



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A
METROLOGIE



Bakalářská práce

Vývoj a výroba systému vakuového upínání

Autor práce: **Vít Kumprecht**

Vedoucí práce: **Ing. Libor Beránek, Ph.D.**

Studijní obor: **Teoretický základ strojního inženýrství**

Praha 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kumprecht** Jméno: **Vít** Osobní číslo: **466571**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojího inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vývoj a výroba systému vakuového upínání

Název bakalářské práce anglicky:

Development and production of vacuum clamping system

Pokyny pro vypracování:

1. Systémy pro upínání rotačních a nerotačních dílů na frézkách
2. Konstrukční návrh systému vakuového upínání
3. Návrh technologie výroby klíčových komponent
4. Výroba, montáž a ověření systému upínání

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Libor Beránek, Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **02.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19.07.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval(a) samostatně a použil(a) jsem literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.“

Praha

.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Liboru Beránkovi, Ph.D. za jeho cenné rady, čas a pomoc, které mi věnoval. Dále bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Sommerovi za pomoc při návrhu a následném vypracování praktické části této práce. Závěrem bych rád poděkoval své rodině, za jejich podporu během celého studia.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá vývojem a výrobou vakuové upínací desky. V první části se práce věnuje zmapování různých možností upínání pro technologii frézování, a to jak upínání obrobků rotačních, nerotačních, magnetických nebo nemagnetických. Druhá část bakalářské práce se věnuje vlastnímu návrhu systému pro vakuové upínání. Návrh řešení zohledňuje požadavky na použitelnost v halových laboratořích fakulty strojní ČVUT, a to jak pro výrobní, tak výukové účely. Hlavní částí je samotná výroba desky a návržení klíčových komponent vzduchové soustavy. Závěr je pak věnován ekonomické analýze, zhodnocení použitých komponentů a návrhy na možná zlepšení při výrobě.

Klíčová slova: upínání, vakuová deska, frézování, CNC, vakuový systém

Annotation

This bachelor thesis deals with development and production of vacuum clamping system. The first part of the thesis deals with mapping of various clamping options for milling technology, namely clamping of rotary, non-rotary, magnetic or non-magnetic workpieces. The second part of the thesis deals with the design of the system for vacuum clamping. The design of the solution takes into account the applicability requirements in hall laboratories of the Faculty of Mechanical Engineering of CTU for both production and teaching purposes. The main part is the production of the vacuum board itself and the design of key components of the air system. The conclusion is devoted to economic analysis, evaluation of used components and suggestions for possible improvements in production.

Keywords: clamping, vacuum clamping systems, milling, CNC

Obsah

1	Úvod	7
2	Upínací metody na frézkách.....	8
2.1	Upínání nerotačních obrobků.....	8
2.2	Upínání rotačních obrobků.....	10
2.3	Upínání magnetických obrobků.....	12
2.4	Upínání nemagnetických obrobků.....	13
2.5	Paletizace	16
3	Návrh a výroba technologického demonstrátoru.....	17
3.1	Schématický návrh.....	17
3.2	Klíčové komponenty	18
3.3	Volba nástrojů a výpočet řezných parametrů	23
3.4	Výroba	29
3.4.1	Konvenční výroba	29
3.4.2	CNC výroba.....	30
3.5	Výpočet upínací síly	33
4	Realizace vakuového upínacího systému.....	35
4.1	Schématický návrh.....	35
4.2	Klíčové komponenty	36
4.3	Výroba	38
4.3.1	Konvenční výroba	38
4.3.2	CNC Výroba	39
4.4	Výpočet upínací síly	45
4.5	Zhodnocení a návrh vylepšení	45
5	Ekonomická analýza	46
5.1	Náklady na vývoj a výrobu technologického demonstrátoru.....	46
5.2	Náklady na vývoj a výrobu vakuového upínacího systému v rámci bakalářské práce	48
5.3	Náklady na výrobu vakuového upínacího systému	51
6	Závěr	53
	Seznam použité literatury a zdrojů	54
	Seznam obrázků tabulek a příloh.....	57

1 Úvod

V současnosti existuje celá řada systémů pro upínání obrobků do různých strojů. Jedná se o část výroby, která je jednou z nejpodstatnějších a to proto, že se jedná o operaci první a odvíjí se od ní možnosti celého dalšího výrobního procesu. Dané upnutí musí splňovat požadované hodnoty přesnosti a tuhosti. Dalším faktorem je pak možnost obrábění pouze čela nebo i po obvodu dílu a s tím související nutnost obrobek přeupínat.

Pro úspěšnou a efektivní volbu upínacího prostředku je potřeba znát širokou škálu informací, například jaké jsou prováděny operace při daném upnutí, materiál, tvar a rozměry polotovaru nebo rozměry stroje na kterém obrábění bude probíhat. Dále je nutné zhodnotit danou metodu z pohledu požadovaných hodnot přesnosti a tolerancí ať už rozměrových nebo geometrických.

Cílem práce bylo zmapování oblasti upínání na frézkách a následné navržení a výroba vlastního systému. Návrh probíhal ve dvou fázích a to jmenovitě vývoj technologického demonstrátoru pro vakuové upínání, ve kterém byly navrženy klíčové komponenty vzduchové soustavy pro ověření funkce návrhu a na základě zjištěných parametrů následovala fáze druhá, výroba finální desky pro vakuové upínání. Výroba technologického demonstrátoru probíhala na konvenční i CNC frézce, kde byl využit program Mikroprog k napsání NC kódu, s jehož psaním se posluchač musel seznámit a následně kód vytvořit. Výroba vakuového upínacího systému pak probíhala na základě vytvoření NC kódu v CAM software Autodesk Fusion 360, který byl další součástí, kterou si posluchač musel osvojit.

2 Upínací metody na frézkách

Primární funkcí všech upínacích systémů je zanesení vazby na obrobek v úmyslu zamezení proti pohybu při následné výrobní operaci. To znamená, že síla vyvozená vazbou musí být schopna odolat silám vytvářeným při obráběcím cyklu. Upínací systémy se dají rozdělit do kategorií podle materiálu nebo tvaru obráběného dílu, avšak tyto kategorie se v mnoha případech překrývají.

2.1 Upínání nerotačních obrobků

V technické praxi se používají obrobky různých tvarů a velikostí. Nerotační obrobky se dají upínat pomocí svěráků, upínek a sklíčidel. V závislosti na materiálu pak lze použít magnetický nebo vakuový upínací systém.

Svěráky

Svěráky jsou nejelementárnějším způsobem používaným pro upínání při obrábění. Zařízení je tvořeno párem čelistí, šroubovým mechanismem a samotným tělem svěráku. Čelisti samotné pak mohou být hydraulicky nebo pneumaticky aktivované, přičemž šroubový mechanismus je použit k posunutí čelistí k obrobku a hydraulika je použita pouze k vyvinutí upínací síly.

Strojní svěrák pevný a samostředící

Strojní svěrák pevný představuje klasické provedení svěráku s čelistmi. Má pohyblivou čelist posuvnou po tělese svěráku jen ve směru k pevné čelisti. Samostředící svěrák má pak pohyblivé obě čelisti. Oba svěráky umožňují upínání obrobků s minimálně dvěma rovnoběžnými hranami. Svěrák samotný se upíná pomocí T-drážek na lože stroje a ovládá se pomocí kličky. Obrábět je možno nejen čelní plochy, ale také boky v možném rozmezí, avšak ne po celé délce. Nevýhodou je zanechání otláčení na povrchu obrobku v důsledku dotažení svěráku. Na obrázku aplikace strojního svěráku je realizace upnutí rozměrného dílu za 3 mm pomocí upínače CU-T 77 od firmy KASTR.



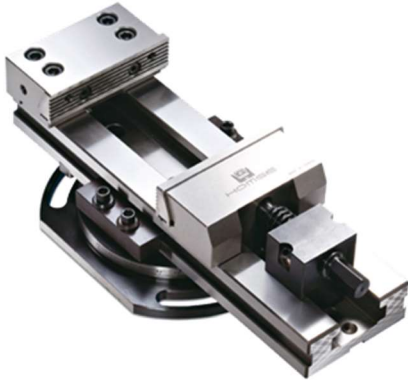
Obr. č. 1 – Svěrák samostředící [32]



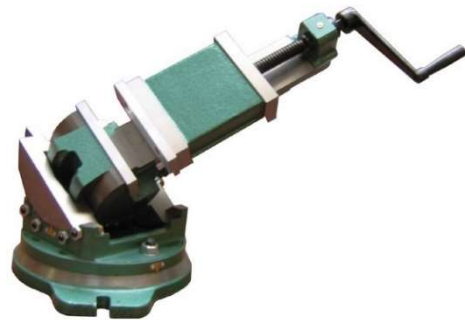
Obr. č. 2 – Aplikace strojního svěráku [32]

Strojní svěrák otočný a sklopný

Provedení stejné jako obyčejný svěrák navíc s možností natočení a naklopení v jedné nebo více osách o požadovaný úhel. Na obrázku č. 3 je vidět přesný svěrák s rychlým přenastavením a otočnou deskou na obrázku č. 4 pak starší model otočného a zároveň naklápěcího svěráku ve dvou osách. V dnešní době se natáčení a naklápění obrobku řeší primárně za pomoci víceosých obráběcích center, ve kterých tyto polohy zajišťuje samotný stůl.



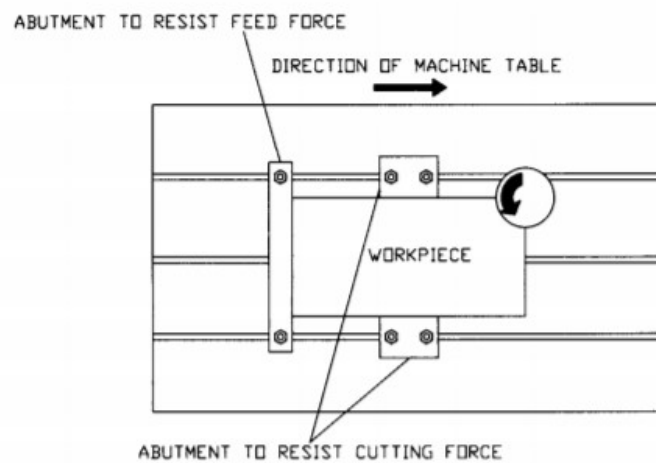
Obr. č. 3 – Strojní svěrák otočný [34]



Obr. č. 4 – Strojní svěrák otočný, sklopný[33]

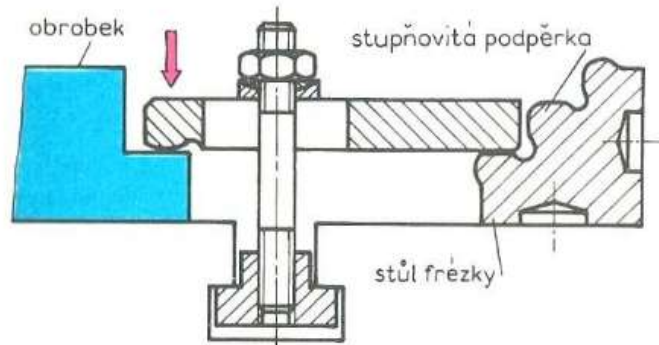
Upínky

Použití upínek je zdaleka nejjednodušším a nejlevnějším způsobem pro upnutí dílu, který je uchycen přímo na lože stroje. Při některých obráběcích procesech jako je frézování má obrobek tendenci se pootočit v důsledku rotace frézy. Tomuto vytočení se dá zabránit přidáním prvku pro odolání řezné síly (dorazem). [1]

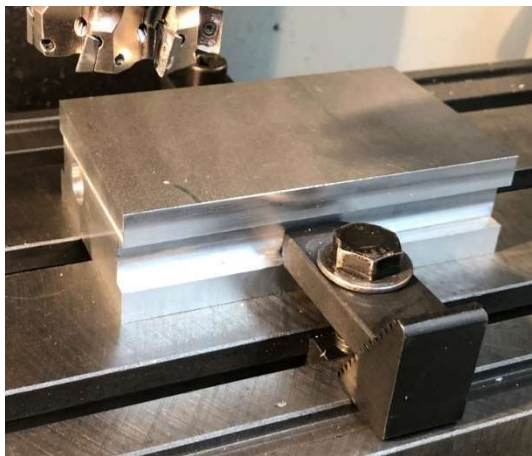


Obr. č. 5 – Umístění upínek pro zamezení pohybu [1]

Samotný upínací systém se skládá ze stupňovité opěrky, kamene, šroubu, matky a samotné upínky. Součásti se prodávají v sadách podle potřebné velikosti.



Obr. č. 6 – Soustava pro uchycení dílu upínkou [20]



Obr. č. 7 – Realizace upnutí za předvyrobenou drážku

2.2 Upínání rotačních obrobků

Rotační části se obrábí primárně na soustruzích, avšak své opodstatnění nalezou i na frézkách. Obrobky tohoto tvaru je možno upnout do sklíčidel, kleštinových upínačů, svěráků s prismatickými čelistmi nebo v závislosti na materiálu na magnetický nebo vakuový upínací systém.

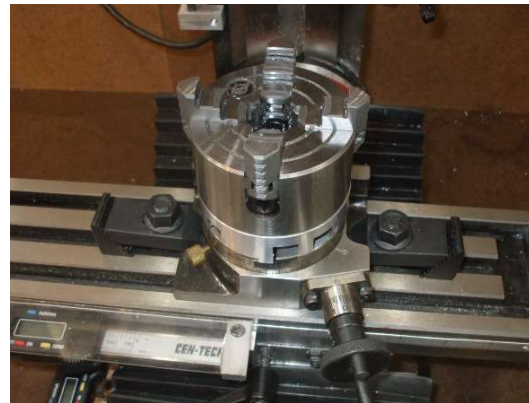
Univerzální sklíčidlo

Pravděpodobně největší skupinou upínacích zařízení, které umožňují uchycení obrobku rotačního, ale i nerotačního tvaru jsou sklíčidla. Nejpoužívanější jsou na soustruzích, ale je možné je použít i ve frézkách při uchycení na lože stroje například pomocí upínek.

Existuje několik variant provedení sklíčidel, nejrozšířenější je tří čelistová varianta. Populární je hlavně díky své samostředící funkci a to proto, že se čelisti při utahování pohybují současně. Čtyř čelistová sklíčidla jsou zpravidla používána k upínání větších a těžších obrobků. Čelisti mohou být ovládány mechanicky, hydraulicky, ale také pneumaticky. [2]



Obr. č. 8 – Tří čelistové sklíčidlo [30]



Obr. č. 9 – Realizace upnutí [39]

Kleštinové upínače

Kleština je součást tvořena dvěma kuželovými plochami, přičemž vnější plocha je podélně rozříznuta proto, aby při utahování neboli zasouvání do vnitřní kuželové plochy docházelo ke svírání a tím upnutí upínaného tělesa. Výhodami jsou jednodušší a tužší konstrukce než u dříve zmíněného sklíčidla, dále dlouhodobě stabilní přesnost a tím zajištěna opakovatelnost. Nevýhodou je pak malý rozsah možnosti upínání a požadavky na povrch, za který je díl upínán [2].



