



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Katedra biomedicínské techniky

**Zařízení pro automatizaci pracovního cyklu aparatury pro
testování materiálů**

**Equipment for automation of the working cycle of apparatus for
testing of materials**

Bakalářská práce

Studijní program: (B3921) Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: (2612R079) Informační a komunikační technologie v lékařství

Vedoucí práce: doc. Ing. Patrik Kutílek, MSc., Ph.D.

Josef Hnízdo

Kladno 2023

Zadání práce

Navrhňte a sestrojte zařízení pro automatizaci pracovního cyklu aparatury pro testování mechanické odolnosti materiálů pomocí indentoru. Zařízení bude využívat elektrického navijáku, který bude zajišťovat zvedání a ustavení hlavice s indentorem pomocí doku s vypouštěcím mechanismem. Hlavice bude navrženým zařízením automaticky ustavována v uživatelem definované výšce, podle velikosti požadované dopadové energie při dopadu indentoru na testovaný materiál. Zařízení a aplikační software umožní opakované měření materiálů při stejné uživatelem nastavené energii dopadu. Navržené zařízení musí splňovat státní normy BOZP a bezpečnosti elektrických zařízení. Zařízení otestujte, statisticky vyhodnoťte spolehlivost měření a definujte chybu měření. Vypracujte stručný návod k bezpečnému užívání zařízení.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Zařízení pro automatizaci pracovního cyklu aparatury pro testování materiálů“ vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne 18.5.2023

.....

Josef Hnízdo

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Patriku Kutílkovi, MSc., Ph.D., za jeho ochotu a vstřícnost během zpracování mé bakalářské práce. Děkuji také za možnost účastnit se zajímavých projektů na naší fakultě, které mi poskytují mnoho praktických zkušeností.

ABSTRAKT

Zařízení pro automatizaci pracovního cyklu aparatury pro testování materiálů:

V této práci bylo navrženo a sestrojeno zařízení pro automatizaci pracovního cyklu aparatury pro testování mechanické odolnosti materiálů pomocí indentoru. K zajištění zvedání a ustavení hlavice s indentorem pomocí doku s vypouštěcím mechanismem byl využit elektrický naviják. Hlavice je automaticky ustavována v uživatelem definované výšce navrženým zařízením, podle velikosti požadované dopadové energie dopadu indentoru na testovaný materiál. Zařízení umožňuje spolehlivé měření materiálů díky konzistentní energii dopadu. U navrženého zařízení bylo zajištěno splnění státních norem BOZP a bezpečnosti elektrických zařízení.

Bylo provedeno otestování zařízení, statistické vyhodnocení spolehlivosti měření a definování chyby měření. Byl vypracován stručný návod k bezpečnému užívání zařízení.

Klíčová slova

rozpojovací mechanismus, automatizované ovládání, mikrokontroler, indentor

ABSTRACT

Equipment for automation of the working cycle of apparatus for testing of materials:

In this thesis, a device was designed and built to automate the working cycle of the apparatus for testing the mechanical resistance of materials using an indenter. An electric winch was used to provide lifting and alignment of the indenter head using a dock with a release mechanism. The head is automatically positioned at a user-defined height by the designed device, according to the magnitude of the required impact energy of the indenter on the material being tested. The device allows reliable measurement of materials due to the consistent impact energy. Compliance with government OHS and electrical safety standards has been ensured for the designed device.

Testing of the device, statistical evaluation of measurement reliability and definition of measurement error were performed. Brief instructions for the safe use of the equipment were developed.

Keywords

decoupling mechanism, automated operation, microcontroller, indenter

Obsah

Seznam symbolů a zkratk.....	9
1 Úvod	10
2 Přehled současného stavu.....	11
2.1 Současný stav problematiky v ČR a ve světě.....	11
2.1.1.Principy testovacích aparatur	11
2.2 Současný stav řešení na FBMI	12
2.2.1 Součásti měřící aparatury	12
2.2.2 Možnosti řešení vypouštěcího mechanismu	13
2.2.3 Možnosti řešení automatizace vytažení do předem definované výšky 14	
2.2.4 Typy mikrokontroleru	15
2.3 Požadavky norem a BOZP	16
2.4 Závěr kapitoly	17
3 Cíle práce	18
4 Metody	19
4.1 Vypouštěcí mechanismus indentoru.....	19
4.1.1 Výchozí stav	19
4.1.2 Návrh řešení.....	19
4.1.3 Návrh a výroba úchytů rozpojovacích prvků	19
4.2 Výroba.....	22
4.2.1 Postupy obrábění jednotlivých částí	23
4.2.2 Implementace vypouštěcího mechanismu na testovací zařízení	25
4.3 Automatizace navijáku	26
4.3.1 Ovládání elektromotoru navijáku	26
4.3.2 Řešení automatizace vytažení do předem definované výšky	27
Ovládání automatizovaného pojezdu	28
4.3.3 Mikrokontroler	29
4.3.4 Spínací prvky elektromotoru	29
4.3.5 Elektrické zapojení	29
4.3.6 Ovládací program	31

4.3.7	Funkce pro ustavení v požadované výšce	32
4.3.8	Shoda s normami bezpečnosti a BOZP	33
5	Výsledky.....	35
5.1	Ověření funkce vypouštěcího mechanismu.....	35
5.2	Ověření konzistentnosti dopadové energie za použití automatizovaného navijáku.....	36
5.2.1	Popis měření	36
5.3	Výsledky montáže jednotlivých prvků.....	38
5.3.1	Vliv opotřebení na životnost	39
Diskuse		40
5.4	Ověření funkce vypouštěcího mechanismu.....	40
5.4.1	Test vypuštění.....	40
5.4.2	Test automatického spojení	40
5.4.3	Test mechanické pojistky	40
5.4.4	Ověření konzistentnosti dopadové energie za použití automatizovaného navijáku	41
5.4.5	Spínání elektromotoru	41
6	Závěr	42
6.1	Naplnění cílů práce a další směry řešení	43
6.2	Naplnění cílů práce.....	43
6.3	Další směry řešení	43
Seznam použité literatury		44
7	Seznam příloh.....	45

