



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

KONCOVÝ EFEKTOR PRO MANIPULACI S TVAROVĚ SLOŽITÝMI KOMPONENTY

END EFFECTOR FOR MANIPULATION OF SHAPE-COMPLEX COMPONENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Danila Kiselev

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Danila Kiselev**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Jan Vetiška, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Koncový efektor pro manipulaci s tvarově složitými komponenty

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zaměřuje na návrh koncového efektoru robotu pro manipulaci s objekty. Odstranění rutinních manipulačních úloh ve výrobním procesu je v současnosti velmi aktuální téma. Pro tuto úlohu jsou využívány roboty a manipulátory, které je pro správnou funkci nutné osadit vhodně navrženými koncovými efektorů.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše.
Systémový rozbor.
Konceptuální návrh.
3D model.
Výkresová dokumentace.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, Bruno a Oussama. KHATIB. Springer handbook of robotics. Berlin: Springer, c2008. ISBN 978-3-540-23957-4

KOLÍBAL, Z. a kol.: Roboty a robotizované výrobní technologie. VUTIUM Brno, 2016, ISBN 978-80-214-4828-5

NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D., FEng.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se věnuje konceptuálnímu návrhu univerzálního koncového efektoru pro manipulaci s tvarově složitými komponenty. První část této práce je zaměřena na podrobnou rešerši v oblasti koncových efektoru zejména manipulačních efektoru s podrobným popisem jejich podskupin. V další kapitole je systémový rozbor, který definuje problémovou situaci a hledá optimální řešení. Následuje část konstrukce koncového efektoru, která popisuje jednotlivé komponenty a výslednou sestavu. Popisy komponent zahrnují technické parametry. Pro ověření funkčnosti byl proveden kontrolní výpočet potřebné síly uchopení. Na základě výsledků byla vybrána pracovní hlavice. Kritické momenty jsou kontrolovány a porovnány s maximálními hodnotami výrobce, což potvrzuje funkčnost navrhovaného konceptu. V závěru práce jsou v kapitole hodnocení a diskuse rozebrány další varianty řešení a jejich výhody a nevýhody ve vztahu ke koncepční variantě. Byly vypracovány 3D modely a výrobní dokumentace jednotlivých komponent a sestavy.

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the conceptual design of a universal end effector for handling shape complex components. The first part of this thesis focuses on a detailed research in the field of end-effectors especially manipulation end-effectors with a detailed description of their subsets. The next section is a system analysis that defines the problem situation and searches for an optimal solution. This is followed by an end effector design section that describes the individual components and the resulting assembly. The component descriptions include technical parameters. To verify functionality, a check calculation of the required gripping force was performed. Based on the results, a working head was selected. The critical moments are checked and compared to the manufacturer's maximum values, confirming the functionality of the proposed concept. At the end of the paper, in the evaluation and discussion chapter, other design options and their advantages and disadvantages in relation to the conceptual option are discussed. 3D models and manufacturing documentation of the individual components and assemblies have been developed.

KLÍČOVÁ SLOVA

Univerzální koncový efektor, konstrukce koncového efektoru, paralelní chapadlo

KEYWORDS

Universal end effector, end effector design, parallel gripper

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KISELEV, Danila. Koncový efektor pro manipulaci s tvarově složitými komponenty. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/158239>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Vetiška.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl vyjádřit svou nekonečnou vděčnost a hluboké uznání mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Vetiškovi, Ph.D. za jeho neustálý odborný proaktivní přístup, nesmírnou ochotu pomoci a naslouchat, věnování svého času, a především za jeho trpělivost, které mě provázely každým krokem během tvorby této bakalářské práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Vetišky, Ph.D a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20.05.2024

.....
Kiselev Danila

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	KONCOVÝ EFEKTOR	13
2.1	Uchopovací efekty	14
2.1.1	Rozdělení dle způsobu ovládnání	14
2.1.2	Rozdělení dle charakteru kontaktu.....	14
2.1.3	Klasifikace podle typu pohonu	15
2.1.4	Mechanické efekty	15
2.1.5	Podtlakové efekty	19
2.1.6	Magnetické efekty	21
2.1.7	Speciální efekty	22
2.2	Technologické efekty	24
2.3	Kombinované efekty	25
2.4	Speciální efekty	25
3	SYSTÉMOVÝ ROZBOR	26
4	KONCEPTUÁLNÍ NÁVRH.....	27
4.1	Návrh místa uchopení	27
4.2	Návrh prstů pro těleso	27
4.3	Návrh prstů pro průstřížnice a nůž	28
4.4	Předběžný koncept sestavy prstů	28
4.5	Silový rozbor	29
4.5.1	Silový rozbor pro těleso	29
4.5.2	Silový rozbor prstů pro malé díly	30
4.6	Volba chapadla	30
4.7	Silový rozbor pro chapadlo	31
4.8	Kontrola svaru	33
4.9	Vyhodnocení koncepčního návrhu	34
5	ZHODNOCENÍ A DISKUSE.....	36
6	ZÁVĚR.....	37
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	39
8	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	41
9	SEZNAM PŘÍLOH.....	43
9.1	Silový rozbor	43
9.2	Kontrola momentového namáhání v chapadle	45
9.3	Výpočet napětí ve svaru	46

1 ÚVOD

Práce se zaměřuje na návrh koncového efektoru robotu pro manipulaci s objekty. Odstranění rutinních manipulačních úloh ve výrobním procesu je v současnosti velmi aktuální téma. Pro tuto úlohu jsou využívány roboty a manipulátory, které je pro správnou funkci nutné osadit vhodně navrženými koncovými efekty.

První část bakalářské práce poskytuje přehled současného stavu poznání v oblasti koncových efektorů. Tato část se zaměřuje na kategorizaci koncových efektorů do základních skupin a podskupin a na principy, podle kterých tato zařízení fungují. To je důležité pro lepší pochopení celé problematiky, kterou práce řeší.

Druhá část je věnována systémovému rozboru, který je zaměřen na analýzu manipulovaných objektů, výběr vhodného typu hlavice a implementaci systému podstatných veličin. Na základě těchto údajů pak byl vypracován konceptuální návrh.

Třetí část je zaměřena na návrh konceptu podle podmínek ze systémového rozboru pro součásti: tělesa, průstřížnice a nože. Tento návrh bude prezentován pomocí 3D modelu sestaveného z jednotlivých komponent.

Poslední část obsahuje kontrolní výpočty pro praktické použití. Tyto výpočty jsou klíčové pro posouzení, zda chapadlo funguje správně a zda je bezpečné. Bakalářská práce končí zhodnocením finálního řešení dané problematiky.

2 KONCOVÝ EFEKTOR

Koncový efektor: Pracovní ústrojí pro všechny funkční jednotky, které jsou zapojeny na konec kinematického řetězce průmyslových robotů a manipulátorů pro přímou interakci robotického systému s prostředím nebo s konkrétním objektem.[1][2]

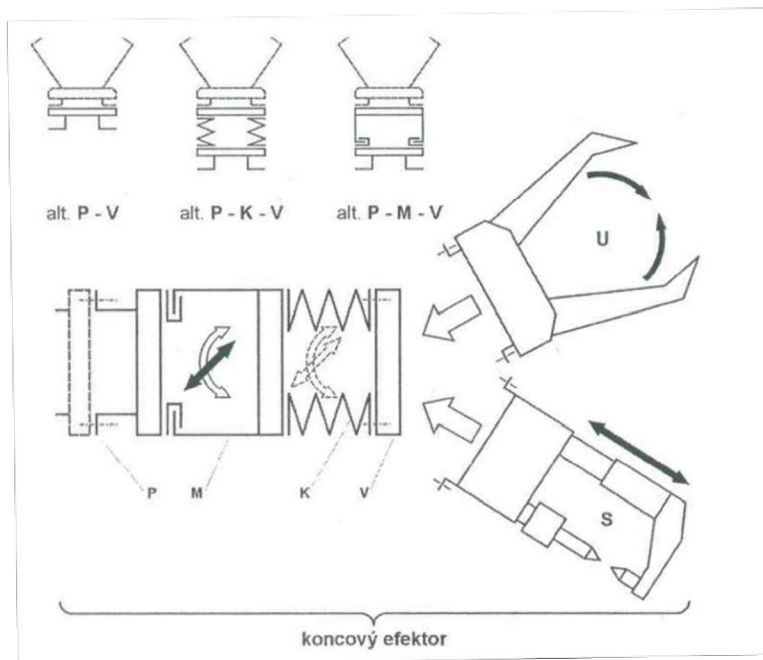
Klasifikace koncových efektorů

Podle široké aplikace robotů a různorodosti úkolů lze návazně koncové efekty systémově klasifikovat na[3]:

- uchopovací efekty
- technologické efekty
- kombinované efekty
- speciální efekty

Systémový model efektoru

Některé koncové efekty robotů nejsou přímo připojeny na přírubu mechanického propojení akčního systému robota. V závislosti na požadavcích aplikace robota se mezi efektem a mechanickým propojením robota někdy integrují další mechanismy. Tyto mechanismy jsou navrženy tak, aby splňovaly specifické požadavky aplikace, včetně funkcionality, typu pohybu a počtu stupňů volnosti. Použití dodatečných mechanismů mezi efektem a hlavním propojením může zlepšit výkon robota a jeho schopnost přizpůsobit se různým úkolům a prostředím.[3]

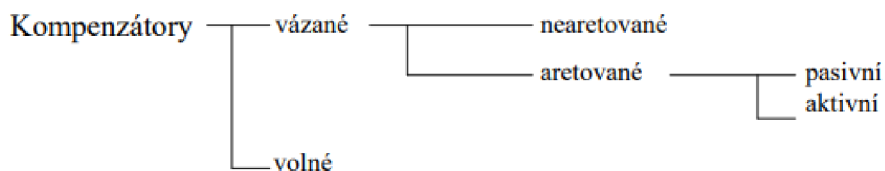


Obr. 1) Systémový model efektoru[3]

Příruba připojení – P – plní funkci spojení koncového efektoru s mechanickým přepojením robotu.

Mikromechanismus doplňkového pohybu – M – plní funkci pohybového mikromechanismu s více stupni volnosti, zabezpečujícími translační nebo rotační nebo kombinovaný pohyb.

Kompenzátor – K – plní funkci pružné eliminace možných nepřesností polohování robotu.



Obr. 2) Schéma rozdělení kompenzátorů[4]

Příruba přepojení – V – plní funkci mechanické struktury pro uchopovací prvek **U**, nástroj **N** nebo speciální nástavby **S**.

2.1 Uchopovací efekty

Uchopovací efekty nebo chapadla jsou koncové efekty určené k uchopení a držení. Plní funkci uchopení, sevření předmětu manipulace a fixace po dobu přemístění, respektive po dobu aktivní manipulace s předmětem.[3]

2.1.1 Rozdělení dle způsobu ovládní

- Aktivní – Pohyb uchopovacích prvků se realizuje pomocí pohonu, který využívá převodový nebo jiný mechanismus.
- Pasivní – Uchopovací prvky nejsou ovládnány pohonem, uchopení předmětu je zajištěno pružností uchopovacích prvků nebo gravitační silou. Uvolnění musí být zabezpečeno pomocí vnější síly.

2.1.2 Rozdělení dle charakteru kontaktu

- Mechanické
 - aktivní: s pneumomotorem, hydromotorem, elektromotorem
 - pasivní: pevné a stavitelné opěry, pružné a odpružené čelisti
- Podtlakové
 - aktivní: s vývěvou, ejektorem
 - pasivní: deformační přísavky
- Magnetické:
 - aktivní: s elektromagnetem
 - pasivní: permanentní magnety
- Speciální

2.1.3 Klasifikace podle typu pohonu

Uchopovací hlavice jako tvarové a silové se mohou lišit podle principu pohonu a ovládání. Mezi možné pohony patří elektrický, pneumatický a hydraulický a speciální typy tepelný a piezoelektrický. Uchopování objektů vyžaduje působení síly, která může způsobit jejich poškození nebo změnu tvaru. Proto je nutné přesné ovládání síly uchopení nebo může být vhodnější jiný princip uchopování.[5]

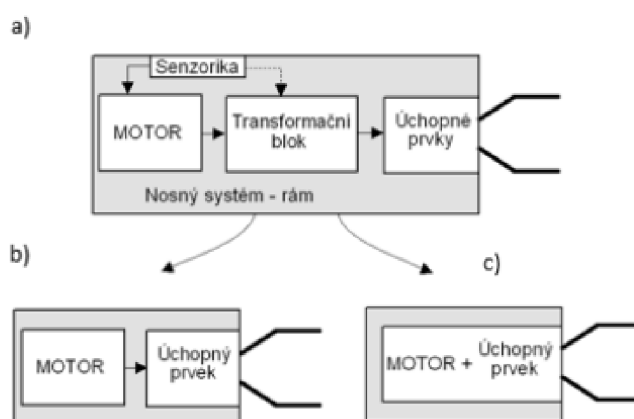
- **Pneumatický pohon** je největší používaný typ řízení chapadla. K ovládání čelisti používá stlačený vzduch a písty. K jeho výhodám patří nízké náklady, velký rozsah síly, schopnost pracovat v těsných prostorech a rychlé reakční časy. Hlavní nevýhoda spočívá v omezení kontroly síly, polohy a rychlosti sevření.[6]
- **Hydraulický pohon** je typ řízení poháněný hydraulickými kapalinami. Poskytuje větší sílu sevření než pneumatický. Ale má několik nevýhod, jako je složitost manipulace s olejem, čerpadlem a nádrží. V důsledku toho mají hydraulická chapadla vyšší nároky na údržbu.[6]
- **Eklektický pohon** je pohon s využitím motorů s rotačním nebo přímočarým výstupem. Poskytuje jednoduché rychlé a přesné řízení síly a rychlosti uchopení. Ale obecně mají tendenci poskytovat menší uchopovací sílu než pneumatická chapadla a také bývají dražší.[6]

2.1.4 Mechanické efekty

Mechanická chapadla jsou chapadla, která drží předmět pomocí tření nebo normálových reakčních sil mezi pracovními částmi chapadla a předmětem.[7]

Aktivní mechanické uchopovací hlavice – Chapadla jsou konstrukčně sestavena k využití minimálně jednoho pohyblivého koncového prvku. Pohyb pracovních prvků nebo přívod energie provádí poháněný programově ovládaný akční člen (motor) podle povelů „zap-vyp“ z řídicího systému. Tento typ umožňuje regulovat a řídit uchopovací sílu efektoru.[3][7]

Mechanické chapadlo se skládá z pěti základních komponent, kterými jsou[3][8]:



Obr. 3) Struktura chapadla: a – struktura s transformačním blokem (základní); b – struktura bez transformačního bloku; c – s integrací úchopného prvku a motoru[8]

Nosný systém mechanicky integruje zakládané konstrukční komponenty (motor a transformační blok), úložné body (vedení) úchopného prvku i snímače do konstrukce ucelené sestavy. Nosný systém je připevněn na přírubu průmyslového robota. Pokud příruby nejsou kompatibilní, je nutné připojit chapadlo ke koncovému efektoru robota pomocí mezipříruby.[8]

Akční člen plní funkce pohonu (motoru) s rotačním nebo translačním pohybem zabezpečujícím vykonání pohybu uchopovacích prvků. Spojení pohonu s úchopnými prvky bude bezprostřední neboli realizováno pomocí **transformačního bloku**. [3]

Transformační blok plní funkci mechanismu, který zabezpečuje přenos a převod výkonu akčního členu na uchopené prvky. V rámci vnitřní funkční struktury musí transformační blok splňovat[3]:

- změnu druhu pohybu (translační, rotační);
- změnu smyslu stejného pohybu;
- transformaci parametrů síly, kroutícího momentu, zdvihu a rychlosti (tab.);
- synchronizaci pohybu dvou nebo více ÚP;
- určování konstrukčního provedení mechanické úchopné hlavice.