Obr. č. 10 – Sada kleštin[35]



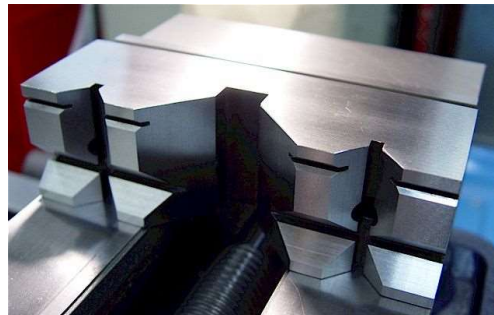
Obr. č. 11 – Aplikace kleštiny uvnitř svěráku

Prismatický svěrák

Efektivní a jednoduché upnutí rotačního tvaru za pomoci tvarových čelistí. Funkce stejná jako u svěráku strojního.



Obr. č. 12 – Prismatický svěrák [31]



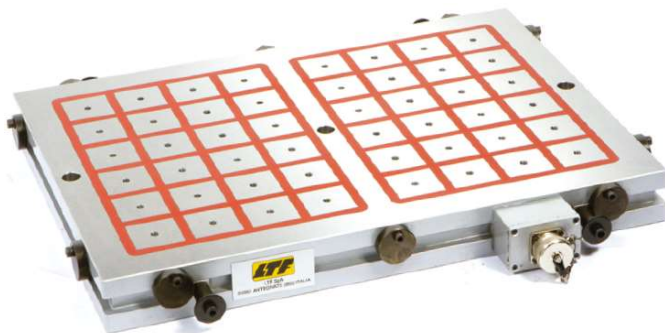
Obr. č. 13 – Prismatická čelist [36]

2.3 Upínání magnetických obrobků

V technické praxi se obrábí různé materiály, jako jsou železné kovy například ocel a litina, nebo neželezné kovy, například slitiny hliníku, slitiny mědi a další. Obrábí se však i díly z plastů nebo kompozitů. Na základě materiálových charakteristik lze díly rozdělit na magnetické a nemagnetické.

Elektro-permanentní magnetický upínač

Magnetické upínače jsou primárně používány na bruskách, avšak dají se použít i ve frézovacích centrech. Výhodou je možnost upínání tvarově složitých dílů, možnost rychlé výměny upínaných dílů a obrábění z více stran, protože upnutí probíhá pouze přes jednu plochu. Při dodržení čistoty stolu je zaručena dokonalá rovnoběžnost upnutí. Magnetické upínače se pak nedají použít tam, kde jsou značné řezné síly, nebo u nemagnetických materiálů. Hlavním problémem při obrábění na magnetickém stole je zachycování třísky (Obr. č. 16). Pro bezpečné obrábění za všech stran se pak používají pólové nástavce, které mohou být jak pohyblivé, tak pevné.



Obr. č. 14 – Magnetická deska [22]



Obr. č. 15 – Pólový nástavec pevný [38]



Obr. č. 16 – Zachycování třísky [5]



Obr. č. 17 – Pólový nástavec pohyblivý [38]

2.4 Upínání nemagnetických obrobků

Trendem v obrábění je obrobit na součásti co nejvíce při jednom upnutí. Z tohoto důvodu magnetické a vakuové systémy převyšují všechny ostatní metody. Systémy v této části mají výhodu, že mohou být použity na jakýkoliv materiál.

Vakuové upínací desky

Nejpoužívanější typ vakuového upínače je jednoduchá deska s vytvořeným rastrem pro zamáčknutí těsnění pod obráběným dílem a vyvrtanými dírami, které jsou napojeny na zařízení vytvářející vakuum. Jsou především používány pro frézování, ale dají se využít i při procesu jako je broušení. Vakuum může být realizováno vakuovou pumpou nebo ejektorem napojeným na kompresor. Nespornou výhodou je možnost vytvoření desek různých tvarů a rozměrů. Předpokladem úspěšného nasazení je obrobek s rovinnou přesně obrobenou spodní plochou. Součástí systému jsou pak odmontovatelné dorazy a středící kolíky pro snadnější usazení obráběného dílu.



Obr. č. 18 – Gravírování při upnutí na vakuové desce [4]



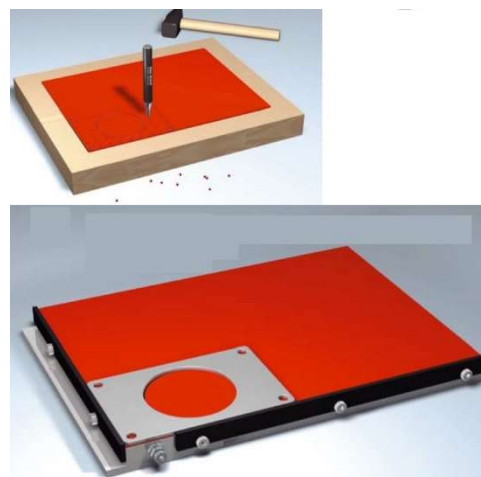
Obr. č. 19 – Zakřivená vakuová deska pro upínání trupů letadel [24]

Při frézování po celé délce dílu se používají výměnné upínací podložky z měkkého polymeru, které mají mnoho malých nezávislých vakuových plošek. Obrobek je pak umístěn přímo na podložku a lze ho opracovat na jednu upínací operaci bez ztráty vakua. Chladicí kapalina, která může být nasátá přes otevřené oblasti podložky může být odstraněna pomocí kapalinového separátoru.

Další možností pro obrábění plné délky dílu mohou být gumové adaptéry. Upnutí se provede takto: do pryžové podložky se vysekne nebo vyřízne díra požadovaného tvaru a umístí se mezi upínací desku a obráběnou součást, po připojení vakua se vmáčkne do rastru na upínací desce a mezi vrchní plochou adaptéru a spodní plochou dílu se vytvoří kapsa pro působení vakua.

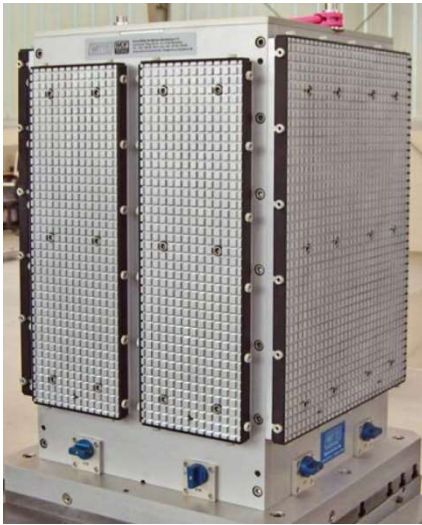


Obr. č. 20 – Výměnná upínací podložka [24]



Obr. č. 21 – Gumový adaptér [24]

V případě upínání velkého nebo více dílů je možné desky skládat vedle sebe nebo je natáčet.



Obr. č. 22 – Výměnná upínací podložka [24]



Obr. č. 23 – Gumový adaptér [24]

Přísavné buňky FLIP-POD

K upnutí tvarově složitého dílu je ideální použít systém otočných přísavných buněk FLIP-POD s vysokým gumovým těsněním, který díky tomu vyniká rychlým přizpůsobením nové velikosti obrobku. [24]



Obr. č. 24 – Přísavná buňka FLIP-POD [24] Obr. č. 25 – Upnutí tvarově složitého dílu [24]

2.5 Paletizace

V současné době, v rámci zvýšení produktivity a zkrácení výrobních časů, je stále více využívána paletizace výrobků. Samotný cyklus funguje na upínání obrobků na desky mimo stroj, které se následně pomocí rychloupínacího systému upínají do stroje.

ZERO POINT

Pneumatický rychlovýměnný upínač ZERO POINT vyniká kompaktními rozměry a výjimečně vysokou upínací silou, kterou je vtahován upínací čep. Řešení touto metodou je určeno pro použití na CNC obráběcích strojích, kde jsou nejpřísnější požadavky na přesnost a bezpečné upnutí obrobku. Mezi výhody patří snížení seřizovacích časů, vysoká přesnost a samosvorný mechanismus – upínací síla zůstává i po odpojení tlakového vzduchu. [25]



Obr. č. 26 – Systém ZERO POINT [25]

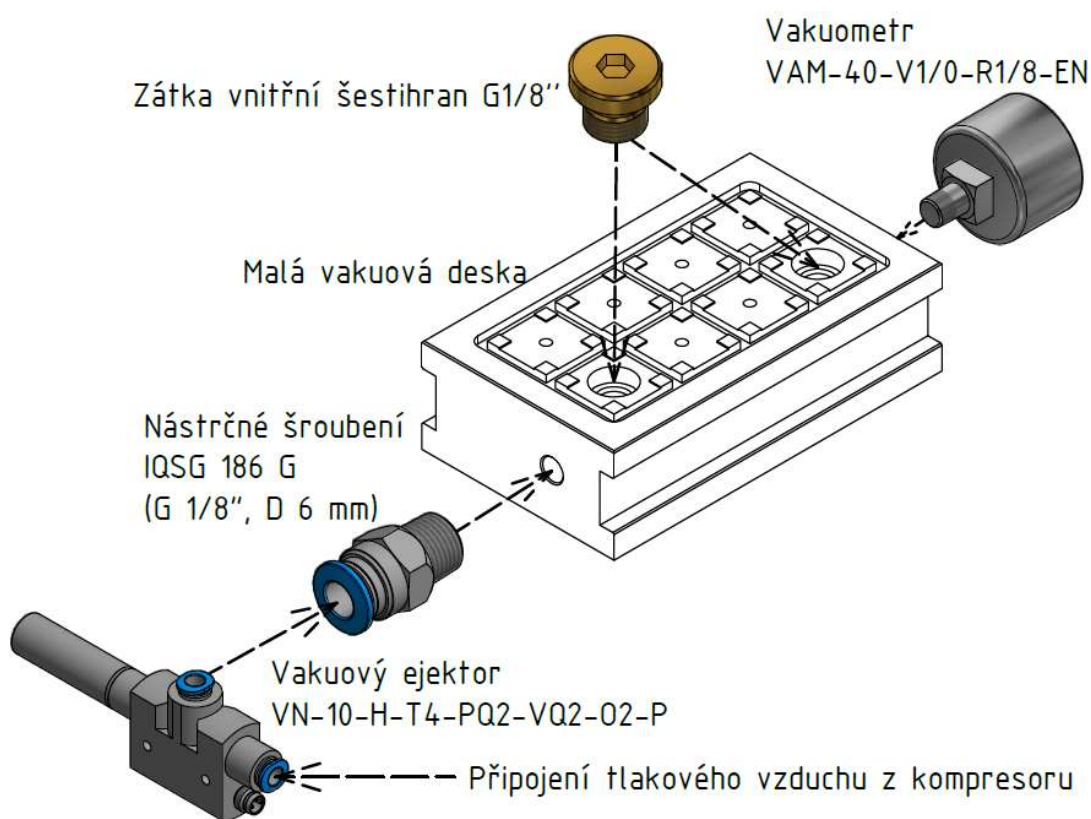


Obr. č. 27 – Systém ZERO POINT 2 [29]

3 Návrh a výroba technologického demonstrátoru

První fází praktické části bylo navržení vzduchové soustavy pro vytvoření požadovaného vakua. Dále bylo zapotřebí ověřit funkčnost dané soustavy. Proto byl za tímto účelem navržen technologický demonstrátor (viz. Příloha č.2).

3.1 Schématický návrh



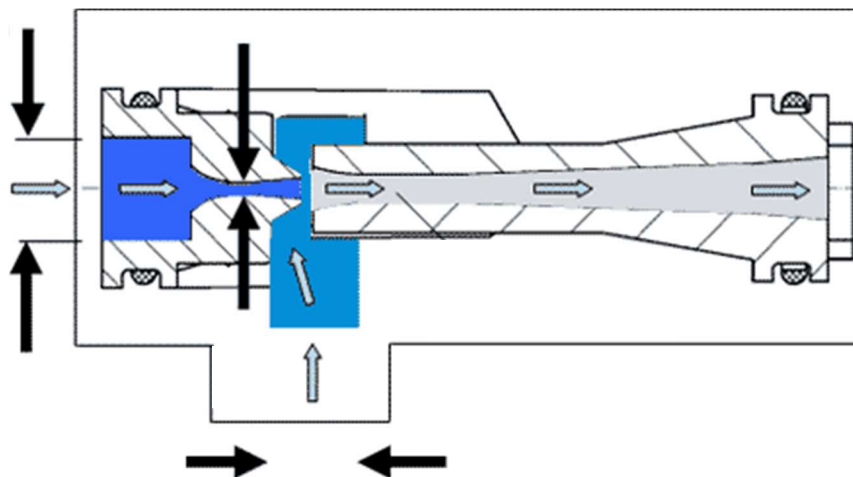
Obr. č. 28 – Soustava technologického demonstrátoru

3.2 Klíčové komponenty

Ejektor

K vytvoření vakua uvnitř vakuové desky byl zvolen ejektor značky FESTO. Všechny ejektory tohoto výrobce jsou jednostupňové a využívají principu Venturiho trubice.

Klasická Venturiho trubice se používá pro měření průtoku plynů a kapalin, kde je hlavním požadavkem nízká tlaková ztráta. Princip – přívod z kompresoru vhání stlačený vzduch do vstupu ejektoru, uvnitř Lavalovy trysky se zvýší rychlost proudění až na úroveň nadzvukové rychlosti, následně se vzduch dostane do kuželovitého difuzoru kde vzduch zvýší svůj objem a pokračuje do tlumiče (výstupu). Během celého procesu se tvoří vakuum mezi tryskou a difuzorem, kde je připojen výstup vakua do desky.[21]



Obr. č. 29 – Venturiho trubice [23]

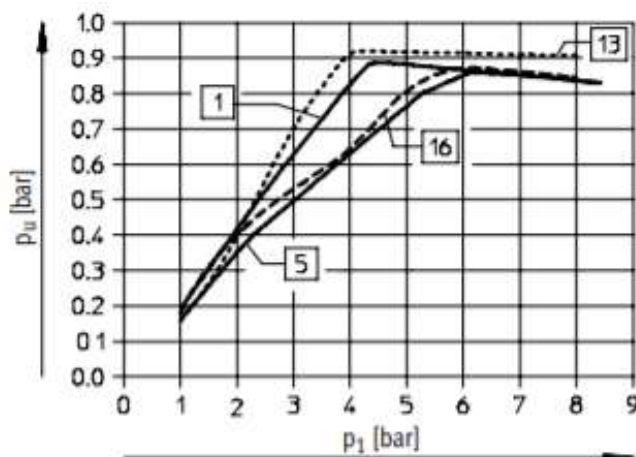
Vybraný model ejektoru je vhodný pro použití přímo ve stroji, nevyžaduje velký prostor a pracuje při nízkých nákladech. Výhodami jsou krátký čas pro odsátí vzduchu a žádné díly podléhající opotřebení. V tomto případě je ejektor umístěn mimo desku, protože se jedná pouze o zkušební verzi desky.



