celého pracoviště určeného k robotizaci byly stanoveny požadavky na parametry vybíraného robotu. Následně zvolený robot veškeré požadavky splnil. Velkým přínosem při ověřování zejména vhodného tvaru pracovního prostoru a kinematiky robotu, bylo využití off-line programovacího prostředí RobotStudio od společnosti ABB. Tento robot byl doplněn o další příslušenství nezbytné k bezpečnému a efektivnímu chodu celého pracoviště, včetně návrhu vhodného efektoru.

V bakalářské práci je názorně představeno několik alternativ dostupných na trhu, které jsou bezesporu účinným řešením zadané problematiky. Při srovnávání jednotlivých možností realizace technologického procesu ohraňování byly patrné rozdíly různých porovnávaných parametrů. Byly tak získány užitečné podklady pro rozhodování při výběru vhodného řešení

robotizace daného pracoviště. Stejně tak byly vyzdviženy jednotlivé výhody a nevýhody navrhovaného řešení, což rovněž poukazuje na podstatné rozdíly jednotlivých variant.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAREK, David, Petr NĚMEC, Václav FRANČE. Deloitte Touche Tohmatsu Limited. *Automatizace práce v ČR*. 2018 [online]. Dostupný z: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cz/Documents/strategy-operations/Automatizace-prace-v-CR.pdf>
- [2] LAMB, Frank. *Industrial Automation: Hands On*. McGraw-Hill Education, 2013. ISBN 978-0-07-181647-2.
- [3] ČSN 22 6001 (226001). *Názvoslovní technologie tváření kovů*. Praha: Český normalizační institut, 1967.
- [4] HKS-Cs Profi. In: *STROJEGRADNJA SAS* [online]. Podplat: Arzenšek Stanko s.p. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: https://strojegradnja-sas.si/cache/arzense2/8-dsc_0023_00002_copy_copymhgmnggh-fee49a108308d159.png
- [5] Semimotorická ohýbačka UNIM. In: *Bickel & Wolf* [online]. Praha: Bickel & Wolf, 2013 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.bickelwolf.cz/assets/images/0/UNIM-fdba9df0.jpg>
- [6] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2032-4.
- [7] *Trumpf* [online]. Ditzingen: TRUMPF GmbH + Co. KG (Holding), 2020 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <https://www.trumpf.com/>
- [8] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
- [9] DVOŘÁK, Milan, Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření. Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník CTT-K* [online]. Brno, 2006. Dostupný z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm
- [10] TRUMPF. *Originální návod k provozu TruBend Série 7000(B19)*. Vydání 2018.
- [11] *SafanDarley* [online]. Lochem: SafanDarley B.V., 2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://safandarley.com/uk>
- [12] *LVD* [online]. Gullegem: LVD Company nv, 2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.lvdgroup.com/en>
- [13] *Katalog ohýbacích nástrojů* [online]. TRUMPF Maschinen Austria GesmbH & Co. KG, 2019. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/servis/servis-strojni-systemy-a-lasery/nastroje/ohybaci-nastroje/

- [14] *Ohraňovací nástroje* [online]. 12. Burbach: UKB – Uwe Krumm, 2019 [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <https://www.ukb-gmbh.de/es/media/ukb-katalogy/>
- [15] *MM Průmyslové spektrum*. [online] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/aktivni-mereni-uhlu-pri-ohybani.html>
- [16] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, [2008]. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [17] Kolektiv autorů. *Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace*. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3628-7.
- [18] Kolektiv autorů. *Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky*. 5., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.
- [19] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Automatizace* [online]. c2019. Dostupný z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Automatizace&oldid=17635966>
- [20] NAVRÁTIL, Pavel. *Automatizace: Vybrané statě*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta aplikované informatiky, [2011]. ISBN: 978-80-7318-935-8
- [21] FANUC Czech s.r.o. *Magazín o průmyslové automatizaci a robotice*. [online]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/>
- [22] The Kawasaki-Unimate 2000. In: *Kawasaki* [online]. Kawasaki Heavy Industries, 2018 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: https://robotics.kawasaki.com/ja1/anniversary/assets/images/history/image_history_02_01.jpg
- [23] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [24] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Robot* [online]. c2020. Dostupný z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Robot&oldid=18104971>
- [25] Kolektiv autorů. *Automatizace a automatizační technika: automatické systémy*. Praha: Computer Press, 2000, ix, 166 s. ISBN 80-7226-249-1.
- [26] WILSON, Mike. *Implementation of robot systems: an introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing*. Amsterdam: Elsevier, BH, 2015, xv, 229 s. ISBN 9780124047334.
- [27] *Product specification: IRB 1600/1660* [online]. A16. ABB, 2019 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC023604-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

