



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE A KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ ZAŘÍZENÍ PRO DĚLENÍ MAGNETICKÝCH BODŮ S VYUŽITÍM CAD/CAM TECHNOLOGIÍ

DESIGN OF TECHNOLOGY AND A CONSTRUCTIONAL SOLUTION OF A DEVICE FOR CUTTING OF
MAGNETIC POINTS WITH THE USE OF CAD/CAM TECHNOLOGIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Kolomý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Slaný, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Adam Kolomý**
Studijní program: Základy strojírenského inženýrství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Martin Slaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23

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:

Návrh technologie a konstrukčního řešení zařízení pro dělení magnetických bodů s využitím CAD/CAM technologií

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zaměřuje na návrh vhodné technologie a konstrukčního řešení zařízení, určeného pro rychlé dělení magnetických bodů z pásu. Zařízení by mělo splňovat stanovené podmínky a mělo by vykazovat požadovanou spolehlivost pro průmyslovou výrobu. K návrhu řešení bude využito CAD/CAM systémů pro odladění chyb v konstrukci a vytvoření programu pro následné obrábění.

Cíle bakalářské práce:

- Hodnocení současného stavu.
- Návrh vhodné technologie dělení magnetických bodů.
- Navržení konstrukčního řešení s využitím CAD/CAM systému.
- Zhodnocení a srovnání navržené varianty s původním řešením.

Seznam doporučené literatury:

BILÍK, Oldřich a Martin VRABEC. Technologie obrábění s využitím CAD/CAM systémů. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univ., 2002. 128 s. ISBN 80-248-0034-9.

FŮRT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. Autodesk Inventor. Brno: Computer Press, 2007. 296 s. ISBN 978-80-251-1773-6.

CHANG, Tien-Chien, Richard WYSK a Hsu-Pin WANG. Computer-Aided Manufacturing. 3. vyd. New Jersey: Prentice Hall, 2005. 684 s. ISBN 0-13-142919-1.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Zaměření této bakalářské práce je zhodnocení současného stavu a návrh nového zařízení pro osazování magnetických bodů. V teoretické části závěrečné práce byly získány potřebné znalosti zabývající se touto problematikou. Na základě syntézy teoretických poznatků, vyhodnocení a vytyčení problematických částí současného zařízení bylo navrženo nové zařízení, které pracuje výkonněji a efektivněji. Na závěr této práce budou obě zařízení porovnána z hlediska výkonnosti a výrobního taktu. Výstupem zkoumání bude časová úspora při použití nově zkonstruovaného zařízení.

Klíčová slova

CAD/CAM technologie, krokový motor, zařízení pro osazování magnetických bodů, konstrukce, návrh řešení

ABSTRACT

The focus of this bachelor's thesis is the evaluation of the current state and the design of a new device for fitting magnetic points. In the theoretical part of the final thesis, expert knowledge of this issue was needed. Based on the synthesis of theoretical knowledge, evaluation, and assessment of problematic parts of contemporary equipment, a piece of new equipment was designed that works more efficiently and effectively. At the end of this work, both devices will be compared in terms of their performance and production cycle. The outcome of the investigation will be time-saving when using the newly constructed device.

Key words

CAD/CAM technology, stepper motor, pick and place machine, construction, solution proposal

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOLOMÝ, Adam. *Návrh technologie a konstrukčního řešení zařízení pro dělení magnetických bodů s využitím CAD/CAM technologií* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/148350>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Martin Slaný.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/diplomovou práci na téma Návrh technologie a konstrukčního řešení zařízení pro dělení magnetických bodů s využitím CAD/CAM technologií vypracoval(a) samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

místo, datum

Adam Kolomý

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Martinu Slanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl také poděkovat své rodině za podporu a trpělivost, kterou se mnou měli při psaní mé závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD	9
1 Teoretická část.....	10
1.1 Technologie CAD/CAM	10
1.1.1 CAD systémy	10
1.1.2 CAM systémy	11
1.2 Krokový motor	12
1.2.1 Princip krokového motoru	13
1.2.2 Členění krokových motorů	14
1.2.3 Výhody krokových motorů.....	15
1.2.4 Nevýhody krokových motorů.....	15
1.3 Řízení strojů.....	16
1.3.1 Mikrokontrolery.....	16
1.3.2 PLC	16
1.3.3 Redukční karty RAMPS	17
1.3.4 Drivery krokových motorů	17
1.4 Rychlostní kamery.....	17
1.4.1 Princip rychlostních kamer	17
1.4.2 Využití rychlostních kamer.....	18
1.4.3 Snímkovací frekvence	18
1.4.4 Phantom T4040.....	19
2 Praktická část.....	20
2.1 Popis současného osazovacího zařízení	20
2.1.1 Popis jednotlivých částí zařízení	22
2.1.2 Popis magnetického bodu	23
2.1.3 Popis chodu zařízení	24
2.1.4 Nevýhody současného zařízení.....	37
2.1.5 Zhodnocení současného osazovacího zařízení	38
2.2 Návrh nového zařízení pro dělení a osazování magnetických bodů	40
2.2.1 Výhody nového řešení	42
2.2.2 Chod nového zařízení	42
2.2.3 Zhodnocení nového osazovacího zařízení	42
2.2.4 Výroba vybraných dílů	45
2.3 Srovnání původního a nového řešení zařízení pro dělení magnetických bodů	49
2.3.1 Porovnání původního zařízení s novým zatřízením na základě výrobních časů jednotlivých bloků.....	49
2.3.2 Porovnání původního s novým zatřízením na základě uražené vzdálenosti pozicovacího suportu.....	50
DISKUZE.....	52
ZÁVĚR.....	55
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	56
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	59

ÚVOD

Podniky jsou v současné době nuceni vlivem konkurence snížit výrobní a provozní náklady. Výrobní řetězec toho například dosahuje navýšením výrobní produktivity, urychlením výrobního procesu nebo snížením vedlejších časů výroby. V řadě možností, jak docílit větší efektivity, hraje roli lidský faktor. Člověk podléhá únavě, musí spát, jíst a pít. V neposlední řadě dělá chyby. Proto řada průmyslových odvětví přechází na robotizovanou výrobu nebo alespoň na výrobu, která je co nejméně závislá na lidské činnosti, díky čemuž se z části vyhne zmíněným nedostatkům.

Velký vliv na dobu výrobního taktu mají vedlejší časy – zejména přemísťování, upínání a příprava polotovarů s následným odebráním zhotovených součástí. Z toho důvodu se vyvinuly tzv. pick and place zařízení. Výhodou těchto zařízení je rychlé a přesné odebrání a položení určité věci na stanovené místo. Tyto zařízení můžou být provozovány v nepřetržitém provozu téměř bez obsluhy člověka, pokud jsou tomu řádně uzpůsobeny.

Tato bakalářské práce se konkrétně zaměřuje na pick and place zařízení ke stříhu a osazování magnetických bodů. Pokud by člověk pokládal magnetické body ručně místo tohoto osazovacího zařízení, výrobní takt by se tím to rapidně prodloužil (vlivem únavy, chybovosti apod.). Kvůli tomu je tato představa zcestná.

Teoretická část závěrečné práce bude poskytovat teoretický aparát pro porozumění pick and place zařízení. V praktické části práce je zhodnoceno konkrétní (současné) zařízení pro osazování magnetických bodů (výhody a nevýhody). Díky těmto poznatkům byl vytvořen návrh nového zařízení, který bude pracovat bez zjištěných nedostatků soudobého zařízení, a navíc ještě s nižším výrobním taktem.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část bakalářské práce bude popisovat základní části pick and place zařízení. Tyto teoretické poznatky budou následně využity pro návrh nového pick and place zařízení pro osazování a stříh magnetických bodů.

1.1 Technologie CAD/CAM

CAD/CAM jsou zkratky anglických slov Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing. V překladu CAD znamená počítačem podporovaný návrh. Zkratka CAM je překládána jako počítačem podporovaná výroba. Tyto softwary moderní doby jsou spojeny s mnoha průmyslovými odvětvími jako například virtuální inženýrství, zdravotnictví či rapid prototyping. Tyto technologie mají svoje uplatnění, protože urychlují výrobní proces a vývoj produktu. Jejich užívání snižuje peněžní náklady a odpad. Výhodou CAD/CAM softwarů je jejich flexibilita, protože dokážou úspěšně zareagovat na změnu výrobku, produkce, vybavení atd [1; 2; 3].

1.1.1 CAD systémy

Tyto programy jsou využívány pro virtuální modelování součástek či celých strojů. Jejich výhodou je rychlost a názornost, neboť za krátký čas je možnost v tomto programu namodelovat součást, kterou si každý člověk snadno představí. V následujících podkapitolách jsou popsány vybrané kategorie CAD systémů.

Free CAD systémy

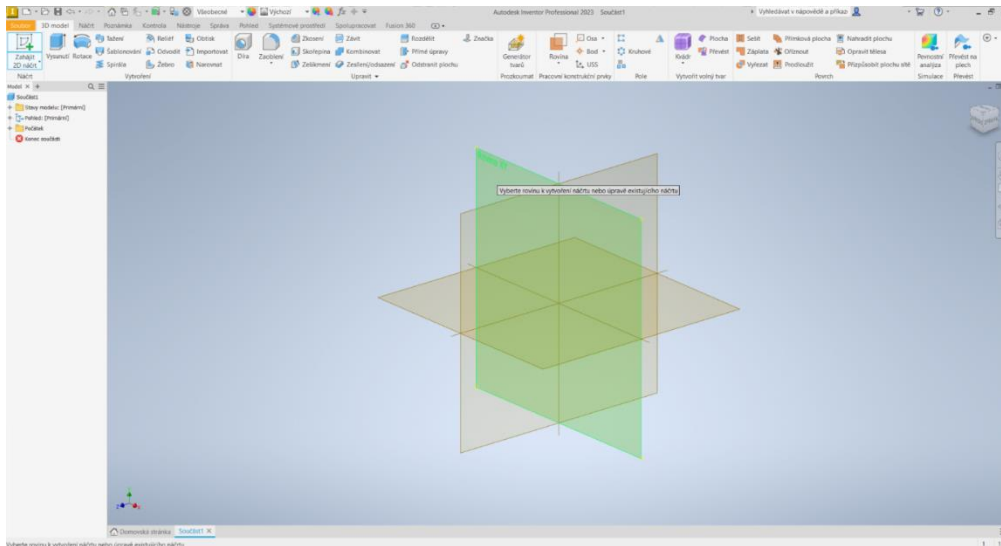
Bezplatné open source softwary pro domácí použití, které nepotřebuje sofistikované modelování.

- LibreCAD je open source 2D-CAD software. Jeho výhodou je přístupnost, neboť ho lze použít pro Windows, macOS či Linux ve více než 30 jazycích [4].
- FreeCAD je open source 3D-CAD aplikace, kterou lze nainstalovat na Windows, Linux nebo macOS. Výhodou je modelování reálných trojrozměrných objektů [5].
- OpenSCAD je volně přístupný 3D-CAD software. Ovládání softwaru se děje pomocí programovacího skriptu, díky němuž lze vytvořit 3D objekty [6].

Obecné systémy CAD

Plně placené aplikace pro složité modelování a simulování chodu součástek.

- Autodesk Inventor (viz obr. 1.1)
- SOLIDWORKS
- AutoCAD



Obr. 1.1 Autodesk Inventor Professional 2023.

Profesionální CAD systémy

Jedná se o specializované CAD softwary vytvořené pro určité průmyslové odvětví:

- CATIA – dopravní průmysl,
- SketchUp – stavební průmysl,
- NX,
- Creo.

1.1.2 CAM systémy

Tyto aplikace mají svoje uplatnění v řízení a programování CNS strojů. Na dalších řádcích jsou popsány zvolené druhy CAM systémů.

Integrované CAM systémy

Tyto softwary jsou součástí CAD systémů. Jejich výhodou je rychlá spolupráce s těmito systémy:

- CAMWorks – umožňuje propojení SOLIDWORKS a CAM aplikace do jednoho systému [7],
- HSMWorks – lze ho integrovat do aplikace SOLIDWORKS [8],
- Inventor CAM je programovací doplněk CNC strojů do Inventoru [9].

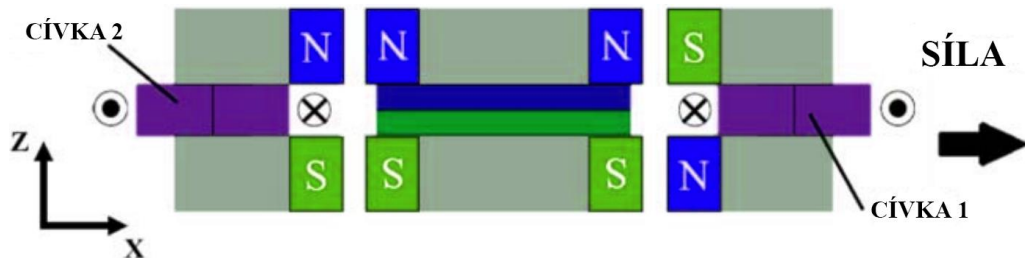
Profesionální CAM systémy

Plně specializované CAM aplikace pro řízení CNS strojů. Nevýhodou je vysoká cena a nemožnost úpravy 3D nebo 2D modelu v samotném CAM systému:

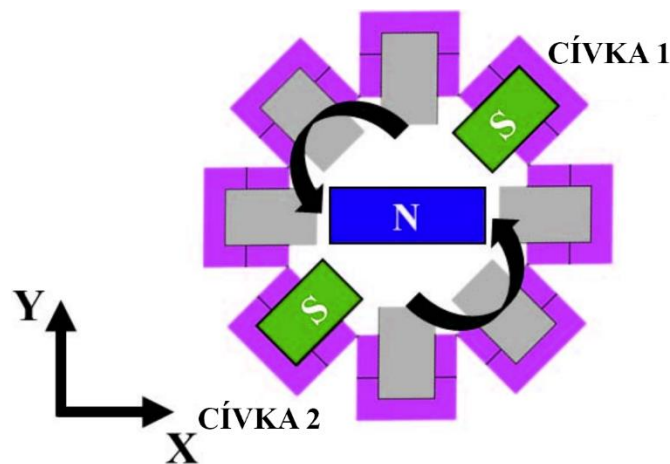
- POWERMILL – CAM program pro 5osé frézování [10],
- Mastercam – nejvíce používaný CAM program na světě [11].

1.2 Krokový motor

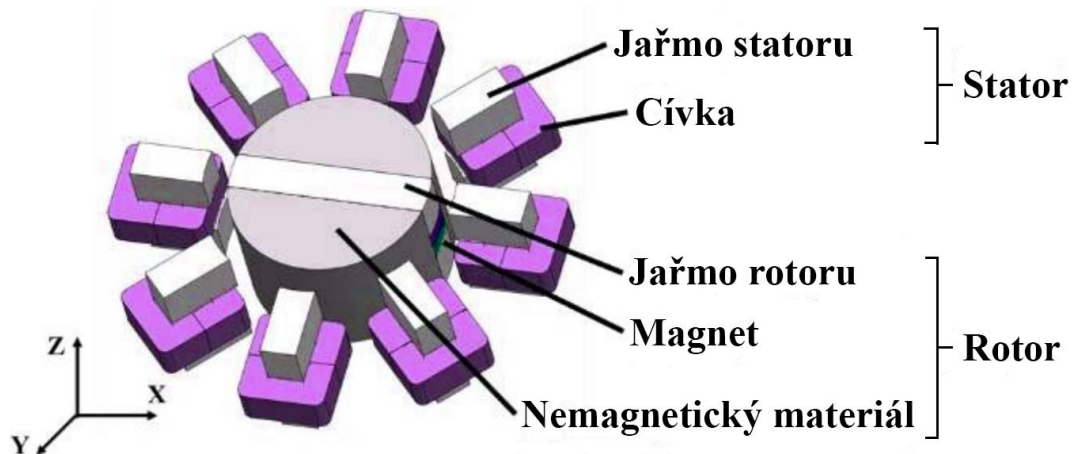
Tento druh synchronního elektromotoru využívá stejnosměrného proudu, který je poháněn impulzivně. Hlavní schopností krokového motoru je přeměna elektrického impulsního signálu do úhlového či translačního posunutí. Jeho charakteristická vlastnost je nespojitost pohybu, které lze dobře zpozorovat při malých otáčkách motoru. To je způsobeno tím, že pohyb (translace – obr. 1.2 či rotace – obr. 1.3) motoru je rozdělen po dílčích krocích. Tyto kroky vyjadřují ustálené pozice během pohybu. Rysem krokového motoru je tím pádem úhlové rozpětí po sobě jdoucích kroků či množství kroků připadajících na jedno otočení motoru. Četnost proudících pulsů udává, jakou rychlostí se bude krokový motor pohybovat [12; 13; 14; 15]. Jednotlivé části krokového motoru jsou znázorněny na obrázku 1.4.



Obr. 1.2 Translační pohyb krokového motoru převzato z [16].



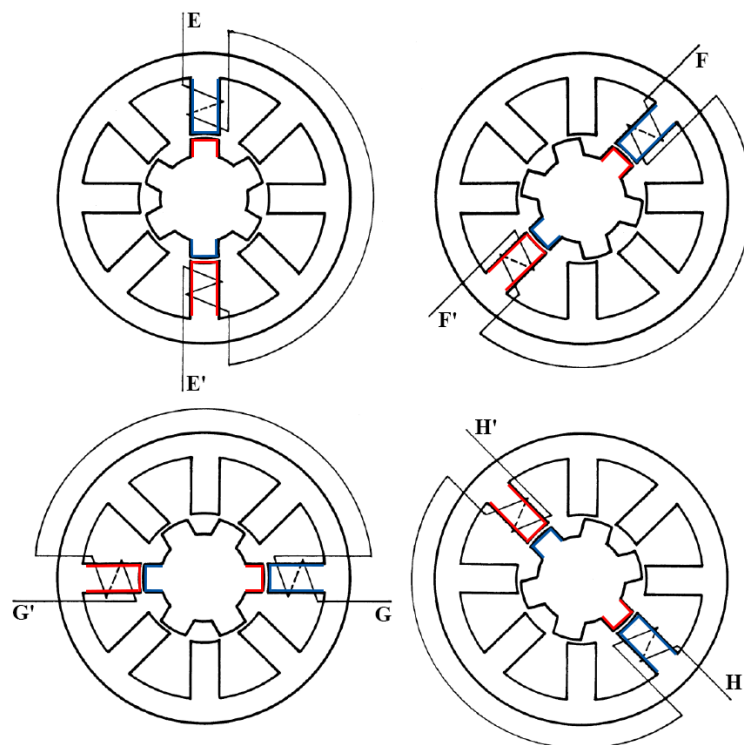
Obr. 1.3 Rotační pohyb krokového motoru dle [16].



Obr. 1.4 Nákres statoru a rotoru v rámci [16].

1.2.1 Princip krokového motoru

Krokový motor funguje na principu magnetického pole, který se dá dobře vysvětlit na čtyřfázovém krokovém motoru s proměnnou reluktancí. Základními částmi tohoto krokového motoru je stator a rotor (stejně tomu bývá i u jiných druhů elektromotorů). Rotor je tvořen šesti zářezy, které tvoří zuby, na kterých nejsou žádné cívky. Na výběžcích statoru jsou v protilehlých párech, tvořících jednu fázi, natočeny cívky – K, L, M, N (viz. obr. 1.5). Stejnsměrné napětí připojené na určité fázi indukuje magnetické pole uprostřed pólů, které způsobuje prezenci magnetického toku pole. Tento tok vybírá cestu nejmenší reluktance, což způsobuje rotační pohyb rotoru, který se ustálí v poloze minimálního magnetického odporu. Pro uskutečnění dalšího kroku je nutné přerušit napájení první fáze a zapojit další fázi, kde bude docházet ke stejnému algoritmu [17; 18; 19].