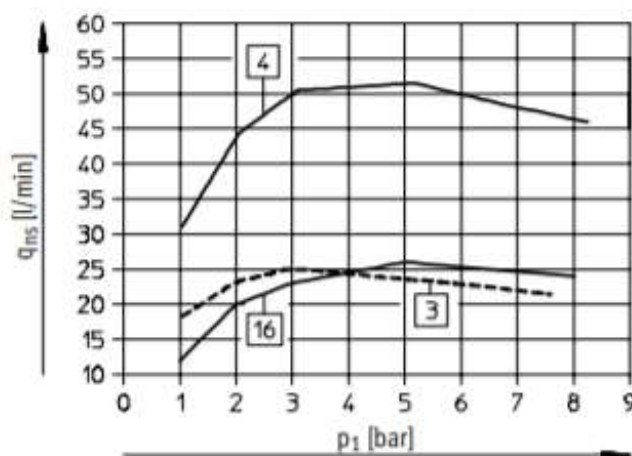
Obr. č. 30 – Ejektor VN-10-H-T4-PQ2-VQ2-O2-P [37]

Tab. č. 1 – Parametry ejektoru [19]

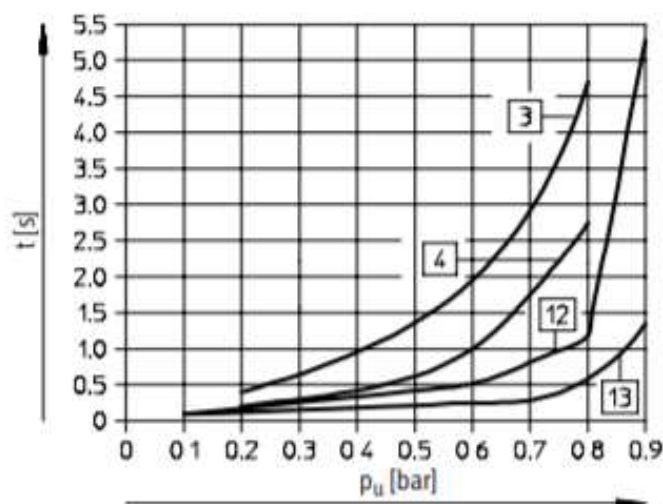
Parametry ejektoru VN-10-H-T4-PQ2-VQ2-O2-P	
Maximální vakuum	89%
Charakteristika ejektoru	Hluboké vakuum
Jmenovitá světlost Lavalovy trysky	0,95 mm
Tvar	T
Velikost	18 mm
Přípojka stlačeného vzduchu	Nástrčné připojení 6 mm
Připojení vakua	Nástrčné připojení 6 mm
Odvětrání	Tlumič hluku UOM
Max. průtok sání	25 l/min
Provozní tlak	1 - 8 bar
Provozní tlak pro max. vakuum	4,5 bar
Hlučnost při provozním tlaku 6 bar	71 dB
Hmotnost	36 g
Rozsah teplot	0 ... +60°C



Obr. č. 31 – Vakuum p_u v závislosti na provozním tlaku p_1 (křivka č.1) [19]



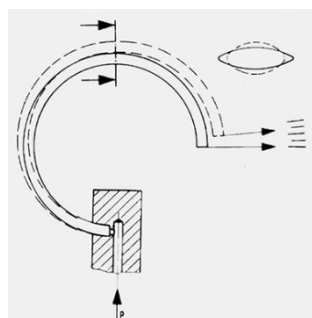
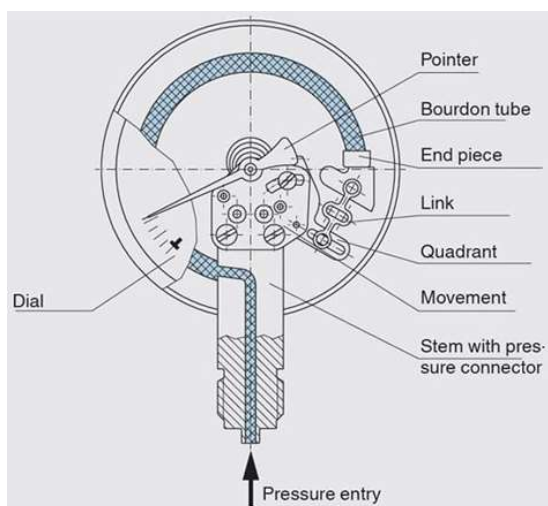
Obr. č. 32 – Nasávaný objemový průtok q_{ns} v závislosti na provozním tlaku p_1 (křivka č.3) [19]



Obr. č. 33 – Čas t na odsátí objemu 1 l v závislosti na vakuu p_u při provozním tlaku 6 barů (křivka č.3) [19]

Vakuometr

Pro měření dosažené hodnoty vakua uvnitř desky byl zvolen analogový ukazatel od firmy FESTO, který funguje na principu manometru s Bourdonovým perem. Toto provedení je nejfrekventovanějším v oblasti mechanického měření tlaku. Přístroj je založen na principu elastické pružiny a trubice tvaru C s oválným průřezem. V okamžiku kdy se uvnitř trubice změní tlak, reakcí tvaru je buď jeho vyboulení nebo smrštění to vyvolává změnu polohy konce, který ukazuje dosahovaný tlak uvnitř celé soustavy. [6]



Obr. č. 34 – Funkce Bourdonova pera [6]

Obr. č. 35 – Řez Vakuometrem [6]



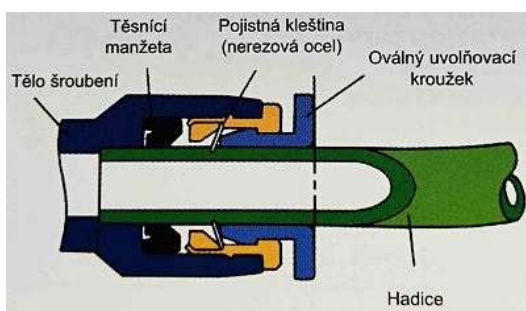
Obr. č. 36 – Vakuometr VAM-40-V1/0-R1/8-EN [7]

Tab. č. 2 – Parametry vakuometru

Parametry vakuometru VAM-40-V1/0-R1/8-EN	
Provozní tlak	-1 ... 0 bar
Provozní medium	Suchý vzduch, vakuum
Připojení	Závit G1/8"
Třída přesnosti měření	2,5
Hmotnost	63 g
Rozsah měření	-1 ... 0 bar -30 ... 0 inHg

Nástrčné šroubení

Připojení tlakového vzduchu je realizováno nástrčným šroubením, ve kterém je hadice uchycena kroužkem z nerezové oceli. Upevnění pohlcuje kmity a tlakové rázy. Těsnící kroužek je z nitrilkaučuku a zaručuje absolutní těsnost mezi deskou a šroubením. [14]



Obr. č. 37 – Řez nástrčným šroubením [12]

Obr. č. 38 – Nástrčné šroubení IQSG 186 G (G 1/8", D 6 mm) [11]

Uzavírací šroub

Uzavření právě nepoužívaného průduchu je realizováno zátkou s vnitřním šestihranem a závitem 1/8" z poniklované mosazi utěsněnou O-kroužkem.



Obr. č. 39 – Uzavírací šroub [13]

Hadička

Hadice PAN-6X1-SI s vnějším kalibrovaným průměrem 6 mm byla použita pro všechna spojení klíčových komponent. Materiálem je polyamid, hadice je teplotně a mechanicky odolná, provozní tlak je v rozmezí -0,95 ... 19 bar. [16]



Obr. č. 40 – Hadička [15]

Těsnící šňůra

Vymezení upínací plochy a utěsnění je realizováno pomocí silikonové těsnící šňůry kruhového profilu o průměru 4,5 mm. Šňůra se vmačkává do již zhotovených drážek na vrchní ploše, díky ní je možné upínat i více obrobků najednou. Materiálem je kompaktní silikon a tvrdosti 8 - 13°Sh avšak v budoucnu je v plánu vyzkoušet materiál s větší tvrdostí 30 - 50 °Sh.



Obr. č. 41 – Těsnící šňůra [3]

3.3 Volba nástrojů a výpočet řezných parametrů

Každá použitá fréza je zadána parametry:

- průměr D [mm]
- posuv na zub f_z [mm · zub⁻¹]
- počet zubů z [1]
- řezná rychlost v_c [m · min⁻¹]

Pomocí těchto parametrů jsme schopni dopočítat zbylé parametry pro nastavení stroje.

Otáčky vřetene:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} [\text{min}^{-1}] \quad (3.3.1)$$

Posuvová rychlost:

$$v_f = n \cdot z \cdot f_z [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.3.2)$$

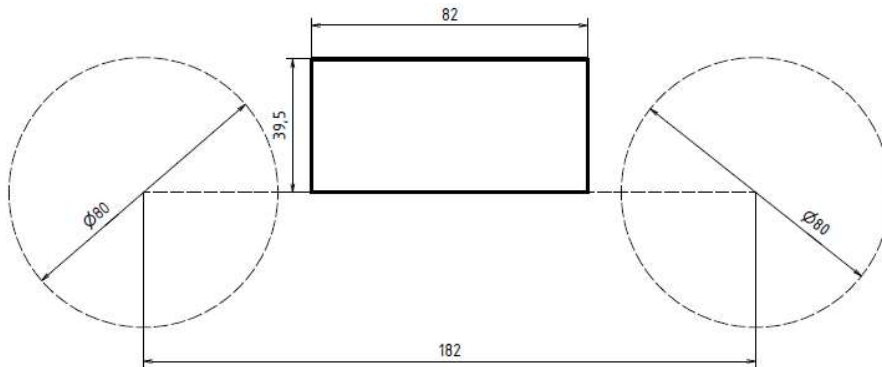
Čas obrábění

$$t = \frac{l}{v_f} [\text{min}] \quad (3.3.3)$$

l dráha pohybu frézy [mm]

Výpočty pro konvenční část

Srovnání povrchu válcovou frézou s karbidovými vyměnitelnými destičkami.



Obr. č. 42 – Dráha frézy 1

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$f_z = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$$

$$z = 6$$

$$v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{200 \cdot 1000}{\pi \cdot 80} = 795,77 \text{ min}^{-1} \rightarrow \text{volím } n = 800 \text{ min}^{-1}$$

$$v_f = n \cdot z \cdot f_z = 800 \cdot 6 \cdot 0,05 = 240 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Dráha pro počítání času obrábění je vždy včetně nájezdů a výjezdů z materiálu.

$$t = \frac{l}{v_f} = \frac{182}{240} = 0,76 \text{ min} = 45,5 \text{ s}$$

V bakalářské práci tento čas už dále nebyl brán v úvahu, protože samotná doba obrábění je zanedbatelně malá v porovnání s časem na upnutí obrobku, výměnu nástroje a kontrolní měření.

Upínací drážka byla vyrobena válcovou frézou se 3-mi zuby.

$$D = 16 \text{ mm}$$

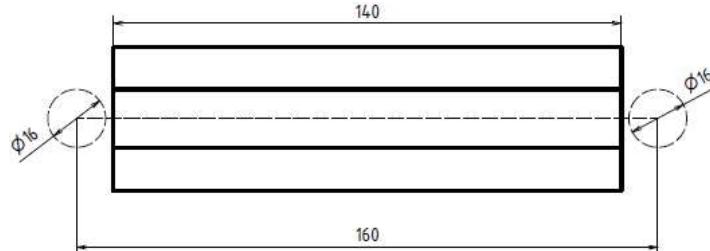
$$f_z = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$$

$$z = 3$$

$$v_c = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{80 \cdot 1000}{\pi \cdot 16} = 1591,54 \text{ min}^{-1} \rightarrow \text{volím } n = 1600 \text{ min}^{-1}$$

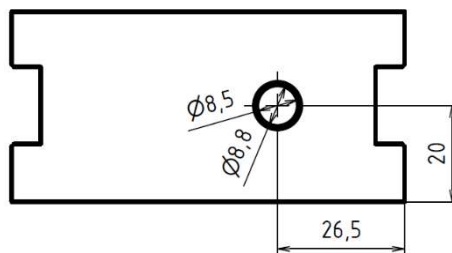
$$v_f = n \cdot z \cdot f_z = 1600 \cdot 3 \cdot 0,05 = 240 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$



Obr. č. 43 – Dráha frézy 2

Postup vrtání díry:

- Zaměření středu díry.
- Navrtání důlku navrtávkem D9.
- Předvrtání díry D6.
- Vrtání díry D8,5 v plné délce.
- Frézování zahloubení D16 na jedné straně.
- Vrtání díry D8,8 v délce 20 mm z každé strany.
- Vyříznutí závitu G1/8" z každé strany o délce 15 mm.



Obr. č. 44 – Vrtání díry

$$D = 8,5 \text{ mm}$$

$$f_z = 0,025 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$$

$$z = 2$$

$$v_c = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{30 \cdot 1000}{\pi \cdot 8,5} = 1123,45 \text{ min}^{-1} \rightarrow \text{volím } n = 1200 \text{ min}^{-1}$$

Strojní posuv je při této operaci vyřazen z důvodu vrtání dlouhé díry, při které je nutné vytahovat třísku ven.

Výpočty pro CNC část

Hodnoty získané v této části byly zadány do programu na výrobu horního rastru desky.

