



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VYBAVENÍ 3 OSÉHO CNC STROJE UPÍNACÍMI ČELISTMI

CLAMPING JAWS FOR 3D AXIS CNC MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL BUŽEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. OSKAR ZEMČÍK, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Bužek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vybavení 3 osého CNC stroje upínacími čelistmi

v anglickém jazyce:

Clamping jaws for 3D axis CNC machine

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bude zadáno více konkrétních řešení po osobní konzultaci. Předpokladem je vlastní vyráběný díl z praxe. Řešení se soustředí na změny v technologii výroby, či strojním a nástrojovém vybavení a následné technicko ekonomické srovnání.

Cíle bakalářské práce:

1. Rozbor stávajícího pracoviště ve firmě.
2. Určení uzlových míst pro vhodnost nasazení robota(ů).
3. Technické řešení upínacích čelistí.
4. Technicko-ekonomické vyhodnocení včetně ekologie.
5. Diskuze, závěr.

Seznam odborné literatury:


1. PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
3. ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.


Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 17.1.2014





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

V mojí bakalářské práci jsem se zabýval návrhem, výrobou a uvedením do provozu upínacích čelistí pro obráběcí centrum. Projekt jsem realizoval ve firmě Mevi-CZ se sídlem ve Zlíně, která má dlouhodobou historii v oblasti výroby součástí pro balicí, farmaceutický, elektrotechnický, potravinářský průmysl, prototypů, sanitární techniky, zařízeních pro automatizace, dopravních a manipulačních zařízení. Na začátku projektu jsem si vytvořil návrh technického řešení upínacích čelistí, jejich umístění v rámci pracoviště a vypracoval jsem výkresovou dokumentaci. Věřím, že moje řešení bude mít využití v zefektivnění výroby ve firmě, to znamená zvýšení výrobní kapacity stroje a minimalizování prostojů vzniklých obsluhou člověkem.

Klíčová slova

Automatizace, vícestrojová obsluha, upínací čelisti, pneumatický svěrák, zefektivnění výroby.

ABSTRACT

In my bachelor thesis I dealt with the design, manufacture and putting into operation of clamping jaws for machining center. The project was done in company Mevi-CZ located in Zlín, which has a long history in the production of components for packaging, pharmaceutical, electronics, food industry prototyping, sanitary equipment, automation equipment, transportation and handling equipment. At the beginning of the project I created a technical solution of clamping jaws, their location within the workplace and I have created drawings. I believe that my solution will be used in a production efficiency in the company, this means increased machine capacity and minimize machine downtime caused by employee.

Key words

Automation, multimachine operation, clamping jaws, pneumatic vise, production efficiency.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BUŽEK, Michal. *Vybavení 3 osého cnc stroje upínacími čelistmi*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 47 s. 5 příloh. Vedoucí práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma vybavení 3 osého CNC stroje upínacími čelistmi vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Podpis bakaláře

Datum 29.5.2014

.....
Michal Bužek

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Oskaru Zemčikovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

1 Úvod.....	9
2 Současné problémy automatizace	10
2.1 Význam a přínosy automatizace strojírenské výroby	11
3 Představení firmy a rozbor stávajícího výrobního pracoviště.....	12
3.1 Historie firmy.....	12
3.2 Pracoviště.....	12
3.3 Volba typového obrobku.	13
4 Určení oblastí vhodných k automatizaci	14
5 Technické řešení.....	17
5.1 Návrh řešení.....	17
5.1.1 Návrh řešení upínacích čelistí ve stroji.....	19
5.2 Řešení svěráku.....	22
5.2.1 Návrh multiplikátoru.....	23
5.2.2 Řešení pneumatického svěráku.....	25
5.2.3 Základní parametry svěráku.....	28
5.3 Řešení úchopných čelistí.	29
5.4 Řešení palety pro polotovary	34
5.5 Řešení elektronického zapojení.	37
5.6 Programová obsluha.	38
6 Technicko-ekonomické hodnocení.....	40
7 Závěr.....	43
8 Seznam použitých zdrojů	44
9 Seznam použitých zkratk a symbolů	45
10 Seznam příloh.....	47

1 ÚVOD

V mojí bakalářské práci se budu věnovat tématu automatizaci výroby pro společnost Mevi-CZ, kde jsem několik let pracoval. Pro toto téma sem se rozhodl, protože jsem zaregistroval, že na rozdíl od zahraničí, kde je automatizace ve velké míře rozšířená, v mnohých firmách u nás mají vůči automatizaci předsudky, a to hlavně v menších firmách, protože si myslí, že automatizace je vhodná jenom pro větší firmy. S tím jsem se střetl i ve firmě Mevi-CZ, kde nemají vůbec automatizaci. Rád bych jim prostřednictvím této práce ukázal, že automatizace je možná i v menších firmách a to aj v jejich firmě.

V úvodu práce povím pár slov o současných problémech automatizace u nás, představím firmu a vyberu místo vhodné pro automatizaci. Uvažoval jsem o dvou možnostech automatizace a to pomocí robota a pomocí upínacích čelistí. Protože firma Mevi-CZ se zabývá malosériovou a kusovou výrobou, zvolil jsem automatizaci pomocí upínacích čelistí. V technickém řešení proto navrhnu a zkonstruuju upínací čelisti a obslužné zařízení, která jsou pneumatický svěrák a univerzální paleta na polotovary, připojení na stroj a programovou obsluhu. Modely a výkresovou dokumentaci budu dělat v programu Autodesk Inventor 2012. Po vypracování výkresové dokumentace zhodnotím technický a ekonomický význam upínacích čelistí pro firmu, zaměřím se na nákladovou analýzu a efektivitu práce.

2 SOUČASNÉ PROBLÉMY AUTOMATIZACE

17. listopad 1989 otevřel dveře českému průmyslu nejen k nabídkám a odbytištím západních výrobců. Pád železné opony vytvořil příležitost pro západní výrobce rozšířit nabídku svých výrobků na trhy postkomunistických zemí. Mezi těmito firmami, které po revoluci začaly intenzivně působit v našem regionu a vyvinuly značnou iniciativu, byly firmy, zabývající se automatizační technikou (SIEMENS, Allen-Bradley, Telemecanique, Honeywell, a řada dalších).

Příchod západních firem na náš trh v oblasti automatizace byl vyústěním následujících úvah:

1. Oblast dodávek automatizačních prostředků byla v České socialistické republice pokryta monopolními výrobci ZPA a TESLA. Projektovou přípravu zajišťovalo několik resortních výzkumných a projektových organizací. Tyto firmy se rozpadly a vzniklé privátní firmy nebyly schopny po nějakou dobu být dostatečně konkurenceschopné západním výrobcům.
2. I přes nemalé investice do automatizace vykazovaly (a vykazují) české podniky malý stupeň automatizace, což se projevuje:
 - vysokým podílem ruční práce při výrobě
 - dlouhými průběžnými dobami výroby v důsledku malé automatizace pomocných činností (mezioperační doprava, skladování, balení, evidence výrobního procesu apod.)
 - minimálním využitím možností automatického měření a automatické kontroly
 - absencí robotizace montážních operací
 - špatnou úroveň ručního plánování.
3. Automatizační technika za socialismu byla založena na součástkové základně, které produkoval elektronický průmysl socialistického bloku států RVHP. Ten vykazoval velké zpoždění v zavádění špičkových elektronických technologií. Západní firmy tak mohly nabídnout elektronické prostředky pro automatizaci s řádově vyššími výkony a spolehlivostí při relativně nízké ceně.

Na základě výše uvedených úvah vznikl u západních firem mýtus racionálního přístupu českých zprivatizovaných firem k problematice zavádění automatizace. Západní automatizační firmy předpokládaly, že se naše nové firmy budou chovat v nově vzniklém tržním prostředí tak, jak by se asi chovali západní podnikatelé, kdyby se ocitli se svými firmami v takovém svízelném postavení, a že vznikne v ČR velká poptávka po automatizační technice.

Zadní firmy, které předpokládaly zvýšený nákup automatizační techniky v České republice se střetly s předsudky a s nezájmem českých firem o automatizaci kvůli různým mýtům a pověrám.

Jestliže byl přístup zahraničních firem založen na nesprávném odhadu, můžeme označit přístup našich firem jako přístup založený na přežívajících pověrách:

1. Automatizace je tak drahá, že se nemůže vyplatit.

2. Automatizace je nespolehlivá a přináší jen nejistotu a problémy.
3. Automatizace je zbytečná a lze se bez ní obejít.
4. Automatizace je neužitečná a představuje jen hraní s technickými novinkami.
5. Automatizace je složitá věc, a její zavedení je nad síly naší firmy.
6. Automatizace se může vyplatit jen pro hromadnou výrobu a ne pro naši firmu, která vyrábí v malých sériích a některé výrobky dokonce jako kusovou výrobu na objednávku.
7. Automatizace je jen pro velké firmy, které mají možnost vytvořit si velké finanční prostředky a které si mohou dovolit zaměstnávat specialisty na zavádění automatizace.
8. Automatizace je reklamní slogan firem, které vyrábějí automatizační techniku a potřebují ji prodávat, aby se uživily.
9. Na automatizaci nemáme finanční prostředky. Ty které máme musíme vynaložit na důležitější věci.
10. Na problémy spojené s automatizací nemáme čas. Musíme řešit otázky spojené s prosperitou firmy. [1]

V mojí práci se budu snažit tyhle pověry vyvrátit tím, že jsem se rozhodl využít automatizaci v malé firmě a vypracuji postup jak by firma automatizaci mohla využít.

2.1 Význam a přínosy automatizace strojírenské výroby

Automatizace strojírenské výroby je předpokládaným znakem vědeckotechnického pokroku a tyhle vynálezy se stávají pracovní silou. Přinášejí očekávaný zisk, zkvalitnění práce podniku a ušetření nákladů.

Automatizace strojírenské výroby představuje především naprostou spojitost provádění technologických operací, kvalitativní změnu úlohy lidského činitele ve výrobním procesu, vysokou složitost a provázanost soustav pracovních prostředků.

Přínos automatizace lze shrnout do několika bodů:

1. Zkrácení průběžné doby výroby.
2. Možnost rychle reagovat na požadavky zákazníka.
3. Podstatné zvýšení kvality.
4. Udržení vysoké produkce.
5. Snížení výrobních nákladů.
6. Optimalizace výrobního procesu.
7. Zajištění rychlých a přesných informací o stavu a průběhu celého výrobního procesu. [1, 2]

3 PŘEDSTAVENÍ FIRMY A ROZBOR STÁVAJÍCÍHO VÝROBNÍHO PRACOVÍŠTĚ

3.1 Historie firmy

Společnost Mevi-CZ byla založena v roce 1998 se sídlem ve Zlíně. Zabývá se výrobou přesných strojních dílů obráběných na konvenčních a CNC strojích v kusové výrobě a malých sériích. Součásti vyrábí na základě technické dokumentace zákazníka. Dodává součásti pro firmy činné v balicím, farmaceutickém, elektrotechnickém, potravinářském průmyslu, ve výrobě prototypů, sanitární techniky, zařízeních pro automatizace, dopravních a manipulačních zařízení.

Firma v současné době zaměstnává 42 lidí.

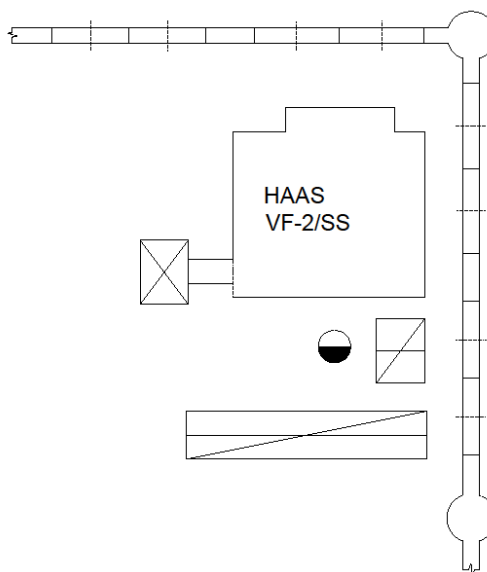
Strojní vybavení firmy sestává ze třech číslicově řízených vertikálních obráběcích center HAAS VF-2/SS, strojů HAAS 4B, MIKRON VCE500, ZPS MCFV 1060 NT a INTOS - FNG 40 CNC po jednom stroji. Z číslicově řízených soustruhů jsou to ZPS - S50, MAS-MT32CNC a HAAS ST30SSY. Dále firma vlastní čtyři konvenční frézky a tři konvenční soustruhy a brusku na kulato a brusku na plocho.

Programové vybavení zahrnuje kromě CAD programů CAM program, EDGE CAM, který je ovšem málo využíván. Stroje většinou programují pracovníci ručně na ovládacích panelech, za klidu stroje. [3]

3.2 Pracoviště

Pracoviště je založené na frézovacím centru HAAS VF-2/SS. Vyrábí se zde většinou nerotační obrobky v sériovosti od jednoho do sta kusů, přičemž obsluha stroje se stará o programovou i obslužnou část výroby, čímž vzniká vysoký požadavek na kvalifikovanost obsluhy.