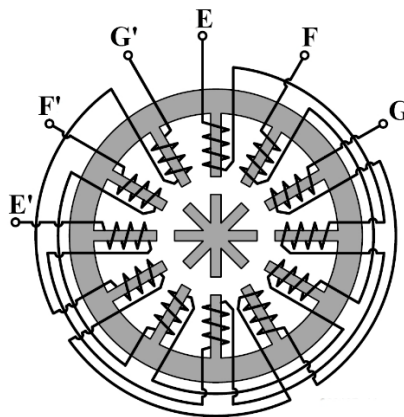


Obr.1.5 Princip otáčení rotoru v rámci jednotlivých fází na základě [17].

1.2.2 Členění krokových motorů

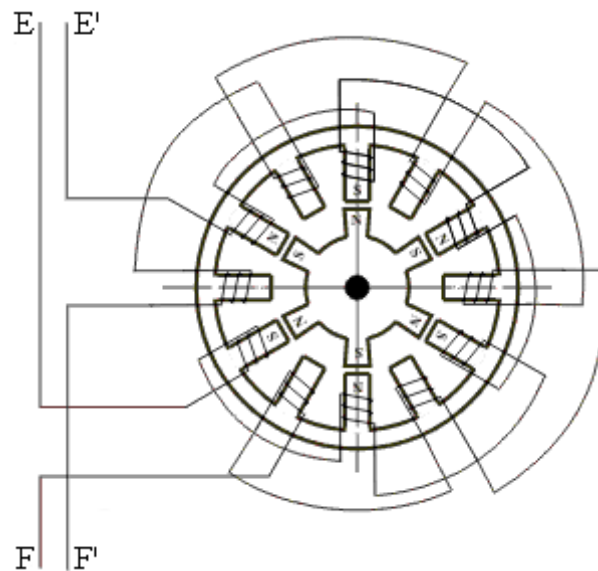
Pro dělení krokových motorů existuje mnoho parametrů. Mezi nejznámější parametry dělení patří kritérium konstrukčního sestavení motoru, jež je charakteristický lineárním či rotačním pohybem. Dále se tyto druhy krokových motorů člení z hlediska použitého rotoru, který může být buď aktivní či pasivní. Motory s aktivním rotorem se vyskytují ve sdružení s permanentním (stálým) magnetem – krokové motory s permanentními magnety. Pasivní rotor se nalézá u krokových motorů s proměnnou reluktancí či magnetickým odporem. Typickým materiálem pro výrobu pasivního rotoru je feromagnetická látka. V neposlední řadě také existují druhy motorů využívající oba zmíněné principy. Těmto motorům se říká krokové motory hybridní. Posledním často udávaným tříděním je dělení na základě použitých fází – vícefázové, třífázové či dvoufázové. Ty se pak mohou rozlišovat dle vyvolávání (magnetizací) fází – bipolární nebo unipolární. Všechny ze zmíněných druhů krokových motorů mají své výhody a nevýhody. [13; 20] Vybrané druhy krokových motorů jsou podrobněji vysvětleny na následujících řádcích.

- **Krokový motor s proměnnou reluktancí** je používán tam, kde jsou minimální potřeby na dynamický výkon, neboť tento druh motoru má prostou konstrukci, jemný krokový úhel a dostupnou pořizovací cenu [15]. Vybraný druh motoru je znázorněn na obrázku 1.6.



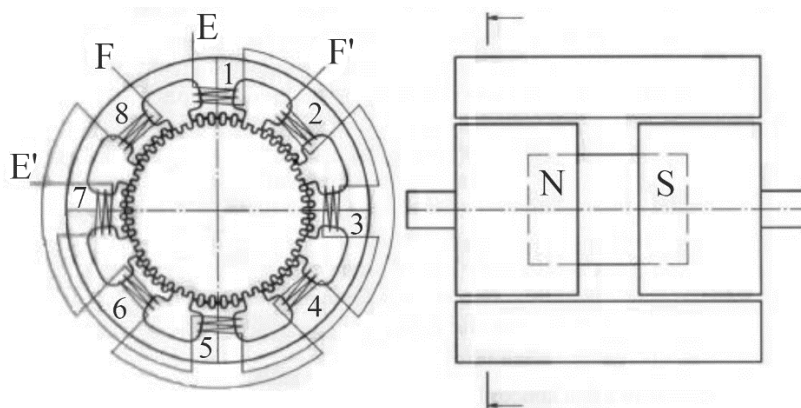
Obr. 1.6 KM s proměnnou reluktancí podle [19].

- **Krokový motor s permanentním magnetem** vyčnívá jednoduchou strukturou, z níž vyplývá nízká pořizovací cena. Tohoto druhu KM se využívá v automobilovém průmyslu a běžné elektronice. Jediným patrným omezením tohoto motoru může být značný rozměr jednoho kroku – 7,5 stupně nebo jeho dvojnásobek či nízký výkon (v komparaci s krokovým motorem s proměnnou reluktancí má však větší krouticí moment) [19; 21]. Tento druh motoru je na obrázku 1.7.



Obr. 1.7 KM s permanentním magnetem dle [22].

- **Krokový motor hybridní** upoutává pozornost nejlepšími dynamickými a momentovými charakteristikami. Díky těmto vlastnostem se v dnešní době primárně aplikují tyto třídy krokových motorů [19]. Hybridní krokový motor je vyobrazen na obrázku 1.8.



Obr. 1.8 KM hybridní na základě [23].

1.2.3 Výhody krokových motorů

Mezi výhody těchto motorů spadá dlouhá doba užívání s nepatrnou údržbou. Oproti jiným typům motorů mají nízkou pořizovací cenu. Krokové motory dosahují v nejmenších obrátkách maximálního točivého momentu. Dalším pozitivem krokových motorů je precizní ovládání otáček a pozicování. Tento klad je umocněn tím, že nemusí být podávána zpětná odpověď o současné pozici. Tyto motory jsou poměrně nezávislé na velikost zátěže [23; 24].

1.2.4 Nevýhody krokových motorů

Elektrický proud je u krokových motorů permanentně odebírán, což je řazeno mezi nedostatky těchto motorů. Ke spotřebě energie dochází totiž i ve chvílích, kdy se rotor nepohybuje. Pokud se při používání krokového motoru přesáhne mezní zatížení dochází ke zbavení kroku. Krokové

motory se také vyznačují nestabilitou při pohybu, která je způsobena mechanickým kmitáním [23; 24].

1.3 Řízení strojů

Jedná se o důležitou oblast provozování strojů. Obecně lze říct, že žádný stroj bez správného řízení, nebude optimálně fungovat. Na následujících řádcích jsou podrobněji popsány vybrané prvky, které mají značný vliv na správné řízení stroje.

1.3.1 Mikrokontrolery

Konkrétní typy mikrokontrolerů jsou zmíněny v následujících podkapitolách.

Arduino

Jedná se o výpočetní aparát složený z pracovní desky s mikrokontrolérem AVR Atmel obsahující software s propojeným rozvojovým prostředím (Processing a Wiring). Tato platforma byla uvedena již roku 2003. Do známosti se dostala díky jednoduchému použití ve volnočasových dílech, kde jsou zapotřebí mikrokontrolery. Arduino má schopnost rozpoznat vstupy jako stlačení knoflíku, světlo na čidle či sdělení na sociálních sítích. Tyto vzruchy mohou být transformovány pomocí desky Arduino do výstupu, jehož obrazem může být rozsvícení LED diody či zapnutí motoru. Tento přístroj také upoutal svoji pozornost díky své nízké pořizovací ceně za základní desku (cca 5 \$). Podobným a konkurenčním zařízením je například přístroj Raspberry Pi. Tyto typy hardwarů nabývají obrovského výkonu v poměru se svými malými deskami. Jejich široké uplatnění je ve shromažďování a zpracování dat, vytváření sítí či automatizaci [25; 26; 27]. Mimo jiné se také mohou objevovat i v neurofyziologických a psychologických laboratorních zařízeních [28].

Mezi výhody Arduino patří jeho jednoduchost, kompaktnost, přemístitelnost, nezávislost a výstižnost, neboť bez přítomnosti vnější počítačové techniky a softwaru je schopen zpracovat pokusný skript do paměti desky a nechat ho spuštěný. Nicméně Arduino pracuje jak v prostředí Windows, Linux či MacOS, což je pro zařízení s mikrokontrolérem výjimečné, neboť majorita z nich může být spuštěna pouze v operačním systému Windows. Plusem tohoto systému je také dostupnost mnoha bezplatných kódů a hardwarových vylepšení, které se dají použít pro nespočet děl. To je způsobeno tím, že se jedná o open source platformu. Nevýhoda Arduino tkví v nedostatečné podpoře, což se pro běžnou populaci může stát osudným při používání tohoto systému [25; 27; 28].

Raspberry Pi

Raspberry Pi je obdobné zařízení jako Arduino. Využití tohoto mikrokontroleru spočívá v řízení malých jednoduchých zařízení [29].

1.3.2 PLC

Programmable Logic Controller jsou anglická slova, ze kterých je odvezena zkratka PLC. Do českého jazyka se toto slovní spojení překládá jako programovatelný logický automat. Je to kompaktní počítač s nezávislým operačním prostředím, který je ovládaný mikroprocesorem. Funkcí PLC je řízení strojů, automatizace apod [30; 31]. Opět jsou na následujících řádcích popsány vybrané PLC zařízení.

Fanuc

Fanuc je firma, která poskytuje nejvíce CNC softwarů na světě. Jedná se o řídicí systémy, které dokážou ovládat CNC stroje. Jejich výhodou je ovládací panel, díky němuž se dá daný stroj

přímo ovládat. Součástí balení Fanuc jsou konektory, kabeláž, ovladače, motory a posilovače. Nevýhodou však je pořizovací cena, které je podstatně větší než řídicí systémy s mikrokontrolerem. Příkladem zařízení pro 5osé frézy je CNC Series 30i / 31i / 32i-MODEL B [32].

Blumenbecker

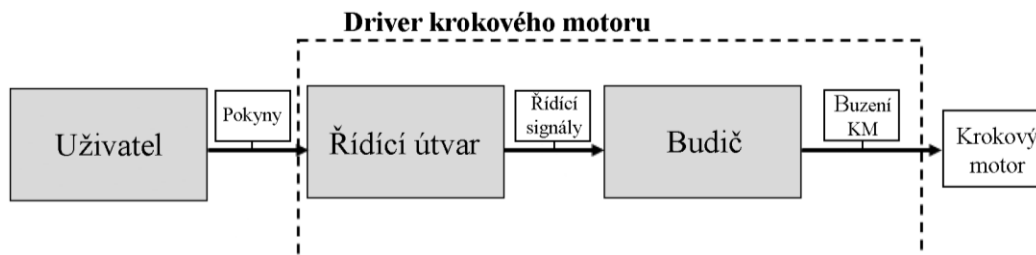
Rovněž se jedná o firmu, která také poskytuje PLC software [33].

1.3.3 Redukční karty RAMPS

Zkratka RAMPS představuje anglický název RepRap (replicating rapid prototyper = replikující se rychlý výrobce prototypů) Arduino Mega Pololu Shield. Tato deska je určená pro propojení veškerých elektronických součástí do jednoho dílu RepRap za nepatrnou nákupní cenu. Redukční karta RAMPS sdružuje Arduino Mega, kde se vyskytuje mikrokontroler s driverem krokového motoru. Dále poskytuje místo pro rozšíření jednotlivých součástí. Jestliže se karta RAMPS vyskytuje na špičce zásobníku, poté je umožněno do soustavy dodat rozšiřující desku Arduino [34; 35].

1.3.4 Drivery krokových motorů

Driver je součástka, bez které se krokový motor neobejde. Jeho účel je distribuce elektrického proudu, který vstupuje do dílčích fází krokového motoru. Driver krokového motoru zabezpečuje, aby měl proud ve správném čase optimální výchylku (amplitudu) a fázové posunutí. Tento princip obstarává ideální rychlost, vhodnou velikost kroutícího momentu a správný směr pro otáčky krokového motoru [36]. Na obrázku 1.9 je schématický popis ovládání krokového motoru pomocí driveru.



Obr. 1.9 Ovládání krokového motoru skrze driver podle [36].

1.4 Rychlostní kamery

První snahy o zobrazování s vysokou snímkovací frekvencí jsou spojené s anglickým fotografem Eadwardem Muybridgem, který v 70. letech 19 století fotografoval pohybující se koně [37].

1.4.1 Princip rychlostních kamer

Tyto kamery se využívají pro zaznamenání rychle se přesouvajících předmětů ve formě fotografických snímků na určité paměťové úložiště. Výhodou rychlostních kamer oproti běžným kamerám je ten, že po záznamu lze snímky nahrané na nosiči spustit zpomaleně bez toho, aby došlo k trhanému přehrávání [37]. Toho lze například využít při vyladování rychlých výrobních operací. Při velkosériové výrobě (výroba nápojových plechovek apod.) hraje každá setina sekundy významnou roli, proto se zde využívají rychlostní kamery, které dokážou zaznamenat výrobní operace, které by byly okem nepostřehnutelné. Výrobní operace se tímto dají nastavit tak, aby nedocházelo k zbytečným prostojům.

První rychlostní kamery fungovaly na principu, který využíval film k záznamu pohybujících se předmětů. Tyto kamery byly však nahrazeny elektronickými zařízeními využívající buď zařízení s nabíjecí vazbou – CCD nebo snímač aktivních pixelů CMOS, zaznamenávající obvykle přes 1 000 snímků za sekundu do DRAMu [37]. Na následujících řádcích jsou vypsány vybrané typy rychlostních kamer, které pracují na rozdílných principech [38]:

- the Kerr cell,
- canz-Schardin camera,
- rotating mirror cameras,
- rotating prism cameras,
- camera tube construction,
- the Hadland Imacon camera
- ultrafast electronic streak cameras.

1.4.2 Využití rychlostních kamer

Rychlostní kamery se využívají v řadě odvětví jako například [39]:

- dopravní průmysl,
 - automobilní,
 - záznam nárazových (crash) testů,
 - letecký,
 - záznam vzlet letadla nebo rakety,
 - záznam spalování pohonných hmot,
- vojenský průmysl,
 - zbraně,
 - balistika,
- biomechanika,
 - pohyb člověka,
- materiály,
 - šíření trhlin,
 - vibrace,
- zábavný průmysl,
 - televizní vysílání.

1.4.3 Snímkovací frekvence

Snímkovací frekvence úzce souvisí s rychlostními kamerami. Jednotkou snímkovací frekvence obvykle bývá počet snímků za vteřinu (anglicky frames per second = fps). Aby se docílilo zpomaleného videa, je zapotřebí vyšší snímkovací frekvence záznamu než rychlost (fps) přehrávání nahraného záznamu. Pokud například rychlostní kamera vytvoří záznam se snímkovací frekvencí 500 fps a výsledný záznam se bude přehrávat rychlostí 25 snímků za sekundu, dojde ke dvaceti násobnému účinku zpomalení pohybujících se předmětů v záznam

u. Záběry při sportovních vysíláních jsou zpravidla v rozmezí 4násobného až 8násobného zpomalení [40].

Praxe se často setkává s tím, že rychlostní kamery jsou schopny natáčet buď ve vysoké snímkovací frekvenci se současně nízkým rozlišením a zorným polem nebo v nízké snímkovací frekvenci s vysokým rozlišením a zorným polem. Mnohdy je potřeba najít ideální poměr mezi těmito dvěma stavy [40].

Dalším kritériem může být velikost záznamu v úložišti. Rychlostní kamery dokážou v krátké době nashromáždit velké množství obrazových dat. Pokud by byla zvolena příliš vysoká snímkovací frekvence, mělo by to dopad na nároky úložiště, kam jsou záznamy nahrávány. Na druhou stranu nízká snímkovací frekvence může poskytnout nedostatečné informace o chování subjektu v záznamu [40].

1.4.4 Phantom T4040

Jedná se o nejvýkonnější 4 Mpx rychlostní kameru od značky Phantom. Tato kamera je schopná nahrávat v rozlišení 2560 x 1664 pixelů až při 444 tisících snímcích za vteřinu. Vybraná kamera je zobrazené na obrázku č. 1.10. Mezi další výrobce rychlostní kamer patří například Olympus nebo Chronos [41].



Obr. 1.10 Rychlostní kamera Phantom T4040 [41].

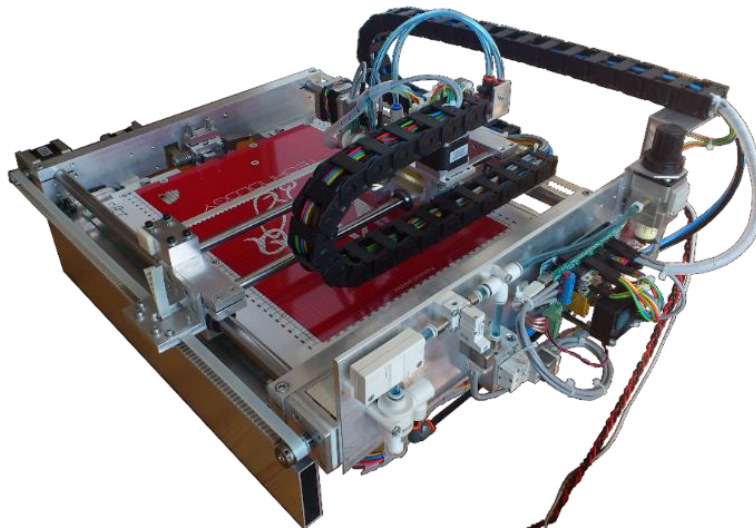
2 PRAKTICKÁ ČÁST

Tato část bakalářské práce je zaměřena na popis činnosti zařízení pro osazování magnetických bodů, analýzu procesu a definování kritických fází procesu. Bude zde popsán princip jednotlivých součástí a využití tohoto zařízení. V této kapitole také dojde k aplikování teoretických poznatků z předešlé části závěrečné práce k vytvoření návrhu nového zařízení k osazování magnetických bodů. Nové zařízení by mělo eliminovat nedostatky současného zařízení. Důraz bude kladen na zrychlení výrobního taktu, navržení výrobního postupu zvolených komponent a zjednodušení konstrukce.

2.1 Popis současného osazovacího zařízení

Tento druh zařízení se v anglickém jazyce označuje jako pick and place machine. Využití těchto zařízení spočívá v rychlém přemístování objektů z jednoho místa na druhé. Konkrétně se tento proces skládá ze dvou hlavních kroků vzít – pick a položit – place.

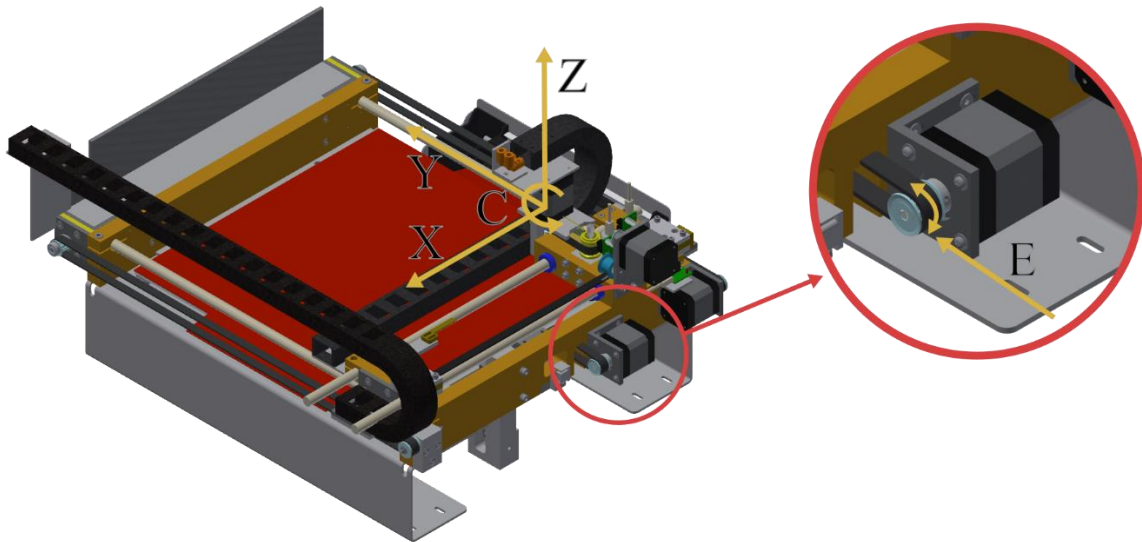
Toto zařízení (znázorněné na obrázku 2.1) je určeno pro osazování magnetických bodů na předem definované souřadnice X a Y. Pozice bodu s sebou nese další parametr, a to je natočení magnetického bodu o definovaný úhel podél osy C. Osa Z je reprezentována osazovacím pístem. Jedná se o jednočinný pneumatický píst, který slouží pro zajištění pohybu mezi pozicí A a B. V pozici A je magnet přenášen v bezpečné výšce nad pracovním prostorem, v pozici B je magnet umístěn na požadovanou souřadnici. Magnetické body jsou na souřadnice distribuovány pomocí podtlakové přísavky, která je umístěna na pístu osy Z. Součástí suportu je dále krokový motor zajišťující pozicování v ose X, krokový motor pro realizaci natočení magnetického bodu podél osy C o požadovaný úhel, jednočinný píst osy Z a na něj napojená vakuová přísavka pro odebírání magnetických bodů.