Ovládací pohyb	Pohyb čelisti	Funkce převodu ovládacího pohybu	Typ převodu
Posuvný 	Posuvný 		T1
Posuvný 	Rotační 		T2
Rotační 	Posuvný 		T3
Rotační 	Rotační 		T4

Obr. 4) Typ převodů transformačního bloku[3]

Úchopné prvky jsou zodpovědné za kontakt mezi výstupním členem mechanismu chapadla (čelistí) a objektem, zajišťují tak vystředění, stabilní uchopení a držení objektu. Tvar, rozmístění, počet a charakter pohybu ÚP pak zásadním způsobem ovlivňují středící schopnosti chapadla, jeho stabilitu a přesnost uchopení.[8]

Příklady dostupné na trhu[9]:

Dvoučelist'ová paralelní chapadla – Tento typ chapadel se vyznačuje dvěma posuvnými úchopnými prvky konajícími lineární přímočarý pohyb. Dvoučelist'ová paralelní chapadla jsou nejčastěji používaným typem chapadel díky své univerzální konstrukci a schopnosti řešit většinu aplikací v průmyslu.



Obr. 5) PHL Chapadlo s dlouhým zdvihem[10]

Centrická chapadla – Tento typ chapadel má ve své konstrukci minimálně tři úchopné prvky, které jsou rovnoměrně rozmístěny kolem chapadla. Většinou se pro uchopení objektu využívá chapadlo s lineárním pohybem, ale existují i taková, která využívají angulární pohyb svých čelistí. Centrická chapadla mohou manipulovat pouze s kulatými díly v axiálním směru, ale jsou stále poměrně praktická a používají se ve 20–30 % všech aplikací.



Obr. 6) PZN-plus Univerzální chapadlo[11]

Angulární chapadla – Mají dva nebo více úchopných prvků, které se vůči sobě pohybují po kružnici. Tento typ chapadla je vhodný k použití v místech s omezeným prostorem nebo u velkých objektů a objektů zvláštního tvaru.



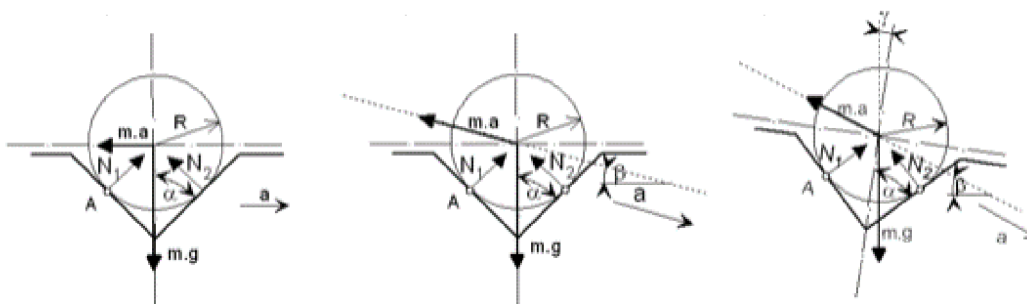
Obr. 7) PWG-plus Úhlové chapadlo[11]

Senzorika je nezbytná součást automatické manipulace. Plní různé funkce[8]:

- hlášení polohy chapadla (levné a nejčastější);
- odměřování polohy chapadla;
- odměřování silových, popř. momentových zatížení.

Pasivní mechanické uchopovací hlavice – jsou chapadla, která nejsou opatřena programově ovládaným akčním členem. Uvolnění objektu je vynucené, pomocí dalších zařízení. Používá se v podmínkách hromadné výroby pro manipulaci s předměty malé hmotnosti a velikosti.[3][12]

Prizmatické lůžko se používá především k manipulaci s předmětem v horizontální rovině. Při použití tohoto typu lůžka je důležité zajistit dynamické podmínky, které zabrání vypadnutí součásti z lůžka.[8]

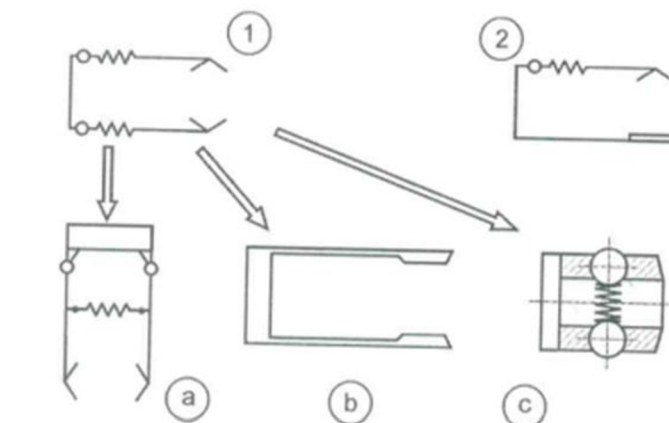


Obr. 8) Rovnováha objektu při pohybu prizmatického lůžka[8]

Odpružené čelisti se nejčastěji řeší na principu vetknutých pružných čelistí. Pohyblivost čelisti je zajištěna rozsahem pružné deformace lamely a síla uchopení je definována tloušťkou lamely.

Otočné odpružené čelisti jsou typ, který často využívá vzájemně vázanou pružinu mezi čelistmi.

Odlučné odpružené prvky se řeší na principu pouzdra osazeného odpruženými kuličkami.



Ы

Obr. 9) Koncepte pasivních mechanických chapadel[3]

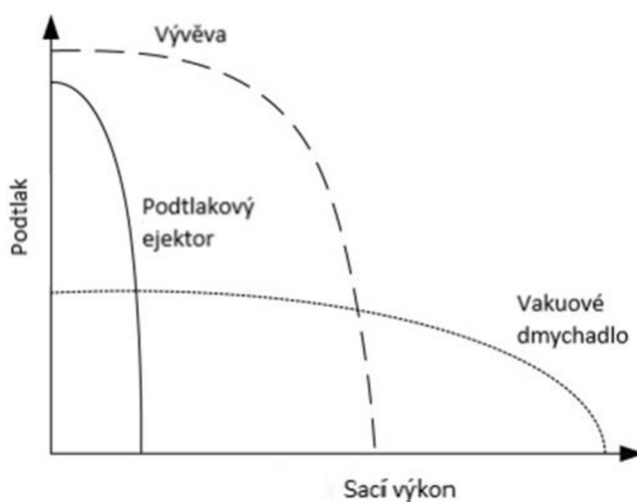
2.1.5 Podtlakové efekty

V podtlakových efektech je zdvihací síla vytvářena požadovanou úrovní podtlaku na kontaktní ploše s manipulovaným předmětem. Pracovním prvkem takového zařízení je vakuová komora (přisavka), která po přiložení na předmět manipulace vytváří uzavřenou dutinu, z níž je odčerpáván nebo vytlačován vzduch, což vytváří zvedací sílu úměrnou oblasti uchopení. Mohou pracovat s předměty vyrobenými z jakéhokoli magnetického nebo nemagnetického materiálu. Hmotnost přísavky je obvykle relativně malá.[7]

Aktivní podtlakové úchopné prvky — jsou prvky udržující objekt pomocí atriaktivních povrchových sil tvořených podtlakovými systémy, se selektivními kontaktními body.[1]

Podtlakové systémy:

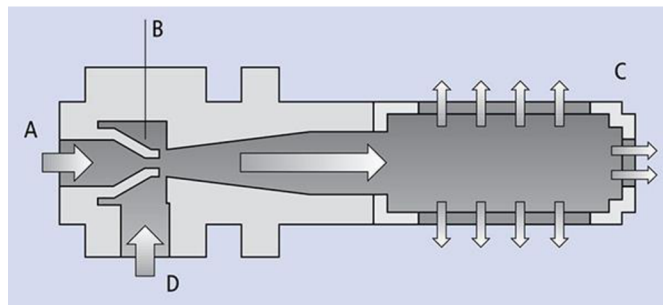
- vývěvy
- ejektory
- vakuové (sací) dmychadlo



Obr. 10) Srovnání výkonostních specifikací typických vakuových generátorů[13]

Vývěvy umožňují dosáhnout vyššího vakua (0,7 baru nebo absolutní tlak 0,3 baru), mají nízké provozní náklady, jsou málo hlučné. Jsou vhodné k použití v místech, kde je nutné vytvářet podtlak v těsně uzavřeném prostoru s minimálními tlakovými ztrátami. K nevýhodám patří velikost a hmotnost vývěvy, což zatěžuje montáž přímo na uchopovací hlavu. Dlouhá pneumatická vedení zajišťují pomalý reakční čas.[1]

Ejektory jsou odsávací nebo čerpací trysková zařízení, vytvářejí podtlak uvnitř ejektoru, při průchodu stlačeného vzduchu (A) dýzou (B) vzniká v nejužším místě podtlak. V místě (D) je spojení s manžetou přísavky. Nevýhody jsou spojeny s vysokými provozními náklady (spotřeba stlačeného vzduchu) a nutným tlumením hluku.[1][8]



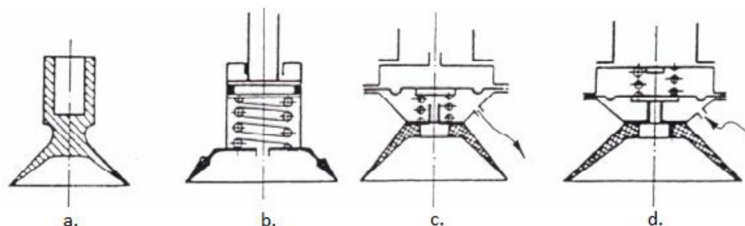
Obr. 11) Princip ejektorové přísavky s tlumičem hluku[14]

Vakuová (sací) dmyhadla vytvářejí relativně nízký podtlak, ale jejich míra vyčerpání je však vysoká. V důsledku toho jsou výhodné při aplikacích, kde se pracuje s porézními obrobky, protože je možné kompenzovat ztráty způsobené propustností vzduchu.[1]



Obr. 12) Vakuový uchopovač typu dmyhadlo[15]

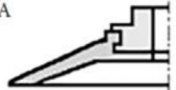



















Pasivní podtlakové úchopné prvky — jsou zařízení, u kterých dochází ke zředění vzduchu v kontaktní zóně s objektem vytlačení vzduchu při deformaci pružného pracovního prvku. Jako pružný pracovní prvek se používá samotné elastické těleso uchopovacího zařízení. Nejjednodušší vakuové nabíječky zajišťují vytvoření vakua díky jednorázovému vytlačení vzduchu z dutiny přísavky její přitlačení povrhu součásti. Síla uchopení je závislá na styčné ploše s objektem, tvaru a tuhosti přísavky. Kdyby nebyl zaručen hladký povrch, je možno použít válec s odpruženým pístem, který nahrazuje proměnný vnitřní objem. Uvolnění objektu probíhá přidáním vnějších sil, nejlépe pohybem v tangenciálním směru. U deformačních přísavek je možno řešit uvolnění objektu zavzdušněním prostoru pod přísavkou pomocným ventilem.[4][7]



Obr. 13) Základní provedení deformačních přísavek[4]:

- a. pryžová deformační přísavka
- b. přísavka s odpruženým pístem
- c. uvolnění objektu zrušením ovládacího signálu
- d. uvolnění objektu přivedením ovládacího signálu

Základní typy přísavek

Kritérium	Vertikální	Horizontální	EVS	RVF
A 				
B 				
C 				
D 				

Obr. 14) Použití konstrukcí přísavek při specifických pohybech[16]: prázdný kruh – vzácný; 1/4 – zřídka; 1/2 – občas; 3/4 – často; zcela zaplněný – velmi často

EVS – elastic vertical stroke (pružný vertikální tah)

RVF – rotation vertical force (rotační vertikální síla)

Návrh A poskytuje dobré výsledky s ohledem na všechna kritéria. Poměrně velká pružnost v kolmém směru s rostoucí svislou silou je omezením pro jeho použití pouze ve výjimečných případech.[1]

Použití: Ploché obrobky, jako jsou např. plechové desky, kartony, skleněné desky, překližkové desky, lakované vložkové desky.[1]

Návrh B je schopen aplikovat relativně velmi velké svislé síly, protože objem sacího uzávěru zůstává konstantní i při vysokém podtlaku. Podpěrná žebra činí přísavku tužší, a proto mají tendenci zvyšovat retenční sílu.[1]

Použití: Tenké plechy, díly s mírně drsným (šupinatým) horním povrchem.[1]

Návrh C s dvojitým těsněním vede k velmi malému zbytkovému objemovému průtoku. Složitý těsnicí systém však vyžaduje více prostoru, což omezuje aktivní průměr sacích prvků.[1]

Použití: V případě potřeby je možné použít i jiné systémy, např. dílce s výraznou strukturou na horních plochách, např. vzorované sklo, vlnitý plech a přírodní kámen.[1]

Návrh D se vyznačuje nízkou propustností vertikálních sil, nedostatečnou geometrickou stabilitou kvůli poměrně velkému pružnému zdvihu ve svislém směru. To je omezujícím faktorem pro jeho použití v mnoha manipulačních úlohách.[1]

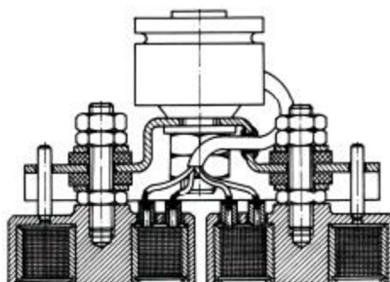
Použití: Choulostivé a/nebo nerovné obrobky nebo v případě kompenzace odchylek v oblasti profilu povrchu, velkoplošné a flectivní díly.[1]