Zarovnání povrchu frézou s vyměnitelnými břitovými destičkami.

$$D = 50 \text{ mm}$$

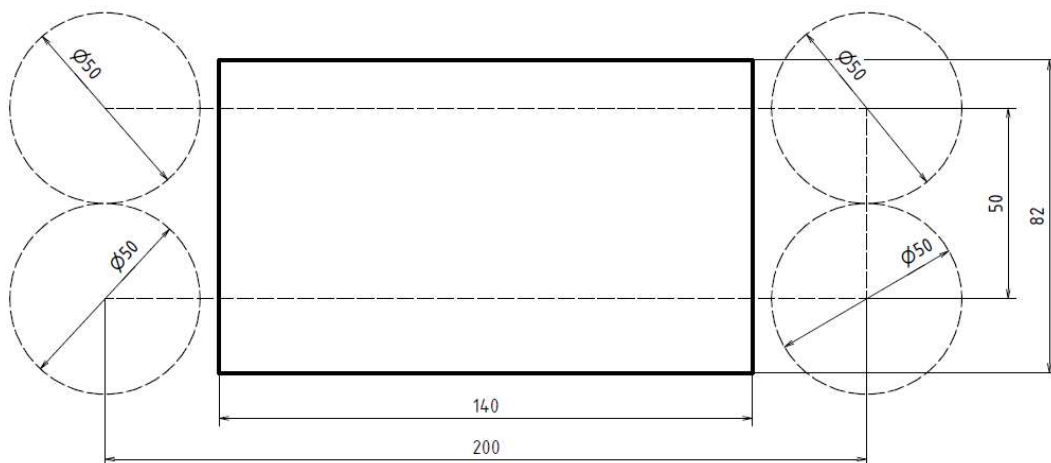
$$f_z = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$$

$$z = 7$$

$$v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{200 \cdot 1000}{\pi \cdot 50} = 1274,24 \text{ min}^{-1} \rightarrow \text{volím } n = 1300 \text{ min}^{-1}$$

$$v_f = n \cdot z \cdot f_z = 1300 \cdot 7 \cdot 0,05 = 455 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$



Obr. č. 45 – Dráha frézy 3

Výroba připojovacích otvorů:

- Předvrtání vrtákem D4 do hloubky 20 mm
- Vrtání D8,8 do hloubky 20 mm
- Kruhové vybrání D16 frézou D12

$$D = 4 \text{ mm}$$

$$f_z = 0,015 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$$

$$z = 2$$

$$v_c = 60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 1000}{\pi \cdot 4} = 4774,7 \text{ min}^{-1} \rightarrow \text{volím } n = 4800 \text{ min}^{-1}$$

$$v_f = n \cdot z \cdot f_z = 4800 \cdot 2 \cdot 0,015 = 144 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$D = 8,8 \text{ mm}$$

$$f_z = 0,025 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$$

$$z = 2$$

$$v_c = 20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{20 \cdot 1000}{\pi \cdot 8,8} = 723,43 \text{ min}^{-1} \rightarrow \text{volím } n = 750 \text{ min}^{-1}$$

$$v_f = n \cdot z \cdot f_z = 750 \cdot 2 \cdot 0,025 = 37,5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$D = 12 \text{ mm}$$

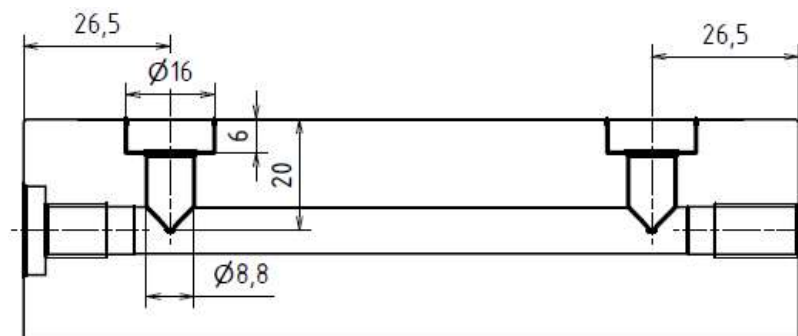
$$f_z = 0,015 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$$

$$z = 3$$

$$v_c = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{120 \cdot 1000}{\pi \cdot 12} = 3183,1 \text{ min}^{-1} \rightarrow \text{volím } n = 3200 \text{ min}^{-1}$$

$$v_f = n \cdot z \cdot f_z = 3200 \cdot 3 \cdot 0,015 = 144 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$



Obr. č. 46 – Připojovací otvory

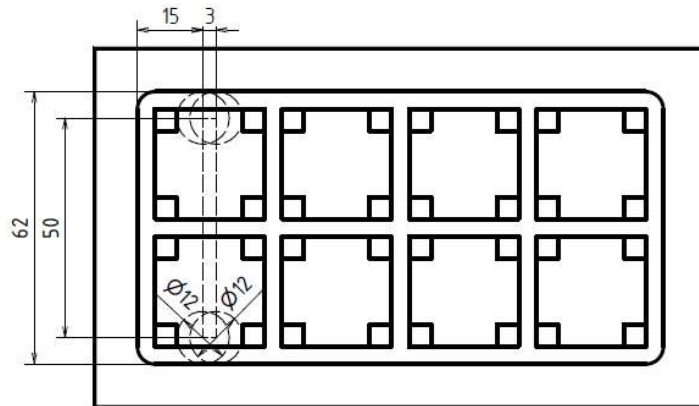
$$D = 12 \text{ mm}$$

$$f_z = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$$

$$z = 3$$

$$v_c = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_f = n \cdot z \cdot f_z = 3200 \cdot 3 \cdot 0,05 = 480 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$



Obr. č. 47 – Dráha frézy 4

Frézování drážek

$$D = 3 \text{ mm}$$

$$f_z = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$$

$$z = 3$$

$$v_c = 45 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{45 \cdot 1000}{\pi \cdot 3} = 4774,6 \text{ min}^{-1} \rightarrow \text{volím } n = 4800 \text{ min}^{-1}$$

$$v_f = n \cdot z \cdot f_z = 4800 \cdot 3 \cdot 0,05 = 720 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Posuv při této operaci byl vypočítán $720 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, avšak s ohledem na životnost frézy D3 byl zvolen posuv poloviční, tedy $360 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

3.4 Výroba

Deska byla vyrobena z hliníkového polotovaru EN AW-7075 o rozměru 150x90x40mm a složení AlZnMgCu1,5. Dobrými vlastnostmi tohoto materiálu je vysoká tvrdost v kombinaci s nízkou hmotností. Nevýhodami jsou snížená odolnost proti atmosférické korozi a náchylnost k vrubům. Při výrobě bylo nejprve potřeba dosáhnout požadovaných rozměrů a poté vytvoření rastru na vrchní ploše.

3.4.1 Konvenční výroba

Výroba začala na konvenční frézce TOS FNGJ 20. Upnutí pomocí mechanického svěráku.

Operace:

- Zarovnání boků polotovaru s ohledem na zajištění rovnoběžnosti, kolmosti a dosažení požadovaného rozměru finálního tvaru.
- Frézování drážek pro upnutí.
- Vrtání podélné díry.
- Měření a kontrola rozměrů pomocí úchylkoměru, hloubkoměru a posuvného měřítka.



Obr. č. 48 – Frézka



Obr. č. 49 – Vrtání díry

3.4.2 CNC výroba

V této části práce byl navržen program pro frézování horní plochy desky. Dráhy nástroje byly naprogramovány v Mikroprogu od firmy Mikronex. Systém je určen pro stroje se čtyřmi řízenými osami, nejčastěji pro frézky.

Mikroprog

Použité funkce:

- **G0 – rychloposuv** – Funkce se používá k rychlému polohování nástroje vždy však nad bezpečnou hladinou. Pohyb je konán z aktuálního bodu do bodu zadaného souřadnicemi X, Y a Z. Nástroj do tohoto bodu jede nejkratší možnou dráhou tedy přímkou.
- **G1 – lineární interpolace** – Obráběcí funkce, nástroj koná pohyb do zadaného bodu souřadnicemi XYZ rychlostí F.
- **G2 – kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček** – Funkce zařídí současný pohyb nástroje rychlostí F ve dvou osách tak, že výsledná dráha je kružnice o poloměru R končící v zadaném bodě XYZ.
- **G75 – kruhové vybrání** – Cyklus používaný pro kruhové vybrání o průměru D a hloubce Z postupně po třískách W rychlostí F.
- **G83 – vrtací cyklus s výplachem** – Funkce se používá pro postupné vrtání díry do hloubky Z s vytažením třísky mimo obrobek po krocích W.
- **M3 – roztočení vřetene doprava** – Příkaz roztočí vřeteno zadanými otáčkami S
- **M5 – zastavení vřetene**
- **M6 – výměna nástroje** – Ve stroji, který byl použit není automatická výměna nástroje tudíž funkce způsobí najetí nástroje do zadaného bodu pro výměnu nástroje a zastaví program, poté je nutno ručně nástroj vyměnit a program opět spustit. Zadávaná hodnota je číslo nástroje T.
- **M30 – konec programu**

Další část výroby probíhala na CNC frézce Slovtos FCM 22 CNC VMC 5. Do stroje bylo zapotřebí před samotnou výrobou nahrát program, který byl napsán v předcházejícím kroku (Příloha č. 1) a zaměřit všechny použité nástroje.

Tab. č. 3 – Nástroje

Tabulka použitých nástrojů a jejich poloha	
Fréza válcová D50	T80
Fréza válcová D12	T81
Fréza válcová D3	T82
Vrták D4	T83
Vrták D8,8	T84

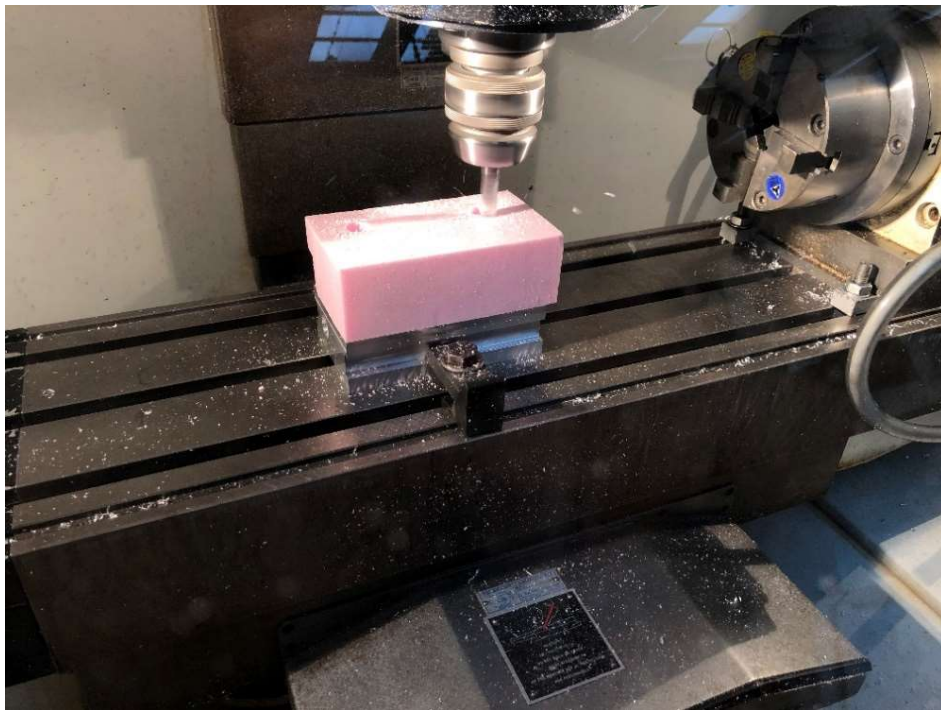


Obr. č. 50 – Slovtos FCM 22 CNC VMC 5

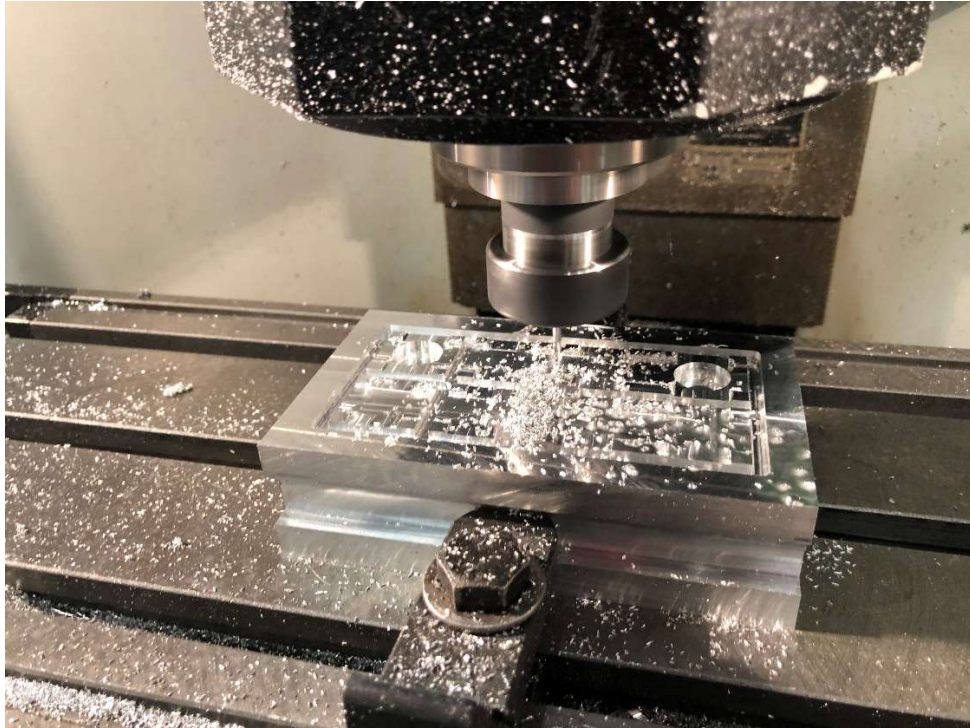
Následovalo upnutí polotovaru za dříve vytvořené drážky pomocí upínek přímo na lože stroje a jeho zaměření dotykovou sondou. Kontrola napsaného programu proběhla pomocí nalepeného pěnového kvádříku na povrchu našeho polotovaru. Po posunutí počátku o výšku zmiňovaného kvádru bylo možno program pro test spustit.



Obr. č. 51 – Upnutí pomocí upínek



Obr. č. 52 – Frézování pěnového kvádříku



Obr. č. 53 – Frézování drážek

3.5 Výpočet upínací síly

Velikost upínací síly závisí velikosti podtlaku a na ploše, na kterou působí dané vakuum.

$$p = \frac{F_{\text{upínací}}}{S} \rightarrow F_{\text{upínací}} = p \cdot S [N] \quad (3.2.1)$$

Daná upínací plocha je vymezena upínací šňůrou a neobsahuje dosedací plochy. Maximální upínací plocha na technologickém demonstrantu tedy přes 8 čtverců je $S_{\text{max}} = 5\,248 \text{ mm}^2$. Upínací plocha pro jeden čtverec je $S_1 = 525 \text{ mm}^2$.

Maximální dosažené vakuum při testu bylo 85% tedy podtlak $p = 0,85 \text{ bar} \rightarrow 86\,126,25 \text{ Pa}$.

Upínací síla přes jeden čtverec:

$$F_1 = p \cdot S_1 = 86\,126,25 \cdot 525 \cdot 10^{-6} = 45,22 \text{ N}$$

Maximální upínací síla:

$$F_{\text{max}} = p \cdot S_{\text{max}} = 86\,126,25 \cdot 5\,248 \cdot 10^{-6} = 451,99 \text{ N}$$

Zhodnocení a funkčnost:

Délka výroby běhu programu pro vytvoření rastru na vrchní ploše byla 38 min 39 s. Po připojení všech funkčních dílů soustavy byla ověřena její funkčnost. Pomocí tlakového vzduchu bylo možno naměřit uvnitř desky podtlak $p_u = 0,85$ bar. V programu bylo pár nedostatků jako například správné určení bezpečné hladiny pro rychloposuvy nebo nájezdové rychlosti při obrábění v ose Z. Všechny nedostatky byly doplněny a opraveny. Dále by bylo možné použít podprogram místo jednotlivého vypisování souřadnic hladin při frézování drážek.

Závěr: Byla ověřena funkčnost vyrobené desky a je možné pokračovat dále k vytvoření velké.