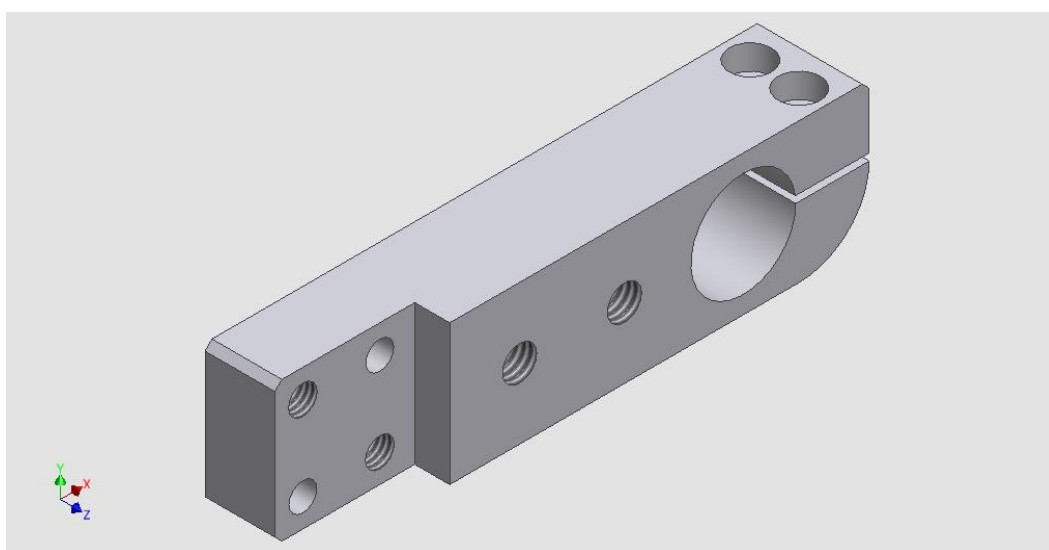
Jak možno vidět na následujícím obrázku, vpravo od pracovníka se nachází uzamykatelný regál s náradím pro obrábění a s pomůckami pro upínání obrobků a jejich měření. Za pracovníkem se nachází regál, na kterém jsou odloženy polotovary a obrobky určené k obrábění. K jednotlivým zakázkám je přiřazena technická dokumentace s vyznačeným datem, do kdy má být zakázka obrobena.



Obr. 1: Rozvržení pracoviště. [vlastní zpracování]

3.3 *Volba typového obrobku.*

Procentuální zastoupení jednotlivých kusů připadá na nerotační součásti 40% a na rotační součásti 60%. Z nerotačních součástí připadá 10% na deskové součásti, 50% součástí hranolovitého typu, 10% součástí skříňového typu a 30% nepravidelné součásti. S přihlédnutím na rozmanitost výrobků, na rozdílnou složitost jednotlivých kusů jsem vybral výrobek, který dle mého názoru reprezentuje širokou skupinu výrobků. Jelikož se firma zabývá výhradně kusovou, či malosériovou výrobou budu uvažovat o dávce 100 kusů a roční výrobě 1200 kusů. Je jím držák vyrobený z nerezové austenitické oceli 17 240 hlavních rozměrů 80x20x15 mm.



Obr. 2: Držák. [vlastní zpracování]

4 URČENÍ OBLASTÍ VHODNÝCH K AUTOMATIZACI

K určení místa vhodného pro automatizaci potřebujeme znát technologický postup výroby držáku, který je uveden v tabulce.

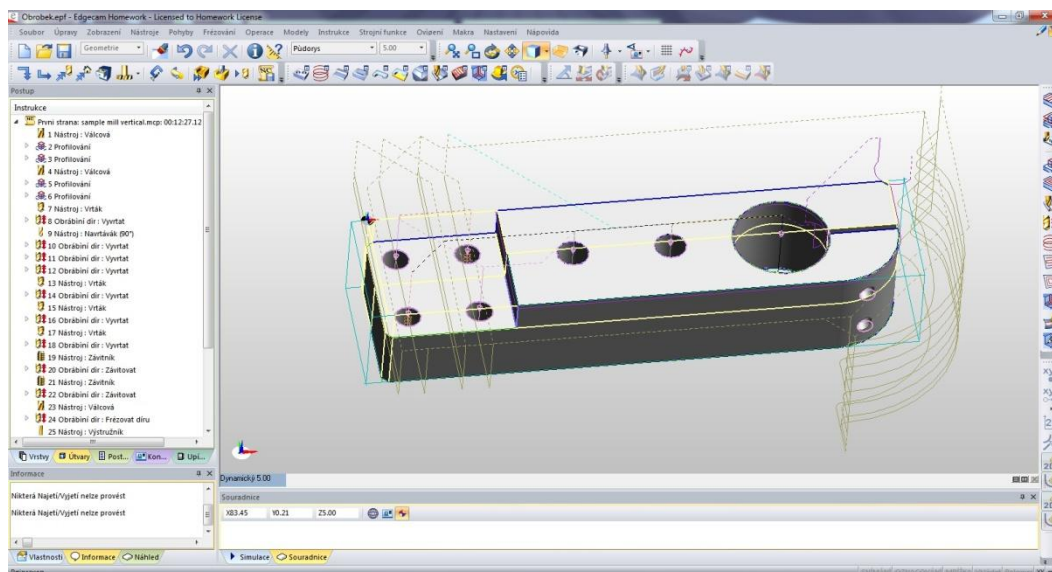
Tab. 4.1 Technologický postup výroby držáku.

Rámcový technologický postup		<i>Číslo výkresu:</i>	
<i>Hmotnost:</i> Čistá: 0,137 kg Hrubá: 0,2 kg		<i>Součást:</i> Ozubené kolo	<i>Materiál:</i> 17 240 <i>Polotovary:</i> 20×15 x 3000 mm
<i>Číslo op:</i>	<i>Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:</i>	<i>Popis práce v operaci:</i>	<i>Nástroje, měřidla, pomůcky:</i>
00/00	Pilana PMS 230/260 HAD	Upnout tyč na doraz; nařezat na délku 85;	Pilový pás 2980x27x0,9, m42, 8/12
01/01	HAAS VF2/SS	Frézovat úkos 1×45°; zarovnat délku s přídávkem 2,5; frézovat rádius R10; frézovat vybrání 20×5; vyvrtat a vyřezat závit m6; vyvrtat a vyřezat závit m5; vyvrtat a vystružit díru Ø4h7; vyvrtat a vystružit díru Ø15h7; srazit hrany.	Plátková fréza Ø16; monolitní fréza Ø12; monolitní fréza Ø3; navrtávák hss Ø8; vrták hss Ø5; vrták hss Ø 4,2; vrták hss Ø3,3; závitník m5; závitník m6; výstružník Ø5,00; vyvrtávací hlava s nožem Ø15,00; odjehlovací fréza 90°.
02/02	HAAS VF2/SS	Frézovat na délku 80; frézovat úkosy 1×45°; srazit hrany.	Plátková fréza Ø16; monolitní fréza Ø12; navrtávák hss Ø8; odjehlovací fréza 90°.
03/03	HAAS VF2/SS	Navrtat a vyvrtat záhluby; vyvrtat a vyřezat závity m3; řezat.	Navrtávák hss Ø 8; vrták hss Ø 2,5; vrták hss Ø3,3; závitník m3; pilka Ø60×1,5.
04/04	KONTROLA	Kontrolovat rozměry, tolerance polohy a drsnost 5%, kontrolovat ø5h7 a ø15h7 100%.	
05/05	EXPEDICE	Zabalit, expedovat	

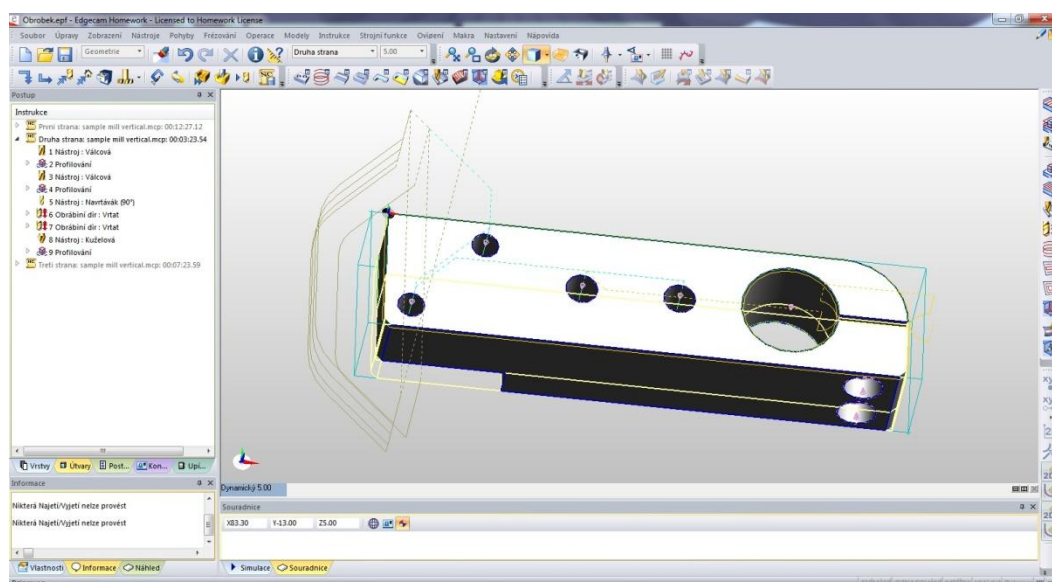
Z uvedeného technologického postupu vyplývá jako jednoznačný uzel vhodný k automatizaci frézovací centrum HAAS VF2/SS. Je potřeba si všimnout, že se obrábí na tři operace na jediném stroji. Pracovník se musí v tomto procesu po obrobení jediného

kusu věnovat očištění, odepnutí obrobku a upnutí dalšího kusu. To vede ke značnému vytížení pracovníka vzhledem k jednomu stroji, a v případě kratších strojních časů znemožňuje, nebo omezuje vícestrojovou obsluhu.

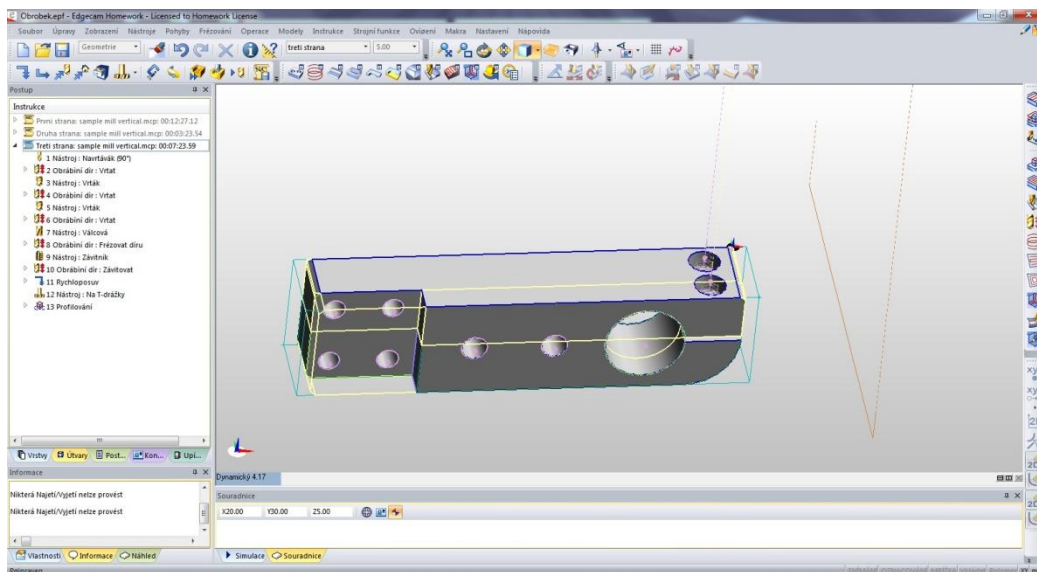
Pro zjištění jednotkových strojních časů jsem použil program EDGE CAM (obr. 3-5), nástroje a řezné podmínky z příručky obrábění Garant [4]. Čas výměny obrobku a nastavení stroje jsem experimentálně zjistil podle své letité zkušenosti.



Obr. 3: Obrábění první strany držáku (Operace č. 1). [vlastní zpracování]



Obr. 4: Obrábění druhé strany držáku (Operace č. 2). [vlastní zpracování]



Obr. 5: Obrábění bočních děr a rozříznutí (Operace č. 3). [vlastní zpracování]

Strojní časy:

- Operace č.1: $T_{AS} = 12:27$ min.
- Operace č.2: $T_{AS} = 3:23$ min.
- Operace č.3: $T_{AS} = 7:23$ min.

Čas výměny obrobku $T_{A111} = 0:45$ min.

Čas nastavení stroje $T_{B111} = 45$ min.

Pokud jednotkový strojní čas T_{AS} nepřesáhne 15 minut, zpravidla se neuvažuje o zavedení vícestrojové obsluhy. Jak je zřejmé z časů jednotlivých operací, obrábění součásti nepřesahuje ani v jednom případě zmíněných 15 minut, což znamená že se neuvažuje o zavedení vícestrojové obsluhy.

5 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

5.1 Návrh řešení

Upínání obrobku je možno automatizovat robotem, nebo jednoúčelovým manipulátorem. Každé zařízení má svoje výhody a nevýhody, a je na technicko-ekonomickém posouzení, posoudit tyto dvě zařízení z hlediska finanční investice a návratnosti.

V kusové a malosériové výrobě by roboty měly opodstatnění jako součást integrované výrobní buňky v provozu s vysokým stupněm automatizace. Ale v tomto případě v podniku s malým stupněm automatizace by investice kolem 800 000 Kč neměla opodstatnění.

V následující tabulce jsou zobrazené jednotlivé varianty automatizační techniky a kritéria podle kterých se jednotlivé varianty hodnotily. Mezi kritéria hodnocení jsem zařadil pořizovací cenu zařízení, složitost nastavení zařízení, jaký je přístup ke stroji, jaká je rychlost zařízení a porovnal jsem i univerzálnost.

Při hodnocení jednotlivých variant byla použita škála v intervalu 1 až 5, přičemž 1 znamená nejméně vyhovující a 5, že variant při daném kritériu vyhovuje nejvíc.

Tab. 5.1 Vícekriteriální analýza [vlastní zpracování].

	Upínací čelisti	Robot
Cena	4	1
Programování	5	1
Přístup ke stroji	5	2
Rychlost	4	5
Univerzálnost	2	4
Celkem	19	13

Cena: 5 bodů - celková cena pořízení do 50 000Kč.

4 body - celková cena pořízení do 100 000Kč.

3 body - celková cena pořízení do 250 000Kč.

2 body - celková cena pořízení do 750 000Kč.

1 bod - celková cena pořízení nad 750 000Kč.

Programování: 5 bodů - naprogramování zařízení do 10 minut.

4 body - naprogramování zařízení do 30 minut.

3 body - programování zařízení do 2 hodin.

2 body - programování zařízení do jednoho dne.

1 bod - programování zařízení déle než jeden den.

Přístup ke stroji: 5 bodů - zařízení nijak neomezuje v přístupu do pracovního prostoru stroje.

4 body - zařízení omezuje přístup do pracovního prostoru stroje ze stran.