Obr. 2.1 Současné zařízení pro osazování magnetických bodů.

V pracovním prostoru stroje je definovaná pozice pro odebírání magnetických bodů. Zde se pak nachází dělicí mechanismus, který je určen pro dělení magnetického pásu. Šíře magnetického pásu je konstantně 8 mm. Podle vysunutí magnetického pásu o určitý inkrement je možné pásek dělit na různě dlouhé magnetické body. Dělení magnetického pásu na jednotlivé magnetické body je realizováno prostřednictvím osy E, která je řízena inkrementálně. V dělicím mechanismu je upevněn dělicí nůž, který dělí magnetický pás dle vloženého programu na menší magnetické body. Po oddělení je magnetický bod automaticky vysunut na odebírací pozici, ze které je odebrán podtlakovou přísavkou. Bod je dále pozicován na souřadnice X, Y a natočen

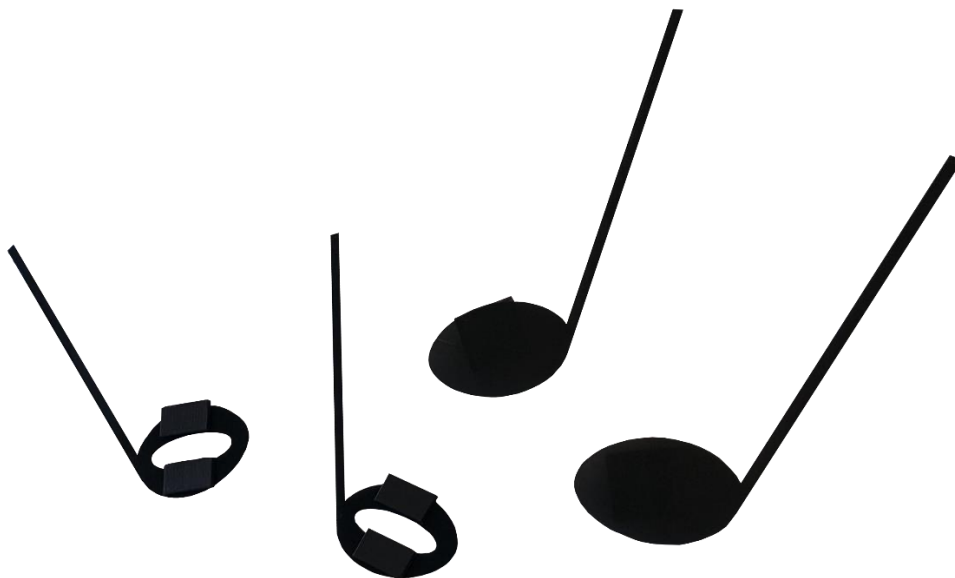
v ose C. Píst osy Z bod umístí na požadovanou pozici. Souřadný systém zařízení je vyobrazen na obrázku 2.2.



Obr. 2.2 Směry souřadnicových os.

Proces dělení magnetického pásku na jednotlivé body, následné odebrání, pozicování a umístění je opakující se proces, kdy každý bod je umístěn dle definice dané programem na individuální pozici.

Zpravidla jsou tyto magnetické body umístěvány na učební pomůcky, které se pomocí zmíněných bodů upevňují na magnetickou tabuli. Příkladem tomu můžou být hudební noty, která jsou vidět na obrázku 2.3.



Obr. 2.3 Hudební noty osázené magnetickým bodem.

Současný stav zařízení využívá systém čtyř krokových motorů s označením 42BYGH 4803-04. Dva krokové motory zaručují translační posun pozicovacího suportu v osách X a Y. Třetí elektromotor zabezpečuje natáčení (rotační pohyb) téže hlavy. Poslední motor se stará o podávání magnetu na patřičné místo v ose E. Změna polohy pozicovacího suportu je

umožněna v osách na rozsahu X – 266 mm, Y – 383 mm a Z – 345°. Vedení osazovacího zařízení je zajištěno třemi důležitými prvky – redukční karta (RAMPS 1.3), driver (Pololu A4988) a mikrokontroler (Arduino MEGA 2560). V tabulce 2.1 jsou vypsány základní parametry zařízení.

Tab. 2.1 Parametry zařízení pro dělení magnetických bodů.

Rozměr X:	266 mm
Rozměr Y:	383 mm
Rozsah Z:	345°
Redukční karta:	RAMPS 1.3
Drivery krokových motorů:	Pololu A4988
Řídicí systém:	Mikrokontrolér Arduino MEGA 2560

2.1.1 Popis jednotlivých částí zařízení

Na následujících řádcích jsou popsány nejdůležitější části zařízení pro dělení a stříhání magnetických bodů. Hlavní součásti zařízení jsou popsány v obrázku 2.4.

Souřadnicový stůl

Součást zařízení určená na umístování fólií pro osazování magnetů.

Řídicí a pneumatické systémy

Tyto systémy se starají o správné fungování zařízení.

Nosič návinu magnetického pásku

Část zařízení určené k držení magnetického pásku.

Pozicovací suport

Jedná se o část zařízení, které se stará o pozicování ustríhnutých magnetických bodů.

Dělicí mechanismus

Úsek zařízení zajišťující posun magnetického pásku, jeho stříhání a dále předání magnetického bodu pozicovacímu suportu.

Krokové motory

Krokové motory zajišťují pohon dílčích částí osazovacího zařízení.

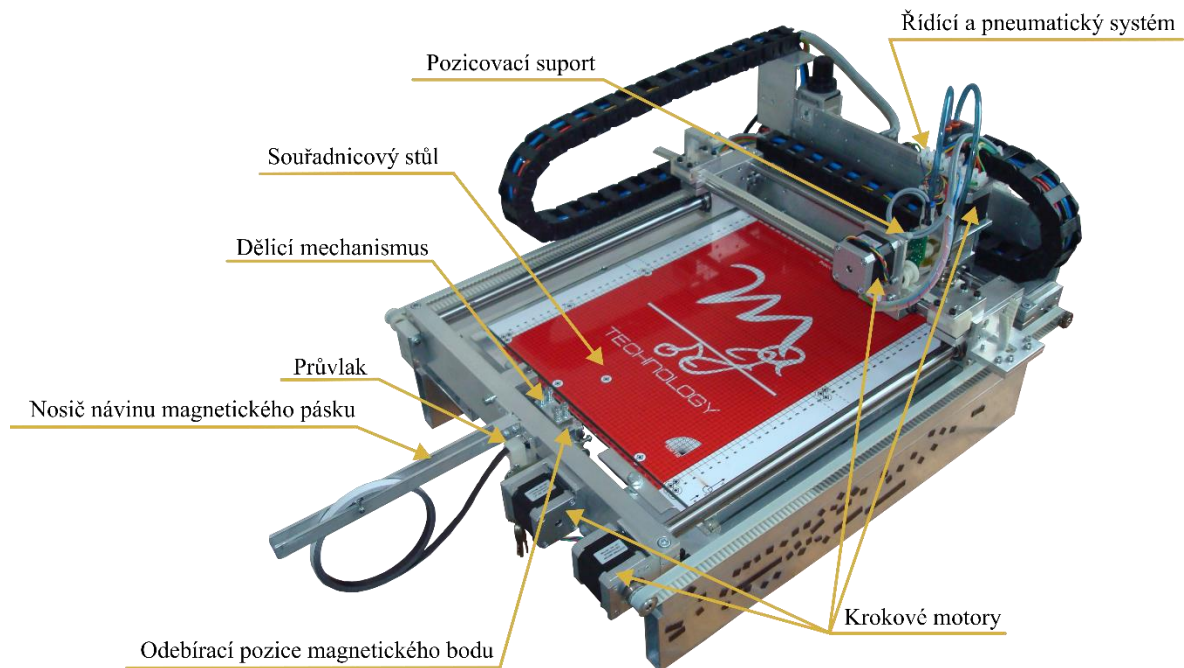
Průvlak

Díl zařízení, který se stará o oddělování papírové ochranné vrstvy z magnetického pásku.

Odebírací pozice magnetické bodu

Jedná se o část dělicího mechanismu, kde dochází k předání magnetického bodu pozicovacímu suportu.

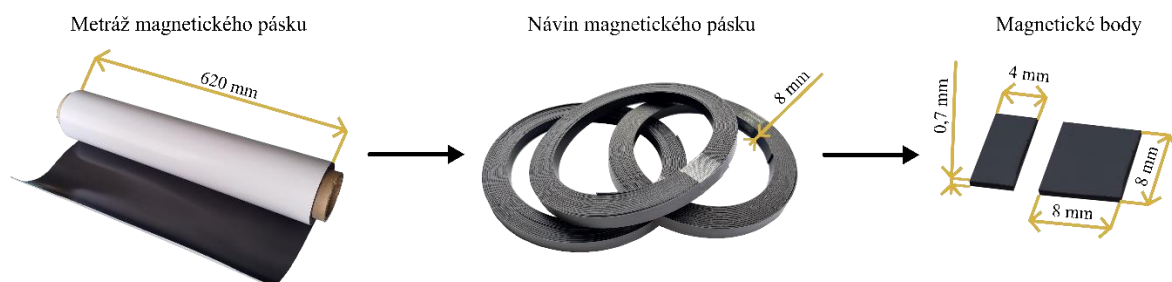
Jednotlivé části zařízení jsou vyobrazeny na obrázku 3.3. V dalších kapitolách se bude podrobněji zaměřovat pouze na pozicovací suport a dělicí mechanismus.



Obr. 2.4 Základní části zařízení.

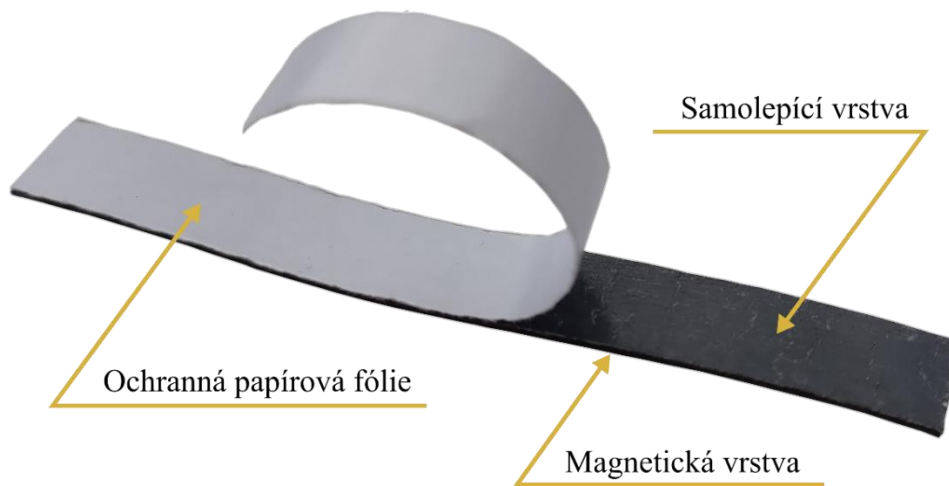
2.1.2 Popis magnetického bodu

Fólie jsou osazovány magnetickými body, které mají předem definované rozměry. Stříhání magnetických bodů na rozměry 8x8 mm, 8x4 mm nebo jiné předem definované délky se realizuje v dělicím mechanismu z navinutého magnetického pásku o délce 10 m, šířce 8 mm a tloušťce 0,7 mm. Šířka magnetického bodu je určena šířkou návinnu magnetického pásku. Takto vytvořený návin magnetického pásku se vyrábí z metráže o šířce role 620 mm. Popis přípravy magnetického bodu je znázorněn na obrázku 2.5.



Obr. 2.5 Postup přípravy polotovaru magnetického pásku pro následné dělení na jednotlivé magnetické body.

Na obrázku 2.6 jsou zobrazeny dílčí součásti magnetického pásku, kde fólie je jednostranně kaširovaná. Úskalí tohoto materiálu je jeho jednostranně lepící část. Nevýhoda spočívá v tom, že při průchodu magnetického pásku dělicím mechanismem dochází k ulpívání lepidla na jednotlivých komponentách. Dochází tak k zanášení dělicího mechanismu, což má za následek snížení spolehlivosti při dělení magnetických bodů, případně odchylování magnetických bodů z požadované dráhy posuvu. Zásadní vlastnosti magnetického pásku jsou tvrdost a směrová orientace pólu. Dále je magnetický pásek abrazivní, což má za následek, že během stříhání magnetických bodů dochází k opotřebování a zároveň broušení stříhacího nože.



Obr. 2.6 Složení magnetického pásku.

2.1.3 Popis chodu zařízení

Osazování magnetických bodů je realizováno pomocí CNC programu, který je napsán v ISO kódu. V rámci programu se řeší pozicování, dělení a další nezbytné operace magnetických bodů. Program je skládán ze třech hlavních programovacích bloků:

- osazení prvního magnetického bodu,
- osazení každého dalšího magnetického bodu,
- osazení posledního magnetického bodu.

Program je do těchto bloků rozdělen, protože osazení prvního a posledního magnetického bodu je odlišné od ostatních magnetických bodů.

Řídicí systém stroje nedokáže přijímat zpětnou vazbu, zda dílčí krok osazovacího programu proběhl. Proto jsou v ISO kódu po každém příkazu zařazeny časové prodlevy, v rámci kterých je aktuální krok spolehlivě vykonán. Zvolené časové prodlevy jsou dlouhodobě sledovány a následně upravovány pro zajištění spolehlivosti procesu. Průměrná doba osazovacího taktu je zhruba 3,1 sekundy. Dílčí kroky CNC programu jsou napsány na následujících řádcích. Jednotlivé kroky budou vyhodnoceny z hlediska času, neboť v rámci bakalářské práce se řeší časová úspora těchto kroků. Na základě tohoto se bude v kapitole 3.2 navrhovat nové zařízení. Časy jednotlivých kroků jsou vypsány v tabulkách č. 2.2, 2.3 a 2.4.

Proces osazování prvního magnetického bodu

1. Zreferování souřadnicových os (současně s následným 2. krokem)
2. Najetí magnetického pásku na výchozí pozici
3. Oddělení magnetického bodu
4. Odebírání magnetického bodu
5. Pozicování magnetického bodu v ose X, Y a C (zároveň nový 2. krok)
6. Osazení magnetického bodu (současně s novým 3. krokem)
7. Najetí na reference

Program pro osazování prvního magnetického bodu

1. Zreferování souřadnicových os (současně s následným 2. krokem)
 - 1.1 G90
 - 1.2 G0 X1 Y1 Z1
 - 1.3 G28
 - 1.4 G1 X149 Y10 F14000
 - 1.5 G52
 - 1.6 G53
 - 1.7 M81
 2. Najetí magnetického pásku na výchozí pozici
 - 2.1 G1 E4 F6000
 - 2.2 G4 P101
 3. Oddělení magnetického bodu
 - 3.1 M05
 - 3.2 G4 P142
 - 3.3 G1 E-1
 - 3.4 M06
 - 3.5 G4 P143
 4. Odebírání magnetického bodu
 - 4.1 G1 E11 F7001
 - 4.2 G4 P34
 - 4.3 M12
 - 4.4 G4 P105
 5. Pozicování magnetického bodu v ose X, Y a C (zároveň nový 2. krok)
 - 5.1 G1 E10 Y10 F6001
 - 5.2 G1 E-15.5 F7001
 - 5.3 G4 P36
 - 5.4 M02
 - 5.5 G4 P197
 6. Osazení magnetického bodu (současně s novým 3. krokem)
 - 6.1 G1 X11.5 Y108 Z0 F18002
 - 6.2 M10
 - 6.3 G4 P144
 - 6.4 M04
 - 6.5 G1 E-1 F7001
 - 6.6 M11
-

6.7 G4 P210

7. Najetí na reference

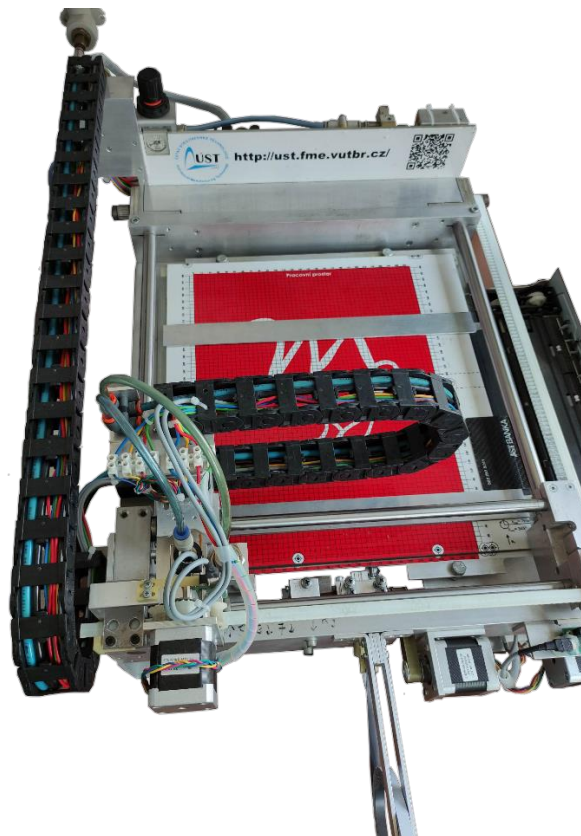
7.1 G1 X149 Y0 Z8 E11 F18001

7.2 G56

Popis jednotlivých kroků osazování prvního magnetického bodu*1. Zreferování souřadnicových os*

Pozicovací suport najede na reference. Pomocí koncových optických dorazů dochází k zreferování souřadnicových os X, Y a C. Následně se suport přemísťuje na pozici, ve které dochází k vyzvednutí ustřiženého magnetického bodu. Osazovací píst je v pozici $Z=0$. Dále dochází k nastavení osy E, která je v tomto kroku nastavena na inkrementální zadávání souřadnice. Obrázek 2.7 ukazuje pozicovací suport, jak najíždí na reference. Dílčí kroky osazování jsou popsány na následujících řádcích:

- Ed. 1.1 – nastavení absolutního programování,
- Ed. 1.2 – zreferování souřadnicových os X, Y a Z,
- Ed. 1.3 – najetí na reference X, Y, Z a C,
- Ed. 1.4 – najetí pozicovacího suportu na odebírací pozici,
- Ed. 1.5 – najetí na referenci $y = 0$,
- Ed. 1.6 – najetí na referenci $z = 0$,
- Ed. 1.7 – nastavení osy E na inkrementální zadávání.