- [28] *Technický týdeník: Automatizace robotizace* [online]. ČR: Business Media CZ, 2019 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://www.technickytydenik.cz/rubriky/automatizace-robotizace/>
- [29] GLASER, Andrew. *Industrial robotics: how to implement the right system for your plant*. New York: Industrial Press, c2009, 1 [online]. Dostupné z: http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIRHIRSY8/industrial_robotics__how_to_implementation_the_right_system_for_your_plant
- [30] *Svět průmyslu* [online]. Šumperk: Smart Connections, 2019 [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://svetprumyslu.cz/>
- [31] *Integrated Vision: Vision-guided robotics for use by any industry* [online]. B. ABB, 2018 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0242EN_R1&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
- [32] *Leuze* [online]. Owen: Leuze electronic GmbH + Co, 2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.leuze.com/en/deutschland/>
- [33] *Bystronic* [online]. Brno: Bystronic Czech Republic s.r.o., 2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.bystronic.cz/cs/>
- [34] *Newtech* [online]. Praha: Newtech s.r.o., 2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.newtech.cz/>
- [35] *Starmatic* [online]. Spresiano: Starmatic s.r.l., 2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <http://www.starmatik.com/en/contacts.php>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Ohýbací stroje [4][5]	11
Obrázek 2. Volné ohýbání [7].....	12
Obrázek 3. Ohýbání ražením [7].....	13
Obrázek 4. Falcování a přitisknutí [7]	13
Obrázek 5. Ohraňovací lis TruBend 7036 [10].....	14
Obrázek 6. Ohraňovací lisy [7][11][12]	15
Obrázek 7. Razník [13]	16
Obrázek 8. Matrice [13].....	16
Obrázek 9. Modifikované nástroje [13]	16
Obrázek 10. Ovládací panel [10]	17
Obrázek 11. Volba posloupnosti ohybů.....	18
Obrázek 12. Grafické dílenské programování (volitelné vybavení) [10]	18
Obrázek 13. Úhlový snímač ACB [7].....	20
Obrázek 14. Úhlový snímač ACB Laser [7].....	20
Obrázek 15. Wattův regulátor otáček parního stroje [20]	22
Obrázek 16. Průmyslový robot Unimate [22].....	23
Obrázek 17. Robot SCARA [2]	27
Obrázek 18. Kloubový robot [2].....	28
Obrázek 19. Paralelní robot [2].....	29
Obrázek 20. Diagram užitečného zatížení robota IRB 1600-6 výrobce ABB [27]	30
Obrázek 21. Pracovní prostor robota IRB 1600 výrobce ABB [27].....	31
Obrázek 22. Schéma stávajícího pracoviště	36
Obrázek 23. Popis částí stroje TruBend 7036 [10].....	37
Obrázek 24. Osy stroje TruBend 7036 [10].....	38
Obrázek 25. Vzorový díl v prostředí Autodesk Inventor.....	39
Obrázek 26. Pracovní prostor IRB 1600-10/1.2 na pracovišti.....	41
Obrázek 27. Stavba a jednotlivé osy IRB 1600 [27]	42
Obrázek 28. Návrh přísavkového efektoru v prostředí Autodesk Inventor	43
Obrázek 29. Kamera Integrated Vision společnosti ABB [31]	44
Obrázek 30. Světelná závora MLC510 značky Leuze [32]	44
Obrázek 31. Návrh robotizovaného pracoviště.....	45
Obrázek 32. Návrh robotizovaného pracoviště.....	46

Obrázek 33. Uchopování rovného dílu	47
Obrázek 34. Zakládání dílu do stroje.....	47
Obrázek 35. Ohranění	48
Obrázek 36. Volné odkládání ohraňného výrobku	48
Obrázek 37. Bystronic BendingCell (vlevo) a MobileBendig Cell 40+80 (vpravo) [33]	49
Obrázek 38. Dyna-Cell belgické firmy LVD [12].....	50
Obrázek 39. Trumpf TruBend Cell 5000 (vlevo) a TruBend Cell 7000 (vpravo) [7]	50
Obrázek 40. SafanDarley R-Brake 130 (vlevo) a Mini Cell (vpravo) [11]	50
Obrázek 41. Pracoviště robotizované firmou Newtech [34].....	51
Obrázek 42. Pracoviště realizované firmou Starmatic [35].....	51
Obrázek 43. Programovací prostředí TruTops Bend	53