3 body - zařízení neumožňuje přístup při automatickém chodu do pracovního prostoru stroje zepředu, při zastavení automatického chodu přístup do pracovního prostoru neomezuje.

2 body - zařízení neumožňuje přístup do pracovního prostoru stroje zepředu.

1 bod - zařízení neumožňuje přístup ke stroji.

Rychlost: 5 bodů - předpokládaná výměna obrobku v čase $T_{A111} = 0:10$ min.

4 body - předpokládaná výměna obrobku v čase $T_{A111} = 0:15$ min.

3 body - předpokládaná výměna obrobku v čase $T_{A111} = 0:20$ min.

2 body - předpokládaná výměna obrobku v čase $T_{A111} = 0:25$ min.

1 bod - předpokládaná výměna obrobku v čase $T_{A111} = 0:30$ min.

Univerzálnost: 5 bodů - dostupnost do celého prostoru stroje, možnost jak vyměňovat obrobky, otáčet s nimi, tak i vyměňovat nástroje.

4 body - dostupnost po celém prostoru pracovního stolu, možnost otáčet obrobky ve všech osách.

3 body - dostupnost po celém prostoru pracovního stolu, možnost otáčet obrobky v jedné ose.

2 body - dostupnost po celém prostoru pracovního stolu.

1 bod - dostupnost na polovinu pracovního prostoru stolu.

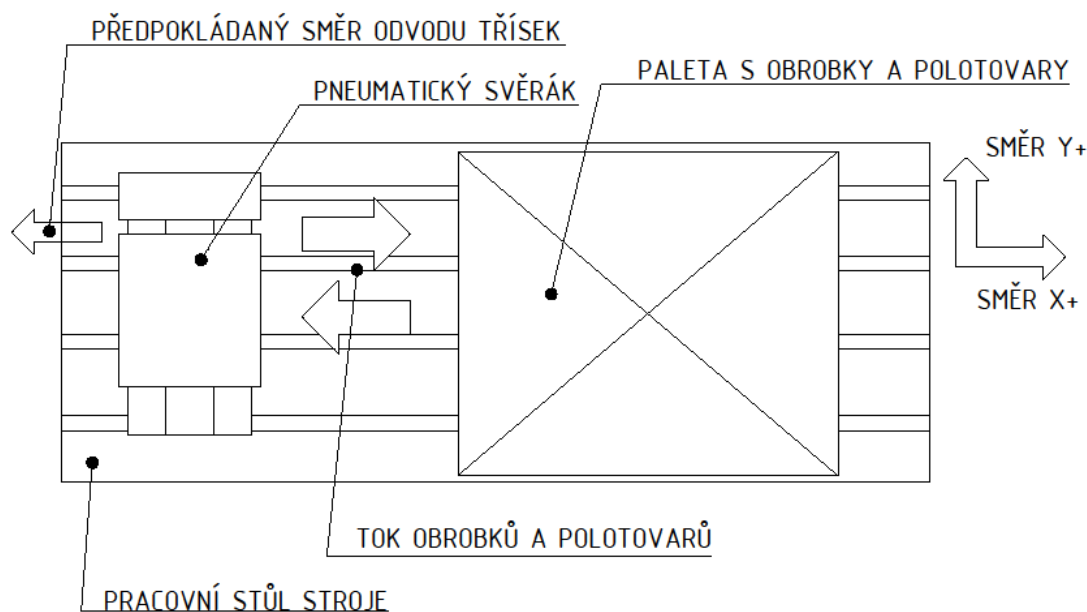
Jestliže se podíváme na jednotlivá kritéria, výhodou upínacích čelistí je poměrně nízká cena oproti robotu, ale instalace složitějšího zařízení vyžaduje buď spolupráci s odbornou firmou, nebo vyprojektování vlastními zaměstnanci, kteří by alespoň měli mít základní znalosti problematiky. Základní myšlenkou varianty hodnocení přístupu ke stroji je výrobní program firmy, kdy se nevyrábí velké série výrobků, kdy stroj je obsazen často i na několik dní. Ale malosériová výroba, kdy se dávkový čas počítá na několik málo hodin a pracovník potřebuje častý přístup ke stroji. Roboty se plánují jako součásti výrobních úseků s vyhrazeným prostorem pro pohyby robotického ramene a tyhle prostory bývají většinou zamřížované, aby se pracovník nedostal do kolize s ramenem robota. Načez upínací čelisti se můžou umístit přímo do stroje a neomezují pracovní prostor pro obsluhu. Důležitou věcí u těchto zařízení je univerzálnost. Robot

může pohybovat ramenem libovolně, podle úchopné hlavice uchopit předměty různého tvaru a přesně s nimi otáčet, přičemž přesnost tohoto ustavení bývá kolem desetiny milimetru. Zamýšlené upínací čelisti se řídí jen pohyby a výstupy stroje takže teoretická přesnost polohování může dosahovat 0,005 mm a opakovatelnost 0,003 mm [5]. Zároveň se však omezuje polohování obrobku pouze na tři osy a pro otáčení by bylo třeba samostatné zařízení.

Na základě vícekritériální analýzy je považována za nejlepší variantu automatizační techniky pro firmu pořízení manipulátoru.

5.1.1 Návrh řešení upínacích čelistí ve stroji

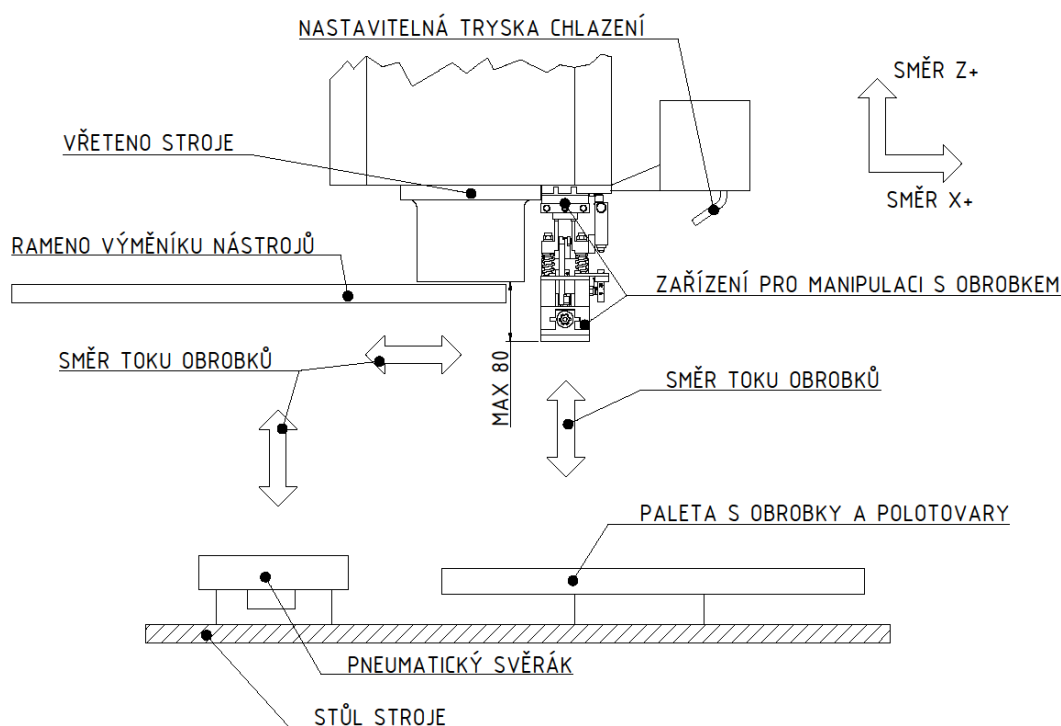
Pro úspěšné vyřešení upínacích čelistí se budu zabývat převážně mechanickou částí zařízení, ale i programovou částí a elektronickým zapojením. Pro začátek uvedu předpokládané rozložení pracovního prostoru, předpokládanou funkčnost upínacích čelistí a požadavky na jednotlivé části zařízení.



Obr. 6: Rozvržení pracovního stolu stroje. [vlastní zpracování]

Podle obrázku č. 6 je paleta s obrobky na pravé straně pracovního stolu stroje a je vkládána do pracovního prostoru buď pracovníkem, přičemž paleta je naplněna obrobky a upíná se do připraveného svěráku na doraz, nebo se paleta upevní na stůl pomocí podložek a upínek a pracovník do ní vkládá obrobky. Proto je na paletu kladen požadavek určité univerzality, nízké váhy, otěruvzdornosti. Stroj má chlazení vyvedené čtyřmi nastavitelnými tryskami a jednou automaticky polohovatelnou tryskou

v pravé části vřetena, proto směr odvodu většiny třísek předpokládám směrem doleva. V případě svěráku, který se na obrázku č. 6 nachází vpravo, je třeba vyměnit stávající mechanicko-hydraulický strojní svěrák za pneumotický z důvodu možnosti automaticky upínat obrobky. Tenhle svěrák jsem navrhl v bakalářské práci z důvodu nižší ceny a vyšší upínací síly než u komerčně prodávaných pneumotických svěráků. U svěráku je kladen důraz na velikost upínací síly, výrobní možnosti firmy a jednoduché přenastavení.



Obr. 7: Manipulace s obrobky. [vlastní zpracování]

Při řešení manipulace s obrobky musíme vzít v potaz umístění zařízení pro uchopení obrobků. Jako nejlepší místo se jeví zařízení umístit do kuželu vřetene a vyměňovat jej jako samostatný nástroj. Po úvahách jsem došel k závěru, že umístit zařízení do vřetena by mělo sice velké výhody, ale technické řešení by bylo příliš složité (vřeteno musí mít možnost se volně otáčet, zavedení přívodu stlačeného vzduchu, elektrické kontakty., Rozměry a hmotnost by musely být menší než jsou největší parametry nástroje, přitom uvažuji o zařízení schopné přemístit obrobky o hmotnosti 5kg. Nakonec jsem vybral místo vpravo od vřetena (Obr. 7). Je tam sice umístěno chlazení, ale lze jej jednoduše přemístit (Obr. 8). Na automaticky polohovatelnou trysku bude mít zařízení vliv tím způsobem, že bude bránit chladicí emulzi dostříknout na nástroj a tryska se nebude moci používat. Ještě je tu i výškové omezení, aby zařízení nezasahovalo do obráběného kusu. Firma používá převážně ER kleštiny délky 100 mm, vrtací hlavičky délky 75 mm (měřeno od vřetena po nejdlejší bod), které mají uplatnění zejména při frézování na děličce. Z toho vyplývá maximální možná výška zařízení 80 mm pod úroveň vřetena.

Pohyby zařízení vykonává stroj, pro představu funkce uvádím posloupnost kroků, které musí stroj pro výměnu vykonat:

1. Výměna nástroje za prázdnou kapsu.
2. Uvolnit čelisti, povolit svěrák.
3. Najet čelistmi na pozici polotovaru v osách X a Y.
4. Najet čelistmi na pozici v ose Z.
5. Sevřít čelisti.
6. Odjet do bezpečné vzdálenosti v ose Z.
7. Přejezd čelistmi nad svěrák v osách X a Y.
8. Najet čelistmi na pozici v ose Z.
9. Sevřít svěrák.
10. Uvolnit čelisti.
11. Odjet do bezpečné vzdálenosti v ose Z.
12. Vykonat program obrábění.
13. Výměna nástroje za prázdnou kapsu.
14. Přejezd čelistmi nad svěrák v osách X a Y.
15. Najet čelistmi na pozici v ose Z.
16. Sevřít čelisti.
17. Uvolnit svěrák.
18. Odjet do bezpečné vzdálenosti v ose Z.
19. Najet čelistmi na pozici v paletě v osách X a Y.
20. Najet čelistmi na pozici v ose Z.
21. Uvolnit čelisti.
22. Odjet do bezpečné vzdálenosti v ose Z.
23. Pokračovat od bodu 3.



Obr. 8: Pohled na vřeteno zespod. [vlastní zpracování]

Problém s umístěním čelistí jsem vyřešil jednoduchým přemístěním trysek chlazení, které teď směřují směrem k obsluze, viz obr. č. 8. Ač se to jeví jako negativní jev, řeší se tím jeden zásadní problém - nedostatečné chlazení nástrojů při frézování ve 4. ose. Musí se vyrobít konzole, která bude držet trysky připevněné ke vřetenu, šroubení se použije původní. Funkce automaticky polohovatelné trysky je omezena, ale dá se ji, tak jako v případě výše zmíněných trysek posunout a může plnit svoji úlohu. Z mé zkušenosti ale vyplývá, že funkce automaticky polohovatelné trysky není nijak podstatná a čerpadlo stroje má dostatečný výkon pro účinné chlazení velkého rozmezí délky nástrojů zbývajícími čtyřmi tryskami.

5.2 Řešení svěráku

Komerčně dostupné pneumatické svěráky mají buď nevyhovující upínací sílu, nebo při požadované upínací síle 45 000N cenu značně převyšující cenu plánovaného svěráku, proto jsem se rozhodl navrhnout i pneumatický svěrák.

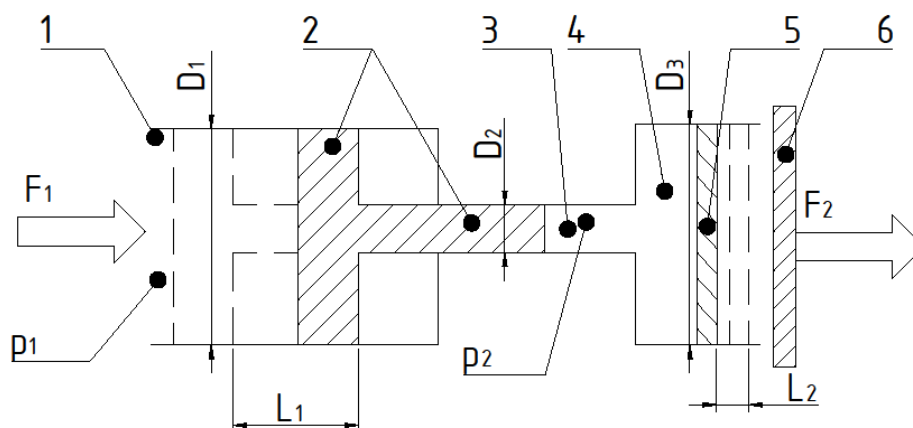
Svěrák jsem navrhoval s ohledem na velikost upínací síly a možnosti výroby dílů ve firmě. Původní mechanicko-hydraulický svěrák má maximální sílu upnutí 45 000N. Použil jsem z něj těleso svěráku a pevnou čelist. Pohyblivá část se aretuje kolíkem do jedné ze tří děr vyvrtaných do boků ližin tělesa, který prochází kostkou, do které je umístěn závit pro upínací šroub. Výsledný svěrák bude mít stejné uchycení jako původní hydraulický.