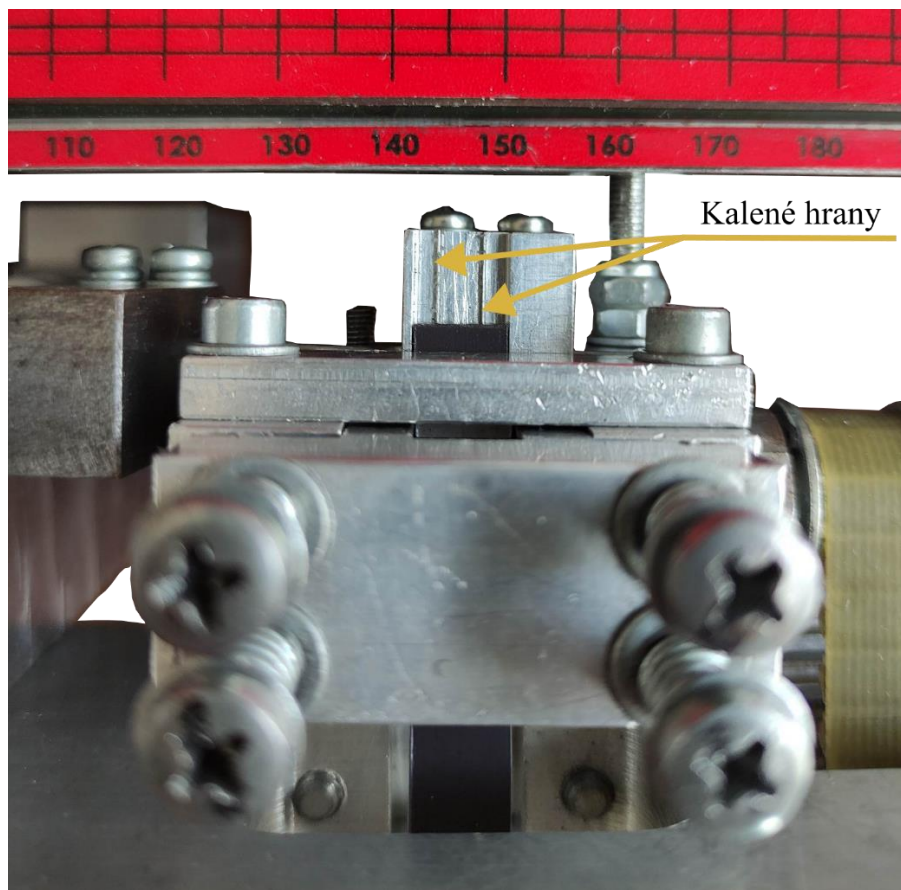
Obr. 2.7 Proces zreferování souřadnicových os.

2. Najetí magnetického pásku na výchozí pozici

Po zreferování souřadného systému a najetí osazovacího pístu na odebírací pozici dochází k oddělení prvního magnetického bodu a vysunutí na odebírací pozici. Nejprve se magnetický pásek musí nastavit na požadovanou délku, aby mohlo dojít k jeho ustřížení (viz obrázek č. 2.8). Správné nastavení se děje pomocí krokového motoru, který přes výstupní hřídel pohání ozubený řemen, který posunuje magnetický pásek o patřičnou vzdálenost (tím nastaví jeho délku) v ose E. Aby došlo k vykonání popisovaného kroku, tak byla přidělena prodleva 100 ms. Dílčí kroky osazování jsou popsány na následujících řádcích:

- Ed. 2.1 – nastavení délky magnetu před stříhem,
- Ed. 2.2 – prodleva 101 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo).

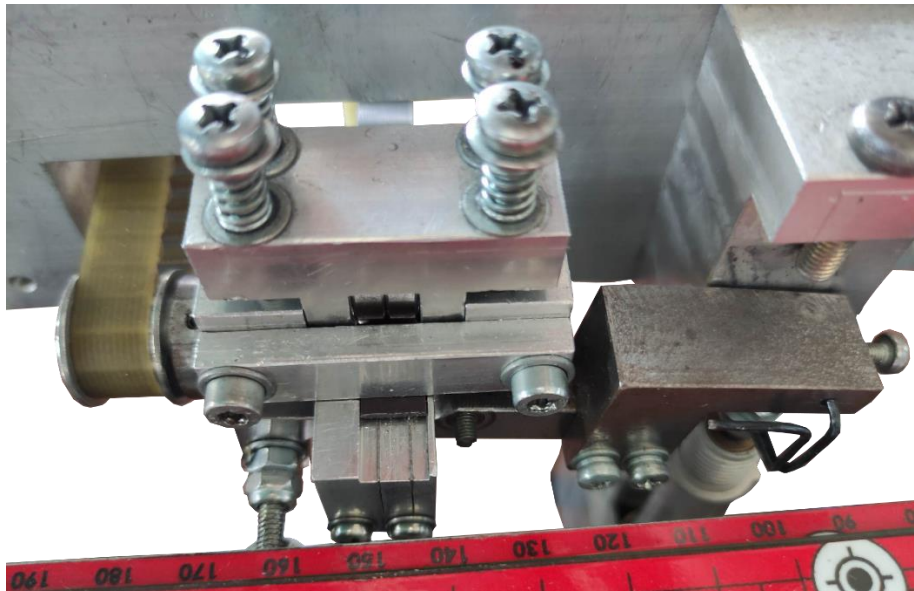
Magnetické body jsou do dělicího mechanismu dodávány ze svinutého magnetického pásku po vytvořených kolejkách. Koleje jsou tvořené dvěma kalenými hranami znázorněnými na obrázku 2.8, které zaručují co nejmenší plochu dotyku, aby nedocházelo k zbytečnému odstraňování lepidla z magnetického pásku. Svinutý magnetický pásek má na sobě ochranou fólii, která musí být před jejím ustříhnutím odstraněna. Odstraňování ochranné fólie se děje pomocí průvlatku (viz obrázek č. 2.4), který byl vytisknut na 3D tiskárně.



Obr. 2.8 Nastavení magnetického pásku na požadovanou délku.

3. Oddělení magnetického bodu

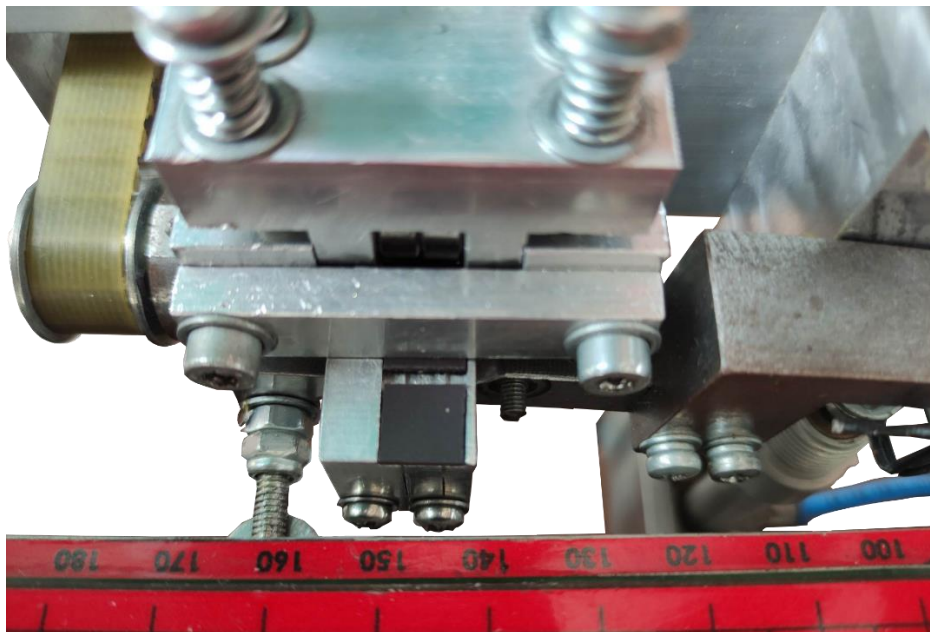
Poté je zapnut stříh magnetického pásku. Ustříhnutí pásku je umožněno pomocí stříhacího nože, který je ovládán pomocí jednočinného pneumatického pístu. Stříhací fázi lze vidět na obrázku č. 2.9. Aby došlo k patřičnému ustřížení magnetického bodu, tak bylo potřeba zadat prodlevu 140 ms.



Obr. 2.9 Střih magnetického pásku.

Vzápětí dochází k posunutí magnetického pásku směrem vzad o 1 mm, aby došlo k utržení magnetického bodu (viz. obrázek č. 2.10). Nato je vypnut střih magnetického pásku. Nůž se vrací do výchozí pozice. Aby se daný krok stihl provést, je zapotřebí vložit prodlevu 140 ms. Dílčí kroky osazování jsou popsány na následujících řádcích:

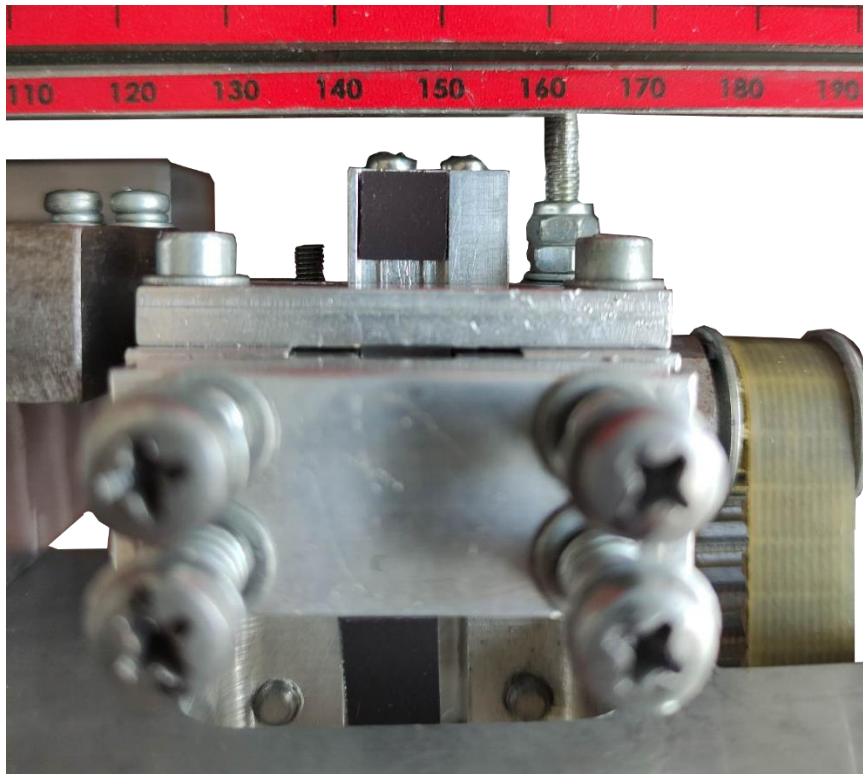
- Ed. 3.1 – zapnutí střihu magnetického pásku,
- Ed. 3.2 – prodleva 142 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo),
- Ed. 3.3 – dodatečné utržení kaširované vrstvy magnetického bodu,
- Ed. 3.4 – vypnutí střihu magnetického pásku,
- Ed. 3.5 – prodleva 143 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo).



Obr. 2.10 Utržení magnetického pásku.

4. Odebírání magnetického bodu

Dále je magnetický bod přemístěn na odebírací pozici viz obr. 2.11. Přemístění je realizováno pomocí magnetického pásku, který před sebou posouvá (tlačí) magnetický bod. Aby se daný krok stihl vykonat, byla stanovena prodleva 34 ms.



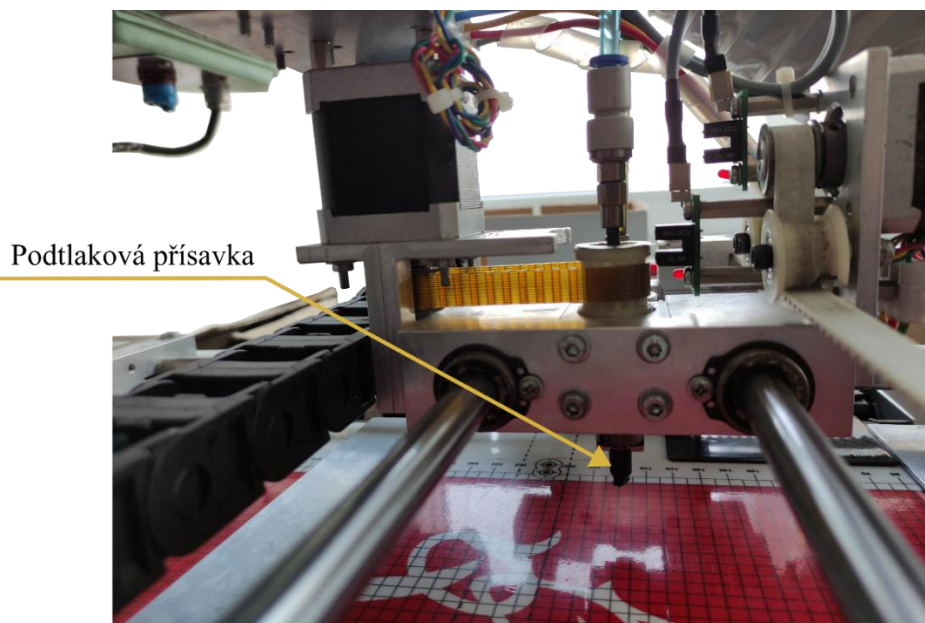
Obr. 2.11 Magnetického bodu na odebírací pozici.

Pozicovací suport je nachystaný na místě, aby mohl převzít magnetický bod z odebírací pozice. Následuje proto příkaz, aby došlo k posunutí pístu směrem dolů. Pomocí vakuového generátoru, který je znázorněný na obrázku č. 2.12, dochází k vytvoření vakua (podtlaku). Toto vakuum se přenáší do podtlakové přísavky, kterou lze vidět na obrázku č. 2.13. Přísavka přisaje magnetický bod, který je tím odebrán na zadané místo (prodleva 100 ms). Dílčí kroky osazování jsou popsány na následujících řádcích:

- Ed. 4.1 – vyjetí magnetického bodu na odebírací pozici,
- Ed. 4.2 – prodleva 34 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo),
- Ed. 4.3 – píst se přesunuje do spodní pozice + zapnutí vakua,
- Ed. 4.4 – prodleva 105 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo).



Obr. 2.12 Použitý vakuový generátor.



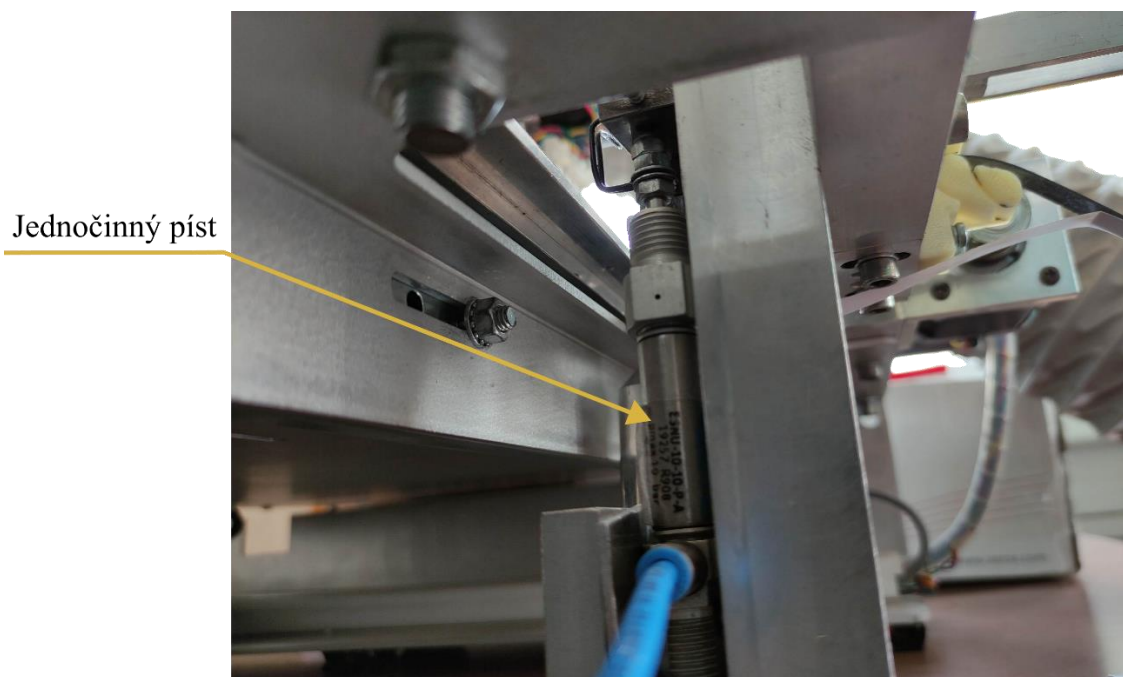
Obr. 2.13 Použitá podtlaková přísavka.

5. Pozicování magnetického bodu v ose X, Y a C

Nato dochází k posunutí pozicovacího suportu na reference R01 (vysunutí o 10 mm). V této pozici se už magnetický bod nachází nad volným prostorem. Z této pozice jde přísavka směrem nahoru. Mezitím osa E zajede na délku dalšího magnetu (prodleva 36 ms). Poté je dán příkaz k tomu, aby se píst přemístil do horní pozice. K vykonání přemístění byla zadána prodleva 200 ms. Dílčí kroky osazování jsou popsány na následujících řádcích:

- Ed. 5.1 – vyjetí na reference R01 (odebrání magnetického bodu),
- Ed. 5.2 – najetí na pozici následujícího magnetického bodu (E8 hrana + 8 mm další),
- Ed. 5.3 – prodleva 36 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo),
- Ed. 5.4 – píst se přemísťuje do horní pozice,
- Ed. 5.5 – prodleva 197 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo).

Nastavené zpoždění 0,2 sekundy je tam z toho důvodu, že se jedná o jednočinný píst (ESNU-1030-P-A), který je zobrazený na obrázku č. 2.14. Tento druh pístu není při přesunu do výchozí pozice poháněn stlačeným vzduchem nýbrž pružinou o určité tuhosti, která nedokáže přesun pístu urychlit. Tato dlouhá prodleva by se dala snížit nahrazením jednočinného pístu dvojitým pístem, což bude podrobněji popsáno v kapitole 3.2.



Obr. 2.14 Použitý jednočinný píst.

6. Osazení magnetického bodu

V další části je zadána souřadnice magnetického bodu, kde má být bod umístěn. Ve stanovené pozici je píst spuštěn dolů. Položení magnetického bodu je znázorněno na obr. č. 2.15. Současně dochází ke stříhu nového magnetického bodu. Stříhací nůž zůstává ve spodní pozici. Z důvodu, aby se daný krok stihl provést, je potřeba vložit prodlevu 144 ms.

Jakmile dojde k uplynutí prodlevy, vakuum se vypíná a dochází k položení magnetického bodu, což je zobrazeno na obrázku č. 2.15. Zároveň dochází k utržení magnetického bodu principem zpětného chodu osy E.