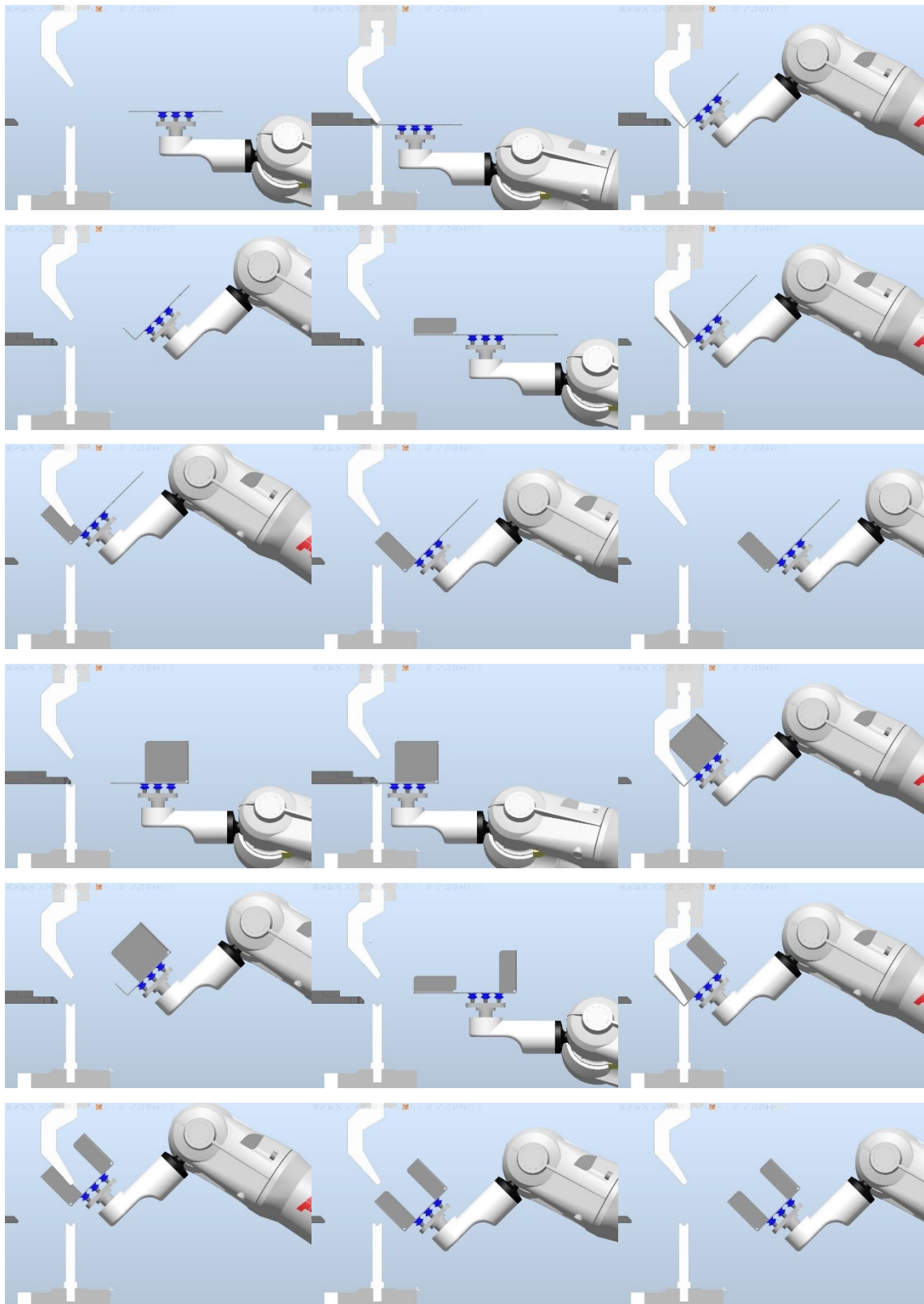
SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Základní parametry stroje TruBend 7036 [10]	38
Tabulka 2. Základní parametry robotu IRB1600-10/1.2 [27].....	41
Tabulka 3. Rychlosti otáčení os IRB 1600-10 [27]	42
Tabulka 4. Porovnání parametrů TruBend 7036 a TruBend Cell 7000 [7]	53
Tabulka 5. Ceník jednotlivých položek navrhovaného řešení	54
Tabulka 6. Porovnání navrhovaného řešení a TruBend Cell 7000 [7][27].....	54

SEZNAM PŘÍLOH

- PI Výkresová dokumentace vzorového výrobku.
- PII Simulovaná sekvence ohybů na vzorovém výrobku.
- PIII CD

PŘÍLOHA P II: SIMULOVANÁ SEKVENCE OHYBŮ NA VZOROVÉM VÝROBKU



PŘÍLOHA P III: CD

Obsah přiloženého CD:

- Bakalářská práce v elektronické podobě
- Soubor programu RobotStudio se simulačním modelem pracoviště
- Model navrženého výrobku a koncového efektoru z programu Autodesk Inventor
- Nastavovací plány z programu TruTops pro stroj TB7036 a TBC7000