Uvažovaný pneumatický svěrák může mít buď pneumaticko-mechanický, nebo pneumaticko-hydraulický převod. Po úvahách, kdy jsem zvážil možnosti a řešení jednotlivých typů převodu, jsem došel k závěru použít pneumaticko-hydraulický, tzv. multiplikátor, převod z důvodu menší složitosti zařízení při dimenzované maximální upínací síle 60000N. Nevýhodou pneumaticko-mechanického převodu je nelineární průběh upínací síly a velké ztráty vzniklé třením jednotlivých komponent převodu a v neposlední řadě složitost zařízení vyplývající z potřeby dostatečné vyvinuté síly.

Technické řešení svěráku řeším pro následující výstupní veličiny:

- Maximální provozní tlak $p_{MAX} = 1 \text{ MPa}$.
- Upínací síla při tlaku 0,8 MPa $F_u = 45000 \text{ N}$.
- Šířka čelistí 125 mm.
- Výška čelistí 45 mm.
- Pohyb čelistí svěráku 5mm.

5.2.1 Návrh multiplikátoru



Obr. 9: Schéma multiplikátoru. [vlastní zpracování]

Na obrázku č. 9 je znázorněn princip pneumaticko-hydraulického převodu, který se skládá z pneumatického válce 1, ve kterém se pohybuje píst 2, na který působí tlak vzduchu p_1 a jehož konec je zaveden do malého hydraulického válce 3 a vyvozuje tlak p_2 na kapalinu. Tlak kapaliny p_2 se přenáší na hydraulický válec 4 s pístem 5, který působí silou F_2 na obrobek.

Z požadavků na funkčnost svěráku jsem dospěl k rozhodnutí, že zvolím průměr hydraulického válce D_3 o velikosti 36 mm z důvodu požadované výšky čelistí 6, která

má výšku 45mm a jako těsnící elementy jsem použil o-kroužky pro hydraulickou část z materiálu AU90 a pro pneumatickou z materiálu NBR85. Podle rovnice 5.1 a známé požadované síly by byl tlak kapaliny příliš velký - 44 MPa. Podle výrobce těsnících o-kroužků [6] je maximální těsnící tlak pro dynamické aplikace 30 MPa a pro statické 50 MPa. Proto navrhuji použití dvou válců o průměru 36 mm a pracovní tlak poklesne na 22 MPa. Funkce svěráku má velmi výhodný průběh pracovního tlaku v závislosti na posunu čelistí, kdy pro samotný posun čelistí postačí velmi nízký tlak, ale po dosednutí čelistí na dílec tlak vzroste, přitom čelisti se pohybují minimálně a nedochází k otírání o-kroužku o těleso válce, pouze k jeho stlačení.

$$p = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (5.1)$$

Pro určení průměru D_2 vycházím z rovnice 5.2, kdy znám požadovaný tlak p_2 , tlak vzduchu působící na pneumatický píst p_1 a průměr D_1 z požadované výšky svěráku. Pro průměr $D_1 = 40\text{mm}$ vychází průměr $D_2 = 7.6\text{ mm}$. Nabízí se průměry 7 a 8 mm. Vzhledem k velikosti zástavbového prostoru pro o-kroužek, nutnosti dlouhé dráhy pneumatického pístu kvůli požadavku pohybu čelistí svěráku 5 mm (pro $\text{Ø}7\text{ mm}$ je dráha $L_1 = 132\text{ mm}$ rovnice 5.3, pro $\text{Ø}8\text{mm}$ je dráha $L_1 = 101\text{ mm}$ rovnice 5.3) jsem rozhodl o použití průměru 8 mm. Se zvětšením průměru malého hydraulického válce D_2 se musí zvětšit i průměr pneumatického válce D_1 . Po úpravě rovnice 5.2 a započtení účinnosti hydraulického převodu, která se pohybuje $\eta = 0,8\text{ až }0,9$ [8], dostáváme vztah 5.4 a výsledný průměr D_1 vychází 45 mm. Pro maximální tlak vzduchu 1MPa bude maximální tlak v hydraulické části válce 26,9 MPa, vztah 5.5, a upínací tlak $F_{\text{MAX}} = 54\text{ 750 N}$, vztah 5.6. Pro tyto hodnoty budu dimenzovat mechanické části svěráku.

$$D_2 = \sqrt{\frac{p_1}{p_2}} D_1^2 \quad (5.2)$$

$$L_1 = \frac{D_3^2}{D_2^2} L_2 \quad (5.3)$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{p_2 \times \eta}{p_1}} D_2^2 \quad (5.4)$$

$$p_2 = \eta \left(\frac{D_1^2}{D_2^2} p_1 \right) \quad (5.5)$$

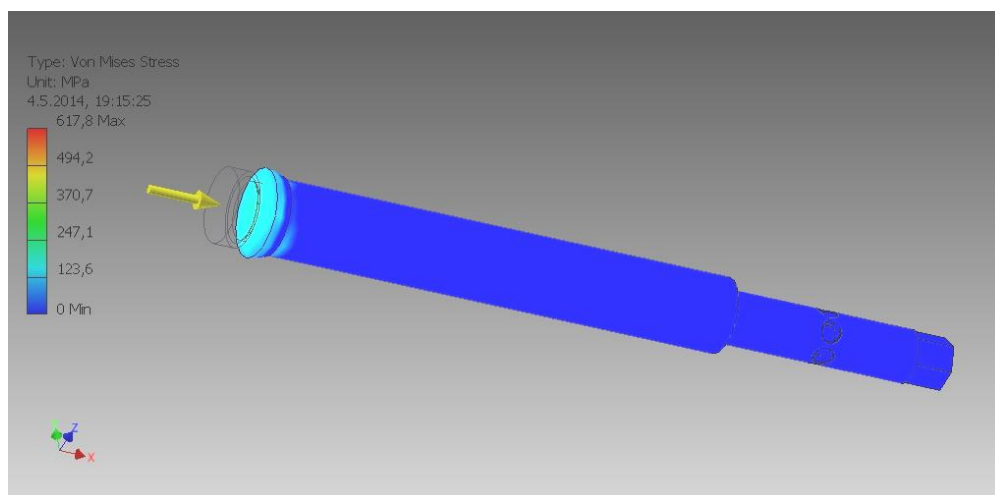
$$F_{MAX} = 2 \times \frac{\pi D_3^2 p_2}{4} \quad (5.6)$$

5.2.2 Řešení pneumatického svěráku

Pro konstrukci jsem rozhodl použít těleso původního hydraulického svěráku, přičemž záměna obou pohyblivých částí bude zachována. Pro funkci pneumatického svěráku jsou důležité správné funkce pneumatického a hydraulického válce, jednoduchá obsluha a bezproblémový provoz. V příloze číslo 5 je výkres sestavy pohyblivé čelisti svěráku a níže jsou popsány funkce jednotlivých částí.

- Posuvový šroub.

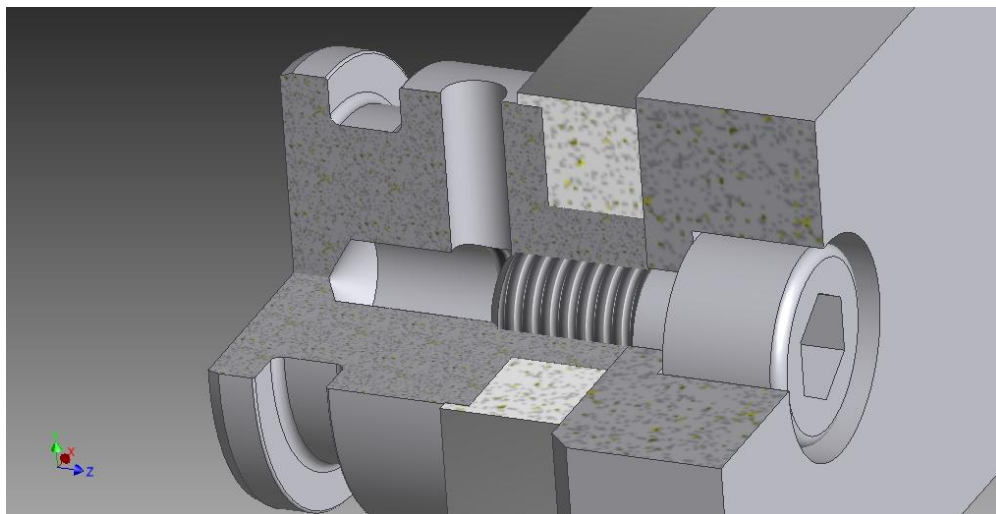
Pro funkci posuvového šroubu je důležitá pevnost z hlediska maximálního zatížení. Pevnostní kontrolu jsem provedl FEM analýzou v programu Autodesk Inventor (obr. 10). Zvolil jsem materiál 16 341 a zušlechtil na 1700 MPa, pro posouvání pohyblivé části svěráku slouží trapézový závit TR 20×4. Takovýto šroub bude mít velkou pevnost a odolnost vůči opotřebení. Na konci šroubu se nachází šestihran pro kliku na nastavení svěráku. Ve šroubu je vyvrtaná šestice otvorů pro zaaretování.



Obr. 10: Analýza zatížení posuvového šroubu. [vlastní zpracování]

- Čelist.

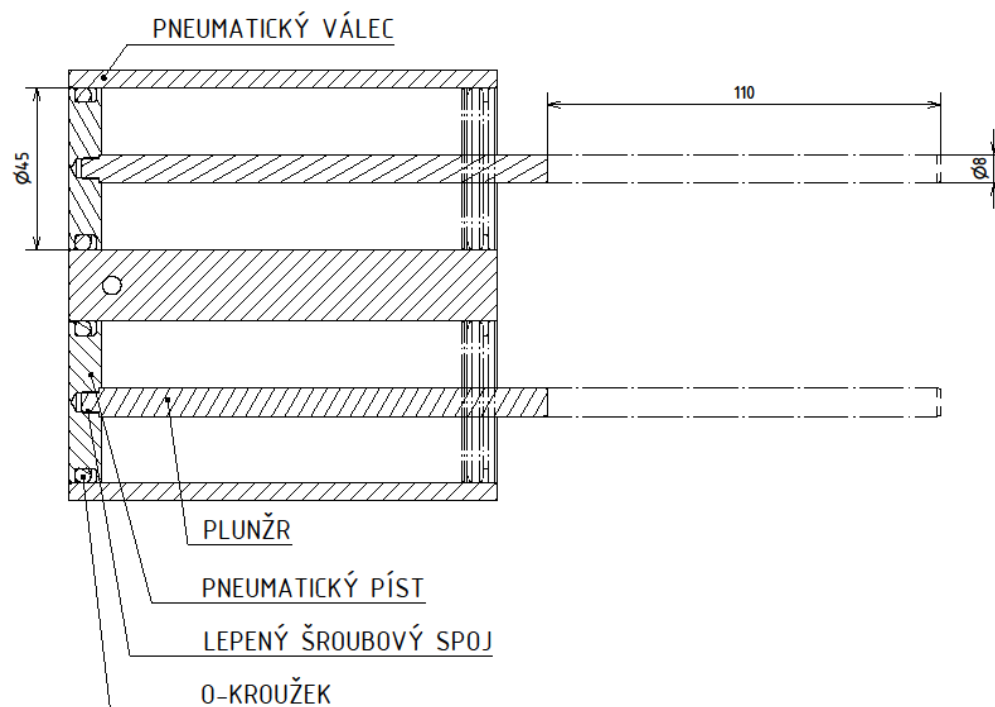
Je vyrobena z materiálu 14 220 a je cementována a kalena na 58 HRC. V čelisti jsou vyvrtány záhluby pro šrouby M10 k přišroubování čelisti k hydraulickým pístům a je vyvrtáno odlehčení pro konec šroubu. Na obrázku 11 je znázorněno přišroubování čelisti k hydraulickému pístu šroubem M10. Písty jsou našroubovány levým závitem do držáku, který má i funkci jako opora čelistem, aby se neprohýbaly při zatížení.



Obr. 11: Detail upevnění čelisti na hydraulický píst. [vlastní zpracování]

- Pneumatická část.

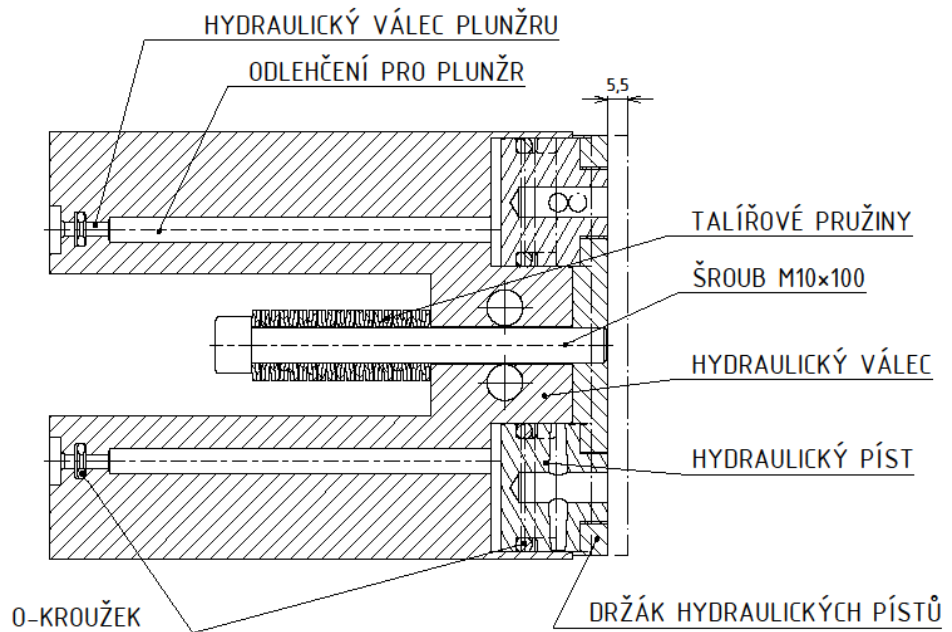
Je vyrobena z materiálu AlMg4,5Mn07, pro svoji dobrou obrobiteľnosť, zvlášte dĕr průmĕru 45mm a délky 120mm s jakostí povrchu Ra 0,4 μm a tolerancí IT8. Tento povrch lze na frézovacích centrech dosáhnout vyvrtávací tyčí s dostatečnou přesností válcovitosti. Zespodu dílce se nachází otvory pro kolíky, kterými se dílec centruje na základovou desku. Tolerance polohy kolíků je z důvodu navazování pneumatické části na hydraulickou část 0,01 mm, ale na moderních číslicově řízených strojích není problém dosáhnout téhle tolerance. Dílec je pro zvýšení svojí korozní odolnosti, hlavnĕ na vnitřních plochách, eloxován. Pneumatické písty jsou vyrobeny z oceli 17 240 z důvodu jednak výborné leštitelnosti pro plunžr, tak z důvodu korozivzdornosti oceli. Plunžr má jakost povrchu Ra 0,05 μm a toleranci IT6, z výrobních důvodů je pneumatický píst s plunžrem rozdělen na dva kusy a spojen lepeným spojem. Požadovaných tolerancí plunžru se dá dosáhnout broušením povrchu a následným leštĕním.