2.1.6 Magnetické efekty

Magnetická uchopovací zařízení zachycují a udržují objekty pod vlivem magnetické síly vytvářené buď permanentními, nebo elektrickými magnety. Jak již název napovídá, jsou vhodné výhradně pro uchopení předmětů z feromagnetických materiálů. V některých

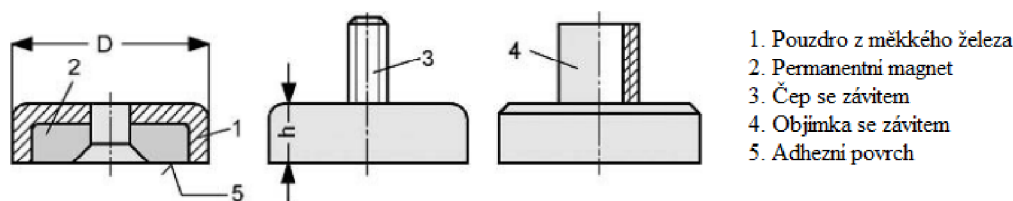
případech, zejména při instalaci motorů na kovoobráběcích strojích, je nutné počítat se zbytkovou magnetizací.[7]

Aktivní magnetické úchopné prvky — jsou chapadla, která mají ve své struktuře programově řízené elektromagnety, často napájené stejnosměrným proudem. Uchopování a uvolňování objektů manipulace je řízeno zapínáním a vypínáním proudu do elektromagnetu. Nevýhodou je, že po přerušení přívodu proudu musí být prováděna odmagnetování, jelikož objekt manipulace se pod vlivem stejnosměrného magnetického pole zmagnetuje, což může působit potíže při jeho uvolňování.[4]



Obr. 15) Elektromagnetické chapadlo s dvojicí uchopovacích jednotek[4]

Pasivní magnetické úchopné prvky — jsou uchopovací hlavice, konstrukčně vestavěné permanentními magnety. Používají se při manipulaci s magnetickými předměty menších rozměrů a hmotností než chapadla s elektromagnety, a to z důvodu nižší úchopné síly. Permanentní magnety nevyžadují napájení, tím je dána jednoduchá konstrukce chapadla. Nevýhodou jsou zvýšené požadavky na uvolnění objektu a v „nepracovním“ stavu přitahují kovové piliny a třísky.[3][4][7]

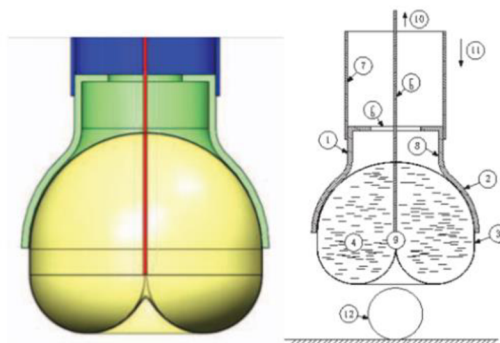


Obr. 16) Formy s permanentními magnety (Welter)[1]

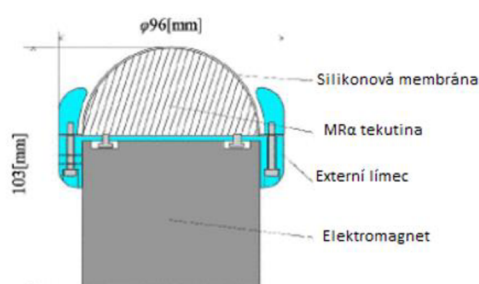
2.1.7 Speciální efekty

Kromě univerzálních magnetických, vakuových a mechanických robotických chapadel popsaných výše existuje mnoho dalších typů chapadel, která lze použít v široké škále aplikací. Tato nekonvenční chapadla vycházejí z různých vědních oborů a speciálních oblastí použití. Vzhledem k omezenému rozsahu publikace však není možné představit všechny nekonvenční a speciální případy. V následujícím článku je uvedena pouze varianta univerzálních příkladů.[3]

Vodní chapadlo patří k podskupině univerzálních chapadel pro uchopování předmětů různých tvarů a materiálů. Toto chapadlo je inspirováno takzvanými univerzálními chapadly konstruovanými s využitím elastické membrány (obr. 17), magnetoreologické (MR) kapaliny (obr. 18) nebo Jamming (zmrazení) efektu (obr. 19).[17]



Obr. 17) Chapadlo s elastickou membránou[18]

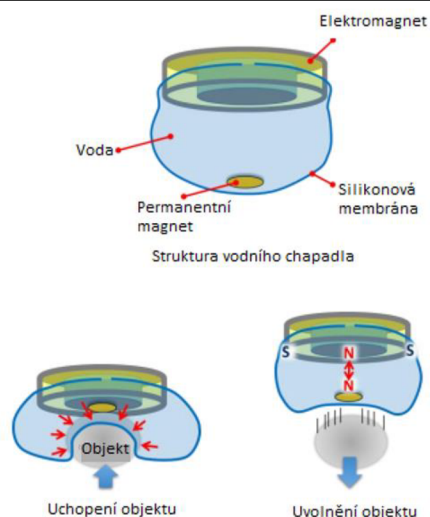


Obr. 18) Chapadlo s MRα tekutinou[19]



Obr. 19) Chapadlo s efektem Jamming (zmrazení)[20]

Princip uchopení a uvolnění se zakládá v deformaci membrány změnou magnetického pole elektromagnetu. Na začátku chapadlo přitlačí objekt manipulace, následně se chapadlo spustí, dokud elektromagnet přitáhne permanentní magnet a elastická membrána se přizpůsobí tvaru objektu. Tím na styčné ploše mezi objektem a pružnou membránou třecí síla úměrná normálové síle. Poté permanentní magnet elektromagnet odpuzuje, ten se odlepí a chapadlo uvolní předmět díky tomu, že se pružná membrána vrátí do původního tvaru.[17]



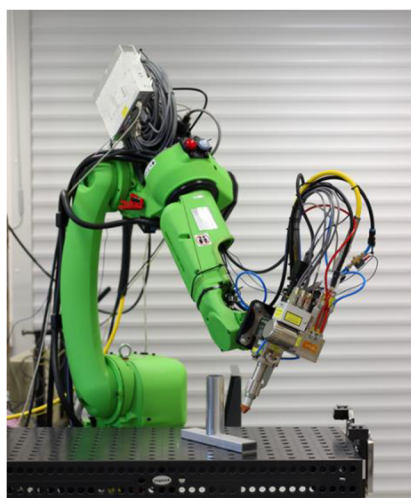
Obr. 20) Sekvence uchopení a uvolnění vodního chapadla[17]



Obr. 21) Uchopování předmětů různých tvarů[17]

2.2 Technologické efekторы

Pracovní hlavice jsou koncové efekторы typu nástroj, které pracuje efektivně sami o sebe, jejich poloha, pohyb a orientace v prostoru se realizují pomocí současného pohybu ramena robota. Plní funkci nosiče technologického nástroje pro realizaci určené práce. Polohování a orientaci efektoru vůči obráběcímu obrobku podle potřeb technologie realizuje robot.[3]



Obr. 22) Robot firmy FANUK se svarořovací hlavicí[21]

2.3 Kombinované efekty

Jsou zařízení, která slouží jako multifunkční efekty tím, že kombinují různé způsoby uchopování nebo technologické funkce.[3]

2.4 Speciální efekty

Jsou efekty, které ze systematického pohledu nelze zařadit do předchozích kategorií.[3]

3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR

Cílem je návrh univerzálního koncového efektoru robotu pro manipulaci s tvarově složitými komponenty, které jsou na obr. 23. Jedná o tři součásti ruční páskovačky. Rozměry: obj. 1 60 x 110 x 80 mm, obj. 2 37 x 20 x 6 mm, obj. 3 21 x 21 x 4 mm a hmotnosti obj. 1 0,930 kg, obj. 2 0,026 kg, obj. 3 0,009 kg.



Obr. 23) Těleso (obj. 1), průstřižnice (obj. 2), nůž (obj. 3)

Jednotlivé komponenty jsou velmi rozdílných tvarů a hmotností, což činí návrh univerzálního gripperu složitějším. Z toho důvodu není vhodné použití podtlakových a magnetických hlavice. Dané typy uchopení jsou přizpůsobeny práci s plechovými díly. Stejně jako i pasivních mechanických chapadel, protože konstrukce tohoto chapadla by vyžadovala využití tří různých nástrojů k uchopení součástí a vyšší požadavky na uvolnění.

Jedinou možností je využití paralelního mechanického chapadla s rozdílnými tvary uchopovacích elementů. Výběr pracovní hlavice bude od firmy Shunk. Vhodný model bude navržen po následujících výpočtech.

Při návrhu chapadla je nutno brát v úvahu:

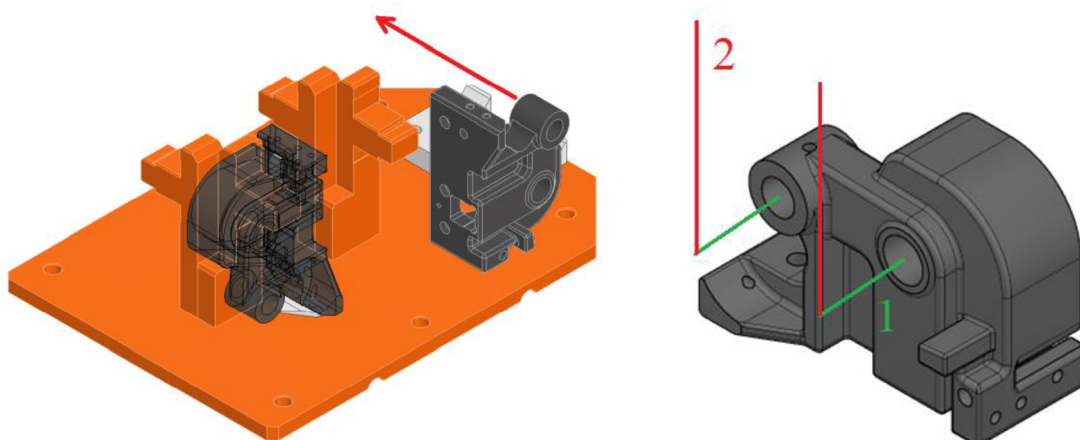
- hmotnost součástí a hmotnost chapadla;
- ekonomičnost a jednoduchost výroby prstů chapadla;
- univerzálnost prstů chapadla;
- kontrolu spojení příruby prstů s uchopovací hlavou;
- zdvih na čelisti a zavírací sílu chapadla.

4 KONCEPTUÁLNÍ NÁVRH

V této kapitole bude představen koncept založený na systematickém rozboru, který bude použit jako základ pro návrh řešení. Koncept předpokládá sestavu jednotlivých prstů gripperu, spojených mezi sebou pomocí svaření. Prsty jsou vymodelovány v programu Autodesk Inventor Professional.

4.1 Návrh místa uchopení

Jako místo, kde budou chapadla držet těleso, budou použity otvory, protože dalším krokem bude umístění zadní části tělesa na trn na Obr. 24 pro další úpravu s předmětem. Na obr. 25 lze vidět schematické znázornění sestavy čtyř komponent, kde prsty 1 slouží k uchopení těla a prsty 2, umístěné v jiné rovině, jsou určeny pro nůž a průstřížnice.



Obr. 24) a) Těleso na pracovním trnu a směr nasazení, b) Kostra chapadla

4.2 Návrh prstů pro těleso

Konstrukce prstů pro uchopení tělesa má jednoduchý tvar a proces výroby. Při uchopení nahrazuje prizmatické uchopení se dvěma kontaktními čarami v každém otvoru tělesa. Připojení k prstům pro nůž a průstřížnice je provedeno pomocí svařování. Jednotlivý prst má linie dotyku po celé délce otvoru. Délka prstů je zvolena tak, aby byla co nejkratší při zachování snadného svařování. Vhodný polotovár je čtvercová tyč 14 x 14 mm dle ČSN EN 10278 materiál 1.4301. Takový polotovár umožňuje bez komplikace výroby nechat opěru, aby nasazení na trn probíhalo nejen za pomoci třetích sil.



Obr. 25) a) Předběžný náhled levého prstu, b) Předběžný náhled pravého prstu

4.3 Návrh prstů pro průstřížnice a nůž

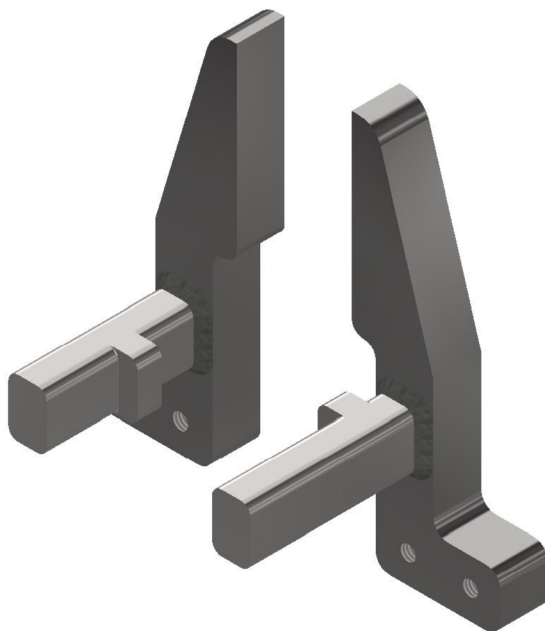
Konstrukce prstů pro průstřížnice a nůž je tvarově složitější a delší. Tento tvar byl zvolen vzhledem k tomu, že zásobníky jednotlivých dílů se nacházejí v relativně úzkém prostoru a v otevřeném stavu uchopení musí být zachována spojitost příruby prstů s úchopovou hlavou. Z toho důvodu bude tvar prstů ve tvaru písmene L. Pro zjednodušení výroby budou prsty symetrické. Jednodušší způsob výroby je řezání vodním paprskem s následujícím dokončením pracovních ploch a vytvořením výřezu k umístění prstů pomocí frézování. Tloušťka plechu je 12 mm.



Obr. 26) a) Předběžný náhled levého prstu pro průstřížnice a nůž,
b) Předběžný náhled pravého prstu pro průstřížnice a nůž

4.4 Předběžný koncept sestavy prstů

Konstrukční koncept na obr. 29 představuje sestavu čtyř komponent, kterými jsou: levý a pravý prst, levý a pravý prst pro průstřížnice a nůž, spojených mezi sebou svářením s výškou svaru 2 mm a typem svaru koutový. Kontrola svaru bude provedena po silovém rozboru. Celková hmotnost je 0,213 kg.