Poté je stříhací nůž přemístěn do výchozí pozice. Současně se jednočinný píst na pozicovacím suportu přemísťuje do horní pozice. Zde je nastavena prodleva 210 ms. Dílčí kroky osazování jsou popsány na následujících řádcích:

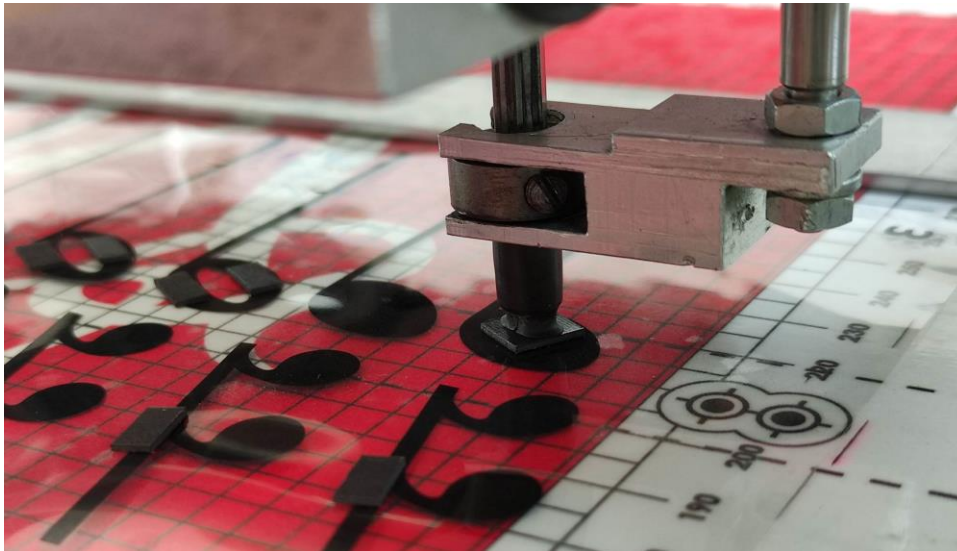
- Ed. 6.1 – zadání souřadnice, kde má být položen magnetický bod,
- Ed. 6.2 – píst se přesunuje do dolní pozice + je zapnut stříh magnetického pásku,
- Ed. 6.3 – prodleva 144 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo),

- Ed. 6.4 – vypnutí vakua,
- Ed. 6.5 – dodatečné utržení kaširované vrstvy magnetického bodu z řádku 6.2,
- Ed. 6.6 – píst se přesune do horní pozice + je vypnut stříh magnetického pásku,
- Ed. 6.7 – prodleva 210 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo).

7. Najetí na reference

Vzápětí pozicovací suport najíždí na reference a současně dochází k zreferování os $E = 0$ a $Z = 0$. Dílčí kroky osazovacího procesu jsou popsány na následujících řádcích:

- Ed. 7.1 – najetí na reference,
- Ed. 7.2 – referování os ($E=0$ a $Z=0$).



Obr. 2.15 Položení magnetického bodu.

V tabulce 2.2 jsou vypsány časové údaje o jednotlivých výrobních operacích osazovacího cyklu.

Tab. 2.2 Doba trvání jednotlivých kroků osazovacího cyklu 1. magnetického bodu.

Krok osazovacího cyklu 1. magnetického bodu	Čas [s]
Zreferování souřadnicových os	0,9
Najetí magnetického pásku na výchozí pozici	0,1
Oddělení magnetického bodu	0,2
Vysunutí magnetického bodu na odebírací pozici	0,2
Odebírání magnetického bodu	0,1
Pozicování magnetického bodu v souřadnicích X, Y a C	0,7
Osazení magnetického bodu	0,3
Najetí na reference	0,5

Proces osazování každého dalšího magnetického bodu

4. Odebírání magnetického bodu
5. Pozicování magnetického bodu v ose X, Y a C (zároveň nový 2. krok)
6. Osazení magnetického bodu (současně s novým 3. krokem)
7. Najetí na reference
 - Poté znova opakování 2. až 7. kroku ve smyčce

Program pro osazování každého dalšího magnetického bodu

4. Odebírání magnetického bodu

- 4.1 M12
- 4.2 G4 P105

5. Pozicování magnetického bodu v ose X, Y a C (zároveň nový 2. krok)

- 5.1 G1 E10 Y10 F6001
- 5.2 G1 E-15.5 F7001
- 5.3G4 P36
- 5.4 M02
- 5.5 G4 P197

6. Osazení magnetického bodu (současně s novým 3. krokem)

- 6.1 G1 X52.5 Y108 Z0 F18002
- 6.2 M10
- 6.3 G4 P144
- 6.4 M04
- 6.5 G1 E-1 F7001
- 6.6 M11
- 6.7 G4 P210

7. Najetí na reference

- 7.1 G1 X149 Y0 Z8 E11 F18001
- 7.2 G56

Popis jednotlivých kroků osazování každého dalšího magnetického bodu*4. Odebírání magnetického bodu*

Nato navazuje příkaz, aby píst přešel do spodní pozice, kde je současně zapnuto vakuum (prodleva 105 ms). Dílčí kroky osazování jsou popsány na následujících řádcích:

- Ed. 4.1 – píst se přesune do spodní pozice + zapnutí vakua,
- Ed. 4.2 – prodleva 105 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo).

5. Pozicování magnetického bodu v X, Y a C

Potom se pozicovací suport přemísťuje na referenci R01. Současně je magnetický bod vytlačovaný magnetickým páskem do odebírací pozice. Ihned poté je píst přemístěn do horní pozice. Pro vykonání vybraného kroku byla vložena prodleva 200 ms.

Následně osa E zajíždí na délku dalšího magnetu. Délka ustrížení se dá libovolně nastavit. Zde byla nastavena prodleva 36 ms. Dílčí kroky osazování jsou popsány na následujících řádcích:

- Ed. 5.1 – vyjetí na reference R01 (odebrání magnetického bodu),
- Ed. 5.2 – najetí na pozici následujícího magnetického bodu (E8 hrana + 8 mm další),
- Ed. 5.3 – prodleva 36 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo),
- Ed. 5.4 – píst se přemísťuje do horní pozice,
- Ed. 5.5 – prodleva 197 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo).

6. Osazení magnetického bodu (současně s novým 3. krokem)

Dochází k zadání souřadnice magnetického bodu, kde má být umístěn. Mezitím je zapnut stříh nového magnetického bodu a píst je spuštěn do spodní pozice (prodleva 144 ms). Poté dochází k vypnutí vakua, položení magnetického bodu a utržení nového magnetického bodu. Následně je vypnut stříh (nůž se přesunuje do výchozí pozice) a zároveň se osazovací píst přesunuje do horní pozice. Aby došlo k patřičnému provedení zadaného kroku byla zadána prodleva 210 ms. Dílčí kroky osazování jsou popsány na následujících řádcích:

- Ed. 6.1 – zadání souřadnice, kde má být položen magnetický bod,
- Ed. 6.2 – píst se přesunuje do dolní pozice + je zapnut stříh magnetického pásku,
- Ed. 6.3 – prodleva 144 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo),
- Ed. 6.4 – vypnutí vakua,
- Ed. 6.5 – dodatečné utržení kaširované vrstvy magnetického bodu z řádku 6.2,
- Ed. 6.6 – píst se přesunuje do horní pozice + je vypnut stříh magnetického pásku,
- Ed. 6.7 – prodleva 210 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo).

7. Najetí na reference

V konečné fázi pozicovací suport najíždí na reference (referování $E = 0$ a $Z = 0$). Dílčí kroky osazování jsou popsány na následujících řádcích:

- Ed. 7.1 – najetí na reference,
- Ed. 7.2 – referování os ($E=0$ a $Z=0$).

Tímto postupem se proces osazování opakuje až do předposledního magnetického bodu. Jediným rozdílem je to, že každý magnetický bod se pokládá na jinou souřadnici. V následující tabulce 2.3 jsou vypsány průměrné dílčí časy osazovacího cyklu každého dalšího magnetického bodu.

Tab. 2.3 Průměrná doba trvání jednotlivých kroků osazovacího cyklu každého dalšího magnetického bodu.

Krok osazovacího cyklu každého dalšího magnetického bodu	Čas [s]
Najetí magnetického pásku na výchozí pozici	0,1
Oddělení magnetického bodu	0,2
Vysunutí magnetického bodu na odebírací pozici	0,2
Odebírání magnetického bodu	0,1
Pozicování magnetického bodu v souřadnicích X, Y a C	1,3
Osazení magnetického bodu	0,3
Najetí na reference	0,9

Proces osazování posledního magnetického bodu

- Provedení 4. až 7. kroku
- 8. Transport osazované folie mimo pracovní plochu

Program pro osazování každého dalšího magnetického bodu

4. Odebírání magnetického bodu

- 4.1 M12
- 4.2 G4 P105

5. Pozicování magnetického bodu v ose X, Y a C

- 5.1 G1 E10 Y10 F6001
- 5.2 G1 E-16.5 F7001
- 5.3 G4 P36
- 5.4 M02
- 5.5 G4 P197

6. Osazení magnetického bodu

- 6.1 G1 X249.5 Y217 Z40 F18002
- 6.2 M01
- 6.3 G4 P144
- 6.4 M04

7. Najetí na reference

- 7.1 G4 P1
- 7.2 M02
- 7.3 G4 P210

- 7.4 G56

8. Transport osazované folie mimo pracovní plochu

Popis jednotlivých kroků osazování posledního magnetického bodu

4. Odebírání magnetického bodu

Opět dochází k přesunu pístu do spodní pozice, kde dochází k zapnutí vakua. Na to byla nastavena prodleva 105 ms. Dílčí kroky osazování jsou popsány na následujících řádcích:

- Ed. 4.1 – píst se přesunuje do spodní pozice + zapnutí vakua,
- Ed. 4.2 – prodleva 105 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo).

5. Pozicování magnetického bodu v X, Y a C

Následně dochází k přesunu pozicovacího suportu na reference R01. Magnetický bod se přesunuje na odebírací pozici. Pro vykonání tohoto kroku byla stanovena prodleva 36 ms.

Píst se přemísťuje do horní pozice. Na to je vyhrazena prodleva 200 ms. Dílčí kroky osazování jsou popsány na následujících řádcích:

- Ed. 5.1 – vyjetí na reference R01 (odebrání magnetického bodu),
- Ed. 5.2 – najetí magnetického bodu na hranu stříhu,
- Ed. 5.3 – prodleva 36 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo),
- Ed. 5.4 – píst se přemísťuje do horní pozice,
- Ed. 5.5 – prodleva 197 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo).

6. Osazení magnetického bodu v X, Y a C

Po přesunu magnetického bodu na zadanou souřadnici se píst přemísťuje do spodní pozice (umístění magnetického bodu). Aby se daný krok stihl vykonat, byla zde vložena prodleva 144 ms. Vzápětí dochází k vypnutí vakua. Dílčí kroky osazování jsou popsány na následujících řádcích:

- Ed. 6.1 – zadání souřadnice, kde má být položen magnetický bod,
- Ed. 6.2 – píst se přesunuje do dolní pozice,
- Ed. 6.3 – prodleva 144 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo),
- Ed. 6.4 – vypnutí vakua.

7. Najetí na reference

Píst se přemísťuje od horní pozice. Opět zde byla stanovena prodleva 210 ms. Potom pozicovací suport najíždí na reference (referování $E = 0$ a $Z = 0$). Dílčí kroky osazování jsou popsány na následujících řádcích:

- Ed. 7.1 – prodleva 1 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo),
- Ed. 7.2 – píst se přesunuje do horní pozice,
- Ed. 7.3 – prodleva 210 ms (číslo jednotek udává pořadové číslo),
- Ed. 7.4 – referování os ($E=0$ a $Z=0$).

8. Transport osazované folie mimo pracovní plochu

Tímto se může odebrat fólie, která je osázená magnetickými body. Tabulka 2.4 popisuje časy jednotlivých výrobních operací osazovacího cyklu.

Tab. 2.4 Doba trvání jednotlivých kroků osazovacího cyklu posledního magnetického bodu.

Krok osazovacího cyklu posledního magnetického bodu	Čas [s]
Najetí magnetického pásku na výchozí pozici	0,1
Oddělení magnetického bodu	0,2
Vysunutí magnetického bodu na odebírací pozici	0,2
Odebírání magnetického bodu	0,1
Pozicování magnetického bodu v souřadnicích X, Y a C	1,6
Osazení magnetického bodu	0,3

2.1.4 Nevýhody současného zařízení

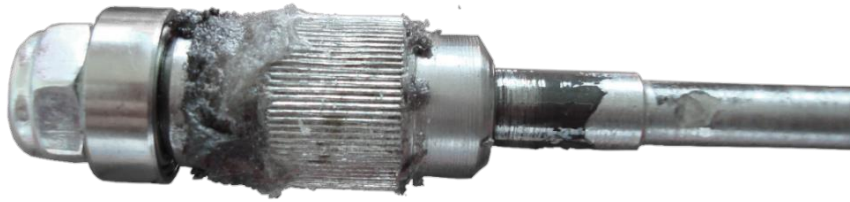
Mezi hlavní nevýhody soudobého zařízení patří zejména časová náročnost pro přejezdy suportu mezi pozicemi magnetického bodu a dělicím mechanismem. Minimální dráha, kterou suport urazí v souřadnicích X a Y od odebrání jednoho magnetického bodu do odebrání bodu dalšího je 200 mm, a nejdelší dráha je pak 600 mm. Každý úsek se pak skládá ze třech fází pohybu. Akcelerace motoru, pracovní rychlost a decelerace. U kratších vzdáleností není vždy dosaženo pracovní rychlosti. To má za následek, že motor z akcelerační fáze přechází přímo do fáze decelerace. Právě tyto přejezdy významně prodlužují osazovací takt zařízení.

Zároveň současné zařízení nabízí malý souřadnicový stůl, který rovněž nepřispívá ke zkrácení výrobního procesu, protože na pracovní prostor je možno položit pouze jednu fólii. To zapříčiňuje častější měnění fólií, které jsou již osázené magnetickými body. Dochází tudíž ke zpomalení výrobního taktu.

Mezi další nevýhody by se dalo zahrnout špatné skladování ochranné vrstvy, která je odebírána z magnetického pásku.

Zařízení je dále nespolehlivé při stříhání magnetického pásku. Během procesu stříhání dochází k narážení stříhacího nože přímo na dorážející plochu, která se nachází ve stejné rovině s koleji, ve kterých se magnetický pásek pohybuje. To zkracuje dobu, po kterou je schopen stříhací nůž magnetický pásek ustříhnout. Vlivem opotřebení nože nedojde ustříhnutí celého magnetického bodu, ale pouze do poloviny jeho šířky.

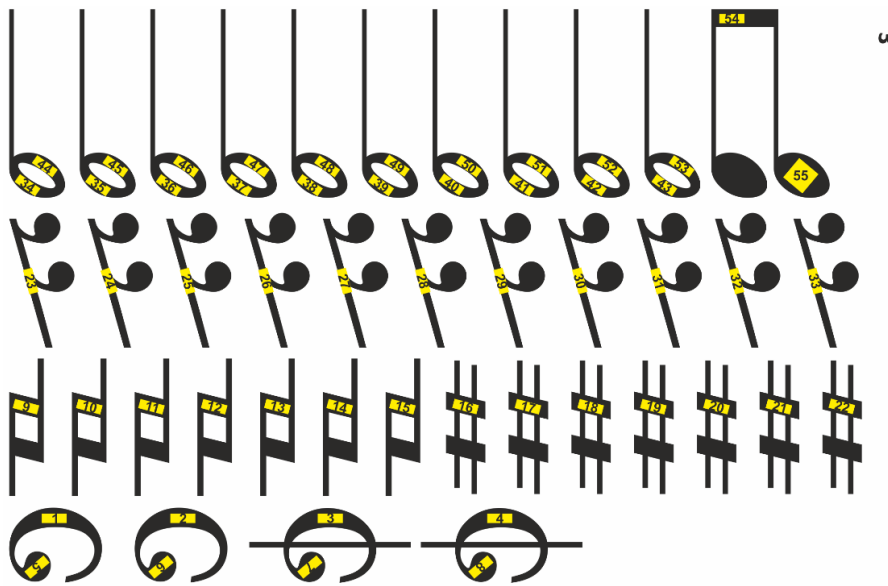
Potíže také vznikají posunem magnetické pásku po straně, kde je nanesené lepidlo. To způsobuje unášení částí lepidla v kolejích, ve kterých se magnetický pásek dopravuje až k odebíracímu místu. Zásadní roli také hraje přítlak, který způsobuje přilnutí do rádlované části dělicího mechanismu. Zanesené lepidlo na rádlovaném hřídeli je zobrazeno na obrázku č. 2.16.



Obr. 2.16 Zanesené lepidlo na rádlované hřídeli.

2.1.5 Zhodnocení současného osazovacího zařízení

V rámci soudobého zařízení se vyhodnocovala celková dráha, kterou ujede pozicovací suport během celého jednoho osazovacího cyklu. Uražená vzdálenost suportem značně ovlivňuje výsledný čas osazovacího cyklu. Suport v celkovém součtu jednotlivých drah urazil zhruba 20,38 metrů. Celková vzdálenost je zdvojnásobena, protože pozicovací suport se musí po každém osazení magnetického bodu vrátit na odebírací pozici. Zkoumání osazovacího cyklu bylo prováděno na fólie č. 3, která je znázorněná na obrázku č. 2.17.



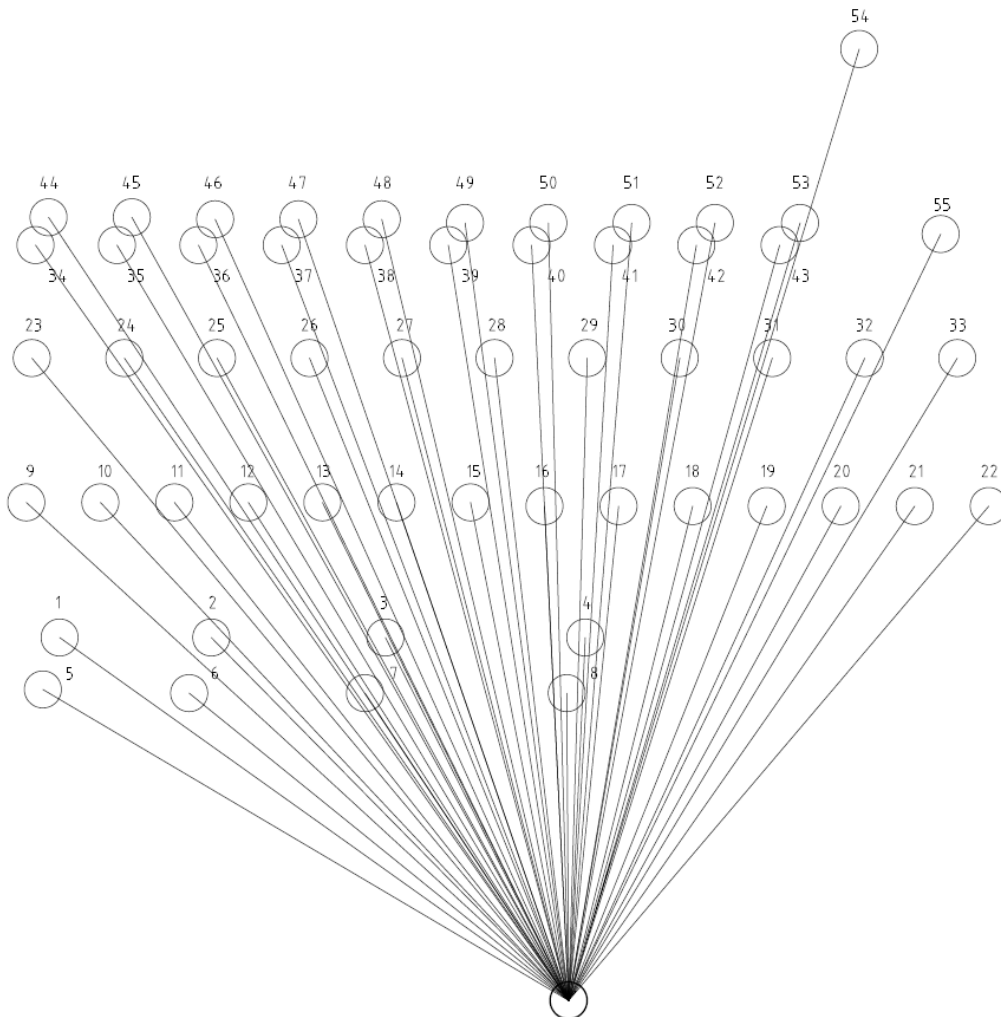
Obr. 2.17 Fólie č. 3 na které bylo prováděno vyhodnocení osazovacího cyklu.