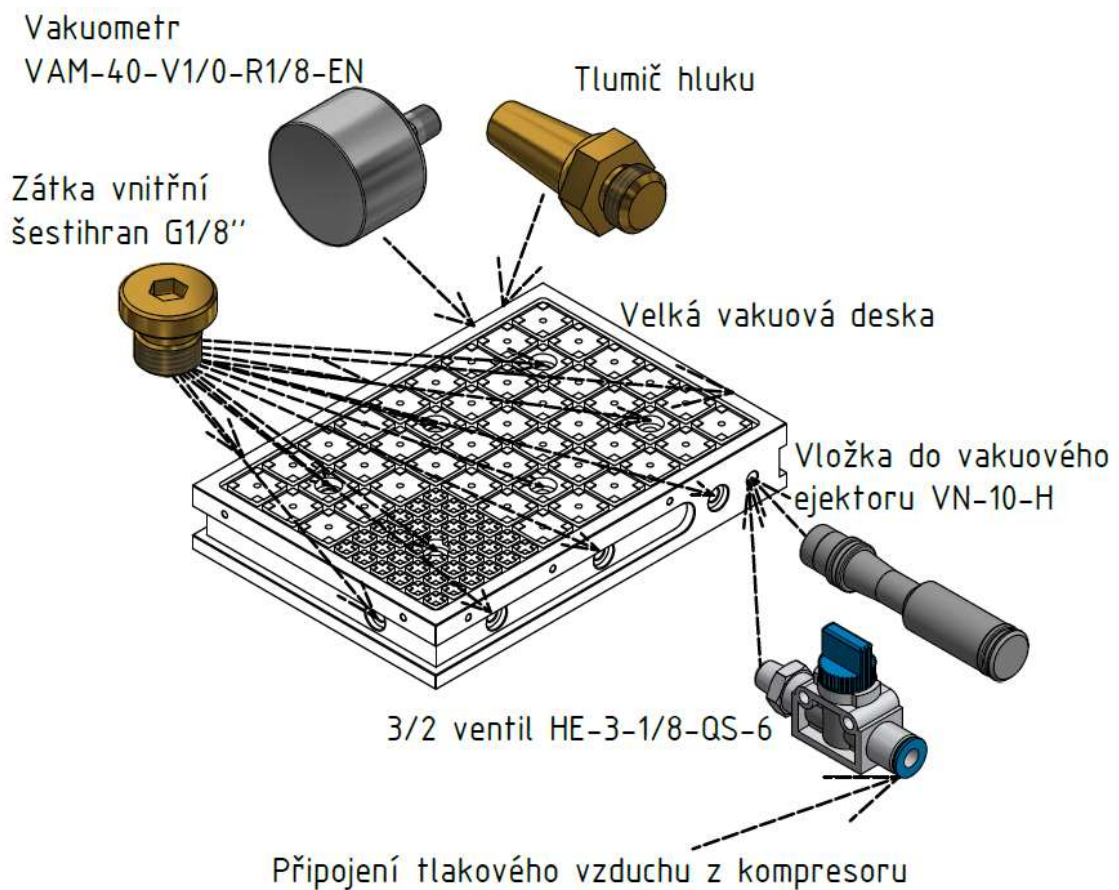
Obr. č. 54 – Úplná soustava technologického demonstrátoru

4 Realizace vakuového upínacího systému

Navržení velké vakuové upínací desky se odvíjí od požadavků na upínací rozměry do strojů, ve kterých bude používána. Nejomezenějším prostorem pro upnutí je rovinná bruska BRH 20 CNC, byl zvolen tedy rozměr desky 285x198 mm.

4.1 Schématický návrh

Návrh vzduchové soustavy vychází z již ověřených parametrů desky předcházející, nicméně některé komponenty jsou zde navíc a některé jsou nahrazeny.



Obr. č. 55 – Soustava velké desky

4.2 Klíčové komponenty

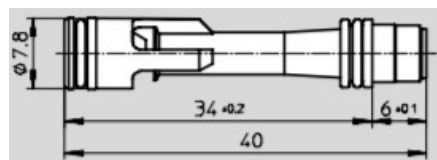
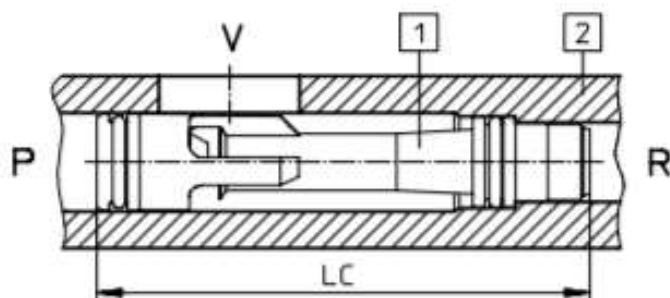
V oblasti klíčových komponent došlo k několika změnám oproti malé desce a to: Výměna vakuového ejektoru VN-10-H-T4-PQ2-VQ2-O2-P za vložku do vakuového ejektoru VN-10-H, která je vhodnější pro vnitřní aplikaci, uložení této vložky je realizováno pomocí několika přesných děr, zatímco pro ejektor by bylo zapotřebí frézovat kapsu na spodu desky. Dále je zde navíc 3/2 ventil pro snadné uzavírání a otevírání přívodu stlačeného vzduchu a tlumič odcházejícího vzduchu pro snížení hlučnosti při probíhající upnutí.

Vložka do vakuového ejektoru

Jak již bylo zmíněno výše, je tato vložka náhradou za ejektor a nevyhne se tedy srovnání parametrů příslušných komponent. Vybraná vložka by měla dosahovat o 4% vyššího vakua při stejné světlosti Lavalovy trysky a menším průtoku sání.

Tab. č. 4 – Parametry vložky do vakuového ejektoru [19]

Parametry vložky do vakuového ejektoru VN-10-H	
Maximální vakuum	93%
Charakteristika vložky	Hluboké vakuum
Jmenovitá světlost Lavalovy trysky	0,95 mm
Max. průtok sání	21,8 l/min
Provozní tlak	1 - 8 bar
Provozní tlak pro max. vakuum	3,5 bar
Hmotnost	1,65 g
Rozsah teplot	0 ... +60°C



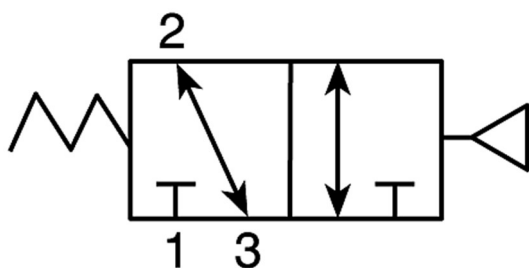
- 1 vložka do vakuových ejektorů
- 2 vyrobené těleso

Obr. č. 56 – Uložení vložky [19]

Obr. č. 57 – Rozměry vložky [19]

Uzavírací ventil

Novinkou v tomto návrhu je 3/2 cestný uzavírací ventil HE-3-1/8-QS-6, který usnadňuje manipulaci se stlačeným vzduchem a tím i zrychluje upínání obrobků. Vybraný ventil lze použít jako hlavní uzávěr stlačeného vzduchu, v poloze 1 – 2 je soustava připojena na zdroj stlačeného vzduchu a v poloze 2 – 3 dochází k odpojení zdroje a zároveň odvodu soustavy.



Obr. č. 58 – Schéma 3/2 ventilu [17]

Obr. č. 59 – Ventil HE-3-1/8-QS-6 [8]

Tab. č. 5 – Parametry ventilu HE-3-1/8-QS-6 [9]

Parametry ventilu HE-3-1/8-QS-6	
Průtok	300 l/min
Přípojka stlačeného vzduchu	Nástrčné připojení 6 mm
Připojení vakua	Závit G1/8"
Funkce	Ventil 3/2
Jmenovitá světlost	5 mm
Provozní tlak	-0,75 ... 10 bar
Teplota	0 - 60°C
Hmotnost	33 g

Tlumič hluku

Z důvodu absence integrovaného tlumiče hluku u vložky do vakuového ejektoru bylo třeba zvolit samostatný externí tlumič hluku s ohledem na vysoký hluk vznikající při úniku vzduchu z pneumatických prvků. Byl zvolen tlumič od výrobce AIGNEP model 7030 z mosazi s připojovacím závitem G1/8", provozním tlakem 10 bar a filtračním prahem hluku 50 mikrometrů.



Obr. č. 60 – Tlumič hluku [18]

4.3 Výroba

Velká deska byla vyrobena z hliníkového polotovaru EN AW-7075 o rozměru 300x205x50mm a složení AlZnMgCu1,5. Při výrobě bylo nejprve potřeba dosáhnout požadovaných rozměrů a poté vytvoření rastru na vrchní ploše.

4.3.1 Konvenční výroba

Výroba začala na konvenční frézce TOS FNGJ 20. Díl upnut pomocí mechanického svěráku.

Operace:

- Zarovnání delších boků polotovaru při upnutí na výšku s ohledem na zajištění rovnoběžnosti, kolmosti a dosažení požadovaného rozměru finálního tvaru.

Řezné parametry: $D = 63 \text{ mm}$, $v_c = 125 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 630 \text{ min}^{-1}$

- Zarovnání kratších boků polotovaru při upnutí na plocho s ohledem na zajištění rovnoběžnosti, kolmosti a dosažení požadovaného rozměru finálního tvaru.

Řezné parametry: $D = 16 \text{ mm}$, $v_c = 63 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 1250 \text{ min}^{-1}$



Obr. č. 61 – Obrábění kratších boků po celé délce

Další operace probíhala na radiální vrtačce Kovosvit MAS VR4, která byla použita z důvodu vrtání dlouhých děr. Vrtání probíhalo za neustálého chlazení technickým lihem a častém vytahování třísky.



Obr. č. 62 – Radiální vrtačka



Obr. č. 63 – Vrtání dlouhých děr

4.3.2 CNC Výroba

Další část výroby probíhala na pětiosém frézovacím centru Okuma MU-400V II. Nejdříve bylo potřeba nahrát model vytvořený v programu Autodesk Inventor Professional 2018 do CAM software Autodesk Fusion 360, ve kterém byly vytvořeny dráhy nástrojů a zadány jeho řezné parametry.

CAM Software

K vytvoření NC kódu pro obrobení rastru na vrchní ploše, vytvoření upínacích drážek a vrtání přípojovacích otvorů desky byl použit CAM software Autodesk Fusion 360. Aplikace zahrnuje nejen CAM a přípravu výroby, ale také CAD modelář, nicméně není třeba modelovat vyráběnou součást v tomto programu, protože je zde možnost nahrát jakýkoliv model nebo sestavu z různých softwarů a to jak od Autodesku - Inventor Professional nebo AutoCAD, ale také modely z ostatních CAD modelářů, například Catia nebo Solidworks. V CAM části je možné programovat dvou, tří ale také pětiosé obrábění. Všechny postupy je možné si odsimulovat.

Návrh obrobení plochy probíhá takto:

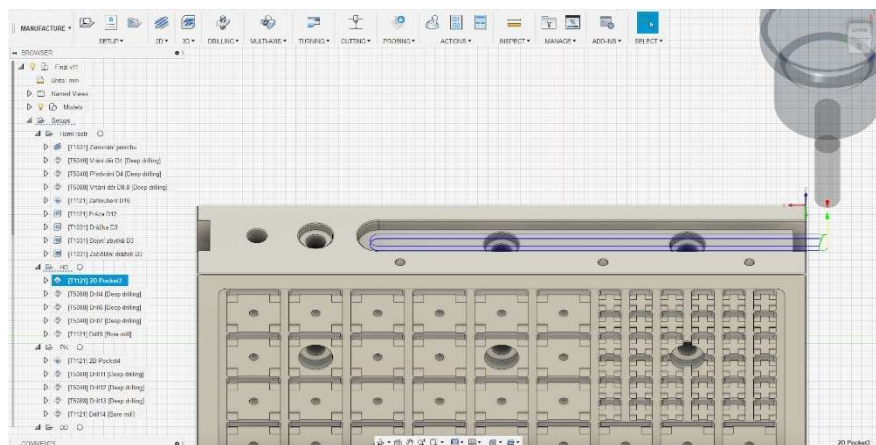
1. Výběr 2D/3D obráběcí strategie.
2. Výběr nástroje a nastavení řezných podmínek.
3. Výběr geometrie obráběné plochy (oblasti, které nástroj nemá překročit a plocha, na které obrábí).
4. Zadání hodnot výšek (bezpečná výška pro rychloposuvy, vrchní plocha polotovaru, spodní plocha obráběné dráhy).
5. Nastavení průjezdů, směru obrábění, velikosti třísek a přídavky na dokončovací metody.
6. Určení nájezdů nástroje do materiálu.

Operace prováděné na bocích desky

- Upnutí pomocí dvou svěráků na stůl frézovacího centra
- Frézování upínací drážky.

2D obráběcí strategie Pocket

Řezné parametry: $D = 12 \text{ mm}$, $v_c = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 3200 \text{ min}^{-1}$



Obr. č. 64 – Strategie pro obrobení drážky

- Předvrtání přípojovacích otvorů a vrtání otvorů pro uchycení dorazů.
Vrtací strategie **Deep drill**

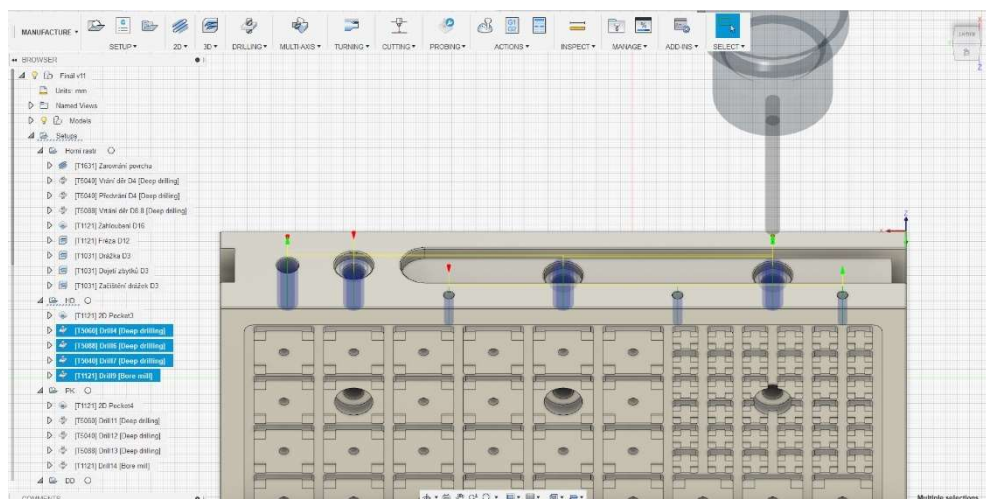
Řezné parametry: $D = 4 \text{ mm}$, $v_c = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 4250 \text{ min}^{-1}$

- Vrtání přípojovacích otvorů.
Vrtací strategie **Deep drill**

Řezné parametry: $D = 8,8 \text{ mm}$, $v_c = 50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 1800 \text{ min}^{-1}$

- Zhloubení o průměru D16.
Vrtací strategie **Bore mill**

Řezné parametry: $D = 12 \text{ mm}$, $v_c = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 3200 \text{ min}^{-1}$



Obr. č. 65 – Vrtání děr a kruhové vybrání

Obrábění probíhalo za neustálého chlazení. Závitky byly vyříznuty ručně za pomoci závitníků.