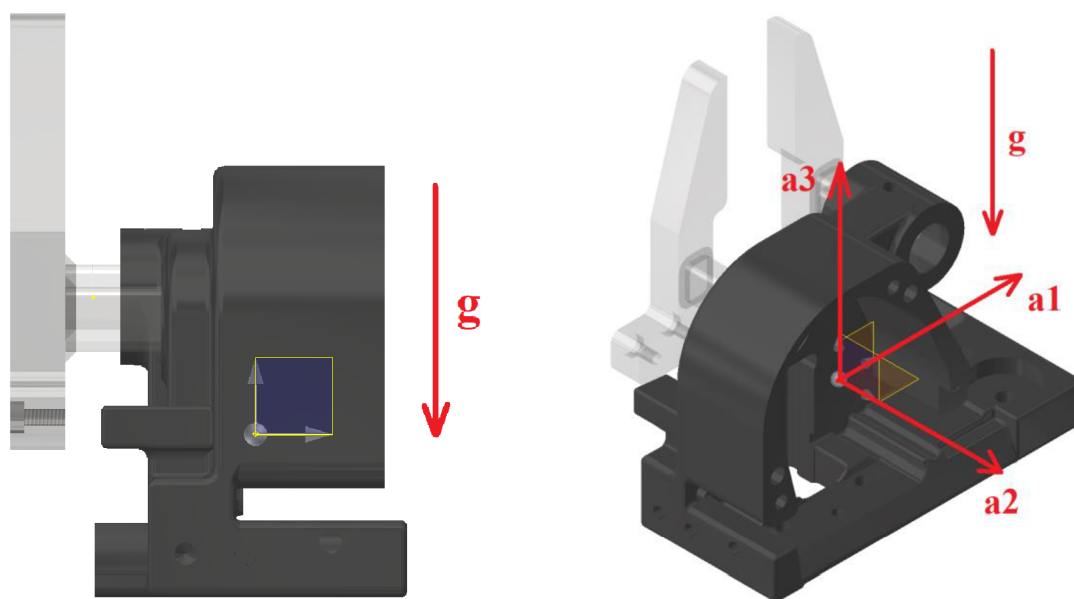


Obr. 27) Předběžný koncept sestavy prstů

4.5 Silový rozbor

Jedná se o výpočet sil potřebných k provedení základních funkcí manipulátoru, uchopení, držení a uvolnění. Při výpočtu uchopovací síly bereme v úvahu nejnepříznivější podmínky, které mohou nastat. Tyto výpočty budou použity k dalším korekcím mechanických součástí, způsobu uchopení a zejména k volbě požadovaného zrychlení ramena robotu. Upínací síla je obvykle nejvíce ovlivněna setrvačnou silou. Pokud je dosahováno neuspokojivých výsledků, je třeba změnit rychlost a zrychlení obráběcího cyklu. Vzorce pro výpočet požadované síly jsou převzaty z knihy ROBOTIKA.

4.5.1 Silový rozbor pro těleso



Obr. 28) Poloha tělesa

V této poloze považujeme za tvarové uchopení, a těleso je drženo samotnými prsty proto do zrychlení a_3 není třeba dosazovat tíhové zrychlení a také v případě změny polohy. Vzorec pro výpočet úchopné síly je určen pro případ válcového objektu s těžištěm těla mimo geometrický střed centrálních os kontaktních ploch. V tom případě jsou otvor a obdélník, tím nahrazují v rovnici a také provedu potřebné modifikace. Základní rovnice[3]:

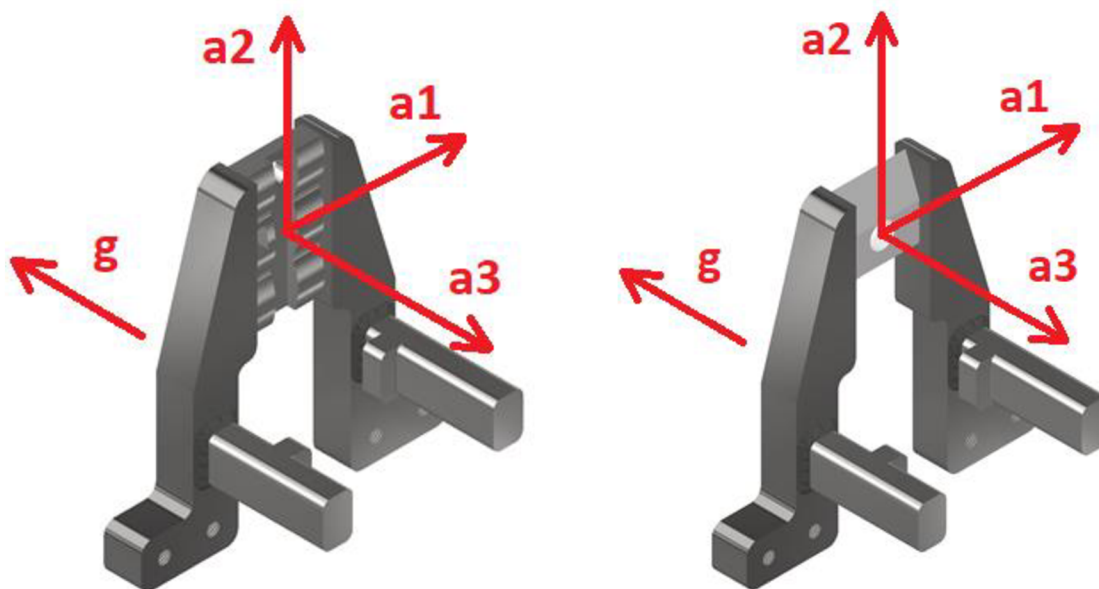
$$F_u = k \cdot m \cdot \left(a_1 \cdot \left(\frac{3 \cdot l}{b} + \frac{1}{2} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{\cos \varphi}{2 \cdot \mu} \right) + a_3 \cdot \left(\frac{3 \cdot l}{b} \cdot \frac{1}{\tan \varphi} \right) \right) \quad (1)$$

F_u – úchopná síla	[N]
k – koeficient bezpečnosti	[-]
m – hmotnost tělesa	[kg]
a_1, a_2, a_3 – zrychlení v osách	[m/s ²]
μ – koeficient tření	[-]
l – vzdálenost těžiště od geometrického středu os kontaktních ploch	[m]
φ – úhel prstu	[°]
b – délka kontaktní plochy	[m]

Podle potřebné rovnice (1) vychází, že při $k = 2,9$, $\mu = 0,17$ je koeficient tření ocel-ocel a zrychlení $a_1 = a_2 = a_3 = 5 \text{ m/s}^2$. Je možné vypočítat potřebnou sílu uchopení, při které bude zajištěna funkčnost prstů.

$$F_{uT} = 77,31 \text{ [N]} \quad (2)$$

4.5.2 Silový rozbor prstů pro malé díly



Obr. 29) a) Náhled polohy prstřížnice, b) Náhled polohy nože

Pozice uchopení malých dílů považujeme za obecné silové uchopení, proto v rovnici bude dosazeno tíhové zrychlení. Prsty budou uchopovat po celé jejich délce. To znamená, že uchopení je bez vyloženého těžiště a jediné, na čem bude záviset výsledná uchopovací síla, je gravitace samotného tělesa. Základní rovnice[3]:

$$F_u = k \cdot m \cdot \left(a_1 \cdot (1) + a_2 \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot \mu} \right) + a_3 \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot \mu} \right) \right) \quad (3)$$

Podle potřebné rovnice (3) vychází, že při $k = 2,9$, $\mu = 0,17$ je koeficient tření ocel-ocel a zrychlení $a_1 = a_2 = a_3 = 5 \text{ m/s}^2$. Je možné vypočítat potřebnou sílu uchopení, při které bude zajištěna funkčnost prstů.

$$F_{uP} = 4,78 \text{ [N]} \quad (4)$$

$$F_{uN} = 1,66 \text{ [N]} \quad (5)$$

Byly nalezeny síly F_{uP} pro prstřížnici a F_{uN} pro nůž. Podle vypočítaných hodnot může být proveden výběr vhodného chapadla.

4.6 Volba chapadla

Výběr vhodného chapadla je závislý především na maximální hmotnosti, se kterou bude manipulovat, proto orientace bude podle hmotnosti základního tělesa $m_T = 0,93 \text{ kg}$. Podle katalogových údajů bylo zvoleno chapadlo modelu PGL-plus-P 10-ASC6-IOL od společnosti SCHUNK. S doporučenou hmotností obrobku $1,1 \text{ kg}$, maximální zavírací silou 220 N a

maximální přípustnou délkou prstu 100 mm. Toto chapadlo je vybaveno integrovanou sensorikou IOL, která umožňuje přesné a procesně spolehlivé monitorování celého zdvihu chapadla prostřednictvím IO-Link. Pomocí toho systému je možno kontrolovat, jaký proces koná chapadlo.



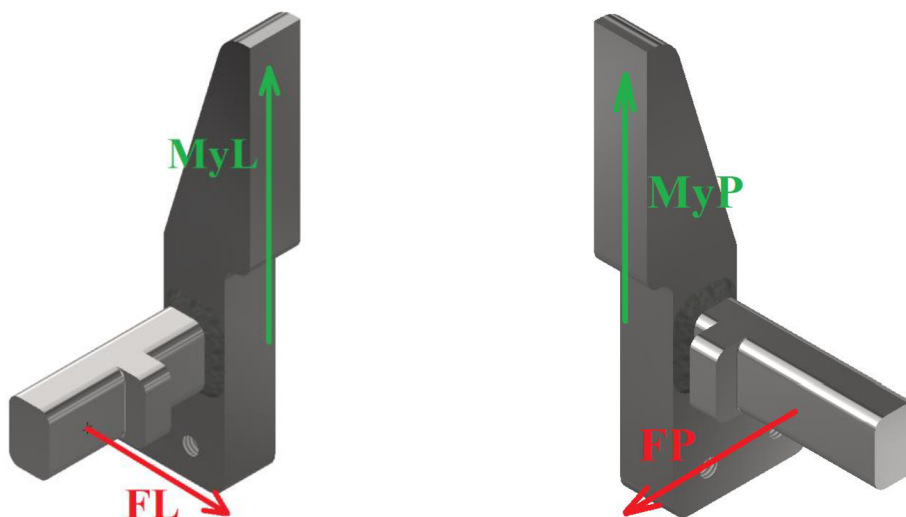
Obr. 30) PGL-plus-P 10-ASC6-IOL

4.7 Silový rozbor pro chapadlo

Prsty pro těleso

Jedná se o výsledné síly, které tvoří chapadlo. Kvůli těmto silám vznikají momenty. Provedení kontroly výsledných momentů je důležitým faktorem použití chapadla.

Kvůli různým délkám působení síly v prstech pro těleso budou momenty vypočítány zvlášť. Síla působící na těleso pomocí prstů má silové působení v úsečce, proto bude pro jednoduchost výpočtů převedena na statickou ekvivalentní náhradu.



Obr. 31) a) Síla v levém prstu, b) Síla v pravém prstu

Dosažením hodnot délky podle katalogových údajů byly nalezeny hodnoty momentů

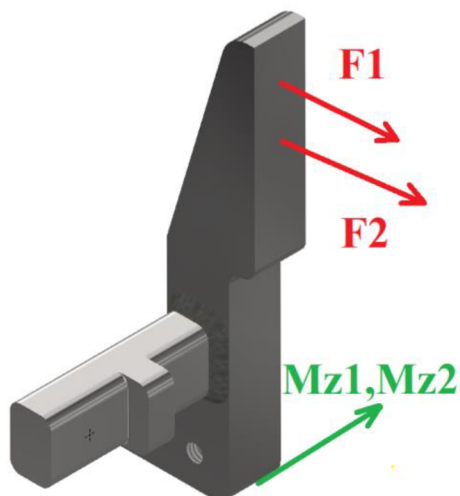
$$M_{yL} = 7,42 \text{ [Nm]} \quad (6)$$

$$M_{yP} = 7,05 \text{ [Nm]} \quad (7)$$

Při maximálním přípustném kroutícím momentu v ose Y $M_y = 25 \text{ Nm}$

Prsty pro malé díly

Prsty pro malé díly mají symetrický tvar, proto stačí vypočítat výsledný moment pro jeden prst. Vzhledem k různým délkám průstřížnice a nože se statické ekvivalenty nacházejí na různých délkách vzhledem k referenčnímu bodu točivého momentu. Tento bod se považuje za střed otvoru pro šroub.



Obr. 32) Síly v levém prstu pro průstřížnice a nůž

Dosazením hodnot délky podle katalogových údajů byly nalezeny hodnoty momentů

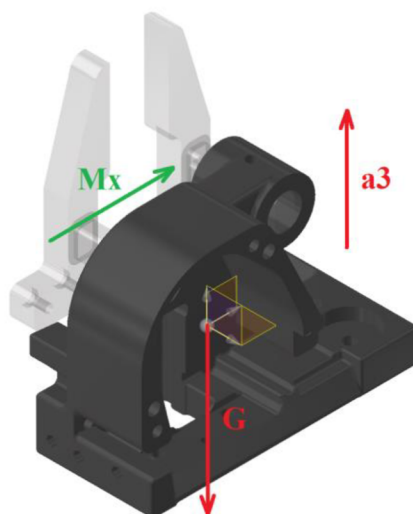
$$M_{z1} = 12,01 \text{ [Nm]} \quad (8)$$

$$M_{z2} = 10,86 \text{ [Nm]} \quad (9)$$

Při maximálním přípustném kroučícím momentu v ose Z $M_z = 15 \text{ Nm}$

Moment od tělesa

Moment od tělesa působí v ose X. Výpočet je prováděn při současném působení tíhového zrychlení a zrychlení a_3 .



Obr. 33) Síla vyvolaná hmotností tělesa

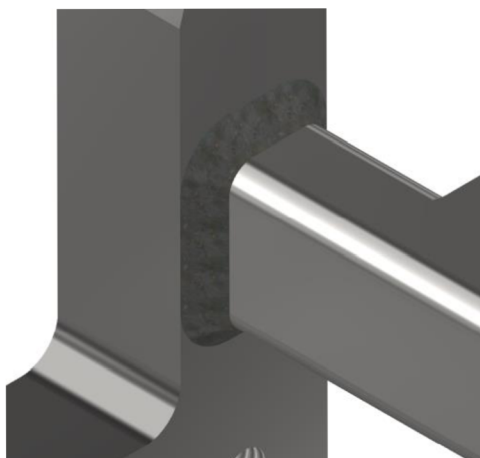
Po výpočtech je točivý moment vyvolaný hmotou roven

$$M_x = 0,62 \text{ [Nm]} \quad (10)$$

Při maximálním přípustném kroutícím momentu v ose X $M_x = 25 \text{ Nm}$

4.8 Kontrola svaru

Kontrola svarů při silové analýze je důležitým prvkem technické analýzy a zkoušení při návrhu a výrobě součástí vystavených fyzikálnímu zatížení a tlaku. Tato kontrola má zásadní význam pro zajištění bezpečnosti, spolehlivosti a funkčnosti konstrukce. Kontrola svaru se provádí při úchytu tělesa, kde svar nese přivařené prsty a přenáší sílu.