Suport v průměru najel na jeden magnetický bod okolo 370,53 mm. Aby byl osazen nejvzdálenější magnetický bod, musel suport pokořit dráhu 537,44 mm. Naopak nejbližší magnetický bod byl vzdálen pouze 83 mm od odebírací pozice. Z toho vyplývá, že suport urazil nejkratší dráhu 166 mm pro jeden magnetický bod. Medián vzdálenosti, kterou suport zdolal je 382,11 mm. Průměrná rychlost přejezdů pozicovacího suportu byla odhadnuta na 130 mm/s.

Pro přehlednost jsou statistické veličiny uvedeny v tabulce 2.5. Obrázek č. 2.18 graficky znázorňuje jednotlivé dráhy, které pozicovací suport urazil během jednoho osazovacího cyklu. Mezi nejkratší a nejdelší vzdáleností magnetického bodu je prostor pro optimalizování. V tabulce číslo 2.6 jsou vypsány průměrné časy jednotlivých operací osazovacího cyklu současného zařízení.

Tab. 2.5 Vyhodnocení ujeté dráhy pozicovacího suportu na současném osazovacím zařízení.

Statistická veličina	Dráha [mm]
Celková vzdálenost	20 379,2
Maximální vzdálenost jednoho magnetického bodu	537,4
Minimální vzdálenost jednoho magnetického bodu	166,0
Průměrná vzdálenost na jeden magnetický bod	370,5
Medián vzdáleností	382,1
Směrodatná odchylka vzdáleností	83,4
Rozptyl vzdáleností	6 959,6
Čas potřebný k uražení celkové vzdálenosti	156,8 s



Obr. 2.18 Dráhy jednotlivých bodů osazovacího cyklu v rámci současného osazovacího zařízení.

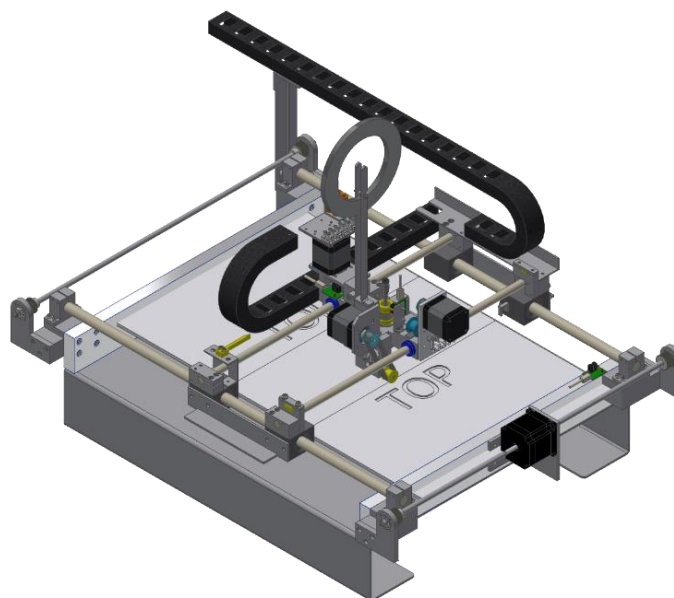
Tab. 2.6 Časové vyhodnocení jednotlivých kroků osazovacího cyklu současného osazovacího zařízení.

Krok osazovacího cyklu	Čas [s]
Zreferování souřadnicových os	0,9
Najetí magnetického pásku na výchozí pozici	0,1
Oddělení magnetického bodu	0,2
Vysunutí magnetického bodu na odebírací pozici	0,2
Odebírání magnetického bodu	0,1
Pozicování magnetického bodu v X, Y a C	0,8
Osazení magnetického bodu	0,3
Najetí na reference	0,6

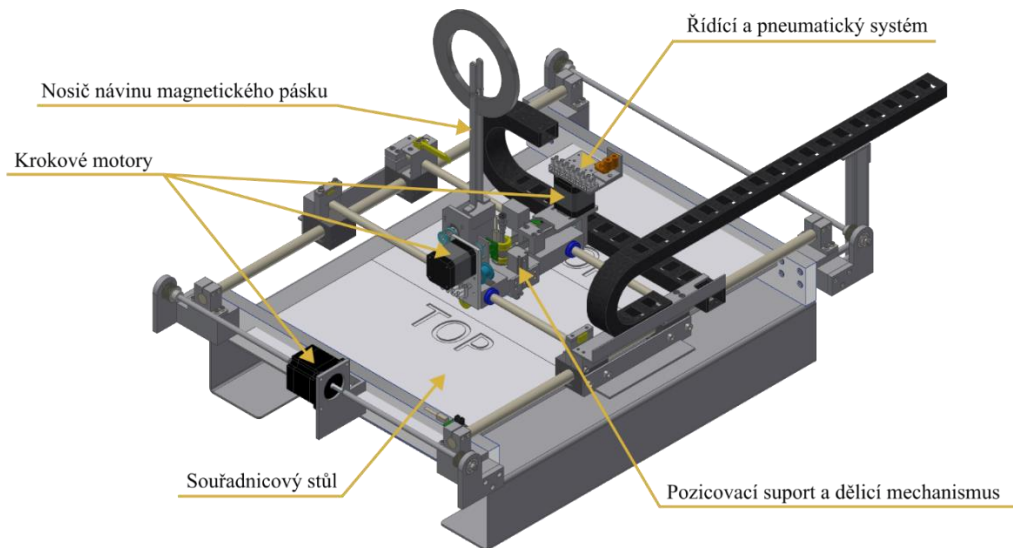
2.2 Návrh nového zařízení pro dělení a osazování magnetických bodů

Účel nového zařízení pro dělení magnetických bodů je odstranění zmíněných nedostatků současného zařízení uvedených v kapitole 3.1.4 a nahrazení všech jeho funkcí, aby mohl být plně nahrazen.

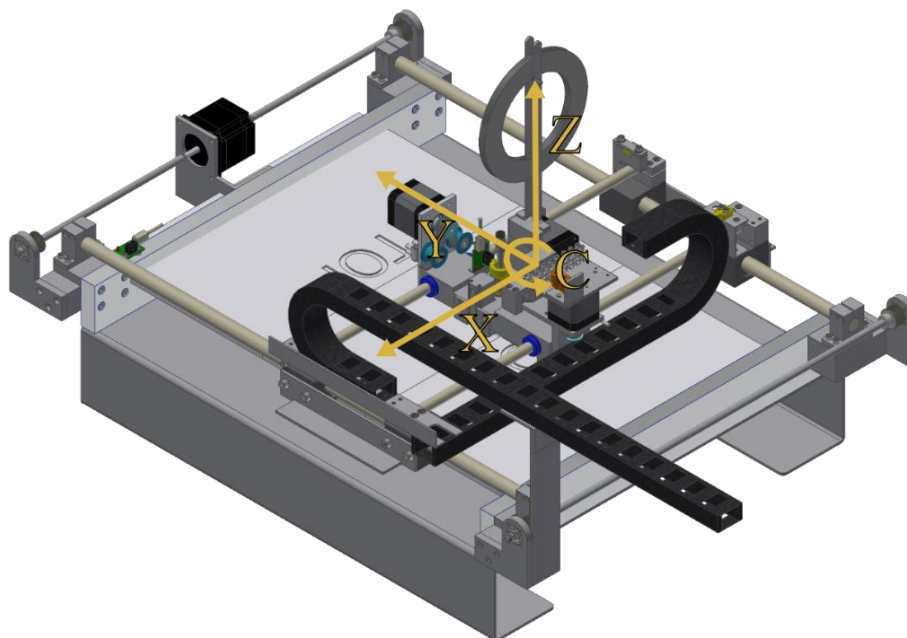
Největší změnou oproti nynějšímu zařízení prošlo umístění a konstrukce dělicího mechanismu, který se z pevné polohy přemístil na pozicovací suport stroje. Dále došlo ke zvětšení souřadnicového stolu pro lepení magnetických bodů, což umožňuje osazování dvou fólií naráz. Návrh nového řešení je znázorněný na obr. 2.19. Jednotlivé části nového zařízení jsou zobrazeny na obrázku 2.20. Směry souřadnicových os jsou znázorněny na obrázku 2.21.



Obr. 2.19 Koncept prvního řešení konstruovaného v Autodesk Inventor Professional 2022.

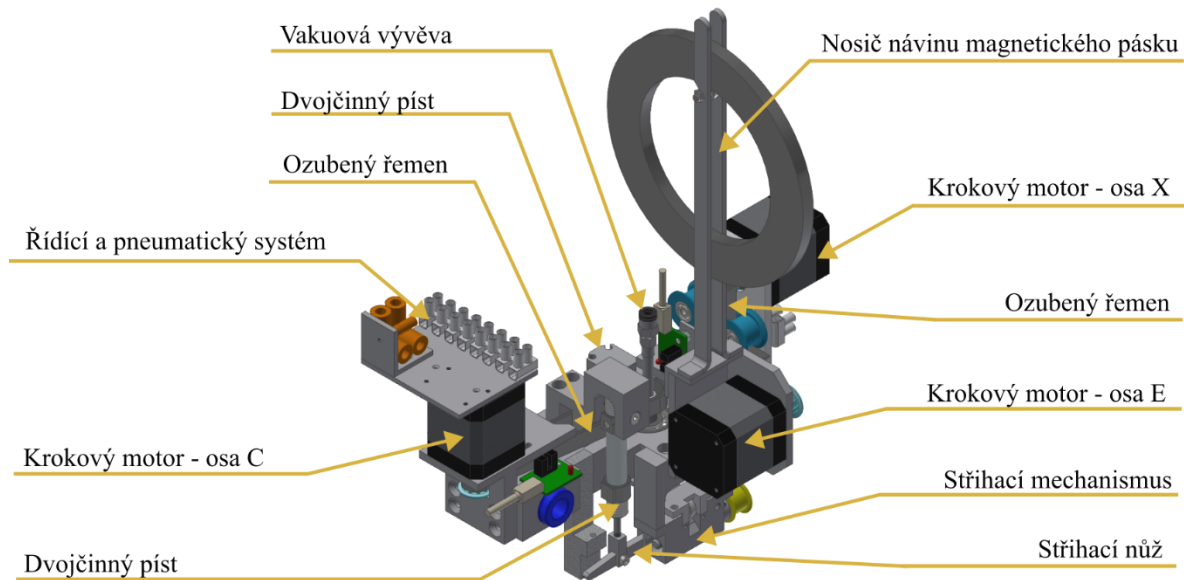


Obr. 2.20 Základní části nového zařízení.



Obr. 2.21 Směry souřadnicových os nového zařízení

V rámci této bakalářské práce bylo primárním cílem navrhnout nový pozicovací suport. Součástí pozicovacího suportu bude nově dělicí mechanismus, který se bude přemisťovat spolu s pozicovacím suportem během výrobního cyklu. Díky této změně se docílí zkrácení přejezdů pozicovacího suportu mezi jednotlivými magnetickými body, což má za následek, že dojde ke zkrácení výrobního cyklu. Další změnou projdou jednočinné písty, které budou nahrazeny písty dvojitými, čímž dojde ke zkrácení prodlev mezi jednotlivými operacemi pracovního cyklu (stříh magnetického pásku a osazení magnetického bodu). Na obrázku 2.22 jsou popsány dílčí části pozicovacího suportu.



Obr. 2.22 Návrh nového pozicovacího suportu.

2.2.1 Výhody nového řešení

Výhodou nově navrženého zařízení oproti současnému zařízení je zrychlení výrobního taktu, neboť pozicovací suport urazí kratší vzdálenost během výrobního cyklu. Zkrácení výrobního procesu je také umocněno větší pracovní plochou, na kterou se dá položit více fólií k osazování. Výrobní takt byl také zkrácen, díky nahrazení jednočinných pístů písty dvojčinnými. Tyto dvojčinné písty výrazně zkracují prodlevy mezi vybranými kroky výrobního cyklu.

Změnou také prošlo umístění svinutého magnetického pásku, který je efektivněji umístěn na pozicovacím suportu. Zbytky ochranné části pásku, které jsou před stříháním odebírány jsou tím pádem efektivněji shromažďovány.

Zefektivněním prošel rovněž dělicí mechanismus, protože stříhací nůž v novém zařízení nebude dosedat na dorazovou plochu, která je ve stejné rovině s kolejiemi pro magnetický pásek. Toho je dosaženo tím, že v kolejích dojde k vytvoření drážky, do které bude nůž během stříhání zajíždět a dosedat. To umožní noži ustříhnout větší množství magnetických bodů než v předchozím zařízení.

Díky jiné konstrukci dělicího mechanismu nedochází k usazování zbytků lepidla v kolejích, neboť magnetický pásek je dopravován po straně, kde je magnetická plocha.

2.2.2 Chod nového zařízení

Nově zkonstruované zařízení pracuje na podobném principu jako předešlé zařízení. Zásadní změnou však prošel pozicovací suport, na kterém se už v tomto návrhu nachází dělicí mechanismus. Oproti předešlému zařízení jsou v novém zařízení použity dvojčinné pneumatické písty. Díky těmto pístům jsou značně zkráceny prodlevy mezi jednotlivými fázemi osazování.

2.2.3 Zhodnocení nového osazovacího zařízení

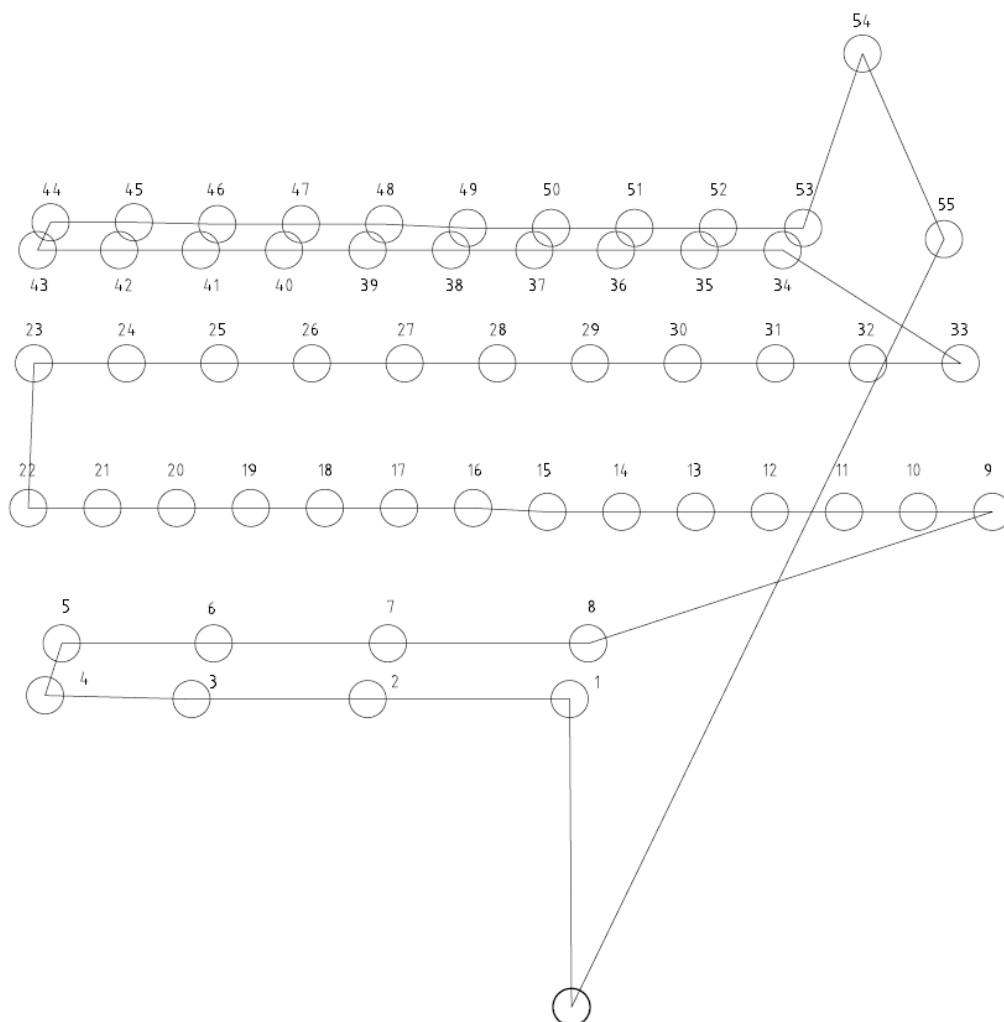
V rámci návrhu nového řešení pro osazování magnetických bodů bylo rovněž provedeno vyhodnocení osazovacího cyklu z hlediska uražené vzdálenosti, kterou urazí pozicovací suport. Testování bylo opět provedeno na fólii č. 3, která je zobrazená na obrázku č. 2.17. Toto zhodnocení bylo provedeno z toho důvodu, aby se mohla udělat predikce, zda skutečně dojde

ke zkrácení celkové uražené vzdálenosti, tím pádem snížení času osazovacího cyklu. V tomto řešení se využilo toho, že na pozicovacím suportu se nachází dělicí mechanismus, tudíž se suport nemusí po každém osazení vracet na odebírací pozici.

Pozicovací suport v celkovém součtu jednotlivých vzdáleností urazil dráhu cca 1,848 m. V průměru mezi dílčími magnetickými body najel suport vzdálenost okolo 33 mm. Pozicovací suport najel v rámci osazovacího cyklu maximální vzdálenost 230,11 mm a minimální vzdálenost 8,277 mm. Střední hodnota uražených vzdáleností dílčích magnetických bodů je 22,5 mm. Průměrná rychlost přejezdů pozicovacího suportu byla odhadnuta na 130 mm/s. V tabulce č. 2.7 jsou pro lepší přehlednost vypsány všechny důležité statistické veličiny týkající se ujetých vzdáleností jednotlivých magnetických bodů pozicovacím suportem. Obrázek č. 2.23 graficky vyobrazuje dílčí dráhy, které pozicovací suport urazil během jednoho osazovacího cyklu. Průměrné časy jednotlivých operací osazovacího cyklu nového zařízení jsou shrnuty v tabulce číslo 2.8.

Tab. 2.7 Vyhodnocení ujeté dráhy pozicovacího suportu na návrhu osazovacího zařízení.

Statistická veličina	Dráha [mm]
Celková vzdálenost	1 848,5
Maximální vzdálenost jednoho magnetického bodu	230,1
Minimální vzdálenost jednoho magnetického bodu	8,3
Průměrná vzdálenost na jeden magnetický bod	33,0
Medián vzdáleností	22,5
Směrodatná odchylka vzdáleností	31,8
Rozptyl vzdáleností	1 010,2
Čas potřebný k uražení celkové vzdálenosti	14,2 s



Obr. 2.23 Dráhy jednotlivých bodů osazovacího cyklu v rámci nového návrhu osazovacího zařízení.

Tab. 2.8 Časové vyhodnocení jednotlivých kroků osazovacího cyklu nového osazovacího zařízení.