Obr. 11: Náčrtek pneumatické části. [vlastní zpracování]

- **Hydraulická část.**

Základním rysem je ocelový blok do U, který obsahuje hydraulický mechanismus svěráku. Na straně čelistí se nachází dva hydraulické válce průměru 36mm, které z důvodu odolnosti vůči opotřebení jsou cementovány a kaleny na 50-52HRC. Písty většího hydraulického válce jsou cementovány a kaleny na 50-52 HRC a ukončeny levým závitem, který se šroubuje do držáku pístů a zároveň středem pístu prochází závit pro upevnění čelisti svěráku. Do držáku pístu je zašroubován šroub M10×100, který prochází ocelovým blokem a pomocí talířových pružin, které jsou uloženy 2 paralelně a 9 sériově, vrací po poklesu tlaku v pneumatické části mechanismus zpět do výchozí polohy. Hydraulický olej se nalévá po odstranění šroubu s hliníkovým těsněním, který je na obrázku vyznačen modře, do díry, která má i funkci odvodu vzduchu.



Obr. 12: Náčrtek hydraulické části svěráku. [vlastní zpracování]

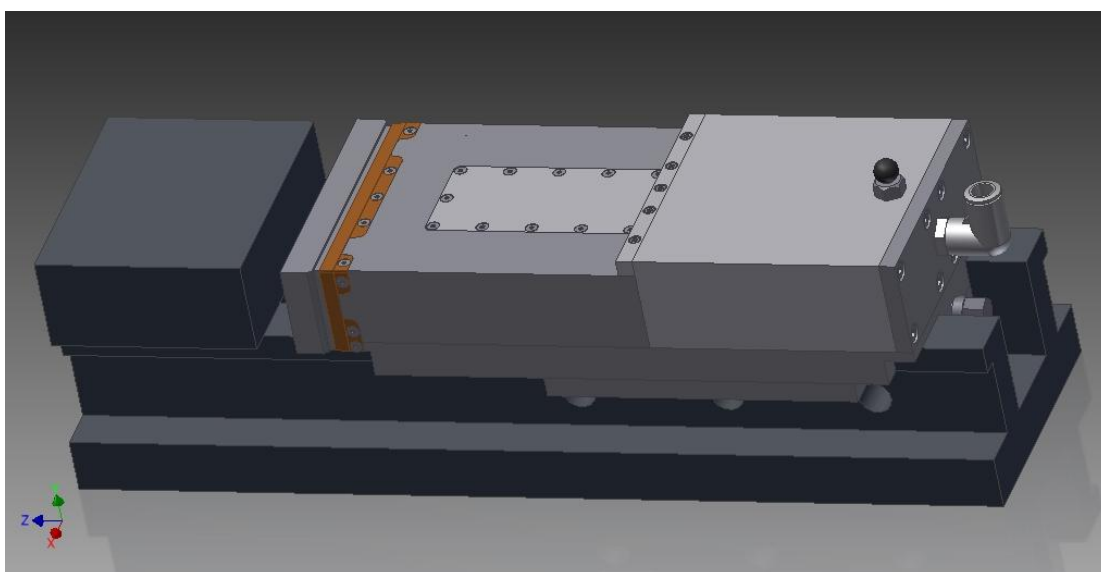
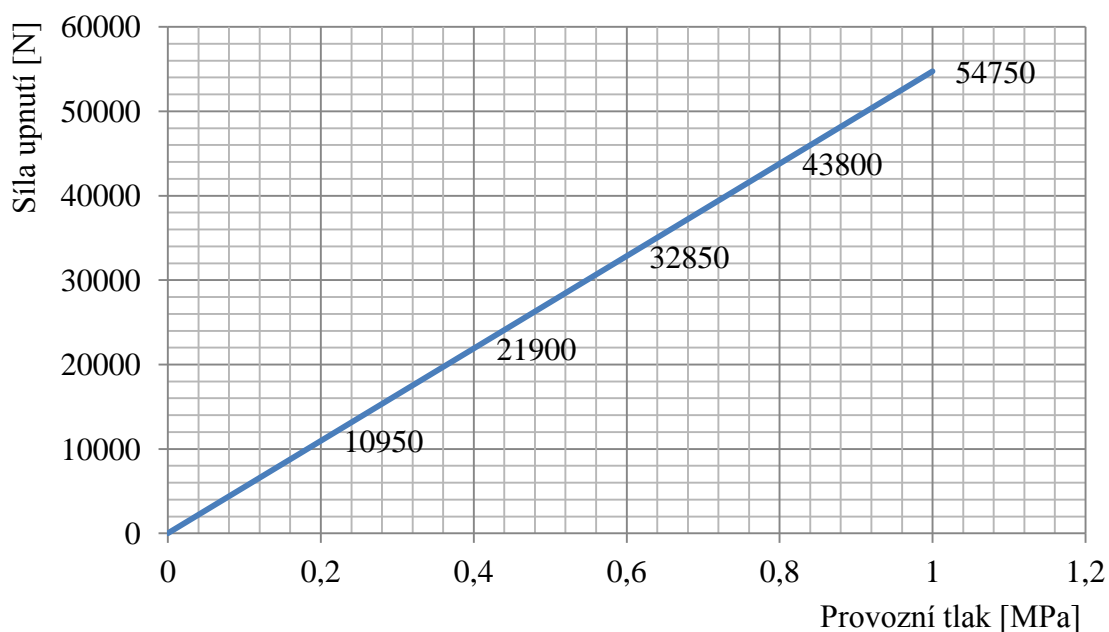
5.2.3 Základní parametry svěráku

Základními parametry svěráku jsou:

- Maximální provozní tlak $p_{MAX} = 1 \text{ MPa}$.
- Maximální síla upnutí $F_{MAX} = 54\,750 \text{ N}$.
- Upínací síla při tlaku $p = 0,8 \text{ MPa}$ je $F_u = 43\,800 \text{ N}$.
- Posun čelistí $L_2 = 5,5 \text{ mm}$.
- Výška čelistí 45 mm .
- Šířka čelistí 125 mm .

V grafu číslo 1 je uvedena závislost síly upnutí svěráku na provozním tlaku a na obrázku 13 vidíme výsledný model svěráku.

Graf č. 1: Závislost síly upnutí na provozním tlaku.



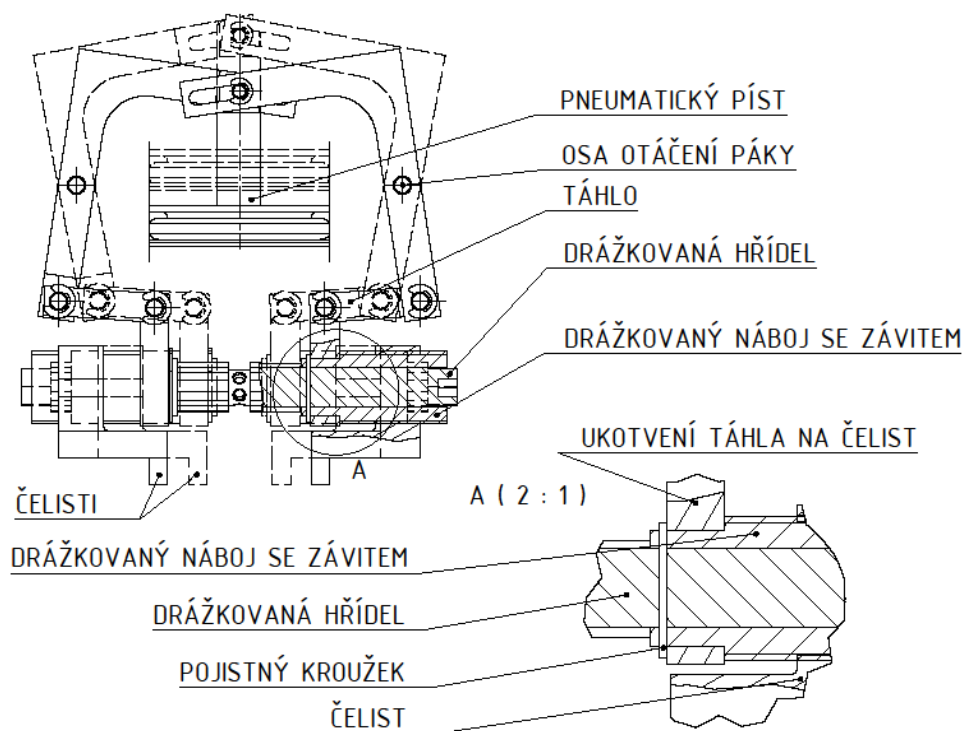
Obr. 13: Pneumatický svěrák. [vlastní zpracování]

5.3 Řešení úchopných čelistí.

Úchopné čelisti jsem navrhl pro maximální nosnost 5 kg s ohledem na velikost zařízení vhodné pro instalaci na vřeteno o rozměrech 84×120 mm a výšce 189 mm.

Pneumaticko-mechanický převod je tvořen pneumatickým válcem a jednoduchým pákovým systémem (obr. 14). Z prostorových důvodů jsem se rozhodl pneumatický

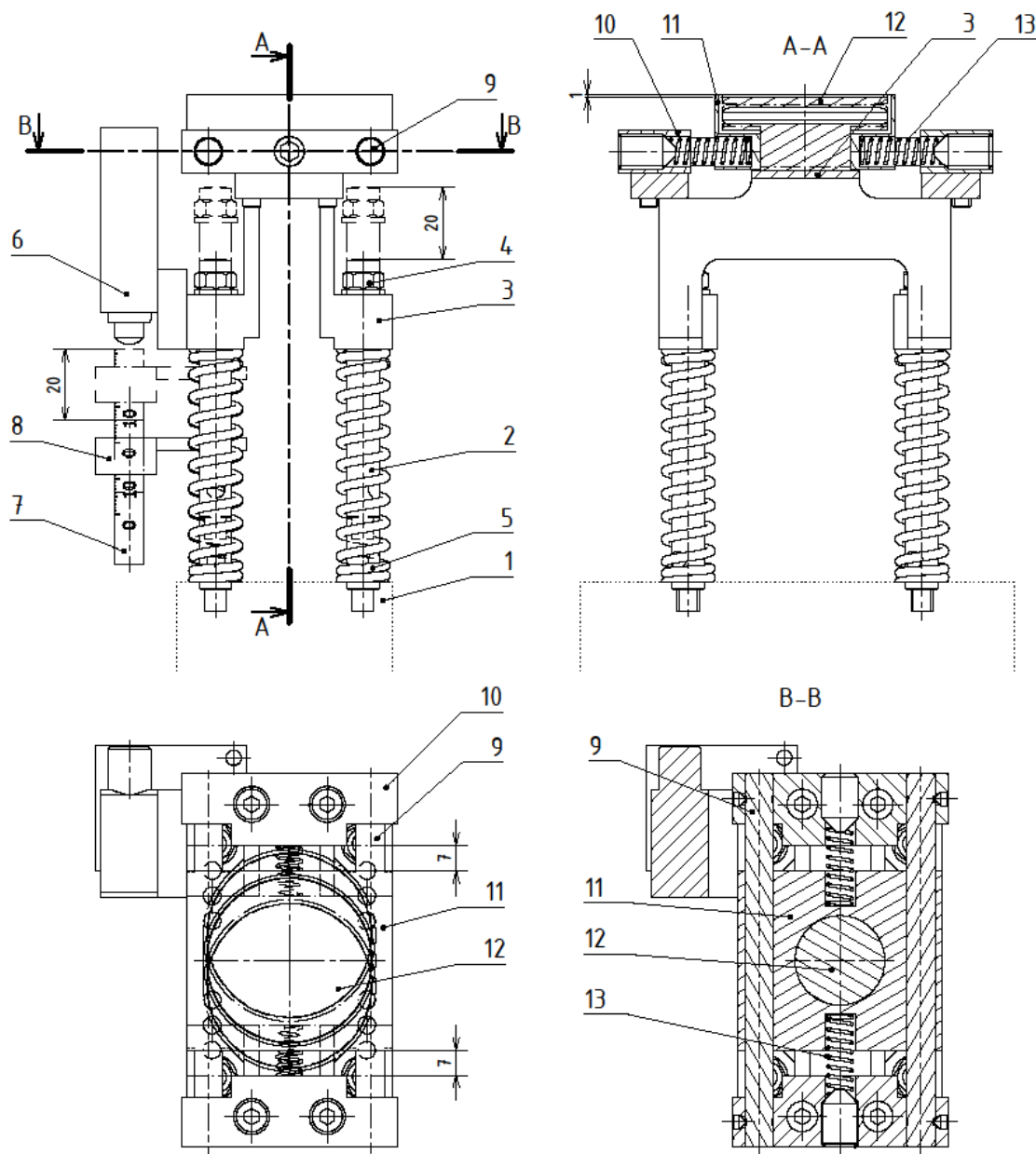
válec dát vertikálně a okolo něj dvě páky do L, které navazují přes prodloužení na šrouby na které pohybují čelisti. Čelisti jsou navrženy na jednoduché přenastavení pomocí pootočení centrálního drážkovaného hřídele, který se aretuje stavěcím šroubem. Mají rozevření 20 mm.