Obr. 34) Pohled svaru prstů

Svar prstů má typ koutový s výškou svaru $z = 2 \text{ mm}$ a sváření jde po celém obvodu prstu. Vzorce pro výpočet napětí ve svaru jsou převzaty z knihy SHIGLEY. Základní rovnice[22]:

$$\tau' = \frac{F}{S} \text{ [MPa]} \quad (11)$$

$$S = 1,414 \cdot z \cdot (b + h) \text{ [mm}^2\text{]} \quad (12)$$

$$\tau'' = \frac{M \cdot c}{J_z} \text{ [MPa]} \quad (13)$$

$$J_z = 0,707 \cdot z \cdot J_{zu} \text{ [mm}^4\text{]} \quad (14)$$

$$J_{zu} = \frac{h^2}{6} (3 \cdot b + h) \text{ [mm}^3\text{]} \quad (15)$$

τ' – smykové napětí od posouvající síly	[MPa]
S – plocha účinného průřezu	[mm ²]
z – výška svaru	[mm]
b – šířka svaru	[mm]
h – délka svaru	[mm]

τ'' – smykové napětí od ohybového momentu [MPa]

M – ohybový moment [Nm]

c – vzdálenost od těžiště svarové skupiny k nejvzdálenějšímu místu na svaru v rovině kolmé na rovinu, kde leží vektor ohybového momentu [mm]

J_z – kvadratický moment průřezu [mm⁴]

J_{zu} – jednotkový kvadratický moment průřezu [mm³]

Výpočet byl proveden při současném působení tvořené síly od uchopovací hlavičky a hmotnosti tělesa.

$$\tau = 34,33 \text{ [MPa]} \quad (16)$$

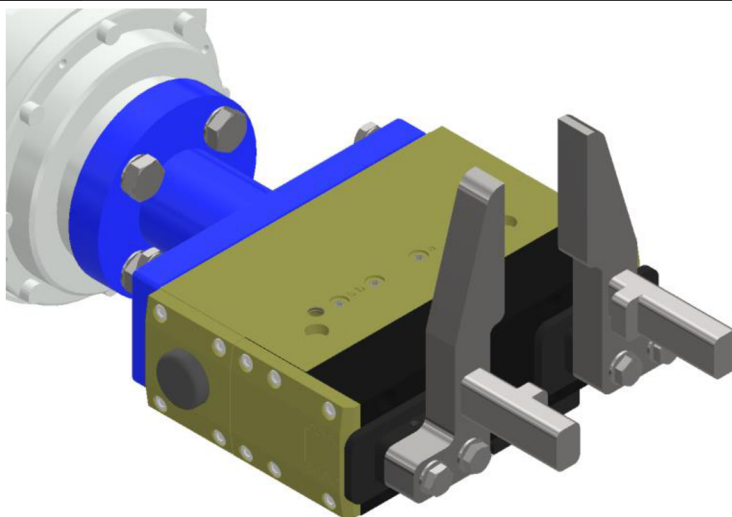
Hledané kombinované napětí bude nalezeno, pokud se minimální kritické napětí rovná $\sigma_{max} = 355 \text{ MPa}$. Maximální bezpečnost svaru bude $k = 10$.

označení ^a	minimální mez kluzu ^b $R_{eL} (R_{p0,2})$ (MPa)	mez pevnosti R_m (MPa)	minimální tažnost ^c A_{min} (%)
35	355	440–570	22
38	380	470–600	20
42	420	500–640	20
46	460	530–680	20
50	500	560–720	18

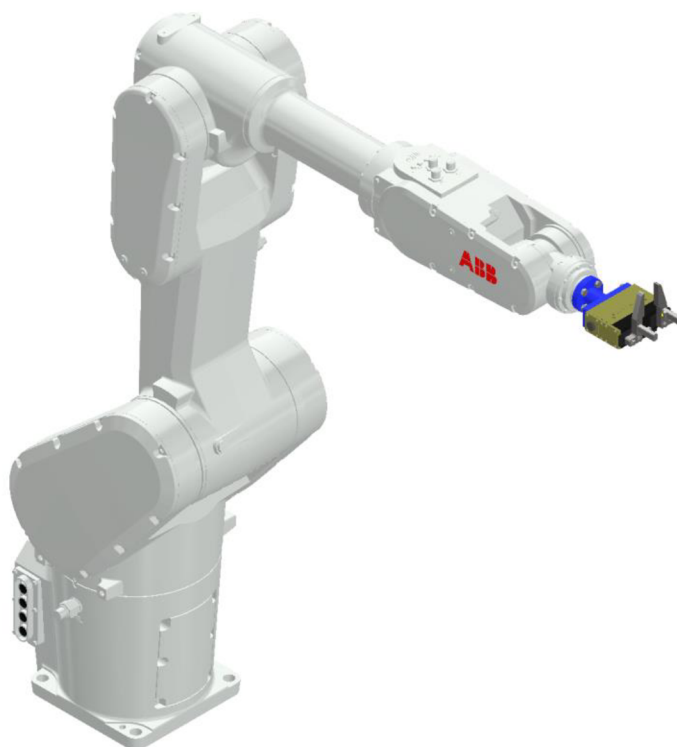
Obr. 35) Označení pevnostních vlastností o tažnosti svarového kovu při použití obalených elektrod pro ruční obloukové svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí podle ČSN EN ISO 2560.[22]

4.9 Vyhodnocení koncepčního návrhu

Po provedení kontrolních výpočtů je zjištěno, že navrhovaný koncept splňuje svou funkčnost. Prsty mají podobný konstrukční tvar, což umožňuje univerzální výrobu. Snížení nákladů na výrobu je dosaženo použitím stejných polotovarů a technologických postupů. Prsty pro manipulaci s menšími díly jsou symetrické, zatímco ty určené pro větší tělesa se vyrábějí stejnými postupy a polotovarem. Spoje prstů jsou zabezpečeny svarem s vysokou bezpečností a připojeny ke hlavičce pomocí šroubu M4 s délkou 16 mm bez zahloubení, s použitím podložky pro dodatečnou stabilitu.



Obr. 36) Montáž kompletního dílu na pracovní hlavu

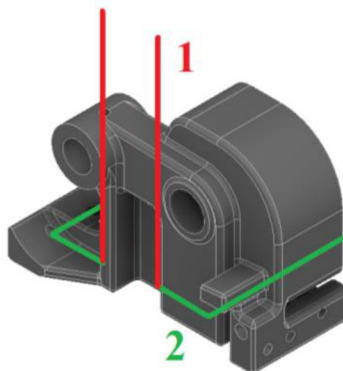


Obr. 37) Celá sestava na robotu IRB1300

5 ZHODNOCENÍ A DISKUSE

Tato práce prezentuje optimální verzi konstrukčního řešení chapadla, která zachovává funkční prvky pro manipulaci s tvarově složitými komponenty. Navržená verze je přizpůsobena pro práci s pneumaticky poháněným chapadlem.

Jako alternativu ke koncepčnímu návrhu lze použít uchopení na Obr. 41 za boční strany tělesa. K nevýhodám takového řešení patří složitý tvar a technologie výroby prstů. Dále také se mění typ uchopení na obecný a držení tělesa je prováděno jen za pomoci třecích sil, proto podle výpočtu se zvětší síla, která je potřebná k uchopení při stejných zrychlení v jednotlivých osách.



Obr. 38) Alternativní kostra chapadla

Jako druhá alternativa je možnost použití uchopovací hlavičky s elektrickým pohonem. Mezi výhody takového typu pohonu chapadla patří volně programovatelný zdvih čelistí, velký rozsah hodnot zdvihu na čelist až 80 mm. Proto konstrukce prstů při daném typu hlavic mohla být jednodušší a mít pouze dva prsty pro splnění požadované funkce. Přesto má použití pneumatických mechanismů řadu významných výhod, mezi které patří rychlé reakční časy a rozumná cena oproti elektrickým řešením.

6 ZÁVĚR

Tato práce se zabývá návrhem univerzálního koncového efektoru pro manipulaci se součástkami pomocí robotu. Manipulačními objekty jsou těleso, průstřížnice a nůž pro ruční páskovací stroje. Manipulace s objekty bude probíhat ve třech fázích: nejprve se zvedne a nasazuje těleso na trn, poté se zvedne a polohuje průstřížnice a nůž.

V úvodní části práce je uveden přehled současného stavu vývoje koncových efektorů. Větší důraz byl kladen na skupinu uchopovacích efektorů. V rámci analýzy podmnožiny uchopovacích efektorů jsou zkoumány jejich konstrukční vlastnosti, funkčnost a různé přístupy k realizaci úloh uchopování a manipulace s předměty.

V další části práce je proveden systémový rozbor, který zahrnuje popis problémové situace, definici problému a stanoví cílové řešení. Rovněž popisuje důvody výběru mechanického chapadla a identifikuje systém podstatných veličin, které jsou důležité pro správný přístup ke koncepčnímu návrhu.

Dále na základě systémového rozboru a rešerše následuje část samotné konstrukce koncového efektoru, která popisuje konstrukci po jednotlivých komponentech a dále výslednou sestavu. Popis jednotlivých komponent obsahuje základní informace o technických parametrech, jako jsou důvody pro volbu tvarů, rozměrů, délek a hlavních funkcí, které musí komponenty plnit. Pro ověření funkčnosti konstrukce byl proveden kontrolní výpočet síly úchopu potřebné pro splnění základních funkcí chapadla. Na základě výsledné potřebné síly a hmotnosti sestavy s nejtěžší součástí byla vybrána pracovní hlavice od firmy SCHUNK. Dalším krokem je kontrola kritických sil a momentů působících na součásti a jejich porovnání s maximální hodnotou uváděnou výrobcem. Po důkladném provedení kontrolních výpočtů bylo potvrzeno, že navrhovaný koncept je plně funkční a odpovídá stanoveným požadavkům. Následně byla vyhotovena výrobní dokumentace jednotlivých komponent, která je součástí přílohy.

V závěru práce jsou v kapitole hodnocení a diskuse rozebrány další varianty práce a jejich výhody a nevýhody ve vztahu ke koncepční variantě. Následující kapitola obsahuje souhrnný popis výkresové dokumentace, která je uvedena v příloze této práce.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MONKMAN, Gareth J. Robot grippers. 2007. Weinheim: Wiley-VCH, 2007. ISBN 978-3-527-40619-7.
- [2] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [3] PALKO, Anton a SMRČEK, Juraj. Robotika: koncové efekторы pre priemyselné a servisné roboty: navrhovanie – konštrukcia – riešenie. 2004. Košice: [Technická univerzita], 2004. ISBN 80-807-3218-3.
- [4] KOLÍBAL, Zdeněk. PRŮMYSLOVÉ ROBOTY. Základní učební text. Brno: BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING, 2014.
- [5] FANTONI, Gualtiero; SANTOCHI, Marco; DINI, Gino; TRACHT, Kirsten; SCHOLZ-REITER, Bernd et al. Grasping devices and methods in automated production processes. Online. ELSEVIER. 2014, roč. 2014, č. 1, s. 1. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850614001887?via%3Dihub>. [cit. 2023-12-03].
- [6] Types of Grippers Used in Manufacturing | Universal Robots. Online. UNIVERSAL ROBOTS. 2020, roč. 2020, č. 1, s. 1. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/blog/types-of-grippers-used-in-manufacturing/>. [cit. 2023-12-04].
- [7] КОЗЫРЕВ, Юрий Георгиевич. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов. 1. КНОРУС, 2010. ISBN 978-5-406-00763-1.
- [8] Hotař, Vlastimil. ÚVOD DO AUTOMATIZACE A ROBOTIZACE VE STROJÍRENSTVÍ. 1. Technická univerzita v Liberci: Technická univerzita v Liberci, 2020. ISBN ISBN 978-80-7494-545-8.
- [9] The difference between robotic grippers with parallel, three-finger, and angled designs. Online. Machine design. 2011, roč. 2011, č. 1, s. 1. Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/markets/robotics/article/21833348/the-difference-between-robotic-grippers-with-parallel-threefinger-and-angled-designs>. [cit. 2023-11-21].
- [10] PHL Chapadlo s dlouhým zdvihem. Online. SCHUNK. 2024. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/uchopovaci-systemy/paralerni-chapadlo/phl/c/PGR_6331. [cit. 2024-02-18].
- [11] PWG-plus Úhlové chapadlo. Online. SCHUNK. 2024. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/uchopovaci-systemy/uhlove/radialni-chapadlo/pwg-plus/c/PGR_1597. [cit. 2024-02-18].

- [12] К.А. Укряженко; Ю.В. Янчевский; А.А. Кулебякин а , А.Ю. Торопов. *ЗАХВАТНЫЕ УСТРОЙСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ*. 1. 1, 2007. ISBN 5-230-20645-4.
- [13] *Ejector System*. Online. Ejector System. 2017. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/ejector-system>. [cit. 2024-01-28].
- [14] ATO. *Vacuum Generator Working Principle*. Online. ATO. ATO. 2024. Dostupné z: <https://www.ato.com/vacuum-generator-working-principle>. [cit. 2024-01-17].
- [15] *VACUUM GRIPPER-BLOWER STANDARD TYPE*. Online. AIRBEST (CHANGXING) TECHNOLOGY CO. <https://www.airbest.com/>. 2022. Dostupné z: <https://www.airbest.com/products/txm-series-blower-type-vacuum-grippers/>. [cit. 2024-01-17].
- [16] MYKHAILYSHYN, Roman; SAVKIV, Volodymyr; MARUSCHAK, Pavlo a XIAO, Jing. *A SYSTEMATIC REVIEW ON PNEUMATIC GRIPPING DEVICES FOR INDUSTRIAL ROBOTS*. Online. 1. Vilnius Gediminas Technical University, 2022. Dostupné z: <https://doi.org/10.3846/transport.2022.17110>. [cit. 2024-01-28].
- [17] Yusuke Tsugami a , Takeshi Nishida. *Simple Structured Gripper Using Electromagnet and Permanent Magnet*. Akademická práce. Kitakyushu, Fukuoka: Department of Mechanical and Control Engineering Kyushu Institute of Technology, 2017.
- [18] *A Spherical Self-Adaptive Gripper with shrinking of an elastic membrane*. Online. A Spherical Self-Adaptive Gripper with shrinking of an elastic membrane. 2016. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Spherical-Self-Adaptive-Gripper-with-shrinking-of-Zhu-Yang/e2432a7a316eb4c303e6474eb27ff449175aa7dc>. [cit. 2024-02-02].
- [19] Development of universal robot gripper using MR α fluid. Online. *IEEE*. Roč. 2015, č. 1, s. 1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/SCIS-ISIS.2014.7044707>. [cit. 2024-02-02].
- [20] *Design of a Liquid Jamming Gripper*. Online. Design of a Liquid Jamming Gripper. 2023. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2411-9660/7/2/44>. [cit. 2024-02-02].
- [21] *Svařovací roboti*. Online. RHTECH. <https://www.rhtech.cz/>. 2021. Dostupné z: <https://www.rhtech.cz/svarovani/>. [cit. 2024-01-17].
- [22] BUDYNAS, Richard G. a NISBETT, J. Keith. *Shigleyho konstruování strojních součástí*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUT IUM, 2023. ISBN 978-80-214-5471-2.