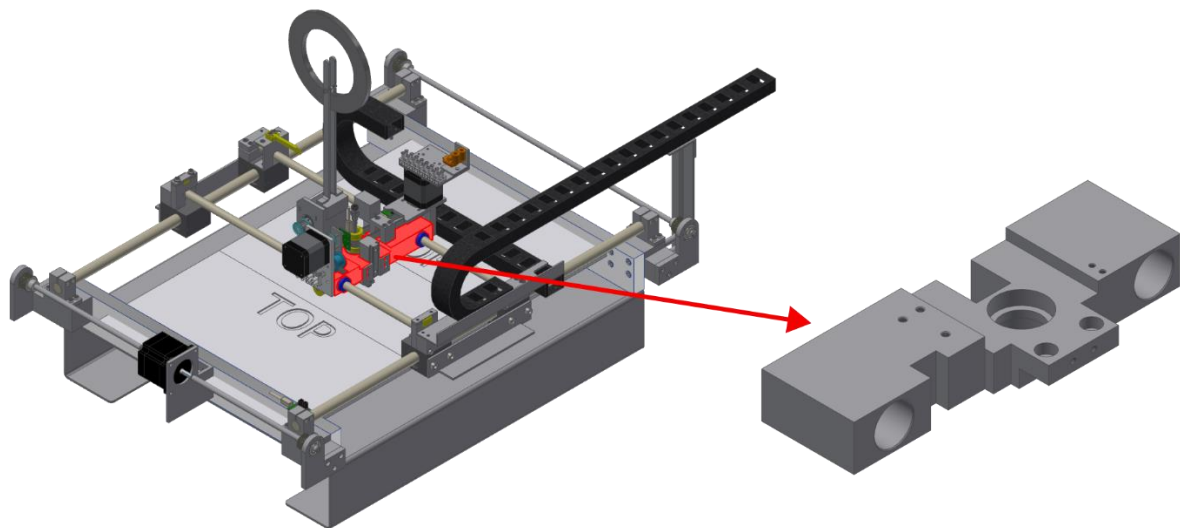
Krok osazovacího cyklu	Čas [s]
Zreferování souřadnicových os	0,9
Najetí magnetického pásku na výchozí pozici	0,1
Oddělení magnetického bodu	0,1
Vysunutí magnetického bodu na odebírací pozici	0,2
Odebírání magnetického bodu	0,1
Pozicování magnetického bodu v X, Y a C	0,3
Osazení magnetického bodu	0,3
Najetí na reference	0

2.2.4 Výroba vybraných dílů

Kvůli nedostatku času byly vybrány pouze dva díly k výrobě. Oba díly byly vyráběny na tříosých frézkách. Zbytek součástek osazovacího zařízení a dělicího mechanismu bude vyrobeno později v průběhu nadcházejícího roku. V následujících podkapitolách je podrobněji popsán technologický postup výroby vybraných dvou dílů.

Nosný díl pozicovacího suportu

Jedná se o díl, který tvoří základ pozicovacího suportu. Na tento nosný díl se upevňují další důležité komponenty pozicovacího suportu. V rámci této součásti jsou vytvořené otvory, díky kterým je pozicovací suport připevněn k vodícím tyčím, díky kterým je zaručen pohyb v souřadnicové ose X. Vybraný díl je červeně znázorněn na obrázku č. 2.24.



Obr. 2.24 Uložení nosného dílu pozicovacího suportu.

Díl byl zhotoven na pět upnutí. Větší počet upnutí je způsobený tím, že obrobek byl vyráběn na tříosé frézce. Pro výrobu mohla být také zvolena pětiosá frézka, která by počet upnutí zredukovala na tři. Jako polotovár byla vybrána pásovina o rozměrech 22-61-52 mm. V každém upnutí se obrobek uchycoval do strojního svěráku. Na následujících řádcích jsou popsány jednotlivé operace každého upnutí, které byly generovány v Inventoru Professional 2023 s nástavbou CAM. Po výrobě muselo také následovat odjehlení a sražení hran.

1. upnutí

- čelo 1
- vrták 1
- vrták 2
- 2D kontura 1
- 2D adaptivní 1
- 2D kontura 2
- 2D adaptivní 2
- 2D kontura 3

2. upnutí

- čelo 2
- 2D kapsa 1
- vodorovné 1
- 2D kontura 3
- 2D kontura 4

3. upnutí

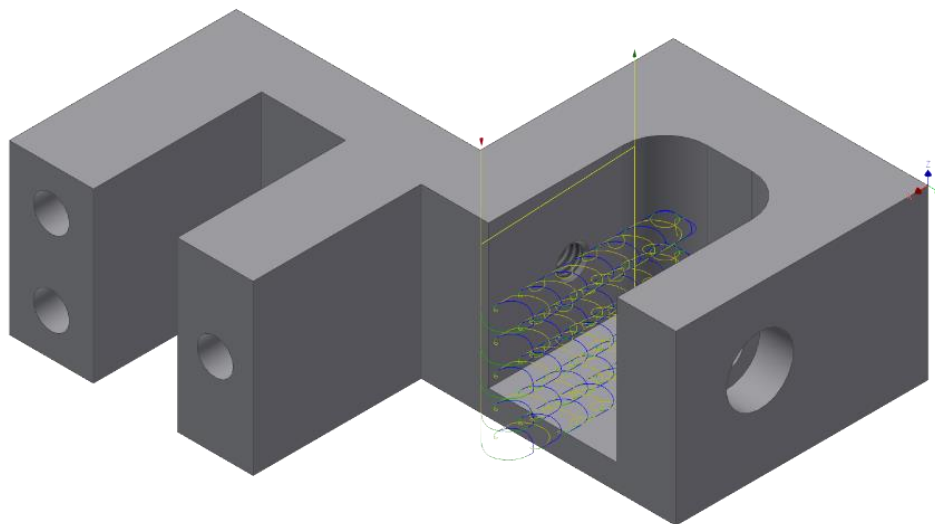
- vrták 3
- vrták 4
- 2D kontura 5

4. upnutí

- vrták 3
- vrták 4
- vrták 5 [závitník]

5. upnutí

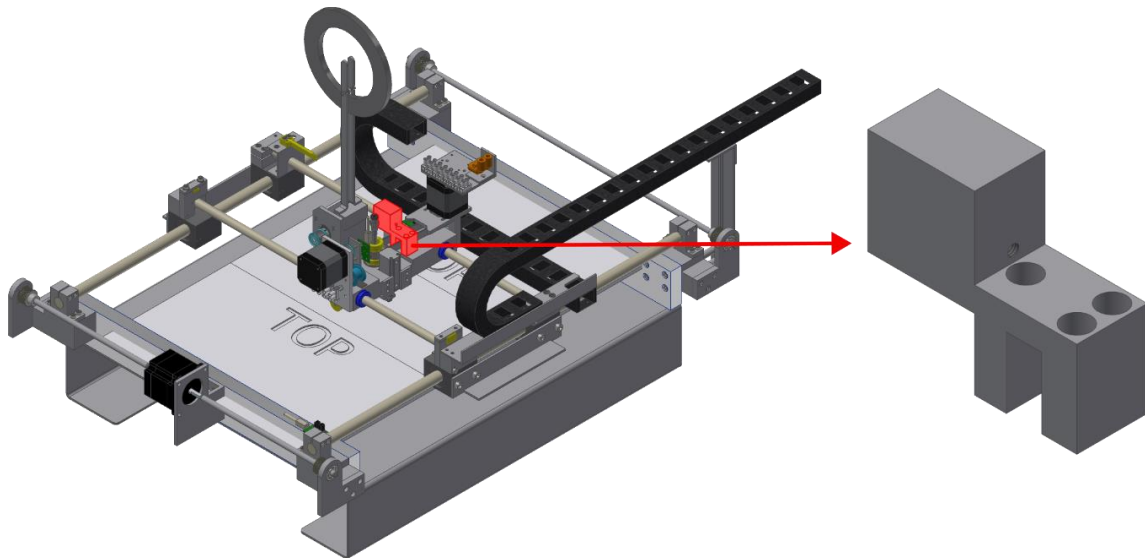
- 2D adaptivní (viz. obrázek 2.25)
- 2D kontura



Obr. 2.25 Použití operace 2D adaptivní v rámci 5. upnutí nosného dílu pozicovacího suportu

Držák osazovacího pístu

Díl pozicovacího suportu, které zaručuje správnou pozici osazovacího pístu. Vybraný díl je červeně zobrazený na obrázku č. 2.26.



Obr. 2.26 Uložení držáku osazovacího pístu.

Tento díl byl rovněž vyroben na pět upnutí. Jako polotovar byla vybrána pásovina o rozměrech 189-76-28 mm. V každém upnutí se obrobek uchycoval do strojního svěráku. Na následujících řádcích jsou popsány jednotlivé operace každého upnutí, které byly generovány v Inventoru Professional 2023 s nástavbou CAM. Po výrobě muselo také následovat odjehlení a sražení hran.

1. upnutí

- čelo 1
- 2D adaptivní 1
- vrták 1
- vrták 2
- vrták 3 [závitník]
- vrták 4
- vrták 5
- vrták 6 [závitník]
- vrták 7
- 2D kontura 1
- 2D adaptivní 2
- 2D kontura 2
- vrták 8
- 2D kontura 3
- 2D kontura 4
- 2D adaptivní 3

2. upnutí

- čelo 2
- 2D kontura 5
- 2D adaptivní 4

3. upnutí

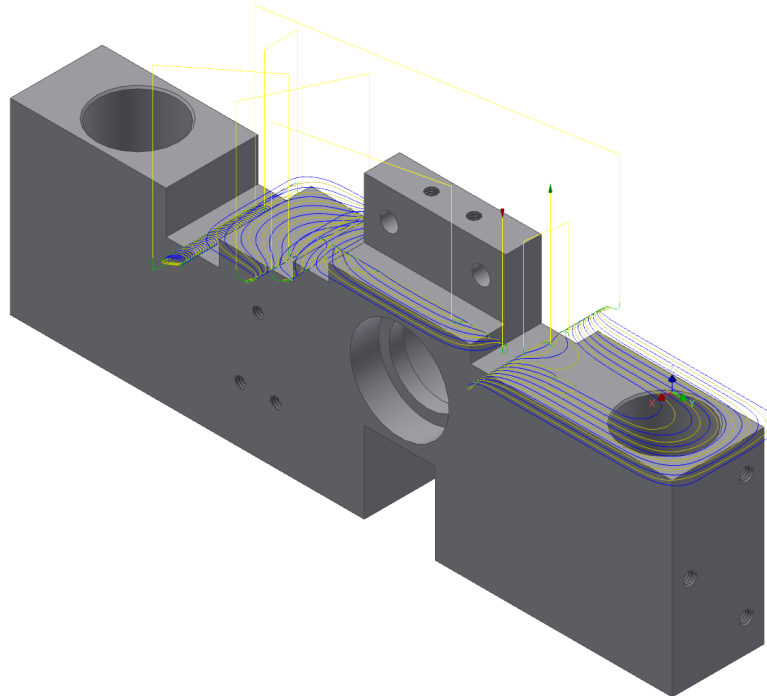
- čelo 3
- vrták 9
- 2D kontura 6
- vrták 10
- vrták 11
- vrták 12 [závitník]
- 2D adaptivní 5
- vodorovné 1

4. upnutí

- čelo 4
- 2D adaptivní 6 (viz obrázek 2.27)
- 2D adaptivní 7
- vodorovné 2
- čelo 5
- 2D kontura 6
- vrták 13
- vrták 14
- vrták 15 [závitník]

5. upnutí

- vrták 16
- vrták 17
- vrták 18 [závitník]



Obr. 2.27 Použití operace 2D adaptivní v rámci 4. upnutí držáku osazovacího pístu

2.3 Srovnání původního a nového řešení zařízení pro dělení magnetických bodů

V dílčích podkapitolách bude mezi sebou porovnáno původní a nové zařízení na základě vybraných kritérií. Všechny statistické veličiny byly zjištěny pomocí tabulkového editoru Microsoft Excel.

2.3.1 Porovnání původního zařízení s novým zatřízením na základě výrobních časů jednotlivých bloků

U výrobních operací jako je zreferování souřadnicových os, najetí magnetického pásku na výchozí pozici, vysunutí magnetického bodu, odebrání magnetického bodu a osazení magnetického bodu jsou časy nezměněné. U dalších operací výrobního cyklu došlo ke zkrácení času v rámci nového zařízení. Největšího rozdílu se docílilo u pozicování magnetického bodu v X, Y a C. Značného ušetření času došlo také tím, že u nového zařízení odpadla výrobní operace najetí na reference. Nové zařízení bylo v celkovém času o 1,4 sekundy rychlejší než původní zařízení. V rámci průměrného času na jednu výrobní operaci magnetického bodu došlo k polovičnímu urychlení na novém zařízení. V tabulce 2.9 jsou vypsány jednotlivé časy výrobních operací a vybrané statistické veličiny.

Tab. 2.9 Porovnání časů jednotlivých bloků osazovacího cyklu na současném a novém osazovacím zařízení.

Krok osazovacího cyklu	Čas [s]	
	Současné zařízení	Nové zařízení
Zreferování souřadnicových os	0,9	0,9
Najetí magnetického pásku na výchozí pozici	0,1	0,1
Oddělení magnetického bodu	0,2	0,1
Vysunutí magnetického bodu na odebírací pozici	0,2	0,2
Odebírání magnetického bodu	0,1	0,1
Pozicování magnetického bodu v X, Y a C	0,8	0,3
Osazení magnetického bodu	0,3	0,3
Najetí na reference	0,6	0
Celkový čas	3,2	2
Maximální čas jednoho magnetického bodu	0,9	0,9
Minimální čas jednoho magnetického bodu	0,1	0
Průměrný čas na jednu výrobní operaci	0,4	0,3
Medián časů	0,3	0,2
Směrodatná odchylka časů	0,3	0,3
Rozptyl časů	0,1	0,1

2.3.2 Porovnání původního s novým zatřízením na základě uražené vzdálenosti pozicovacího suportu

V tabulce č. 2.10 jsou porovnány jednotlivé vzdálenosti, které urazí pozicovací suport na soudobém a novém osazovacím zařízení během jednoho výrobního cyklu fólie typu 3. V rámci srovnání došlo k vypočtení základních statistických veličin, které jsou rovněž vypsány v tabulce č. 2.10.

Nové zařízení vykazuje ve všech zkoumaných statistických veličin lepší výsledky než původní zařízení. V celkové uražené vzdálenosti došlo k poklesu z 20 379,2 mm na 1 848,5 mm, což činí snížení o 18530,7 mm. U maximální vzdálenosti, kterou urazí pozicovací suport v rámci jedné fólie typu 3, došlo k poklesu zhruba o 57,18 %. Co se týče minimální vzdálenosti, tak tam došlo k 95% snížení. Pozicovací suport v původní zařízení urazil v průměru na jeden

magnetický bod vzdálenost 166 mm, kdežto u nového zařízení došlo k poklesu na vzdálenost 8,3 mm. Podobně je na tom i medián, kde v původním řešení byl na hodnotě 382,1 mm, kdežto u nového řešení došlo k poklesu na hodnotu 22,5 mm. Obdobně si na tom stojí směrodatná odchylka (61,87% pokles) a rozptyl vzdáleností (85,48% pokles), který je na novém zařízení nižší.

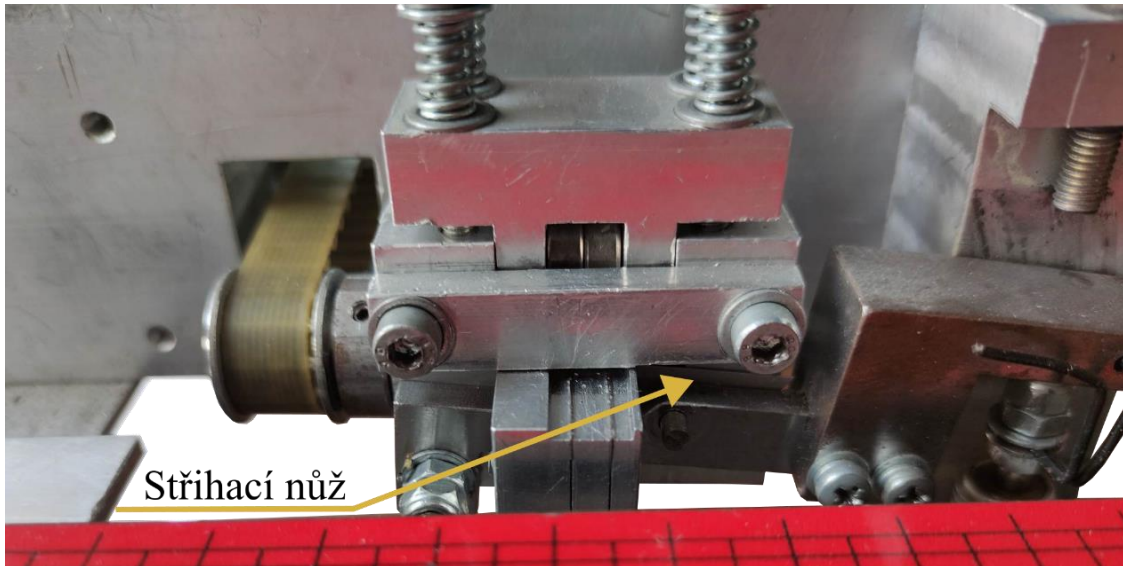
Pozicovací suport na současném zařízení urazil celkovou vzdálenost za 156,8 s, kdežto pozicovací suport na novém zařízení zdolal celkovou vzdálenost za 14,2 s, což činí zrychlení výroby o 142,6 sekund na jednom osazovacím cyklu fólie typu 3. Značný rozdíl je způsobený tím, že pozicovací suport na současném zařízení se musí po každém osazení magnetického bodu vrátit na reference, kde vyzvedne další magnetický bod.

Tab. 2.10 Porovnání ujeté dráhy pozicovacího suportu na současném a novém osazovacím zařízení.

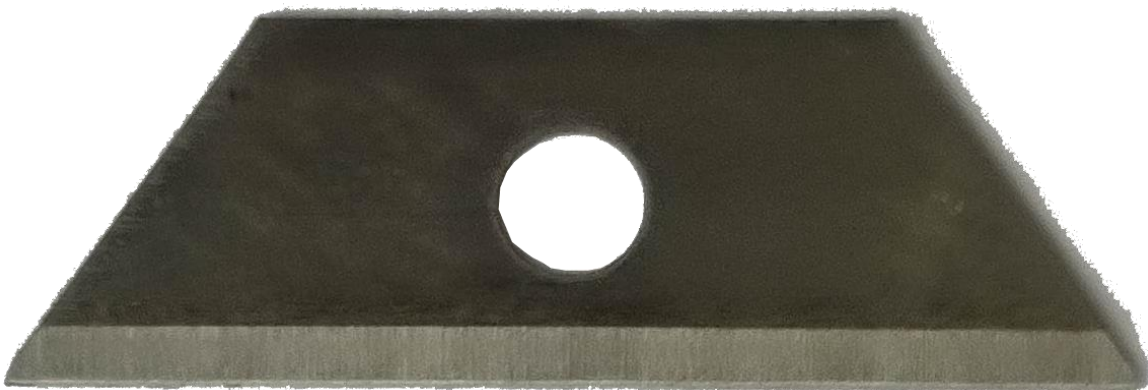
Statistická veličina	Dráha [mm]	
	Současné zařízení	Nové zařízení
Celková vzdálenost	20 379,2	1 848,5
Maximální vzdálenost jednoho magnetického bodu	537,4	230,1
Minimální vzdálenost jednoho magnetického bodu	166,0	8,3
Průměrná vzdálenost na jeden magnetický bod	370,5	33,0
Medián vzdáleností	382,1	22,5
Směrodatná odchylka vzdáleností	83,4	31,8
Rozptyl vzdáleností	6 959,6	1 010,2
Čas potřebný k uražení celkové vzdálenosti	156,8 s	14,2 s

DISKUZE

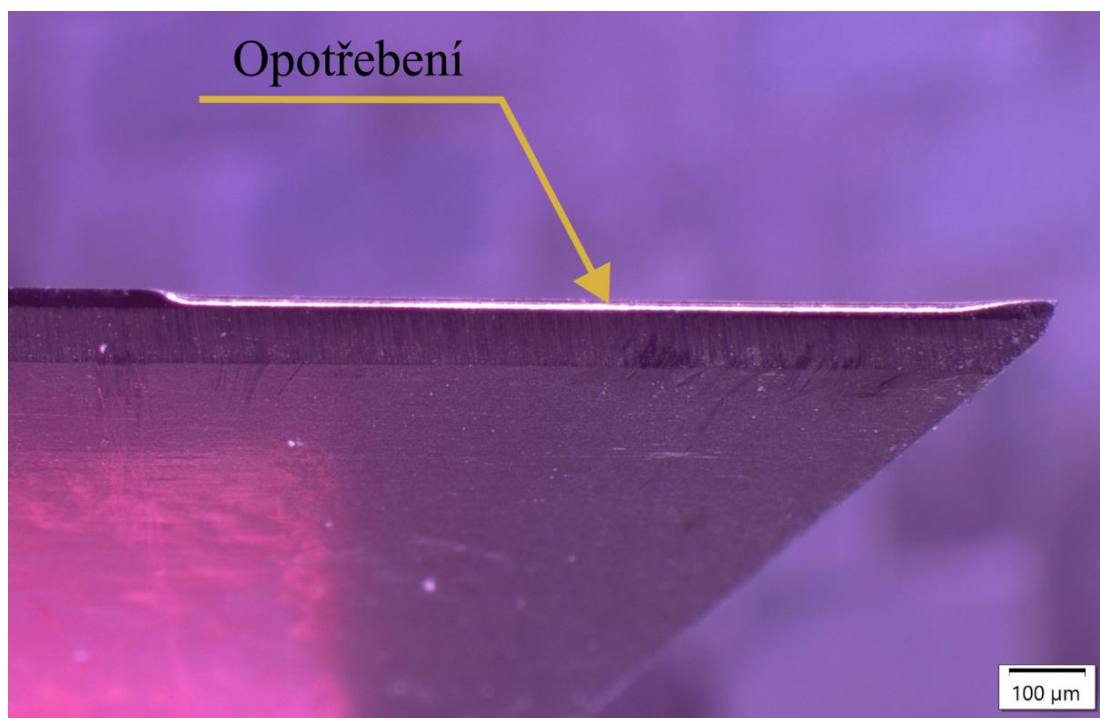
Na tuto bakalářskou práci by šlo navázat s podrobnějším zkoumáním dělicího mechanismu. Konkrétně by se jednalo o zkoumání stříhacího nože, který je na obrázku č. 3.1 a 3.2. Na stříhacím noži by se zjišťovalo opotřebení (viz obrázek 3.3), které je způsobeno stříháním magnetických bodů. Opotřebení na obrázku číslo 3.2 bylo zobrazeno pomocí mikroskopu Olympus SZX10, který je uveden na obrázku 3.4. Na základě tohoto experimentu by byla navrhuta optimální drážka (hloubka a šířka), do které zajíždí nůž během stříhání magnetických bodů a optimální posun stříhacího nože. Z provedeného experimentu by také bylo zjištěno, kolik magnetických bodů je stříhací nůž schopen ustříhnout, než dojde k jeho vyřazení z provozu.