Obr. č. 66 – Obrábění boku desky



Obr. č. 67 – Obrobené boky

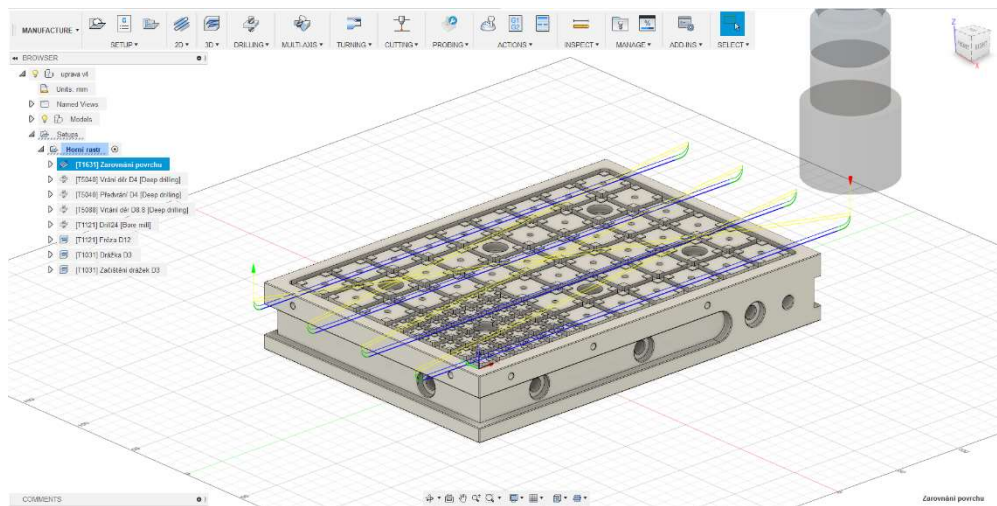
Obrábění vrchního rastru

- Upnutí za předvyrobené upínací drážky pomocí upínek.
- Zarovnání spodní plochy.
2D obráběcí strategie Face

Řezné parametry: $D = 63 \text{ mm}$, $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 1000 \text{ min}^{-1}$

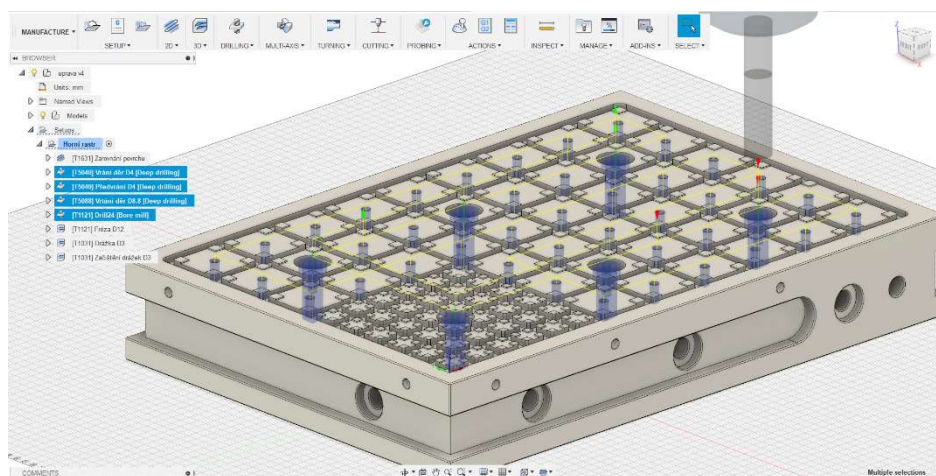
- Přeupnutí desky.
- Zarovnání vrchní plochy.
2D obráběcí strategie Face

Řezné parametry: $D = 63 \text{ mm}$, $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 1000 \text{ min}^{-1}$



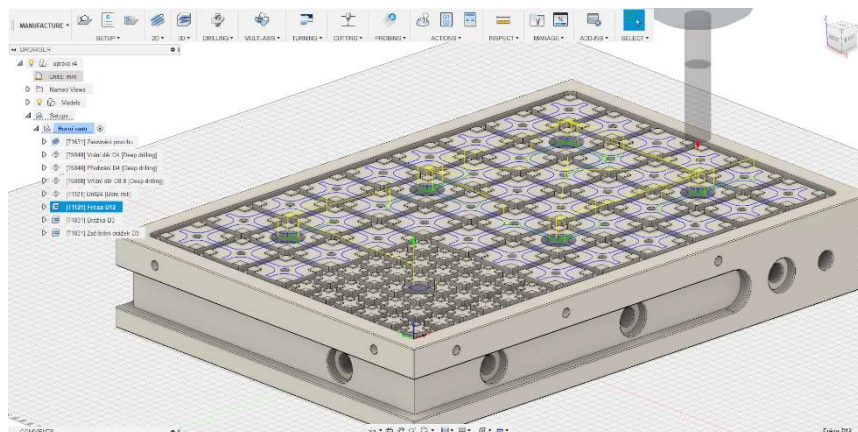
Obr. č. 68 – Dráha frézy D63

- Předvrtání připojovacích otvorů a vrtání otvorů pro dorazové kolíky.
Vrtací strategie **Deep drill**
Řezné parametry: $D = 4 \text{ mm}$, $v_c = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 4250 \text{ min}^{-1}$
- Vrtání připojovacích otvorů.
Vrtací strategie **Deep drill**
Řezné parametry: $D = 8,8 \text{ mm}$, $v_c = 50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 1800 \text{ min}^{-1}$
- Zahloubení o průměru D16.
Vrtací strategie **Bore mill**
Řezné parametry: $D = 12 \text{ mm}$, $v_c = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 3200 \text{ min}^{-1}$



Obr. č. 69 – Vrtání děr

- Vybrání dosedacích ploch.
3D obráběcí strategie **Pocket**
Řezné parametry: $D = 12 \text{ mm}$, $v_c = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 3200 \text{ min}^{-1}$



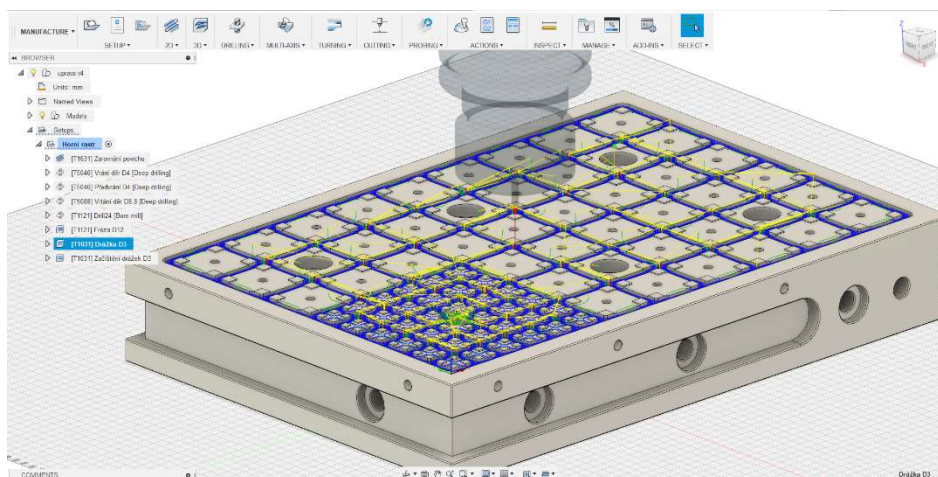
Obr. č. 70 – Vybrání dosedacích ploch



Obr. č. 71 – Stav po vybrání dosedacích ploch

- Frézování drážek s přídavkem.
3D obráběcí strategie Pocket

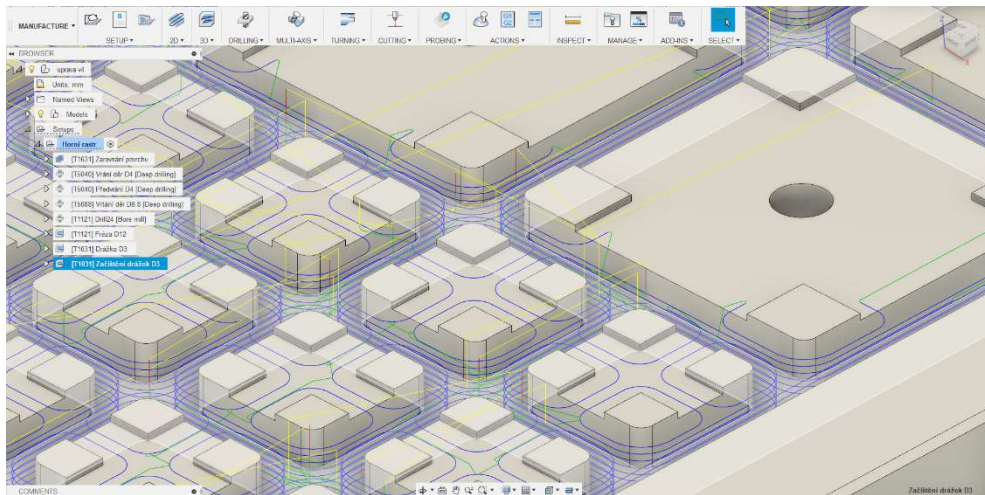
Řezné parametry: $D = 3 \text{ mm}$, $v_c = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 12750 \text{ min}^{-1}$



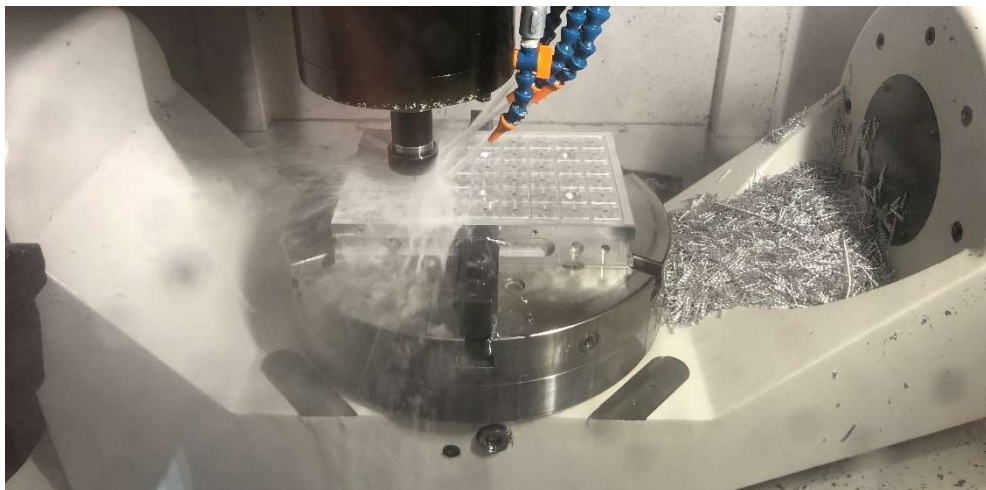
Obr. č. 72 – Obrábění drážek

- Frézování drážek na čisto.
3D obráběcí strategie **Pocket**

Řezné parametry: $D = 3 \text{ mm}$, $v_c = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 12750 \text{ min}^{-1}$



Obr. č. 73 – Dráhy nástroje uvnitř drážky



Obr. č. 74 – Obrábění vrchního rastru



Obr. č. 75 – Stav po dokončení obrábění vrchního rastru

4.4 Výpočet upínací síly

Upínací plocha je vymezena upínací šňůrou a neobsahuje dosedací plochy. Maximální upínací plocha na vakuové desce je tedy $S_{max} = 37\,711,25\text{ mm}^2$.

Maximální dosažené vakuum při testu bylo 91,5% tedy podtlak $p = 0,915\text{ bar} \rightarrow 92\,712,375\text{ Pa}$.

Maximální upínací síla:

$$F_{max} = p \cdot S_{max} = 92\,712,375 \cdot 37\,711,25 \cdot 10^{-6} = 3\,496,3\text{ N}$$



Obr. č. 76 – Hotový vakuový upínací systém včetně jeho komponentů

4.5 Zhodnocení a návrh vylepšení

Délka běhu programu pro vytvoření horního rastru byla 3 hod 47 min. S ohledem na funkčnost a dosažení maximálního vakua je navrženo použití redukčního ventilu pro přicházející stlačený vzduch z kompresoru. S ohledem na materiál, z kterého je deska vyrobena a jeho odolnost proti atmosférické korozi je možno provést povrchovou úpravu eloxování. Z důvodu levnějšího provozu změřit tvrdost těsnící gumy a navrhnout levnější variantu se shodnou funkčností.

5 Ekonomická analýza

Po dokončení výroby bylo možno zjistit náklady na vývoj a ověření funkčnosti technologického demonstrátoru a následně po optimalizaci výroby zjistit i náklady na vytvoření jednoho vakuového upínacího systému.

5.1 Náklady na vývoj a výrobu technologického demonstrátoru

V tabulkách níže jsou uvedeny všechny parametry ovlivňující celkovou cenu výroby technologického demonstrátoru. Nástroje jsou uvažovány pro výrobu celého demonstrátoru a poté se vymění z důvodu opotřebení. Ceny jsou uvedeny bez DPH.

Nástroje:

Tab. č. 6 – Náklady na nástroje - technologický demonstrátor

Vyměnitelné břitové destičky, frézy a vrtáky	Množství	Cena za kus [Kč]	Cena celkem [Kč]
SEET 09T3AFEN	6	142,00	852,00
TAWL3160	1	1 188,00	1 188,00
Vrták HSS ČSN 221121 D8,8	1	42,23	42,23
Vrták HSS ČSN 221121 D8,5	1	40,19	40,19
Vrták HSS ČSN 221121 D6	1	20,21	20,21
Vrták HSS ČSN 221121 D4	1	18,50	18,50
Vrták navrtávací HSS DIN 333 A	1	404,00	404,00
ADEX 11T312FR-FA	7	201,85	1 412,95
TAWL4120	1	912,00	912,00
Závitník ČSN 22 3012 G1/8"	1	124,20	124,20
TAWL2030	1	396,00	396,00
Součet			5 410,28

Tab. č. 7 – Jednorázová investice – TD

Jednorázová investice - frézovací hlavy	Množství	Cena za kus [Kč]	Cena celkem [Kč]
80A06R-S45SE09F-C	1	5 739,00	5 739,00
50A07R-S90AD11E-C	1	4 647,50	4 647,50
Součet			10 386,50

Náklady na pořízení materiálu:

Tab. č. 8 – Cena polotovaru - TD

EN AW - 7075 cena za kg [Kč]	Hmotnost polotovaru [kg]	Cena celkem [Kč]
120,00	1,517	182,04

Výrobní náklady:*Tab. č. 9 – Výrobní náklady konvenční frézky FNGJ 20 pro tech. demonstrátor*

FNGJ 20			Cena výroby [Kč]
Návrh vzduchové soustavy	Cena [Kč/hod]	500,00	7 500,00
	Doba [hod]	15	
Stroj	Cena [Kč/hod]	391,78	2 742,47
	Doba [hod]	7	
Obsluha	Cena [Kč/hod]	300,00	2 400,00
	Doba [hod]	8	
Součet			12 642,47

Tab. č. 10 – Odpisy stroje FNGJ 20

Odpisy FNGJ 20	
Pořizovací cena	Cena [Kč]
	800 000,00
Odpisování	Doba [roky]
	10
Směnnost	Jednosměnný provoz [hod]
	2000
	Možnost práce na stroji [den]
	1
Odpisy [Kč/hod]	191,78
Náklady na provoz stroje [Kč/hod]	200,00

Tab. č. 11 – Výrobní náklady frézky Mikronex FCM 22 CNC pro tech. demonstrátor

Mikronex FCM 22 CNC			Cena výroby [Kč]
Vytvoření NC kódu	Cena [Kč/hod]	500,00	7 500,00
	Doba [hod]	15	
Stroj	Cena [Kč/hod]	416,58	2 082,88
	Doba [hod]	5	
Obsluha	Cena [Kč/hod]	400,00	2 400,00
	Doba [hod]	6	
Součet			11 982,88

Tab. č. 12 – Odpisy stroje Mikronex FCM 22 CNC

Odpisy Mikronex FCM 22 CNC	
Pořizovací cena	Cena [Kč]
	820 000,00
Odpisování	Doba [roky]
	10
Směnnost	Jednosměnný provoz [hod]
	2000
	Možnost práce na stroji [den]
	1
Odpisy [Kč/hod]	196,58
Náklady na provoz stroje [Kč/hod]	220,00

Pro výpočet odpisů strojů je uvažován jednosměrný provoz, který má roční hodinový fond 2000 hodin (o svátcích se nepracuje). Dále bylo uvažováno využití strojů na Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie na jeden den v týdnu. V pořizovací ceně strojů jsou zahrnuty i držáky jednotlivých nástrojů.