Obr. 14: Pákový mechanismus. [vlastní zpracování]

Když upínací čelisti sevrou polotovar, který má výrazné okuje, či jeho povrch je nerovný, hrozí, že se polotovar, vlivem své váhy a nerovnosti povrchu, na svých vystouplých ploškách pootočí a při dosedání polotovaru do svěráku, nebo do palety se vzpříčí, tak, že čelisti s polotovarem narazí rychloposuvem do svěráku a dojde k následnému poškození polotovaru, zařízení nebo i stroje. Z toho důvodu jsem přidal na čelisti prvek, který kompenzuje možné naražení do svěráku, nebo palety a zastaví stroj ve vykonávání dalšího programu. Je jím koncový spínač NF B110AA-DMK od firmy Pizzato [9]. Čelisti jsou zavěšeny na čtyřech kolicích, které se při nárazu pohybují v ose Z a pružiny je při odlehčení vrací na původní místo. Systému se dá využít i při vkládání dílce do svěráku, kdy je potřeba dílec dotlačit na podložky. K tomu slouží výše zmíněné čtyři pružiny.

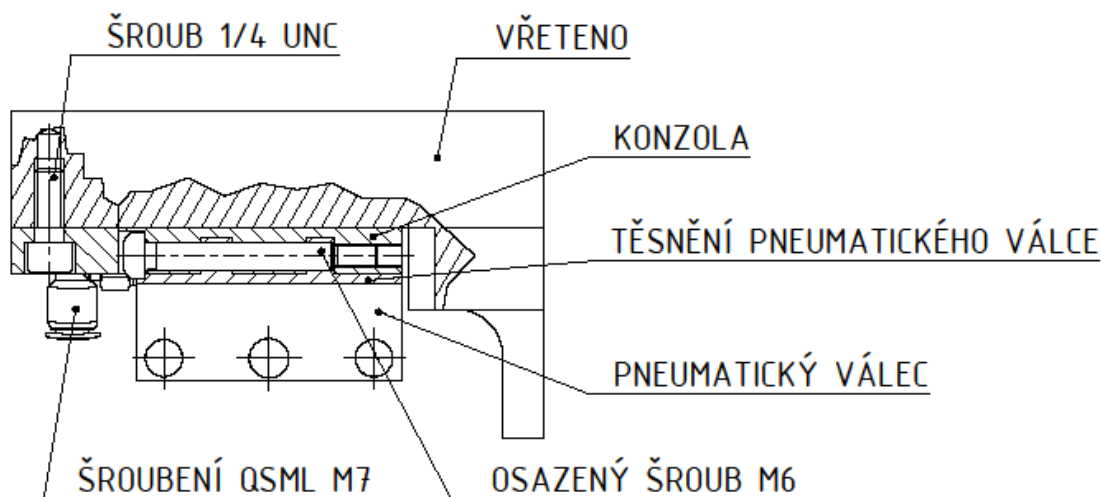
Pokud bychom vkládali dílec vertikálně do svěráku, zjistili bychom, že dílec se může zachytit na ostré hraně čelisti vybočenou hranou nebo okujemi. Při najetí dílcem do svěráku se bude najíždět o bezpečnou vzdálenost dále od čelisti. Po dojetí do požadované výšky dílec dosedne do svěráku, případně na podložky. Zařízení se odbrzdí a poté se svěrák sevře. Zařízení se skládá ze dvou vodorovných čepů, po nichž se pohybuje těleso pneumatického válce s pístem, který při přivedení tlaku vzduchu do válce tlačí na svařenec, držící zavěšení čelisti a tím znemožňuje pohyb v ose čepů.



Obr. 15: Pohybový mechanismus těla upínacích čelistí. [vlastní zpracování]

Popis obrázku 15: Čepy 1 jsou našroubované na čelisti 2 a spolu se pohybují v dírách vyvrtaných v kostkách, které jsou přivařené na kostru držáku čepů 3. Z druhé strany čepů jsou našroubovány samojistné šestihranné matice 4. Držák čepů a čelisti rozpínají čtyři pružiny 5. Pokud by byl průhyb čelistí příliš velký, koncový spínač 6 zastaví pohyb stroje. Dovolovaný průhyb čelistí se dá nastavit dorazem 7 připevněným k držáku 8. Po čepích 9, které jsou připevněny držáky 10, se pohybuje pneumatický válec 11, s jednočinným pístem 12, který při přivedení tlaku tlačí na držák čepů 3 a vyvoluje brzdicí účinek. Pneumatický píst se po odvedení tlaku z pístu vrátí zpět pomocí pružin 13.

Upevnění upínacích čelistí na vřeteno je zkonstruováno jako lehce rozebíratelné, pomocí dvou osazených šroubů M6 x 40 ke konzole připevněné na vřeteno. Konzola je na vřeteno připevněna dvěma šrouby 1/4 - 20 UNC do závitů, které zůstaly po přesunutí chlazení a konzola po odmontování upínacích čelistí ve stroji zůstává.



Obr. 16: Detail upevnění upínacích čelistí na vřeteno stroje. [vlastní zpracování]

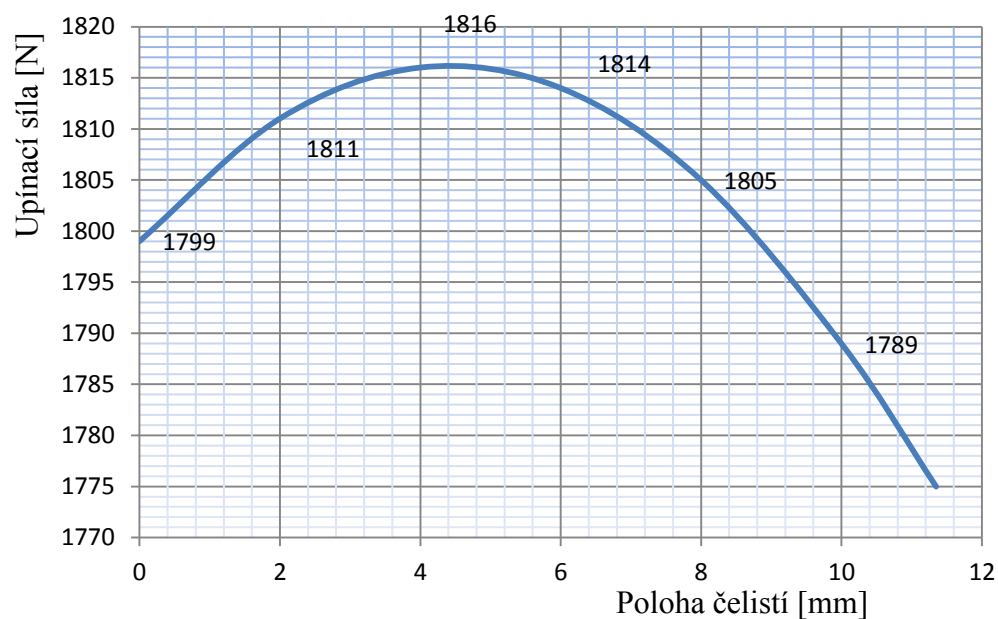
Na grafu číslo 2 je zobrazen závislost upínací síly na poloze čelistí při tlaku $p = 0,8$ MPa. Mezi maximální a minimální silou při různé poloze čelistí je z důvodu pákového převodu rozdíl jen 2,3% a proto jsem tenhle rozdíl zanedbal a zaokrouhlil hodnotu upínací síly při provozním tlaku $p = 0,8$ MPa na 1800 N. Z těchto hodnoty jsem přepočítal grafy pro závislost síly na provozním tlaku při roztahování a stahování čelistí. Síla pro roztahování čelistí je menší z důvodu zpětného chodu pneumatického pístu, kdy činná plocha pístu je menší o hřídel pohybující pákovým mechanismem.

Z grafu 3 a 4 vyplývá síla sevření čelistí pro provozní tlak $p = 0,8$ MPa je $F = 1800$ N a síla rozevření čelistí $F = 1690$ N. Při dosazení do rovnice (5.7) při koeficientu bezpečnosti $k = 3$ a koeficientu smykového tření $f = 0,1$ dostáváme maximální hmotnost obrobku, kterou čelisti uzvednou.

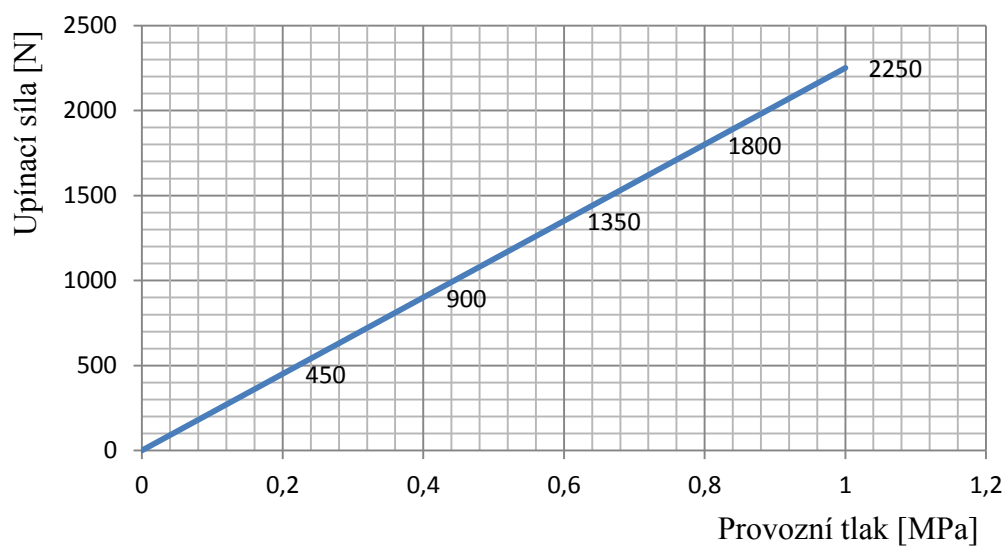
$$m_o = \frac{F \times f}{g \times k} \quad (5.7)$$

Maximální hmotnost obrobku pro sevření čelistmi je $m_o = 6$ kg.

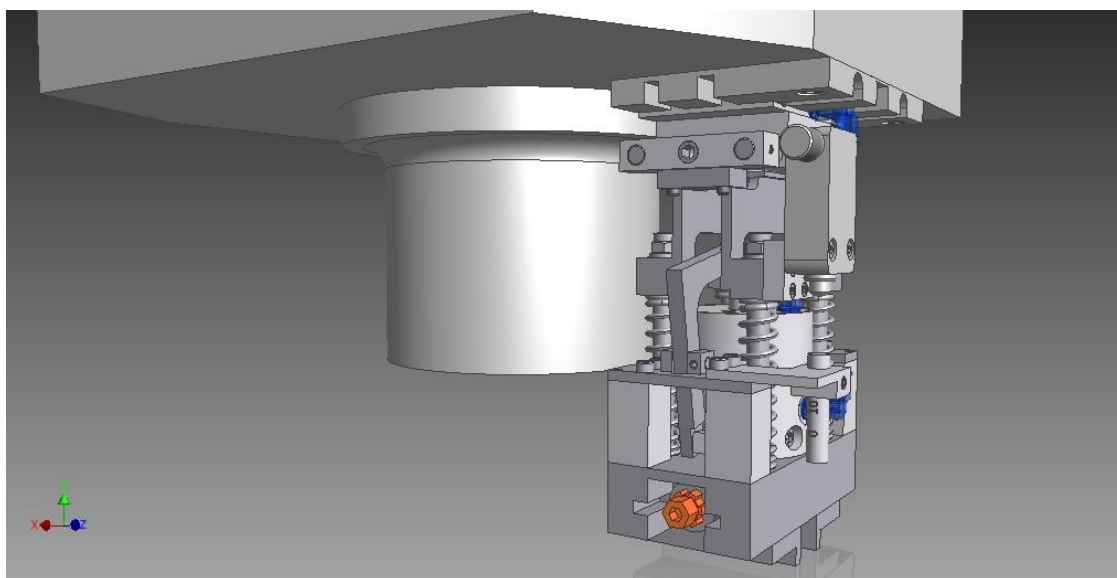
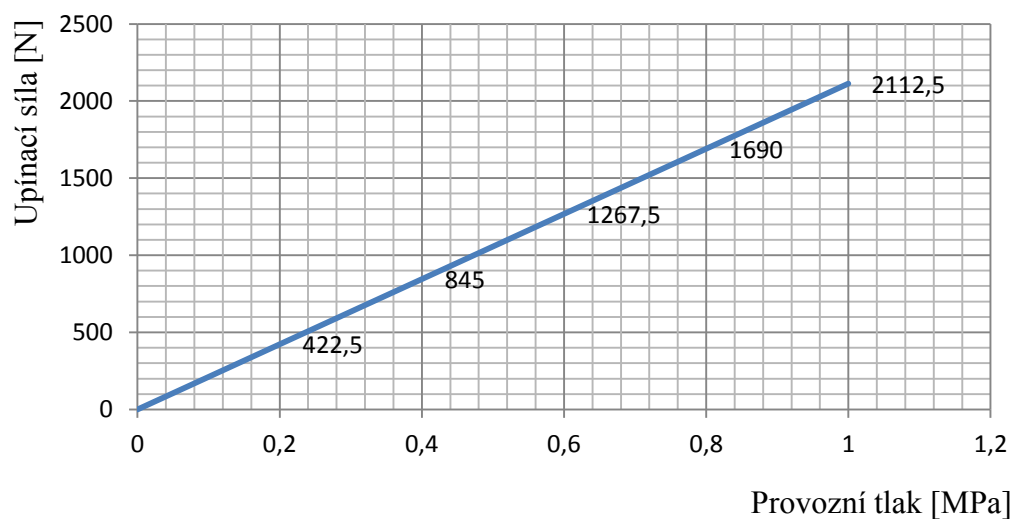
Maximální hmotnost obrobku pro rozevření čelistmi je $m_o = 5,6$ kg.