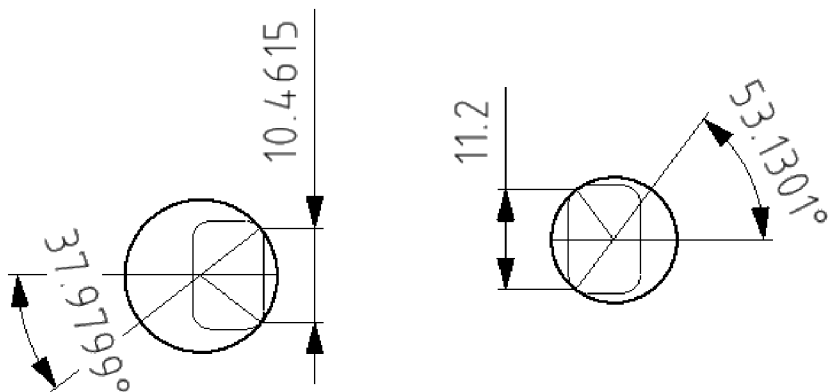
8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1)	Systémový model efektoru[3]	13
Obr. 2)	Schéma rozdělení kompenzátorů[4]	14
Obr. 3)	Struktura chapadla: a – struktura s transformačním blokem (základní); b – struktura bez transformačního bloku; c – s integrací úchopného prvku a motoru[8].....	15
Obr. 4)	Typ převodů transformačního bloku[3]	16
Obr. 5)	PHL Chapadlo s dlouhým zdvihem[10]	17
Obr. 6)	PZN-plus Univerzální chapadlo[11]	17
Obr. 7)	PWG-plus Úhlové chapadlo[11]	17
Obr. 8)	Rovnováha objektu při pohybu prizmatického lůžka[8]	18
Obr. 9)	Koncepce pasivních mechanických chapadel[3].....	18
Obr. 10)	Srovnání výkonnostních specifikací typických vakuových generátorů[13].....	19
Obr. 11)	Princip ejektorové přísavky s tlumičem hluku[14]	20
Obr. 12)	Vakuový uchopovač typu dmychadlo[15]	20
Obr. 13)	Základní provedení deformačních přísavek[4]:	20
Obr. 14)	Použití konstrukcí přísavek při specifických pohybech[16]: prázdný kruh – vzácný; 1/4 – zřídka; 1/2 – občas; 3/4 – často; zcela zaplněný – velmi často	21
Obr. 15)	Elektromagnetické chapadlo s dvojicí uchopovacích jednotek[4]	22
Obr. 16)	Formy s permanentními magnety (Welter)[1].....	22
Obr. 17)	Chapadlo s elastickou membránou[18]	23
Obr. 18)	Chapadlo s MR α tekutinou[19]	23
Obr. 19)	Chapadlo s efektem Jamming (zmrazení)[20].....	23
Obr. 20)	Sekvence uchopení a uvolnění vodního chapadla[17]	24
Obr. 21)	Uchopování předmětů různých tvarů[17].....	24
Obr. 22)	Robot firmy FANUK se svařovací hlavici[21]	24
Obr. 23)	Těleso (obj. 1), průstřižnice (obj. 2), nůž (obj. 3)	26
Obr. 24)	a) Těleso na pracovním trnu a směr nasazení, b) Kostra chapadla	27
Obr. 25)	a) Předběžný náhled levého prstu, b) Předběžný náhled pravého prstu	27
Obr. 26)	a) Předběžný náhled levého prstu pro průstřižnice a nůž, b) Předběžný náhled pravého prstu pro průstřižnice a nůž	28
Obr. 27)	Předběžný koncept sestavy prstů.....	28
Obr. 28)	Poloha tělesa.....	29
Obr. 29)	a) Náhled polohy průstřižnice, b) Náhled polohy nože.....	30

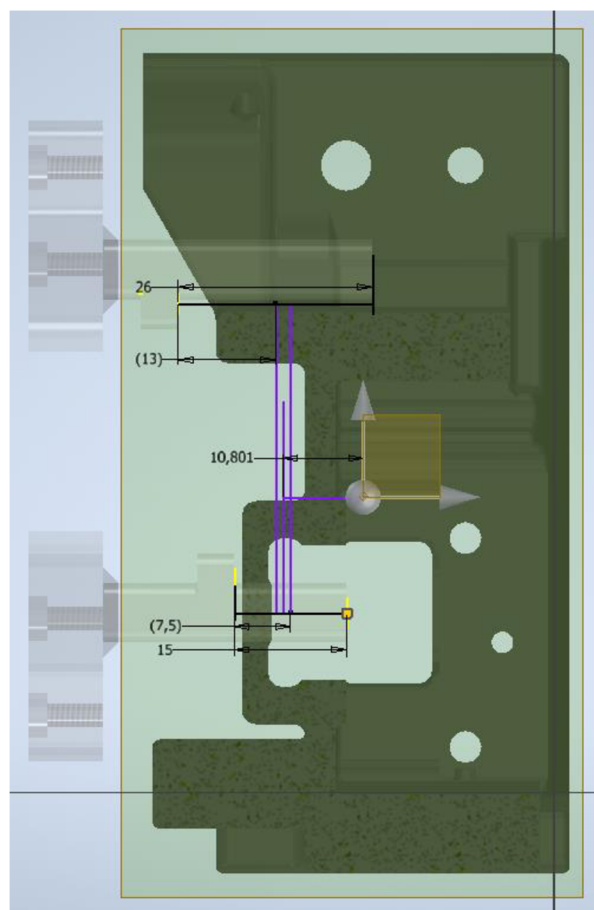
Obr. 30)	PGL-plus-P 10-ASC6-IOL.....	31
Obr. 31)	a) Síla v levém prstu, b) Síla v pravém prstu	31
Obr. 32)	Síly v levém prstu pro průstřihnice a nůž	32
Obr. 33)	Síla vyvolaná hmotností tělesa	32
Obr. 34)	Pohled svaru prstů	33
Obr. 35)	Označení pevnostních vlastností o tažnosti svarového kovu při použití obalených elektrod pro ruční obloukové svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí podle ČSN EN ISO 2560.[22]	34
Obr. 36)	Montáž kompletního dílu na pracovní hlavu.....	35
Obr. 37)	Celá sestava na robotu IRB1300	35
Obr. 38)	Alternativní kostra chapadla.....	36

9 SEZNAM PŘÍLOH

9.1 Silový rozbor



Geometrie dotyku v otvoru



Vzdálenost těžiště od geometrického středu os kontaktních ploch

$k_1 := 1,2$ $k_2 := 1,4$ $k_3 := 1,2$ $a_1 := 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 $k_4 := 1,2$ $k_5 := 1,2$ $k_6 := 1$
 $k := k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 = 2,903$ Koefficient bezpečnosti $a_2 := 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ Zrychlení v osách
 $b_{hloubkaL} := 26 \text{ mm}$ Hloubka levého otvoru
 $b_{hloubkaP} := 15 \text{ mm}$ Hloubka pravého otvoru $a_3 := 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 $m := 0,930 \text{ kg}$ Hmotnost tělesa
 $l_2 := 10,801 \text{ mm}$ Vzdálenost těžiště do geometrického středu os kontaktních ploch
 $\varphi_1 := 53,13^\circ$ Úhel prstu levého
 $\varphi_2 := 37,98^\circ$ Úhel prstu pravého

$$F_{u2Telo} := k \cdot m \cdot \left(a_1 \cdot \left(\frac{6 \cdot l_2}{(b_{hloubkaL} + b_{hloubkaP})} + \frac{1}{2} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{\cos(\varphi_1) + \cos(\varphi_2)}{4 \cdot \mu} \right) + (a_3) \cdot \left(\frac{6 \cdot l_2}{(b_{hloubkaL} + b_{hloubkaP})} \cdot \frac{\left(\frac{1}{\text{tg}(\varphi_1)} + \frac{1}{\text{tg}(\varphi_2)} \right)}{2} \right) \right) = 77,3119 \text{ N}$$

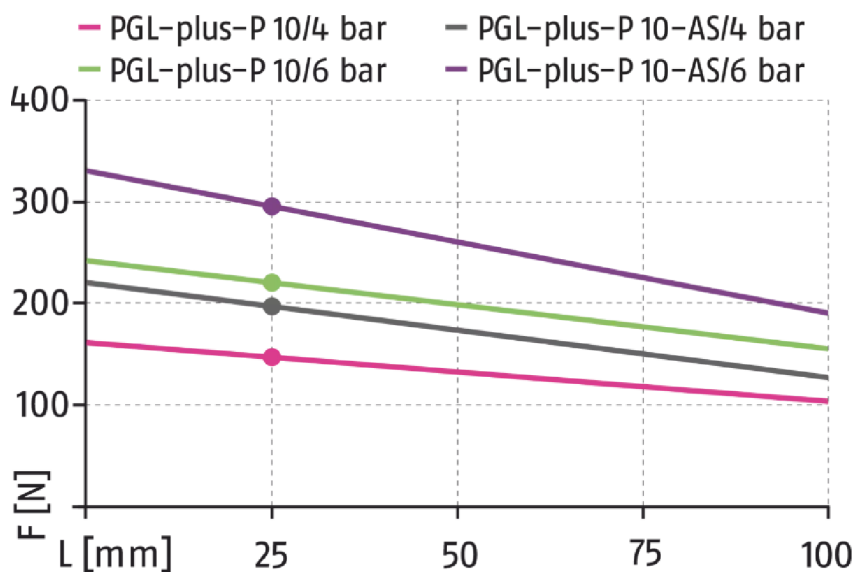
$m_{noze} := 0,009 \text{ kg}$

$$F_{uNoze} := k \cdot m_{noze} \cdot \left(a_1 + \frac{a_2}{2 \cdot \mu} + \frac{a_3 + g}{2 \cdot \mu} \right) = 1,6529 \text{ N}$$

$m_{prus} := 0,026 \text{ kg}$

$$F_{uprus} := k \cdot m_{prus} \cdot \left(a_1 + \frac{a_2}{2 \cdot \mu} + \frac{a_3 + g}{2 \cdot \mu} \right) = 4,7752 \text{ N}$$

9.2 Kontrola momentového namáhání v chapadle



Uchopovací síla, uchopení zvenku

$$F_1 := 220 \quad L_1 := 25 \quad \text{Bod 1}$$

$$F_2 := 200 \quad L_2 := 50 \quad \text{Bod 2}$$

$$L_L := 35 \quad \text{Délka ramena levého}$$

$$F_L := \left(\frac{L_L - L_1}{L_2 - L_1} \right) \cdot (F_2 - F_1) + F_1 = 212$$

$$M_{yL} := F_L \cdot \frac{L_L}{1000} = 7,42$$

$$F_1 := 220 \quad L_1 := 25 \quad \text{Bod 1}$$

$$F_2 := 200 \quad L_2 := 50 \quad \text{Bod 2}$$

$$L_L := 55,5 \quad \text{Délka středu průstřížnice}$$

$$F_L := \left(\frac{L_L - L_1}{L_2 - L_1} \right) \cdot (F_2 - F_1) + F_1 = 195,6$$

$$M_{z2} := F_L \cdot \frac{L_L}{1000} = 10,8558$$

$$F_1 := 220 \quad L_1 := 25 \quad \text{Bod 1}$$

$$F_2 := 200 \quad L_2 := 50 \quad \text{Bod 2}$$

$$L_P := 33 \quad \text{Délka ramena pravého}$$

$$F_P := \left(\frac{L_P - L_1}{L_2 - L_1} \right) \cdot (F_2 - F_1) + F_1 = 213,6$$

$$M_{yP} := F_P \cdot \frac{L_P}{1000} = 7,0488$$

$$F_1 := 220 \quad L_1 := 25 \quad \text{Bod 1}$$

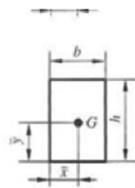
$$F_2 := 200 \quad L_2 := 50 \quad \text{Bod 2}$$

$$L_P := 63,5 \quad \text{Délka středu nože}$$

$$F_P := \left(\frac{L_P - L_1}{L_2 - L_1} \right) \cdot (F_2 - F_1) + F_1 = 189,2$$

$$M_{z1} := F_P \cdot \frac{L_P}{1000} = 12,0142$$

9.3 Výpočet napětí ve svaru



$$S = 1,414z(b+h)$$

$$\bar{x} = b/2$$

$$\bar{y} = h/2$$

$$J_{zu} = \frac{h^2}{6}(3b+h)$$

Tab. 9-2

Geometrické charakteristiky účinných průřezů .<.autových svorů namáhaných ohybem

$$z := 2 \text{ mm} \quad F := 212 \text{ N}$$

$$h := 8 \text{ mm} \quad L := 25 \text{ mm}$$

$$b := 12 \text{ mm}$$

$$c := \frac{h}{2} = 0,004 \text{ m} \quad M := F \cdot L = 5,3 \text{ N m}$$

$$S := 1,414 \cdot z \cdot (b+h) = 5,656 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\tau' := \frac{F}{S} = 3,7482 \text{ MPa}$$

$$J_{zu} := \frac{h^2}{6} \cdot (3 \cdot b + h) = 4,6933 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$J_z := 0,707 \cdot z \cdot J_{zu} = 6,6364 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$\tau'' := \frac{M \cdot c}{J_z} = 31,9452 \text{ MPa}$$