Obr. 3.1 Stříhací nůž v osazovacím zařízení.



Obr. 3.2 Detail stříhacího nože v osazovacím zařízení.

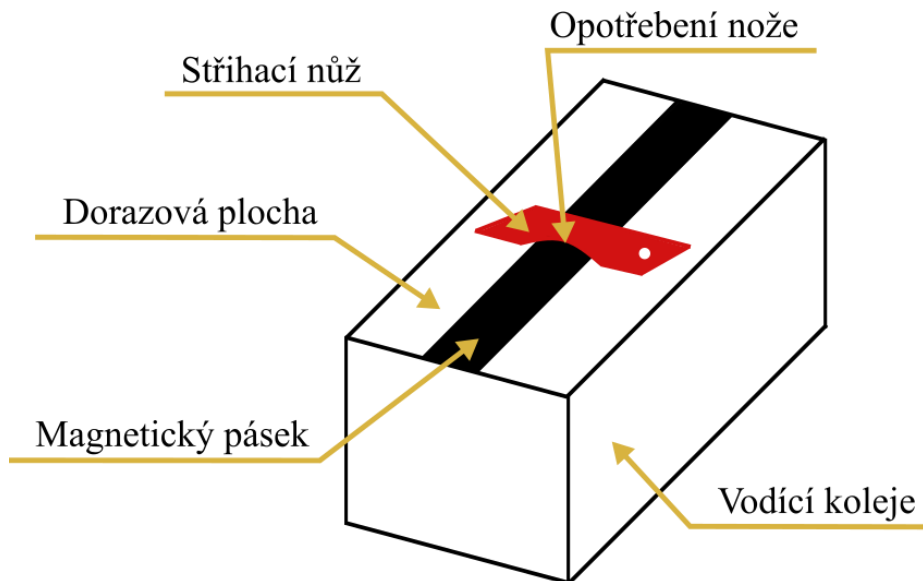


Obr. 3.3 Opotřebení stříhacího nože v osazovacím zařízení.

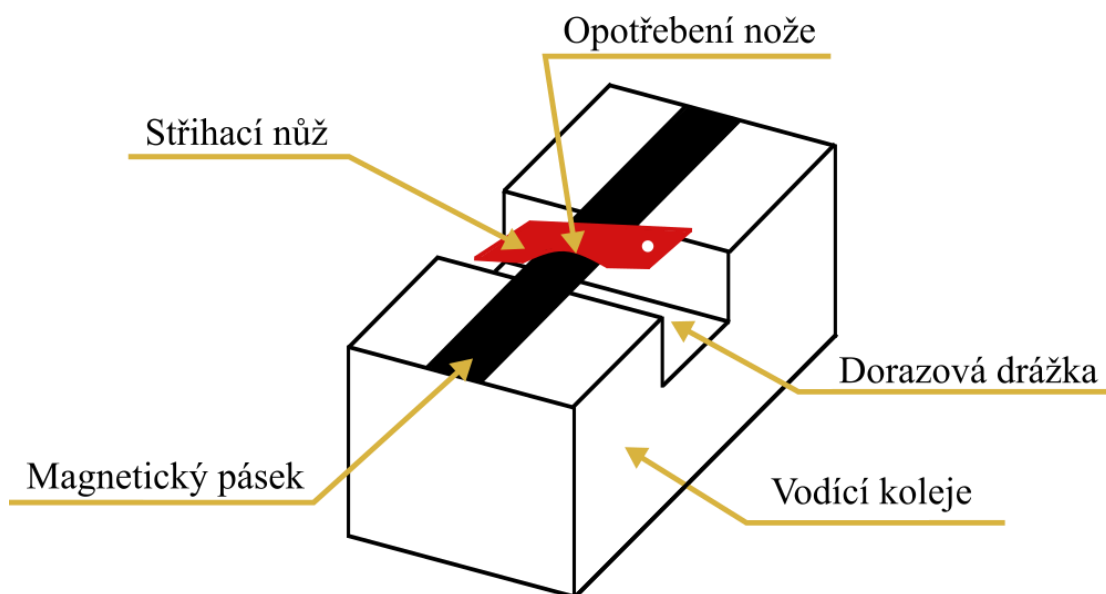


Obr. 3.4 Olympus SZX10

Díky zmíněné drážce dochází k prodloužení životnosti stříhacího nože. Obrázek č. 3.5 ukazuje, že opotřebený nůž, který dosedá na dorazovou plochu nedokáže ustříhnout magnetický bod. Naopak na obrázku č. 3.6 stejně opotřebený nůž dokáže ustříhnout magnetický bod díky dorazové drážce do které nůž zajíždí.



Obr. 3.5 Střih magnetického bodu s dorazovou plochou.



Obr. 3.6 Střih magnetického bodu s dorazovou drážkou.

Další oblastí, na kterou by se dalo navázat v další závěrečné práci je oblast přichytávání magnetických bodů. Tato bakalářská práce se nezabývala vakuovými vývěvami, které jsou v rámci současného a nového zařízení nezměněné. Použité vakuové vývěvy nejsou příliš silné. Při jejich nahrazení silnějšími vakuovými vývěvami by došlo ke zkrácení potřebného času k vytvoření vakua (podtlaku). Tímto by docházelo k rychlejšímu přísátí magnetického bodu, tím pádem by se docílilo rychlejšímu přesunu z místa na místo. Na druhou stránku se to také musí porovnat se spotřebou vzduchu, která by v tomto případě narostla.

ZÁVĚR

Pro navržení nového osazovacího zařízení bylo provedeno zhodnocení současného stavu osazovacího zařízení, které bylo využito při návrhu nového osazovacího zařízení, které se primárně zaměřovalo na pozicovací suport. Nové zařízení se zaměřilo na nejpomalejší oblast současného zařízení. Jedná se zejména o přejezdy jednotlivých bodů a časové prodlevy mezi jednotlivými kroky osazovacího cyklu. Nově navržené zařízení plně nahrazuje funkčnost soudobého zařízení. V rámci inovativního návrhu došlo k odstranění nedostatků nynějšího zařízení – mezi hlavní mínusy patří dlouhé prodlevy (až 0,2 s) mezi jednotlivými kroky výrobního cyklu a značná uražená vzdálenost (20 379,2 mm) pozicovacího suportu během osazovacího cyklu. Dospělo se také k vylepšení funkcí nynějšího zařízení – nová konstrukce a přesun dělicího mechanismu na pozicovací suport. Nové zařízení prošlo těmito úpravami, aby se docílilo co největší efektivity výrobního cyklu.

Experimentální část bakalářské práce se zaměřovala na osazování fólie typu 3 v rámci současného a nového zařízení. Na základě tohoto zkoumání se dospělo k těmto výsledkům:

- Zkrácení výrobní taktu jednoho magnetického bodu fólie typu 3 z původních 3,2 s na 2 s, což činí pokles zhruba o 38 %. Na jedné fólii typu 3 se nachází 55 magnetických bodů, z toho vyplývá, že osazení fólie typu 3 na původním zařízení bude trvat okolo 176 s a na novém zařízení zhruba 110 s.
 - Přesun dělicího mechanismu na pozicovací suport – snížení celkové vzdálenosti, kterou urazí pozicovací suport během jednoho osazovacího cyklu. Celková vzdálenost poklesla z prvotních 20 379,2 mm na 1 848,5. Jedná se zhruba o 90,93% snížení.
 - Nahrazení jednočinných pístů dvojitými písty – snížení prodlev mezi vybranými operacemi výrobního cyklu. Snížení času se kalkuluje o 30 % u stříhu magnetického pásu a osazování magnetického bodu.
- Odlišná konstrukce dělicího mechanismu.
 - Zabránění usazování zbytků lepidla v kolejkách (magnetický pásek je přiváděn po magnetické straně) – snížení pravidelných intervalů servisů pro rozebrání a vyčištění zařízení.
 - Stříhací nůž nedosedá na dorazovou plochu, nýbrž do drážky (snížení opotřebení nože) – díky tomuto řešení lze předpokládat, že nůž bude schopen ustříhnout více magnetických bodů než počet 4300, kterého se dosáhlo v původním řešení.

Díky nové konstrukci zařízení pro dělení a osazování magnetických bodů bylo také docíleno těchto minoritních cílů:

- Větší souřadnicový stůl – možnost umístit více fólií k osazování.
- Změna umístění svinutého magnetického pásu, který se spolu s dělicím mechanismem přemístil na pozicovací suport – lepší skladování.

Na základě uvedených výsledků lze říct, že se zdařilo navrhnout efektivnější, úspornější a výkonnější zařízení než to stávající. V rámci jednoho výrobního cyklu fólie typu 3 došlo ke zmíněné úspoře 66 sekund. Což v rámci deseti výrobních cyklů fólie typu 3 činí značné ušetření výrobního času – cca 11 minut.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LEE, Kunwoo. Principles of CAD/CAM/CAE Systems. In: *CumInCAD* [online]. New York: Addison-Wesley, 1999 [cit. 2022-10-03]. Dostupné z: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/2015%20+dave=2:/Show?0a45>
- [2] SANNINO, G., F. GERMANO, L. ARCURI, E. BIGELLI, C. ARCURI a A. BARLATTANI. CEREC CAD/CAM chairside system. *Oral & implantology* [online]. Italy: CIC Edizioni Internazionali, 2014, **7**(3), 57-70 [cit. 2022-10-03]. ISSN 1974-5648. Dostupné z: doi:10.11138/orl/2014.7.3.057
- [3] RADHAKRISHNAN, Pezhingattil, S. SUBRAMANYAN a V. RAJU. *CAD/CAM/CIM* [online]. Second Edition. New Delhi: New Age International, 200 [cit. 2022-10-03]. ISBN 81-224-1248-3. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=LITRsQJaf80C&oi=fnd&pg=PA1&dq=RADHAKRISHNAN,+Pezhingattil%3B+SUBRAMANYAN,+S.%3B+RAJU,+V.+Ca+d/cam/cim.+New+Age+International,+2008.&ots=_AmANbUmtl&sig=Wwn4-yWoAIsjbmKmGYF3dZdcheo&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [4] In: *LibreCAD: Open Source 2D-CAD* [online]. [cit. 2022-10-18]. Dostupné z: <https://librecad.org/>
- [5] In: *FreeCAD: Your own 3D parametric modeler* [online]. [cit. 2022-10-18].
- [6] In: *OpenSCAD: The Programmers Solid 3D CAD Modeller* [online]. [cit. 2022-10-18].
- [7] SOLIDWORKS CAM. In: *SOLIDWORKS* [online]. [cit. 2022-10-18]. Dostupné z: <https://www.solidworks.com/product/solidworks-cam>
- [8] HSMWorks: Embedded CAM software for SOLIDWORKS. In: *AUTODESK* [online]. [cit. 2022-10-18]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/products/hsmworks/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- [9] Inventor CAM: Integrated CAM software simplifies CNC programming processes. In: *AUTODESK* [online]. [cit. 2022-10-18]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/products/inventor-cam/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- [10] POWERMILL: Expert pro vysokorychlostní a 5osé frézování. In: *ARKANCE systems* [online]. [cit. 2022-10-18]. Dostupné z: <https://www.powermill.cz/>
- [11] In: *Mastercam: CAD/CAM Systems* [online]. [cit. 2022-10-18].
- [12] KELLINGHUSEN, Martin. Choosing and integrating a medical device stepper motor. In: *StarFish: MEDICAL* [online]. [cit. 2022-10-03]. Dostupné z: <https://starfishmedical.com/blog/medical-device-stepper-motor/>
- [13] HRABOVCOVÁ, Valéria, Ladislav JANOUŠEK, Miroslav LIČKO a Pavol RAFAJDUS. *Moderné elektrické stroje*. Žilina: EDIS, 2001, 265 s. ISBN 80-7100-809-5.
- [14] UHLÍŘ, Ivan. *Elektrotechnika*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 1998, 284 s. ISBN 80-01-01800-8.
- [15] SHEN, Bi a Xiao GUAN. Application Research of Stepper Motor Control with TMS320F2812. *Applied Mechanics and Materials* [online]. Zurich: Trans Tech Publications Ltd, 2014, **556-562**, 2544-2548 [cit. 2022-10-03]. ISBN 3038351156. ISSN 1660-9336. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.556-562.2544

-
- [16] YASUKAWA, Masataka, Katsuhiko HIRATA a Masayuki KATO. Novel oscillatory actuator for haptic device using principle of stepper motor. In: *2017 11th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications (LDIA)* [online]. Osaka: The Institute of Electrical Engineers of Japan, 2017, s. 1-4 [cit. 2022-10-03]. ISBN 4886864007. Dostupné z: doi:10.23919/LDIA.2017.8097242
- [17] RUIDER, Pavel, Jan POHORSKÝ a J. KYLAR. *Krokové motory*. 1985, 35 s.
- [18] KUBIN, Jiří. *Krokové motory a jejich řízení* [online]. In: . [cit. 2022-10-03]. Dostupné z: https://www.pslib.cz/jiri.kubin/SIZ/Elektrick%C3%A9%20stroje/Krokov%C3%A9_motory.pdf
- [19] Krokové motory 1 – typy motorů. In: *RoboDoupě: web nejen o robotice* [online]. Česká republika, 2013 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2013/krokov%C3%A9-motory-1-typy-motoru/>
- [20] SKALICKÝ, Jiří. *Elektrické servopohony*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1999. ISBN 80-214-1484-7.
- [21] DVOŘÁKOVÁ, Hana. *Silové krokové motory*. Brno: Výzkumný a vývojový ústav elektrických strojů točivých, 1969.
- [22] Elektrické pohony. In: *Akční členy* [online]. [cit. 2022-10-04]. Dostupné z: http://www.e-automatizace.cz/ebooks/ridici_systemy_akcni_cleny/Akc_el.html
- [23] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 247 s. ISBN 80-730-0141-1.
- [24] ŘEZÁČ, Kamil. Krokové motory. In: *Robotika.cz* [online]. 2002 [cit. 2022-10-03]. Dostupné z: <https://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [25] DOLINAY, Jan, Petr DOSTALEK a Vladimír VASEK. Arduino Debugger. *IEEE embedded systems letters* [online]. PISCATAWAY: IEEE, 2016, **8**(4), 85-88 [cit. 2022-10-03]. ISSN 1943-0663. Dostupné z: doi:10.1109/LES.2016.2619692
- [26] CRESSEY, Daniel. AGE OF THE ARDUINO. *Nature (London)* [online]. LONDON: Springer Nature, 2017, **544**(7648), 125-126 [cit. 2022-10-03]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/544125a
- [27] What is Arduino?. In: *Arduino.cc* [online]. 2018 [cit. 2022-10-03]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- [28] D'AUSILIO, Alessandro. Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment. *Behavior research methods* [online]. New York: Springer-Verlag, 2011, **44**(2), 305-313 [cit. 2022-10-03]. ISSN 1554-351X. Dostupné z: doi:10.3758/s13428-011-0163-z
- [29] Computing for everybody. In: *Raspberry Pi* [online]. [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/>
- [30] PLC - Programovatelný logický automat: Programmable Logic Controller. In: *PLC AUTOMATIZACE* [online]. [cit. 2022-10-19]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/plc.htm>
- [31] CO JE PLC NEBOLI PROGRAMOVATELNÝ LOGICKÝ AUTOMAT. In: *DREAMlandPLC* [online]. [cit. 2022-10-19]. Dostupné z: <https://dreamland-plc.cz/plc-programovatelný-logický-automat/>
- [32] Flexibilní CNC systémy a řešení. In: *FANUC* [online]. [cit. 2022-10-18]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/cnc/cnc-system>
- [33] Programování PLC. In: *BLUMENBECKER* [online]. [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.blumenbecker.com/cz/prumyslova-automatizace/pohony/programovani-plc>
-

-
- [34] Arduino Mega Pololu Shield. In: *RepRap* [online]. 2018 [cit. 2022-10-03]. Dostupné z: https://reprap.org/wiki/Arduino_Mega_Pololu_Shield
- [35] HRONČOK, Miroslav. 3D tiskárny RepRap: Open-source mašinky, které vám usnadní život. In: *Linuxexpres* [online]. Praha: ČVUT, 2012 [cit. 2022-10-03]. Dostupné z: <https://www.linuxexpres.cz/hardware/3d-tisk>
- [36] ARM, Jakub. *Motory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2019.
- [37] *High Frame Rate Electronic Imaging* [online]. In: BALCH, Kris. Motion Video Products, 1999, s. 39 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20160304000301/http://www.motionvideoproducts.com/MVP%20papers/HSV%20White%20Paper.pdf>
- [38] HONOUR, J. A brief history of principles used in high speed cameras. *The Imaging Science Journal* [online]. 2009, **576**, 303-316 [cit. 2023-03-22]. ISSN 1368-2199. Dostupné z: doi:10.1179/136821909X12490307953035
- [39] Nac Image Technology. In: *Applications* [online]. 2023 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://www.nacinc.com/applications/>
- [40] High-Speed Cameras and Slow-Motion Video Terms and Concepts. In: *Fastec* [online]. [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://www.fastecimaging.com/high-speed-video-camera-applications/#frame-rate-fps>
- [41] Phantom T4040. In: *Phantom / Ametek* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.phantomhighspeed.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Označení	Legenda
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
fps	Frames per second/počet snímků za vteřinu
CCD	Charge-coupled device/zařízení s vázanými náboji
DRAM	Dynamic Random Access Memor
Mpx	Mega pixel (1 mil. pixelů)
ms	milisekunda