Graf č. 2: Závislost upínací síly stahování čelistí na jejich poloze při tlaku $p = 0,8$ MPa.

Graf č. 3: Velikost upínací síly při stahování čelistí v závislosti na tlaku.



Graf č. 4: Velikost upínací síly při roztahování čelistí v závislosti na tlaku.

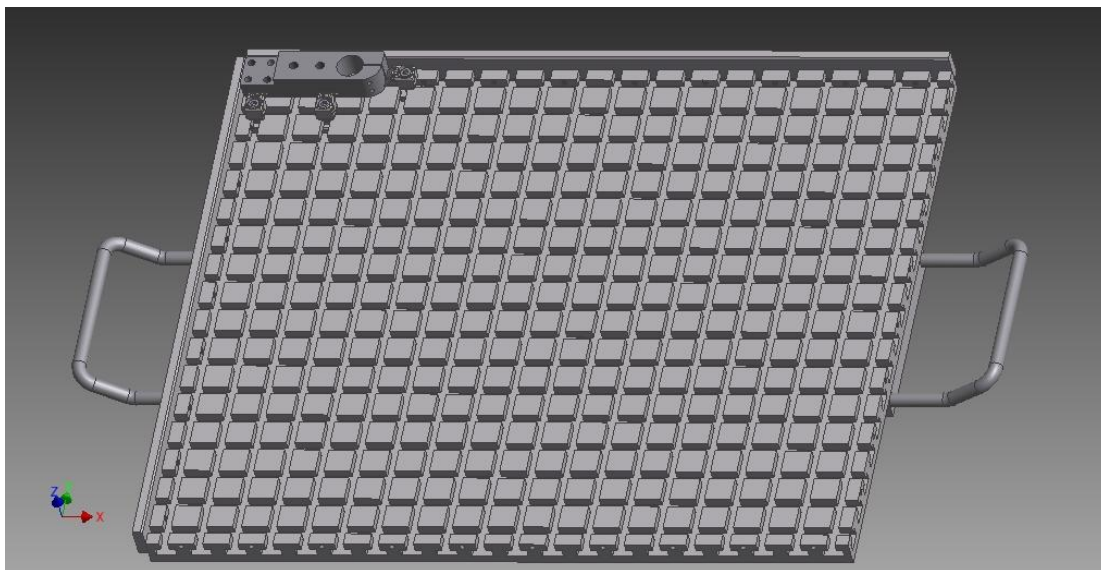


Obr. 17: Umístění upínacích čelistí na vřeteni. [vlastní zpracování]

5.4 Řešení palety pro polotovary

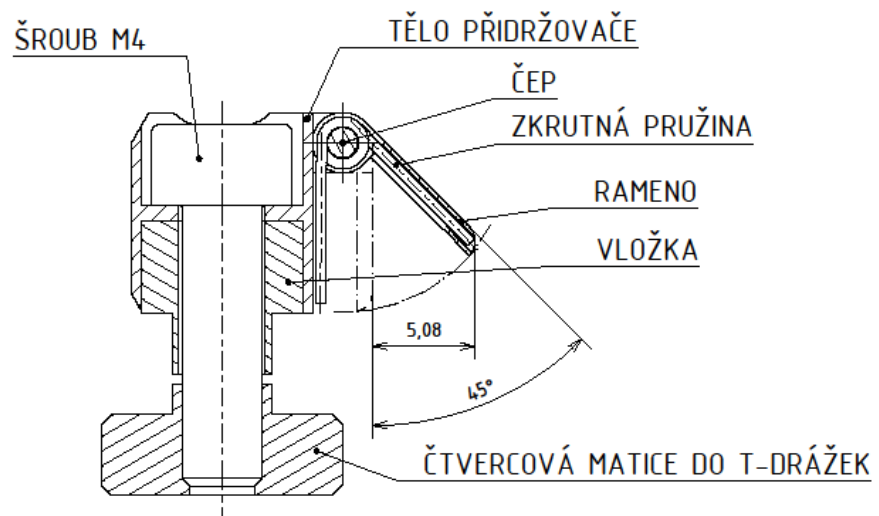
Paletu jsem navrhl s ohledem na maximální možnou univerzálnost ke vkládání polotovarů a součástí hranolovitého typu a jednoduché vkládání do a ze stroje. Deska palety má rozměry 400×350 mm a výšku 15 mm. Protože paleta má být co nejlehčí, je vyrobena z materiálu AlZnCuMg1,5 a tvrdě eloxována. V desce jsou vyfrézované T-drážky velikosti 5 s roztečí 20mm, které nemají rozměry podle normy ČSN, ale matice do T-drážek se může do drážek v paletě vložit. Celá paleta váží 4kg. Paleta se vkládá na pracovní stůl stroje, viz obr. 6, kde se může položit na stůl a přichytit upínkami, nebo přitlačit na opěrné desky, např. výstředníkem. Další možností uchycení palety je použití nepotřebného svěráku a dorazu, kdy se paleta upne do tohoto svěráku k dorazu.

Výhodou takového řešení je možnost upínat nízké obrobky, protože vřetenno stroje má nejnižší bod pojezdu cca 150 mm nad úroveň pracovního stolu, paleta má výšku 37 mm a upínací čelisti, svoji délkou 73 mm, dosahují pouze 77 mm nad úroveň stolu a bez použití svěráku by se muselo použít podložek, nebo na paletu přidělat nohy, které by zvýšily její hmotnost. paleta není v žádném případě koncipována pro obrábění jednotlivých součástí. Slouží pouze k zajištění transportu součástí do a ze stroje a jejich zafixování proti pohybu do stran.

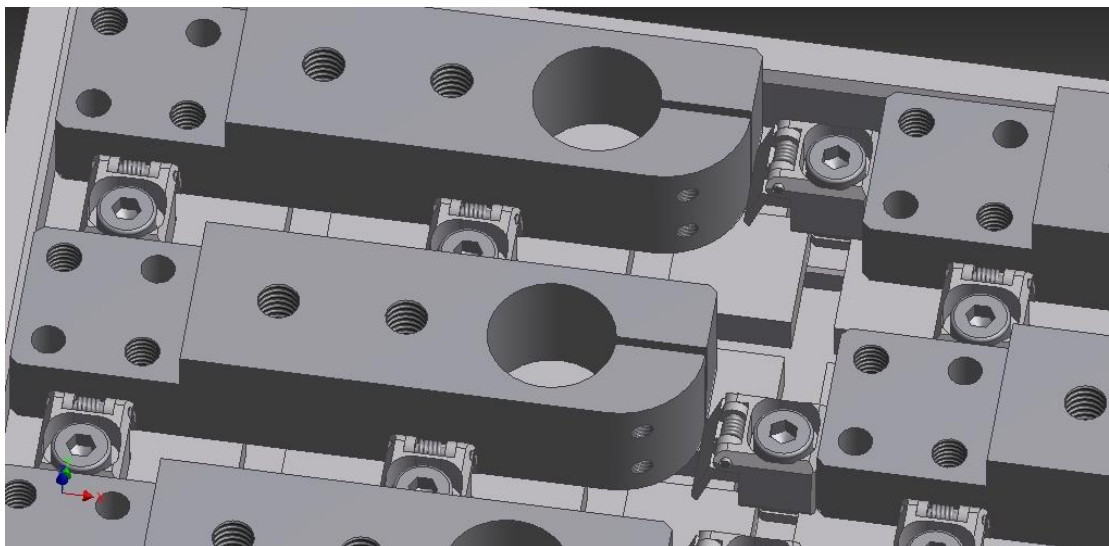


Obr. 18: Paleta s upnutým jedním obrobkem. [vlastní zpracování]

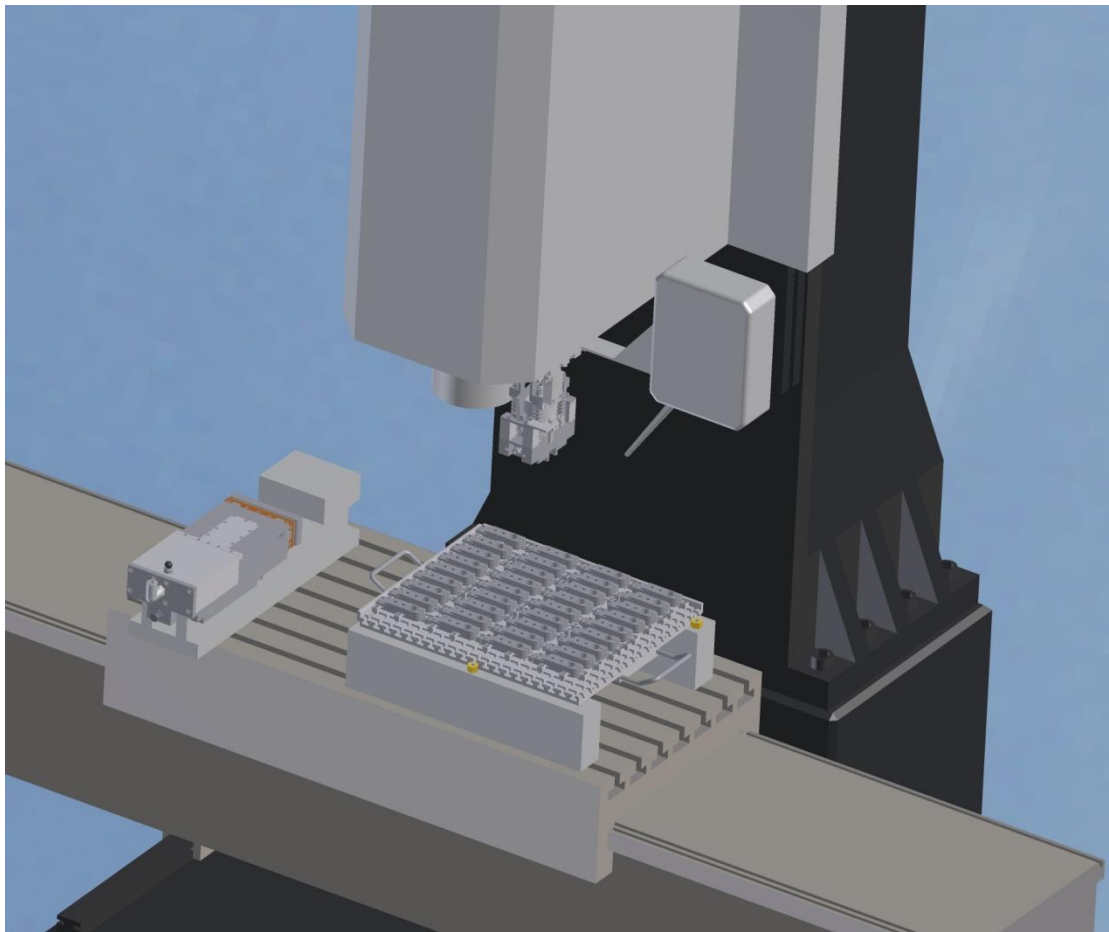
S paletou jsou navrženy i přídržovače jednotlivých obrobků pro uložení do stroje. Je to kostka zapadající spodní částí vložky do T-drážek, na třech stranách má opěrné plochy a na jedné straně rameno ukončené zaoblením, které se opře o součást a silou, kterou vykonává zkrutná pružina umístěná v ose ohybu ramene, je přitlačována opěrné desce, nebo dalšímu přídržovači. Toto rameno má výchozí rozevření 45° , závisející na přesnosti zkrutné pružiny. Přídržovače se vkládají do T-drážek a dotáhnou centrálním šroubem. Lze je použít jak pro obrobky vyšší než samotné přídržovače (10 mm), tak po obrácení přídržovačů, kdy se vložka vytáhne a vloží na místo hlavy šroubu a při použití vhodných podložek lze bezpečně upínat kusy už od výšky 3 mm, kdy rameno přídržovače má bod dotyku 1,1 mm pod úroveň přídržovače. Přídržovač obrobků jsem zvolil jako nenormalizovanou součást, protože na trhu není vhodný ekvivalent, který by měl stejné, nebo podobné parametry.



Obr. 19: Přidržovač polotovarů. [vlastní zpracování]



Obr. 20: Detail upnutí obrobků v paletě. [vlastní zpracování]

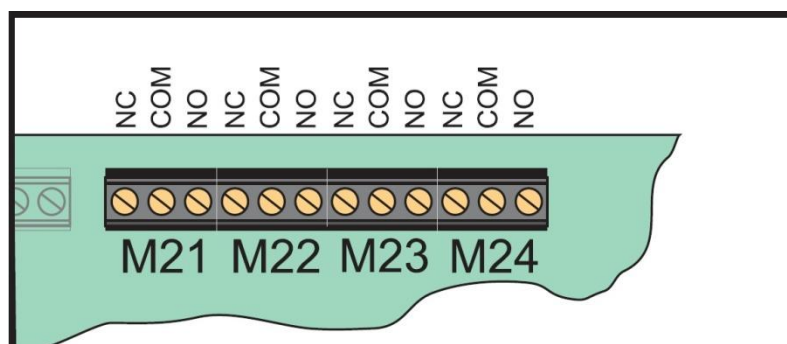


Obr. 21: Sestava stroje s upínacími čelistmi, svěrákem a paletou s obrobky. [vlastní zpracování]

5.5 Řešení elektronického zapojení.

Upínací čelisti a pneumatický svěrák je potřeba ovládat a o to se postarají výstupy ze stroje. Stroj disponuje výstupy, které lze programově ovládat. Jsou jimi přípravné funkce:

- Pro sevření svěráku je příkaz M54, pro jeho rozevření M64.
- Pro sevření čelistí je příkaz M55, pro jejich rozevření M65.
- Pro funkci brzdicího pístu je příkaz M56, pro jeho uvolnění M66.



Obr. 22: Hlavní deska plošných spojů relé M-kódu. [10]

Pro ovládání pneumatických částí zařízení je třeba použít dvou 3/2 cestné ventily pro ovládání svěráku a brzdícího pístu a jeden 5/3 cestný ventil pro upínací čelisti. Koncový spínač se připojuje přímo na tlačítko centrálního stopu a na jednu žílu vedení se dá rozpojovací tlačítko pro dočasné potlačení signálu z koncového spínače, aby bylo možné pohybovat s pohony jednotlivých os.