Napětí tvořené od síly chapadlem

$$g := 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a := 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$L_t := 34,8 \text{ mm}$$

$$m := 0,465 \text{ kg}$$

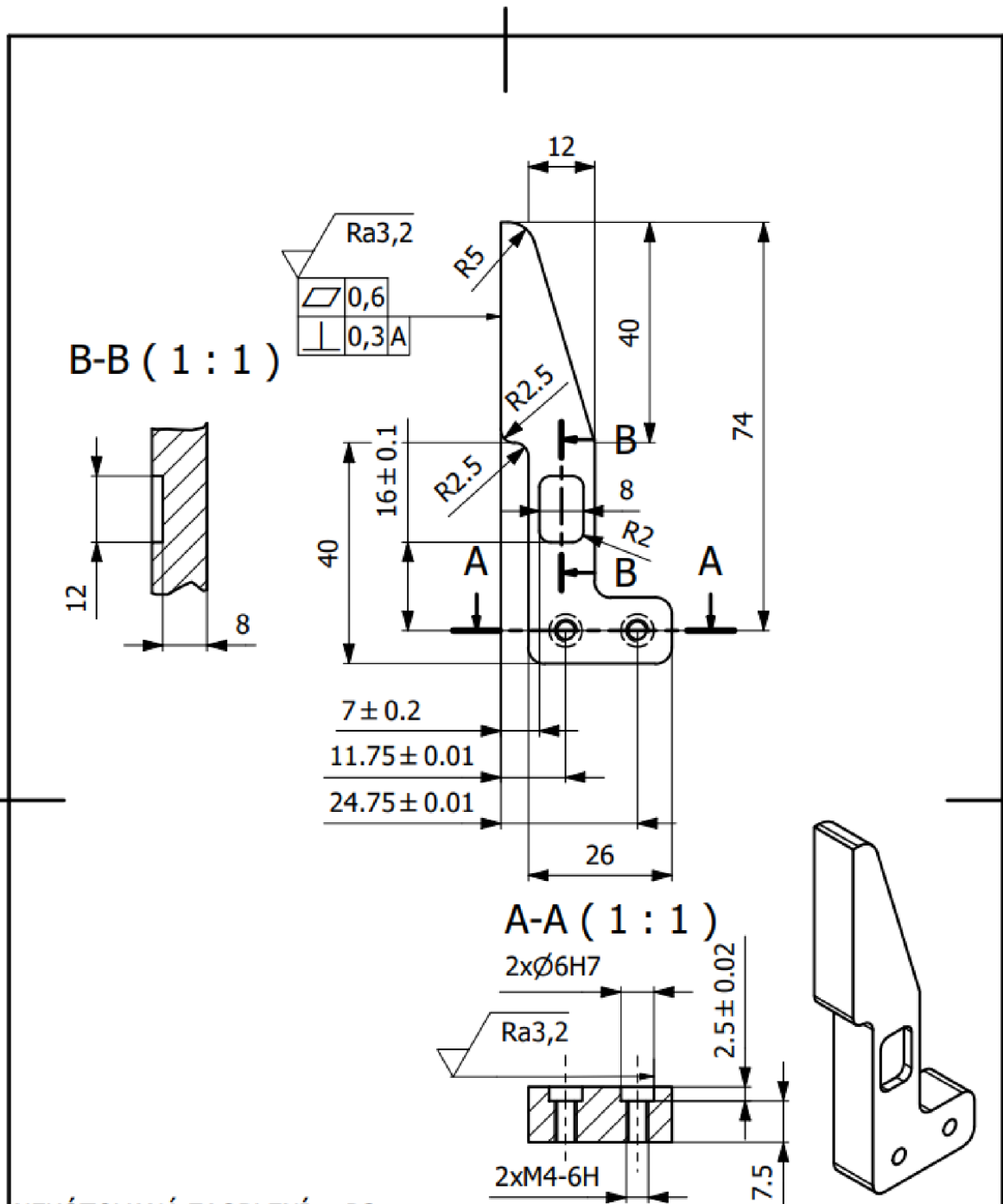
$$G := m \cdot (g + a) = 6,8866 \text{ N}$$

$$T1 := \frac{G}{S} = 0,1218 \text{ MPa}$$

$$T2 := \frac{G \cdot L_t \cdot \frac{b}{2}}{J_z} = 2,1667 \text{ MPa}$$

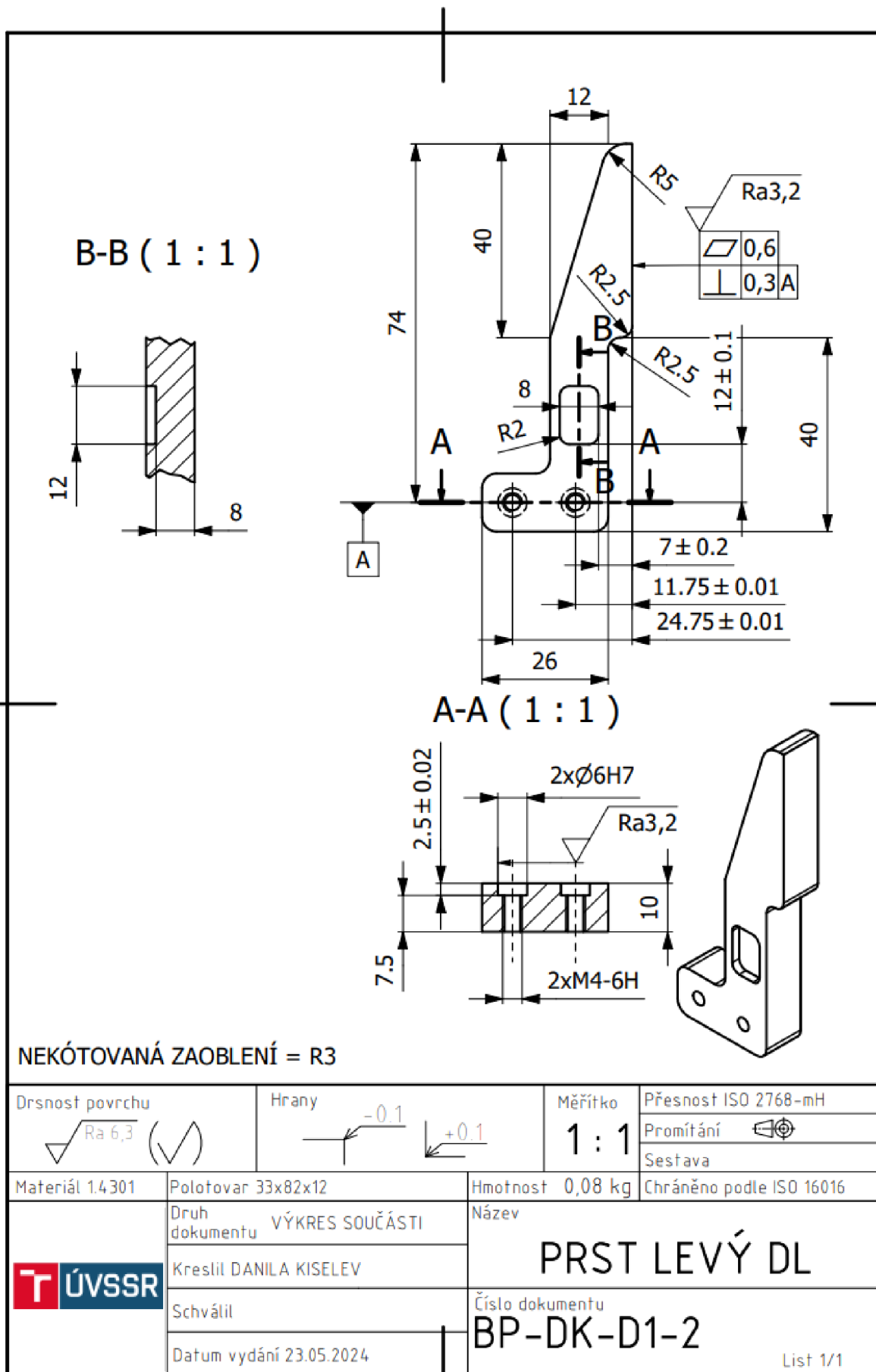
Napětí tvořené od těžiště

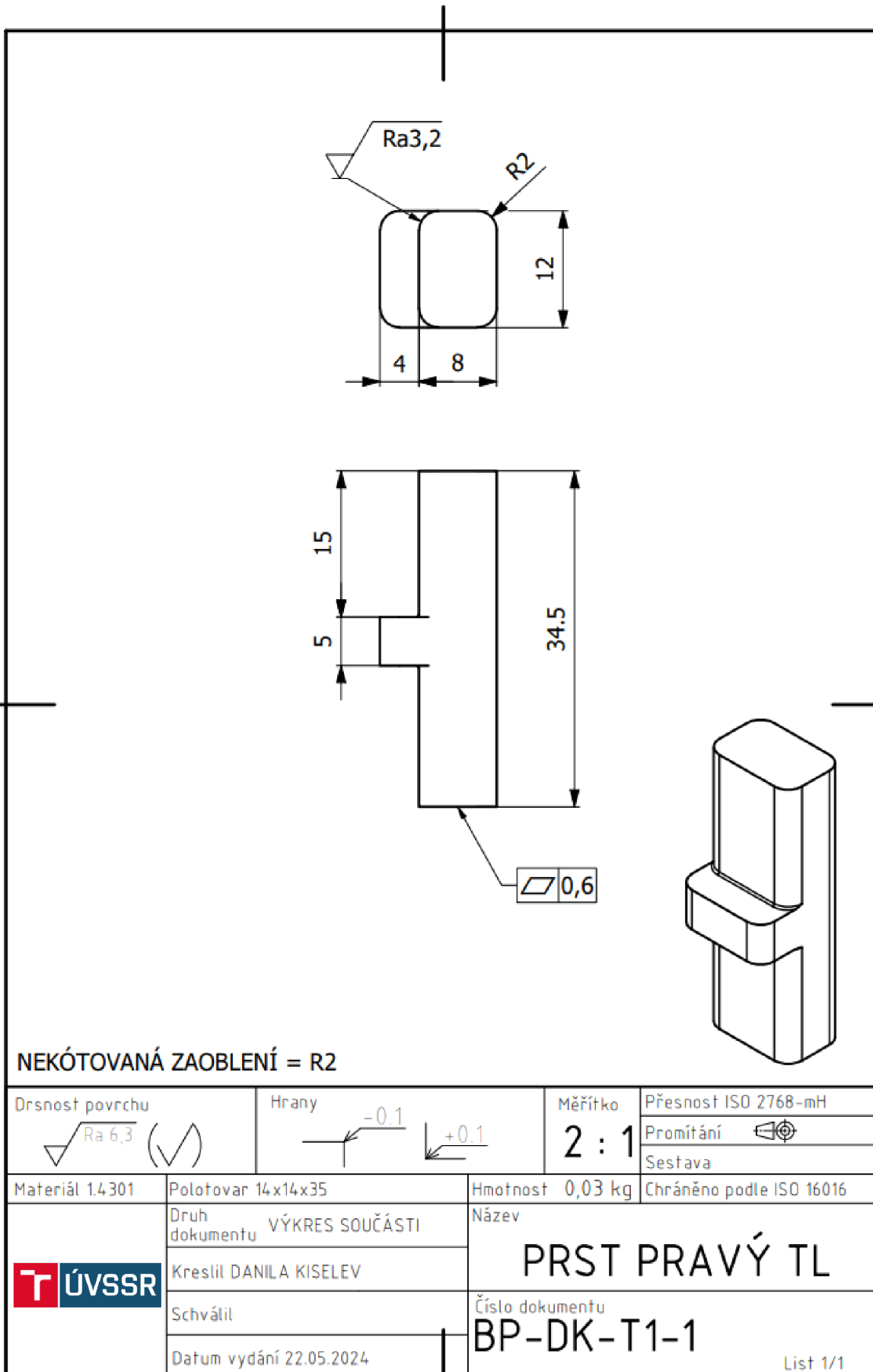
$$\tau := \sqrt{(\tau' + T1)^2 + (\tau'' + T2)^2} = 34,3307 \text{ MPa}$$

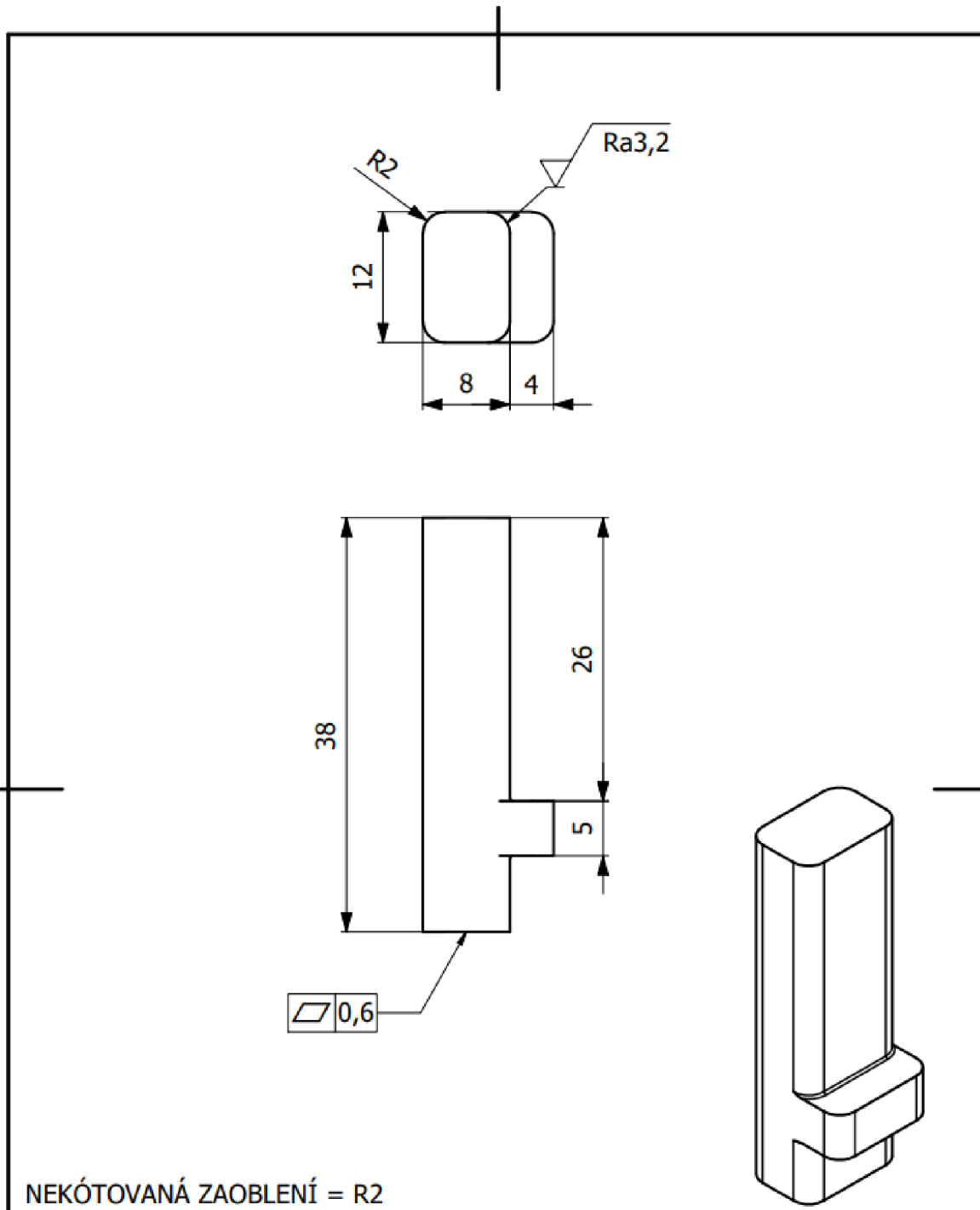


NEKÓTOVANÁ ZAUBLNÍ = R3

Drsnost povrchu 	Hrany 	Měřítko 1 : 1	Přesnost ISO 2768-mH Promítání Sestava
Materiál 1.4301	Polotovár 33x82x12	Hmotnost 0,08 kg	Chráněno podle ISO 16016
	Druh dokumentu VÝKRES SOUČÁSTI	Název PRST PRAVÝ DL	
	Kreslil DANILA KISELEV	Číslo dokumentu BP-DK-D1-1	
	Schválil		
Datum vydání 23.05.2024		List 1/1	