V nákladech na provoz strojů je počítáno i s nutným doplňováním jednotlivých kapalin, které stroje pro provoz potřebují, dále se počítá i se spotřebou elektrické energie a dalšími náklady. V době výroby je nejenom zahrnut čas jednotkový t_A , ale i čas dávkový t_B , ve kterém je zahrnut potřebný čas na seřízení stroje (rozevření čelistí, nastavení nulového bodu stroje), tak i příprava, kontrola a seřízení nástrojů, které se pro výrobu technologického demonstrátoru používají. Do časů je započítán i úklid pracoviště po dokončení výroby.

Tab. č. 13 – Nákup klíčových komponent pro tech. demonstrátor

Položka	ks	Cena/ks	Cena celkem
Ejektor VN-10-H-T4-PQ2-VQ2-O2-P	1	3 150,00 Kč	3 150,00 Kč
Vakuometr VAM-40-V1/0-R1/8-EN	1	625,00 Kč	625,00 Kč
Nástrčné šroubení IQSG 186 G (G 1/8", D 6 mm)	1	22,00 Kč	22,00 Kč
Zátka vnitřní šestihran G1/8"	2	16,00 Kč	32,00 Kč
Těsnící šňůra 10 m	1	412,00 Kč	412,00 Kč
Hadička PAN-6X1-SI	1	200,00 Kč	200,00 Kč
Hadicová vsuvka pro plastové trubky 6x1 mm	1	83,00 Kč	83,00 Kč
Celkem			4 524,00 Kč

Po sečtení všech výše uvedených nákladů je dosažena celková cena na výrobu technologického demonstrátoru 45 128 Kč bez DPH.

5.2 Náklady na vývoj a výrobu vakuového upínacího systému v rámci bakalářské práce

Po ověření funkčnosti technologického demonstrátoru bylo možné přistoupit k výrobě vakuového upínacího systému v rámci bakalářské práce. S ohledem na možnosti využití strojů v halových laboratořích nebyla využita nejekonomičtější metoda, a to z důvodu vyzkoušení si práce na pětiosém frézovacím centru Okuma MU – 400V II.

V tabulkách níže jsou uvedeny všechny parametry ovlivňující celkovou cenu výroby vakuového upínacího systému v rámci bakalářské práce. Nástroje jsou uvažovány pro výrobu celého systému. Ceny jsou uvedeny bez DPH.

Tab. č. 14 – Náklady na nástroje – Vakuový upínací systém

Vyměnitelné břitové destičky, frézy a vrtáky	Množství	Cena za kus [Kč]	Cena celkem [Kč]
ADEX 11T312FR-FA	6	174,00	1 044,00
TAWL3160	1	1 188,00	1 188,00
TAWL4120	1	912,00	912,00
TAWL2030	1	396,00	396,00
Vrták HSS ČSN 221121 D6,5 - 275mm	1	187,00	187,00
Vrták HSS ČSN 221121 D7,5	1	33,40	33,40
Vrták HSS ČSN 221121 D7,75	1	215,02	215,02
Výstružník HSS ČSN 221420 D8H7	1	368,00	368,00
Vrták HSS ČSN 221121 D4	1	11,25	11,25
Závitník ČSN 22 3012 G1/8	1	124,20	124,20
Vrták HSS ČSN 221121 D8,8	1	48,16	48,16
Součet			4 527,03

Tab. č. 15 – Jednorázová investice – Frézovací hlava D63

Jednorázová investice - frézovací hlava	Množství	Cena za kus [Kč]	Cena celkem [Kč]
63A06R-S90AS11E-C	1	6 585,00	6 585,00

Tab. č. 16 – Náklady na polotovary vakuového upínacího systému

EN AW - 7075 cena za kg [Kč]	Hmotnost polotovaru [kg]	Cena celkem [Kč]
120,00	8,641	1036,92

Tab. č. 17 – Výrobní náklady konvenční frézky FNGJ 20 pro VaUP

FNGJ 20			Cena výroby [Kč]
Návrh vzduchové soustavy	Cena [Kč/hod]	500,00	2 000,00
	Doba [hod]	4	
Stroj	Cena [Kč/hod]	391,78	1 567,12
	Doba [hod]	4	
Obsluha	Cena [Kč/hod]	300,00	1 500,00
	Doba [hod]	5	
Součet			5 067,12

Tab. č. 18 – Výrobní náklady radiální vrtačky Kovosvit MAS VR4

MAS VR4			Cena výroby [Kč]
Stroj	Cena [Kč/hod]	277,27	1 386,34
	Doba [hod]	5	
Obsluha	Cena [Kč/hod]	300,00	1 800,00
	Doba [hod]	6	
Součet			3 186,34

Tab. č. 19 – Odpisy stroje Kovosvit MAS VR4

Odpisy MAS VR4	
Pořizovací cena	Cena [Kč]
	426 600,00
Odpisování	Doba [roky]
	10
Směnnost	Jednosměnný provoz [hod]
	2000
	Možnost práce na stroji [den]
	1
Odpisy [Kč/hod]	102,27
Náklady na provoz stroje [Kč/hod]	175,00

Tab. č. 20 – Výrobní náklady frézovacího centra Okuma MU - 400V II

Okuma MU - 400V II			Cena výroby [Kč]
Vytvoření NC kódu	Cena [Kč/hod]	600,00	18 000,00
	Doba [hod]	30	
Stroj	Cena [Kč/hod]	2 383,22	28 598,63
	Doba [hod]	12	
Obsluha	Cena [Kč/hod]	500,00	6 500,00
	Doba [hod]	13	
Součet			53 098,63

Tab. č. 21 – Odpisy stroje Okuma MU - 400V II

Odpisy Okuma MU - 400V II	
Pořizovací cena	Cena [Kč]
	8 690 000,00
Odpisování	Doba [roky]
	10
Směnnost	Jednosměnný provoz [hod]
	2000
	Možnost práce na stroji [den]
	1
Odpisy [Kč/hod]	2 083,22
Náklady na provoz stroje [Kč/hod]	300,00

Po sečtení všech výše uvedených nákladů je získána celková cena na výrobu vakuového upínacího systému v rámci bakalářské práce 76 160 Kč bez DPH. Nutno dodat, že cena je z velké části ovlivněna volbou stroje Okuma MU – 400V II, která byla s ohledem na ekonomickou stránku výroby značně nevýhodná.

5.3 Náklady na výrobu vakuového upínacího systému

Následující kalkulace je zaměřena na cenu výroby vakuového upínacího systému po dokončení optimalizace výrobního procesu. Tabulky shrnují cenu výroby vakuového upínacího systému po dokončení vývoje a ověření funkčnosti na technologickém demonstrátoru. Dále po následném vytvoření a ověření funkčnosti všech NC programů pro výrobu vakuového upínacího systému a nakoupení frézovací hlavy. Z důvodu neznámé trvanlivosti jednotlivých nástrojů je uvažována výroba dvaceti desek a poté celková výměna nástrojů.

Tab. č. 22 – Náklady na nástroje

Náklady na nástroje [Kč]	Počet vyrobených kusů	Cena za nástroje na jednu desku [Kč]
4 527,03	20	226,35

Tab. č. 23 – Výrobní náklady konvenční frézky FNGJ 20 pro VaUP2

FNGJ 20			Cena výroby [Kč]
Stroj	Cena [Kč/hod]	391,78	1 567,12
	Doba [hod]	4	
Obsluha	Cena [Kč/hod]	300,00	1 500,00
	Doba [hod]	5	
Součet			3 067,12

Tab. č. 24 – Výrobní náklady tříosé CNC frézky Haas VF - 1

Haas VF - 1			Cena výroby [Kč]
Stroj	Cena [Kč/hod]	521,51	8 865,62
	Doba [hod]	17	
Obsluha	Cena [Kč/hod]	500,00	9 000,00
	Doba [hod]	18	
Součet			17 865,62

Tab. č. 25 – Odpisy stroje Haas VF - 1

Odpisy Haas VF - 1	
Pořizovací cena	Cena [Kč]
	1 216 000
Odpisování	Doba [roky]
	10
Směnnost	Jednosměnný provoz [hod]
	2000
	Možnost práce na stroji [den]
	1
Odpisy [Kč/hod]	291,51
Náklady na provoz stroje [Kč/hod]	230

Náklady na polotovar zůstávají stejné, stejně tak náklady na pořízení klíčových komponent. Náhradou za radiální vrtačku a pětiosé frézovací centrum je tříosá CNC frézka Haas VF-1 s dostatečným rozsahem v ose Z pro dlouhé vrtání.

Po sečtení všech výše uvedených nákladů je dosažena celková cena na výrobu vakuového upínacího systému po optimalizaci výrobního procesu 24 855 Kč bez DPH.

6 Závěr

V úvodu práce byla vypracována rešerše v oblasti upínání obrobků na frézkách. Byly popsány výhody a nevýhody upínacích způsobů, ať už z pohledu prováděné technologické operace při daném upnutí, ale také z pohledu materiálu polotovaru, který bude obráběn. V práci byly zmíněny a popsány současné postupy a moderní řešení upínání z pohledu zkrácení výrobních časů a tím zvýšení produktivity linky.

Na základě získaných informací v úvodu práce byl připraven návrh technologického demonstrátoru a jeho klíčových komponent. Tento návrh hrál důležitou roli ve vývoji celého vakuového upínacího systému z pohledu ověření funkčnosti ejektoru pro vytvoření vakua uvnitř hliníkové desky a těsnosti upnutí dílu v oblastech uzavíracích šroubů a těsnění. Pro výrobu desky bylo nezbytné vytvoření modelu a výkresu v programu Autodesk Inventor Professional 2018 podle něhož pak následně byla deska vyrobena z části na konvenční frézce TOS FNGJ 20 a z části na CNC frézce Slovtos FCM 22 CNC VMC 5, přičemž pro použití CNC frézky byl napsán NC program v softwaru Mikroprog. Vyroběný technologický demonstrátor byl otestován a možná vylepšení byla zohledněna v návrhu a při výrobě vakuového upínacího systému.

Samotný vakuový upínací systém byl navržen s ohledem na požadovanou funkčnost v halových laboratořích. Rozměry a velikost rastru byly určeny v rámci spolupráce a vyhovění požadavkům za strany zaměstnanců fakulty strojní ČVUT.

Výroba vakuového upínacího systému probíhala z části na konvenčních strojích, kterými byly konvenční frézka TOS FNGJ 20 a radiální vrtačka Kovosvit MAS VR4 a z části na CNC pětiosém frézovacím centru Okuma MU-400V II.

NC kód pro výrobu byl vytvořen v závislosti na modelu exportovaného do CAM software Autodesk Fusion 360. Upínací systém byl otestován a byly navrženy možné úpravy pro vylepšení funkčnosti a životnosti dílů. V závěru práce byl celý vývoj, výroba a návrh komponentů vyčíslen ve třech bodech. Prvním bodem byl návrh a výroba technologického demonstrátoru, který byl vyčíslen na 45 128 Kč bez DPH. Následně návrh, vývoj a výroba vakuového upínacího systému v rámci této bakalářské práce s volbou strojů s ohledem na výukovou stránku práce, který byl vyčíslen na 76 160 Kč bez DPH. Posledním bodem ekonomické analýzy bylo vyčíslení reálné ceny, za kterou by byla deska vyrobena s optimalizovanou výrobou a vypracovanými NC programy. Odhadovaná cena desky byla vyčíslena na 24 855 Kč bez DPH.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] SCALLAN, Peter. *Process planning*. Elsevier Science & Technology Books, 2002. ISBN 0750651296.
- [2] JANYŠ, Bohumil. *Upínání obrobků na soustruhu*. Praha: SNTL, 1961. Knižnice strojírenské výroby.
- [3] Vakuová upínací technika *Naros spol. s r.o.* [online]. Copyright © [cit. 01.05.2019]. Dostupné z: http://www.naros.cz/katalog/Prospekt_Vakuum_CZ.pdf
- [4] Vakuové upínací desky pro obrábění | MM spektrum [online]. Copyright © 2019 www.mmspektrum.com [cit. 03.05.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vakuove-upinaci-desky-pro-obrabeni.html>
- [5] Magnetic Workholding for Production Parts : Production Machining. [online]. Copyright © Gardner Business Media, Inc. 2019 [cit. 05.06.2019]. Dostupné z: <https://www.productionmachining.com/articles/magnetic-workholding-for-production-parts>
- [6] Bourdon tube pressure gauge - operating principle - WIKA [online]. Copyright © 2019 WIKA Alexander Wiegand SE [cit. 26.05.2019]. Dostupné z: <https://blog.wika.com/knowhow/bourdon-tube-pressure-gauge-operating-principle/>
- [7] Vakuummeter VAM-40-V1/0-R1/8-EN | FESTO. [online] [cit. 25.04.2019]]. Dostupné z: <https://www.amazon.de/VAM-40-V1-537810-Vakuummeter-Nenngr%C3%B6%C3%9Fe-Manometer/dp/B01N3AOAZU>
- [8] Shut-off valve HE-3-1/8-QS-6 | LANDEFELD. [online] [cit. 26.04.2019]. Dostupné z: <https://www.landefeld.com/artikel/cs/he-3-18-qs-6-153479-shut-off-valve/OT-FESTO012170>
- [9] Kulové kohouty a uzavírací ventily | FESTO. [online] [cit. 26.04.2019]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/HE_CZ.PDF
- [10] Příslušenství pro vakuovou techniku | FESTO. [online] [cit. 26.04.2019]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/VAC-ACC_CZ.PDF
- [11] IQSG 186 G (G 1/8", D 6 mm) - FD TOOLS s.r.o.. [online]. Copyright © 2019 FD TOOLS s.r.o. [cit. 27.04.2019]. Dostupné z: https://www.fdtools.cz/iqsg-186-g-g-1-8-d-6-mm_z613/
- [12] Nástrčná šroubení - FD TOOLS s.r.o.. [online]. Copyright © 2019 FD TOOLS s.r.o. [cit. 27.04.2019]. Dostupné z: https://www.fdtools.cz/sroubeni-sang-a_k301/nastrcna-sroubeni_k302/
- [13] Zátka vnitřní šestihran G 1/8" | LANDEFELD. [online] [cit. 28.04.2019]. Dostupné z: <https://www.landefeld.com/artikel/cs/zatka-vnitрни-sestihr-g-18-poniklovana-mosaz/VS%2018%20MSV>
- [14] Šroubení s nástrčnými koncovkami QS | FESTO. [online] [cit. 28.04.2019]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/QS_CZ.PDF