5.6 Programová obsluha.

Stroj HAAS VF-2 má vlastní operační systém, který je kompatibilní s ISO kódem s možností makro programování. V systému je možno využít 500 globálních proměnných a 33 lokálních proměnných přiřazených k makro programu. V příloze 3 je makro program pro výměnu jednoho obrobku upínacími čelistmi. Řádek pro spuštění makro programu vypadá následovně:

```
G65 P9024 A36 B1 K2 J36 T25 S1 H1 X40. Y-10. Z0 U40. V-10. W0;
```

Kde G65 je kód volání makro programu, P značí číslo makro programu a kódy A až Z jsou volitelné argumenty makro volání. V tomto případě argumenty makro volání znamenají:

A - počet souřadnicových systémů v jedné paletě.

B - počáteční souřadnicový systém první palety.

K - počet palet.

J - celkový počet obrobků.

T - číslo nástroje prázdné kapsy.

S - režim upínacích čelistí roztahování=1 / stahování=0.

H - číslo programu pro obrábění.

X Y Z - posunutí upínacích čelistí od počátku souřadnicového systému kapes v paletě.

U V W - posunutí upínacích čelistí od počátku souřadnicového systému ve svěráku, kód není povinný, pokud není zapsaný stroj posune upínací čelisti vzhledem k počátku ve svěráku stejně, jako v paletě.

Čas naprogramování stroje pro výměnu obrobků z palety pomocí makro volání je záležitostí pouze několika málo minut. Nastavení souřadnicových systémů se dá u pravidelně rozložené palety jednoduše automatizovat jiným makro programem, kdy obsluha zadá počet souřadnicových systémů v ose X a Y a rozestupy mezi nimi. Opět záležitost několika málo minut. V případě velkého počtu obrobků na paletě a použití více palet lze využít proměnných ve stroji a do nich zapsat hodnoty počátku souřadnicových systémů a ty potom číst, nebo použít sériového portu ke čtení dat z počítače.

Po analýze programu jsem zjistil, že čas výměny obrobku je $T_{A111} = 0:15$ min.

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Upínací čelisti přináší lepší produktivitu práce, snižují závislost stroje na pozornosti obsluhy, která se může věnovat i jiným strojům. Ve firmě je obvyklé, že jeden stroj obsluhuje za směnu vždy jeden pracovník a s upínacími čelistmi je možno snížit stav pracovníků a zároveň zproduktivnit práci. V technicko-ekonomickém hodnocení porovnáme současný stav, obsluhu stroje pracovníkem, s automatizací v podobě upínacích čelistí.

Automatizace výrobního zařízení většinou něco stojí. Pro můj projekt upínacích čelistí jsou hlavní nákladové položky za výrobu svěráku, upínacích čelistí a univerzální palety pro polotovary.

Pneumatický svěrák obsahuje celkem 21 nenormalizovaných položek, které tvoří většinu výdajů na svěrák. Nejnákladnější položkou na svěráku je dvojitý pneumatický válec a hydraulický válec.

Pneumatický válec obsahuje dvě díry průměru 45 mm s délkou 115 mm s požadovanou tolerancí IT8, jakostí povrchu $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ a tolerancí polohy 0,02 mm.

Hydraulický válec obsahuje dvě kalené válcové díry průměru 36 mm a délky 23 mm s požadovanou tolerancí IT6, jakostí povrchu $R_a = 0,1 \mu\text{m}$ a tolerancí polohy 0,01 mm. Dále obsahuje dvě díry průměru 10mm dlouhé 130 mm běžné přesnosti. Hydraulický válec má tvar U a množství závitů a kolíkových děr.

Při zachování všech požadovaných přesností jsou výrobní náklady na pneumatický svěrák odhadnuty na 40 000 Kč.

Upínací čelisti obsahují 31 nenormalizovaných dílů, ale ani jeden není nijak zvláště přesný, nebo výrobně náročnější. Díly jsou pokud možno z běžných polotovarů jako hranoly, L-profilů... Výrobní cena upínacích čelistí byla odhadnuta na 25 000 Kč.

Univerzální paleta pro polotovary a obrobky je jen deska, do které jsou do kříže vyfrézované T-drážky s roztečí 20mm, na kterou jsou přidělané dorazové lišty, rukojeti a přídržovače polotovarů. Pro uvedený příklad použití univerzální palety je potřeba 108 kusů přídržovačů, které nejsou normalizované a podobné ani nejsou na trhu k sehnání. Pro plynulý chod stroje s upínacími čelistmi je potřeba minimálně dvou palet, kdy jedna bude ve stroji a do druhé bude pracovník vkládat a vydělávat z ní opracované kusy, zatímco stroj pracuje. Výrobní cenu dvou palet s univerzálními přídržovači odhaduji na 15 000 Kč.

Výrobní cena zařízení potřebných pro automatizaci stroje pomocí upínacích čelistí je 80 000 Kč.

Pro obsluhu stroje pracovníkem budu vycházet z jednotlivých časů:

Strojní časy bez upínacích čelistí:

- Operace č.1: $T_{AS1} = 12:27 \text{ min.}$
- Operace č.2: $T_{AS2} = 3:23 \text{ min.}$
- Operace č.3: $T_{AS3} = 7:23 \text{ min.}$

Čas výměny obrobku $T_{A111} = 0:45 \text{ min.}$

Čas nastavení stroje $T_{B111} = 45$ min.

Roční výroba je 1200 kusů držáku v dávkách po 100 kusech. Celkový čas potřebný pro výrobu jednoho kusu se dá vyjádřit jako:

$$T_v = T_{AS1} + T_{AS2} + T_{AS3} + n_o \times T_{A111} + n_o \times \frac{T_{B111}}{d_v} \quad (6.1)$$

Celkový čas potřebný pro výrobu jednoho kusu je $T_v = 26:49$ minut, celkový čas pro výrobu jedné dávky je $T_d = 2681:40$ minut, to je 44 hodin a 41 minut. Cena hodiny provozu stroje (včetně započítaných energií, odpisů stroje, nájmu budovy, mezd pracovníků, opotřebení nástrojů...) je stanovena na $N_h = 900$ Kč/h. Výrobní náklady na jeden kus jsou $N_v = 402$ Kč, na dávku jsou $N_d = 40225$ Kč.

Pro automatizovanou obsluhu stroje pomocí upínacích čelistí budu vycházet z jednotlivých časů:

Strojní časy s upínacími čelistmi:

- Operace č.1: $T_{AS1} = 12:27$ min.
- Operace č.2: $T_{AS2} = 3:23$ min.
- Operace č.3: $T_{AS3} = 7:23$ min.

Čas výměny obrobku $T_{A111} = 0:15$ min.

Čas nastavení stroje $T_{B111} = 50$ min.

Roční výroba je 1200 kusů držáků v dávkách po 100 kusech. Celkový čas potřebný pro výrobu jednoho kusu podle rovnice 6.1 je $T_v = 25:28$ minut, celkový čas pro výrobu jedné dávky je $T_d = 2546:40$ minut, to je 42 hodin a 26 minut. Cena hodiny provozu stroje je stanovena na $N_h = 900$ Kč/h. Výrobní náklady na jeden kus jsou $N_v = 382$ Kč, na dávku jsou $N_d = 38200$ Kč.

Na základě výpočtů měsíční úspora při použití upínacích čelistí vychází 2025Kč a roční úspora je 24300Kč.

Při operaci číslo 1 je strojní čas $T_{AS1} = 12:27$ minut a čas výměny obrobku je $T_{A111} = 0:15$ min. Při upnutí 36-ti obrobků do palety a automatického chodu stroje s upínacími čelistmi je strojní čas $T_{AS} = 457$ minut.

Při operaci číslo 2 je strojní čas $T_{AS2} = 3:22$ minut a čas výměny obrobku je $T_{A111} = 0:15$ min. Při upnutí 36-ti obrobků do palety a automatického chodu stroje s upínacími čelistmi je strojní čas $T_{AS} = 130$ minut.

Při operaci číslo 3 je strojní čas $T_{AS3} = 7:23$ minut a čas výměny obrobku je $T_{A111} = 0:15$ min. Při upnutí 36-ti obrobků do palety a automatického chodu stroje s upínacími čelistmi je strojní čas $T_{AS} = 275$ minut.

Původně pracovník musel vyměňovat obrobek každých průměrných 7 minut, s použitím navrhovaných upínacích čelistí a plném využití palety se doba mezi výměnou obrobků do a ze stroje prodloužila na průměrných 287 minut a pracovník by musel během tohoto

strojního cyklu ostřit, či vyměňovat nástroje. Pracovník by tento čas mohl využít k obsluze jiného stroje, odjehlování obrobků.

Přínosy pro firmu při pořízení automatizace obráběcího stroje v podobě upínacích čelistí by po zaplacení investice byly snížení nákladů na výrobu a možnost zavedení vícestrojové obsluhy.

7 ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem navrhl vybavení frézovacího centra HAAS upínacími čelistmi. V úvodu jsem naznačil problémy se kterými se stále potýká český průmysl ohledně automatizační techniky a také výhody, které automatizace přináší. V další části jsem představil firmu, pracoviště a určil typový obrobek, na který jsem zkonstruoval upínací čelisti. V kapitole určení oblastí vhodných k automatizaci rozebírám výrobní postup součásti, a určuji čas, který je potřebný k vyrobení jedné součásti. V technickém řešení jsem zkonstruoval upínací čelisti, které jsou lehké, skladné a dají se na stroj jednoduše namontovat. Dále jsem zkonstruoval pneumatický svěrák, který má téměř poloviční pořizovací náklady oproti svěrákům renomovaných výrobců s odpovídající kvalitou. Jako další příslušenství upínacích čelistí jsem zkonstruoval paletu, která slouží k přenášení obrobků a polotovarů do a ze stroje a zařizování jejich polohy na pracovním stole stroje. V technicko-ekonomickém hodnocení jsem ohodnotil zařízení z hlediska nákladů na výrobu jednotlivých částí zařízení, jeho celkovou pořizovací cenu a dále v ekonomické části jsem porovnal výrobní náklady jednoho kusu držáku, který je referenčním vzorkem činnosti upínacích čelistí, při obsluze stroje člověkem a automatickém chodu stroje s upínacími čelistmi. Rozdíl mezi jednotlivými náklady není nějak závažný, je jen 5%, ale důležitý je čas, který pracovník ušetří a může se věnovat i jiným strojům, čímž se sníží náklady na mzdy pracovníků a firma po osazení více strojů upínacími čelistmi může ušetřit značnou část nákladů.

Pro další vývoj automatizace stroje ve firmě by bylo vhodné přidat ke stroji automatický výměník palet, kdy stroj nemusí čekat na zásah pracovníka a výměnu palety obstará sám. Ve firmě se v malé míře využívá zakoupený CAM software a ve spojení s upínacími čelistmi se může stát mocným nástrojem jak snížit výrobní náklady a zvýšit konkurenceschopnost firmy. Jen samotné programování CNC obráběcích center zabere u kusové a malosériové výroby v některých případech i 80% výrobního času.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LACKO, Branislav. Současné bariéry většího využívání automatizace v ČR. AUTOMA. 1998, roč. 4, č. 5-6, s. 5-6.
- [2] RUMÍŠEK, Pavel. *Mechanizace a automatizace*. Brno, 2002. Syllabus. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [3] MEVI CZ [online]. 2009 [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.mevi.cz/>
- [4] HOFFMANN GROUP. *GARANT příručka obrábění*. s.l.: s.n., 2006, 641 s.
- [5] *Teximp* [online]. 2007 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.teximp.cz>
- [6] HENNLICH. *HENNLICH* [online]. 2014 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.hennlich.cz/>
- [7] *RUBENA.cz* [online]. 2004 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.rubena.cz/>
- [8] ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 193 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2336-6.
- [9] *Pizzato Elettrica - Position switches and safety devices* [online]. 2014 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: www.pizzato.com
- [10] HAAS AUTOMATION, INC. *Příručka obsluhy frézy*. Oxnard, USA, 2010.
- [11] ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. Brno: CERM, 2002, 158 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2219-X.
- [12] SVOBODA, Pavel. *Základy konstruování*. Vyd. 3., upr. a dopl. Brno: CERM, 2009, 234 s. ISBN 978-80-7204-633-1.
- [13] SVOBODA, Pavel. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 3. Brno: CERM, 2009, 223 s. ISBN 978-80-7204-636-2.
- [14] VÁVRA, Pavel. *Strojnicke tabuľky pre SPŠ strojnicke*. Bratislava: Alfa-press, 2009. ISBN 978-80-89223-28-2.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
D	[mm]	Průměr
D ₁	[mm]	Průměr pneumatického pístu
D ₂	[mm]	Průměr plunžru
D ₃	[mm]	Průměr hydraulického pístu
f	[-]	Součinitel smykového tření
F _u	[N]	Upínací síla
g	[m.s ⁻²]	Gravitační zrychlení
k	[-]	Koeficient bezpečnosti
L ₁	[mm]	Dráha pneumatického pístu
L ₂	[mm]	Dráha hydraulického pístu
m _o	[kg]	Maximální hmotnost obrobku
N _d	[Kč]	Náklady na výrobu jedné dávky
N _h	[Kč]	Hodinové náklady
N _v	[Kč]	Náklady na výrobu jednoho kusu
p	[Pa]	Tlak
p ₁	[Pa]	Tlak přivedený do multiplikátoru
p ₂	[Pa]	Tlak v multiplikátoru
p _{MAX}	[Pa]	Maximální tlak
R _a	[μm]	Jakost povrchu
T _{AS}	[min]	Jednotkový strojní čas
T _{A111}	[min]	Čas jednotkové práce za klidu
T _{B111}	[min]	Čas dávkové práce za klidu

T_v	[min]	Čas výroby jednoho kusu
T_d	[min]	Čas výroby jedné dávky
η	[%]	Účinnost

10 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres sestavy upínacích čelistí.
Příloha 2	Seznam položek k sestavě upínacích čelistí.
Příloha 3	Makro program pro výměnu obrobků upínacími čelistmi.
Příloha 4	Výkres sestavy univerzální palety.
Příloha 5	Výkres pohyblivé čelisti pneumatického svěráku.
Příloha 6	Seznam položek k sestavě pohyblivé čelisti svěráku.