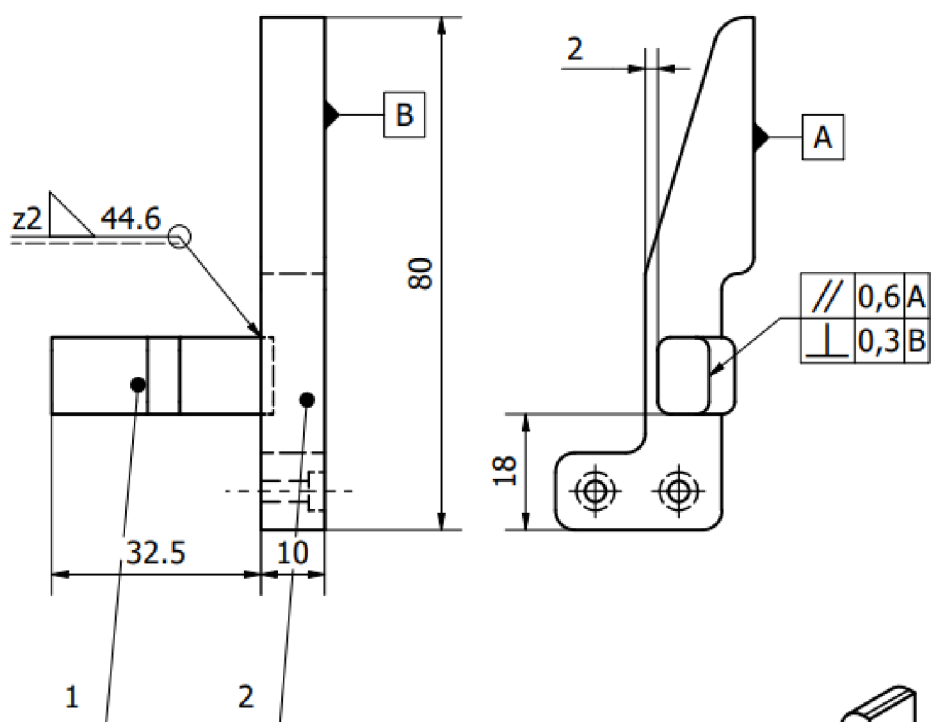




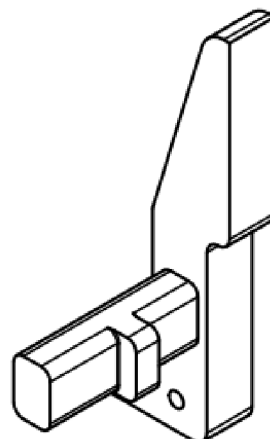


NEKÓTOVANÁ ZAOBLNÍ = R2

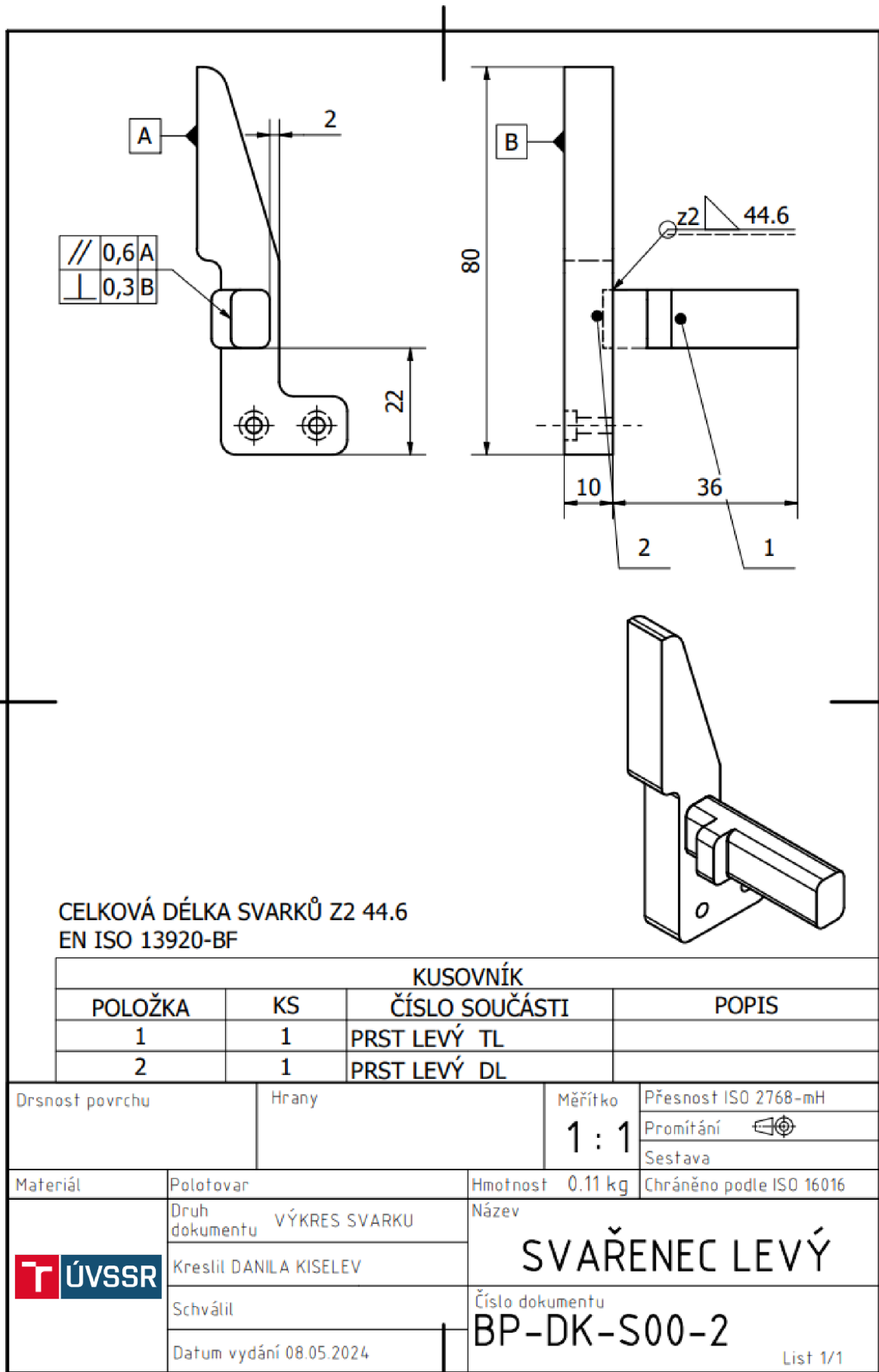
Drsnost povrchu 		Hrany 		Měřítka 2 : 1	Přesnost ISO 2768-mH Promítání
Materiál 1.4301		Polotovár 14x14x40		Hmotnost 0,03 kg	Chráněno podle ISO 16016
	Druh dokumentu VÝKRES SOUČÁSTI			Název PRST LEVÝ TL	
	Kreslil DANILA KISELEV				
	Datum vydání 23.05.2024			Číslo dokumentu BP-DK-T1-2	

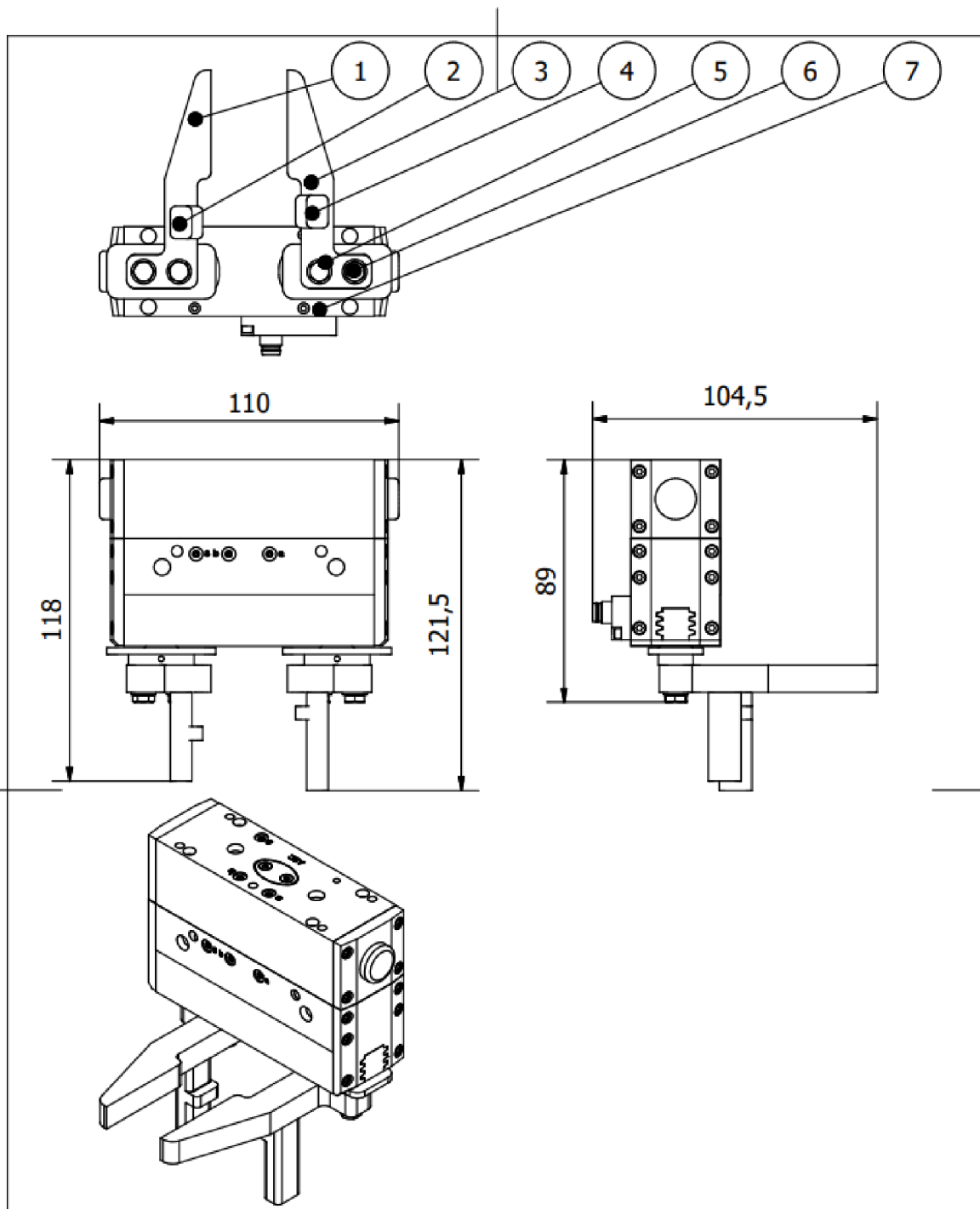


CELKOVÁ DÉLKA SVARKŮ z2 44.6
EN ISO 13920-BF



KUSOVNÍK			
POLOŽKA	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS
1	1	PRST PRAVÝ TL	
2	1	PRST PRAVÝ DL	
Drsnost povrchu		Hrany	Měřítko
			1 : 1
			Přesnost ISO 2768-mH
			Promítání
			Sestava
Materiál	Polotovar	Hmotnost	0,11 kg
	Druh dokumentu	VÝKRES SVARKU	
	Kreslil	DANILO KISELEV	
	Schválil		
	Datum vydání	23.05.2024	
		Název	
		SVAŘENEC PRAVÝ	
		Číslo dokumentu	
		BP-DK-S00-1	
		List 1/1	





Drsnost povrchu		Hrany		Měřítko 1 : 2		Přesnost ISO 2768-mH	
						Promítání	
						Sestava	
Materiál		Polotovár		Hmotnost 0.46 kg		Chráněno podle ISO 16016	
		Druh dokumentu VÝKRES SESTAVENÍ		Název SESTAVA S CHAP.			
		Kreslil DANILA KISELEV					
		Schválil		Číslo dokumentu BP-DK-S00			
Datum vydání 08.05.2024						List 1/1	



KUSOVNÍK			
POLOŽKA	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS
1	1	PRST LEVÝ DL	
2	1	PRST LEVÝ TL	
3	1	PRST PRAVÝ DL	
4	1	PRST PRAVÝ TL	
5	1	SCHUNK-1476854-PGL-p lus-P 10-ASC6-P-IOL,000	PGL-plus-P-2-finger parallel gripper - Universal gripper
6	4	ISO 4017 - M4 x 16	Šrouby s šestihrannou hlavou; Výrobní třída A a B
7	4	ISO 7089 - 4	Ploché podložky – normální série – výrobní řada A

	Druh dokumentu	SEZNAM ČÁSTÍ	Název	KUSOVNÍK
	Kreslil:	DANILO KISELEV		
	Schválil:		Číslo dokumentu	BP-DK-K00
	Datum vydání:	08.05.2024		