- [15] Plastic tubing PAN-6x1.SI | LANDEFELD. [online] [cit. 28.04.2019]. Dostupné z: <https://www.landefeld.com/artikel/cs/pan-6x1-si-152699-plastic-tubing/OT-FESTO014465>
- [16] Trubky na stlačený vzduch PQ | FESTO. [online] [cit. 28.04.2019]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/TUBES_CZ.PDF
- [17] Pneumatický regulační ventil | RS Components. [online] [cit. 01.05.2019]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/pneumaticke-solenoidove-ridici-regulacni-ventily/2099434/>
- [18] 7030 - TLUMIČ HLUKU GMS Velkoobchod s.r.o. [online]. Copyright © 2018 GMS velkoobchod s.r.o. [cit. 01.05.2019]. Dostupné z: <https://www.gms.cz/7030-tlumic-hluku>
- [19] Vakuové ejektory | FESTO. [online] [cit. 25.04.2019]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/VN_CZ.PDF
- [20] ELUC. ELUC [online] [cit. 01.05.2019]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1229>
- [21] KLASICKÁ VENTURIHO TRUBICE - Mattech. [online]. Copyright © 2016 MATTECH. [cit. 03.05.2019]. Dostupné z: <http://mattech.cz/produkty/klasicka-venturiho-trubice-152/>
- [22] Elektro-permanentní magnetický upínač. [online]. Copyright © SOMET CZ s.r.o. [cit. 03.05.2019]. Dostupné z: <https://somet.cz/cz/elektro-permanentni-magneticky-upinac-420x430x60-mm-36-ctvercovych-polu-50x50-mm-bez-ovladaci-jednotky>
- [23] Vakuová technika | FESTO. [online] [cit. 25.04.2019]. Dostupné z: https://www.festo.com/cms/sk_sk/9830.htm
- [24] Vakuové upínací systémy | ESPERANTO. [online]. Copyright © 2019 esperantomb.cz [cit. 03.05.2019]. Dostupné z: <https://www.esperantomb.cz/vakuove-upinaci-systemy.html>
- [25] Upínače . v-tech s.r.o. výroba CNC [online] [cit. 03.05.2019]. Dostupné z: http://v-techsro.cz/upinaci-technika?gclid=CjwKCAjw8qinBRA-EiwAaNVhwMHJIA-s2UN-vwkr425QWklwyhJ_GuJqrY3eMsM4nJ4yE-IZKpkSDBoC9iwQAvD_BwE
- [26] Hydraulická upínací technika | DESTACO [online] [cit. 07.05.2019]. Dostupné z: <https://dsczech.cz/hydraulicka-upinacia-technika-vyber>
- [27] Svěráky, upínání obrobků - GRUMANT [online]. Copyright © Grumant s.r.o.. [cit. 07.05.2019]. Dostupné z: <https://www.grumant.cz/produkty/nastroje-pro-obrabeni/upinani-obrobku>
- [28] Strojní svěrák BMS 85 s prizmou | Náradí Profesional [online]. Copyright © 2019 PROFES GROUP s.r.o., [cit. 07.05.2019]. Dostupné z: <https://www.naradiprofesional.cz/strojni-sverak-bms-85-s-prizmou>
- [29] Pardon Our Interruption. [online] [cit. 12.05.2019]. Dostupné z: <http://www.fabricatingandmetalworking.com/2019/01/how-zero-point-clamping-increases-machine-tool-spindle-utilization/>

- [30] RÖHM 3-čelistové sklíčidlo 160 mm Camlock D1-4 - Nejlepší nářadí. [online]. Copyright © 2011 [cit. 12.05.2019]. Dostupné z: https://www.nejlepsinaradi.cz/17396,cz_rohm-3-celistove-sklicidlo-160-mm-camlock-d1-4.html
- [31] Standard Vises - Gerardi SPA. [online] 12.05.2019]. Dostupné z: <http://www.gerardispa.com/products/workholding/precision-modular-vises/standard>
- [32] Centrální upínač CU-T 77 | Kastr. [online] [cit. 04.06.2019]. Dostupné z: <http://www.upinace.cz/cu77.php>
- [33] DVOUOSÝ OTOČNÝ SVĚRÁK HOLZMANN IP125. DŘEVOOBRÁBĚCÍ STROJE, DŘEVOOBRÁBĚCÍ NÁSTROJE [online] [cit. 04.06.2019]. Dostupné z: <https://www.dobrestroje.cz/dobrestroje/eshop/1-1-DREVOOBRABECI-STROJE/397-3-SVERAKY/5/2653-HOLZMANN-IP125-DVOUOSY-OTOCNY-SVERAK>
- [34] Přesný svěrák s rychlým přestavením a otočnou deskou. CNC příslušenství [online]. Copyright © 2007 [cit. 04.06.2019]. Dostupné z: <https://www.cncupinani.cz/sveraky-a-upinace/sveraky/presny-sverak-s-rychlym-prestavenim-a-otocnou-deskou>
- [35] Kleštinové upínání a jeho využití k ostření nástrojů | TumliKOVO:Technologie strojního obrábění kovů. [online]. Copyright © 2010 TumliKOVO. [cit. 04.06.2019]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/klestinove-upinani-prislusenstvi-brusky-bn-102/>
- [36] Pro Export Plus - Import - PRISMATIC JAW 150. [online]. Copyright © 2011, [cit. 05.06.2019]. Dostupné z: http://www.proexport.cz/katalog/sveraky/presne-strojni/prislusenstvi/382-890_prismatic-jaw-150/
- [37] Vacuum generator VN-10-L-T4-PQ2-VQ2-O2-P | LANDEFELD. [online] [cit. 25.04.2019]. Dostupné z: <https://www.landefeld.com/artikel/cs/vn-10-l-t4-pq2-vq2-o2-p-536807-vacuum-gener-/OT-FESTO021296>
- [38] Magnetické upínače pro obrábění a vrtání | WALMAG. [online]. Copyright © 2010 [cit. 05.06.2019]. Dostupné z: <https://eshop.walmag.cz/NextCategory/cs-CZ/P123/magneticke-upinace>
- [39] Lathe chuck/rotary table adapter | MadModder. [online] Copyright © 2017 [cit. 12.07.2019]. Dostupné z: <https://madmodder.net/index.php?topic=4834.0>

Seznam obrázků tabulek a příloh

Seznam obrázků:

Obr. č. 1 – Svěrák samostředící [32]	8
Obr. č. 2 – Aplikace strojního svěráku [32]	8
Obr. č. 3 – Strojní svěrák otočný [34]	9
Obr. č. 4 – Strojní svěrák otočný, sklopný[33]	9
Obr. č. 5 – Umístění upínek pro zamezení pohybu [1]	9
Obr. č. 6 – Soustava pro uchycení dílu upínkou [20]	10
Obr. č. 7 – Realizace upnutí za předvyrobenou drážku	10
Obr. č. 8 – Tří čelistové sklíčidlo [30]	10
Obr. č. 9 – Realizace upnutí [39]	11
Obr. č. 10 – Sada kleštin[35]	11
Obr. č. 11 – Aplikace kleštiny uvnitř svěráku	11
Obr. č. 12 – Prismatický svěrák [31]	11
Obr. č. 13 – Prismatická čelist [36]	12
Obr. č. 14 – Magnetická deska [22]	12
Obr. č. 15 – Pólový nástavec pevný [38]	12
Obr. č. 16 – Zachycování třísky [5]	12
Obr. č. 17 – Pólový nástavec pohyblivý [38]	13
Obr. č. 18 – Gravírování při upnutí na vakuové desce [4]	13
Obr. č. 19 – Zakřivená vakuová deska pro upínání trupů letadel [24]	14
Obr. č. 20 – Výměnná upínací podložka [24]	14
Obr. č. 21 – Gumový adaptér [24]	14
Obr. č. 22 – Výměnná upínací podložka [24]	14
Obr. č. 23 – Gumový adaptér [24]	15
Obr. č. 24 – Přísavná buňka FLIP-POD [24]	15
Obr. č. 25 – Upnutí tvarově složitého dílu [24]	15
Obr. č. 26 – Systém ZERO POINT [25]	16
Obr. č. 27 – Systém ZERO POINT 2 [29]	16
Obr. č. 28 – Soustava technologického demonstrátoru	17
Obr. č. 29 – Venturiho trubice [23]	18
Obr. č. 30 – Ejektor VN-10-H-T4-PQ2-VQ2-O2-P [37]	18

Obr. č. 31 – Vakuum p_u v závislosti na provozním tlaku p_1 (křivka č.1) [19]	19
Obr. č. 32 – Nasávaný objemový průtok q_{ns} v závislosti na provozním tlaku p_1 (křivka č.3) [19]	19
Obr. č. 33 – Čas t na odsátí objemu 1 l v závislosti na vakuu p_u při provozním tlaku 6 barů (křivka č.3) [19]	20
Obr. č. 34 – Funkce Bourdonova pera [6]	20
Obr. č. 35 – Řez Vakuometrem [6]	20
Obr. č. 36 – Vakuometr VAM-40-V1/0-R1/8-EN [7]	20
Obr. č. 37 – Řez nástrčným šroubením [12]	21
Obr. č. 38 – Nástrčné šroubení IQSG 186 G (G 1/8", D 6 mm) [11]	21
Obr. č. 39 – Uzavírací šroub [13]	21
Obr. č. 40 – Hadička [15]	22
Obr. č. 41 – Těsnící šňůra [3]	22
Obr. č. 42 – Dráha frézy 1	24
Obr. č. 43 – Dráha frézy 2	25
Obr. č. 44 – Vrtání díry	25
Obr. č. 45 – Dráha frézy 3	26
Obr. č. 46 – Připojovací otvory	27
Obr. č. 47 – Dráha frézy 4	28
Obr. č. 48 – Frézka	28
Obr. č. 49 – Vrtání díry	29
Obr. č. 50 – Slovtoš FCM 22 CNC VMC 5	31
Obr. č. 51 – Upnutí pomocí upínek	32
Obr. č. 52 – Frézování pěnového kvádříku	32
Obr. č. 53 – Frézování drážek	33
Obr. č. 54 – Úplná soustava technologického demonstrátoru	34
Obr. č. 55 – Soustava velké desky	35
Obr. č. 56 – Uložení vložky [19]	35
Obr. č. 57 – Rozměry vložky [19]	36
Obr. č. 58 – Schéma 3/2 ventilu [17]	37
Obr. č. 59 – Ventil HE-3-1/8-QS-6 [8]	37
Obr. č. 60 – Tlumič hluku [18]	38
Obr. č. 61 – Obrábění kratších boků po celé délce	38
Obr. č. 62 – Radiální vrtačka	38

Obr. č. 63 – Vrtání dlouhých děr.....	39
Obr. č. 64 – Strategie pro obrobení drážky.....	40
Obr. č. 65 – Vrtání děr a kruhové vybrání.....	41
Obr. č. 68 – Dráha frézy D63.....	42
Obr. č. 69 – Vrtání děr.....	42
Obr. č. 70 – Vybrání dosedacích ploch	43
Obr. č. 71 – Stav po vybrání dosedacích ploch	43
Obr. č. 72 – Obrábění drážek.....	43
Obr. č. 73 – Dráhy nástroje uvnitř drážky	44
Obr. č. 74 – Obrábění vrchního rastru	44
Obr. č. 75 – Stav po dokončení obrábění vrchního rastru.....	44
Obr. č. 76 – Hotový vakuový upínací systém včetně jeho komponentů	45

Seznam tabulek:

Tab. č. 1 – Parametry ejektoru [19].....	19
Tab. č. 2 – Parametry vakuometru	21
Tab. č. 3 – Nástroje	31
Tab. č. 4 – Parametry vložky do vakuového ejektoru [19]	36
Tab. č. 5 – Parametry ventilu HE-3-1/8-QS-6 [9]	37
Tab. č. 6 – Náklady na nástroje - technologický demonstrátor	46
Tab. č. 7 – Jednorázová investice – TD	46
Tab. č. 8 – Cena polotovaru - TD.....	46
Tab. č. 9 – Výrobní náklady konvenční frézky FNGJ 20 pro tech. demonstrátor.....	47
Tab. č. 10 – Odpisy stroje FNGJ 20.....	47
Tab. č. 11 – Výrobní náklady frézky Mikronex FCM 22 CNC pro tech. demonstrátor....	47
Tab. č. 12 – Odpisy stroje Mikronex FCM 22 CNC	47
Tab. č. 13 – Nákup klíčových komponent pro tech. demonstrátor	48
Tab. č. 14 – Náklady na nástroje – Vakuový upínací systém	49
Tab. č. 15 – Jednorázová investice – Frézovací hlava D63.....	49
Tab. č. 16 – Náklady na polotovar vakuového upínacího systému	49
Tab. č. 17 – Výrobní náklady konvenční frézky FNGJ 20 pro VaUP	49
Tab. č. 18 – Výrobní náklady radiální vrtačky Kovosvit MAS VR4.....	49
Tab. č. 19 – Odpisy stroje Kovosvit MAS VR4	50

Tab. č. 20 – Výrobní náklady frézovacího centra Okuma MU - 400V II	50
Tab. č. 21 – Odpisy stroje Okuma MU - 400V II	50
Tab. č. 22 – Náklady na nástroje	51
Tab. č. 23 – Výrobní náklady konvenční frézky FNGJ 20 pro VaUP2	51
Tab. č. 24 – Výrobní náklady tříosé CNC frézky Haas VF - 1	51
Tab. č. 25 – Odpisy stroje Haas VF - 1	51

Seznam příloh:

Příloha č. 1 – NC kód pro výrobu technologického demonstrátoru

Příloha č. 2 – Výrobní výkres technologický demonstrátor

Příloha č. 3 – Výrobní výkres vakuový upínací systém