Seznam symbolů a zkratk

Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
R	Ω	Elektrický odpor
U	V	Elektrické napětí
l	mm (m)	Délka

Seznam zkratk

Zkratka	Význam
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
IDE	Vývojové prostředí
CNC	Computer Numerical Control (Číslicově řízené stroje)
CAM	Computer aided manufacturing (Počítačem podporovaná výroba)
3D	Trojrozměrný
AC	Střídavý proud

1 Úvod

Práce se zabývá automatizací cyklu měřicí aparatury sloužící pro testování mechanické odolnosti materiálů pomocí indentoru. Návrh byl proveden v souladu s analýzou současného stavu v ČR a ve světě. Měřicí aparatura pracuje na principu volného pádu indentoru, který dopadá na měřený materiál. Zařízení využívá elektrického navijáku, který bude zajišťovat zvedání a ustavení hlavice s indentorem pomocí doku s vypouštěcím mechanismem. Pevnost testovaného materiálu je následně určena hloubkou otvoru, který vytvoří indentor při předem definované energii, která je určena výškou, ze které padá indentor volným pádem. Indentor je k měřicí aparatuře připevněn přes „vozik“ který pomocí lineárního vedení, zajišťuje pohyb indentoru po správné dráze.

V průběhu měření je nutné opakovaně používat stejnou energii dopadu, jež vyžaduje ustavit indentor vždy do správné výšky. Jelikož má vozík s indentorem relativně vysokou hmotnost, je manuální ustavování fyzicky náročné, tudíž bylo třeba automatizovat toto ustavování pomocí navijáku a vypouštěcího zařízení. Pomocí navrhovaného vypouštěcího zařízení bude zajištěna bezpečnost práce s měřicí aparaturou podle norem BOZP.

2 Přehled současného stavu

2.1 Současný stav problematiky v ČR a ve světě

V současné době je testování mechanických vlastností materiálů zásadním prvkem v oblasti vývoje a výzkumu. Přesná a spolehlivá měření mechanických vlastností materiálů jsou nezbytná pro optimalizaci jejich použití ve vojenských aplikacích, od vývoje nových zbraní a vojenských vozidel po ochranné materiály pro vojáky. Zařízení určená k provádění těchto testů jsou klíčovými nástroji, které umožňují inženýrům a výzkumníkům získat důležité informace o pevnosti, pružnosti a dalších mechanických vlastnostech materiálů. Hlavními společnostmi pro výrobu těchto zařízení jsou: MTS Systems Corporation, Micro Materials Ltd, Hysitron Inc, NANOVEA Inc a CSIRO.

2.1.1. Principy testovacích aparatur

Ruční zatěžovací zařízení

Tato zařízení zahrnují jednoduché mechanismy, jako jsou páky nebo šroubová zařízení, která umožňují ruční aplikaci síly na indentor. Přestože jsou tyto systémy jednoduché a levné, mohou být méně přesné než jiné metody.

Mechanické zatěžovací zařízení

Mechanická zatěžovací zařízení používají různé mechanické součásti, jako jsou ozubená kola, čepy a pružiny, pro přesné a opakované aplikace zatížení na indentor. Tyto systémy mohou být navrženy tak, aby poskytovaly konstantní nebo proměnné zatížení v závislosti na požadavcích zkoušky.

Hydraulické zatěžovací zařízení

Hydraulická zatěžovací zařízení využívají hydraulický tlak pro plynulé a přesné zvyšování zatížení na indentor. Tyto systémy mohou být navrženy pro různé úrovně zatížení a mohou být řízeny ručně nebo automaticky.

Elektromechanické zatěžovací zařízení

Elektromechanická zatěžovací zařízení používají elektrické motory a převodovky pro přesné a opakované aplikace zatížení na indentor. Tyto systémy mohou být navrženy pro různé úrovně zatížení a mohou být řízeny pomocí elektronických řídicích jednotek.

Gravitační zatěžovací zařízení

Gravitační zařízení, využívají tíhu závaží k aplikaci síly na indentor. Gravitační zařízení mohou být jednoduchá a relativně levná, ale nemusí být tak přesná jako jiné metody zatěžování. Tato zařízení obvykle fungují tak, že se závaží uvolní ze zadané výšky a jeho dopad na indentor způsobí aplikaci síly na testovaný materiál.

2.2 Současný stav řešení na FBMI

Z počátku byla měřicí aparatura složena, a byla již funkční. Podmínky provozování však neodpovídaly požadavkům pro bezpečnost, efektivitu a komfort při používání aparatury. Výška musela být předem definována pomocí příruby, do které byl vozík s indentorem ustaven a tím připraven k měřicímu pádu. Příruba byla také upevněna v lineárním vedení a byla již vybavena navijákem, který usnadňoval nastavování požadované výšky, nebylo ho však možné použít pro zvedání do požadované výšky, jelikož by tím došlo ke změně vypouštěcí výšky. Bezpečnost používání byla nízká, jelikož bylo vyžadováno, aby během pádu stála v bezprostředním okolí aparatury osoba, která zahajovala pád.

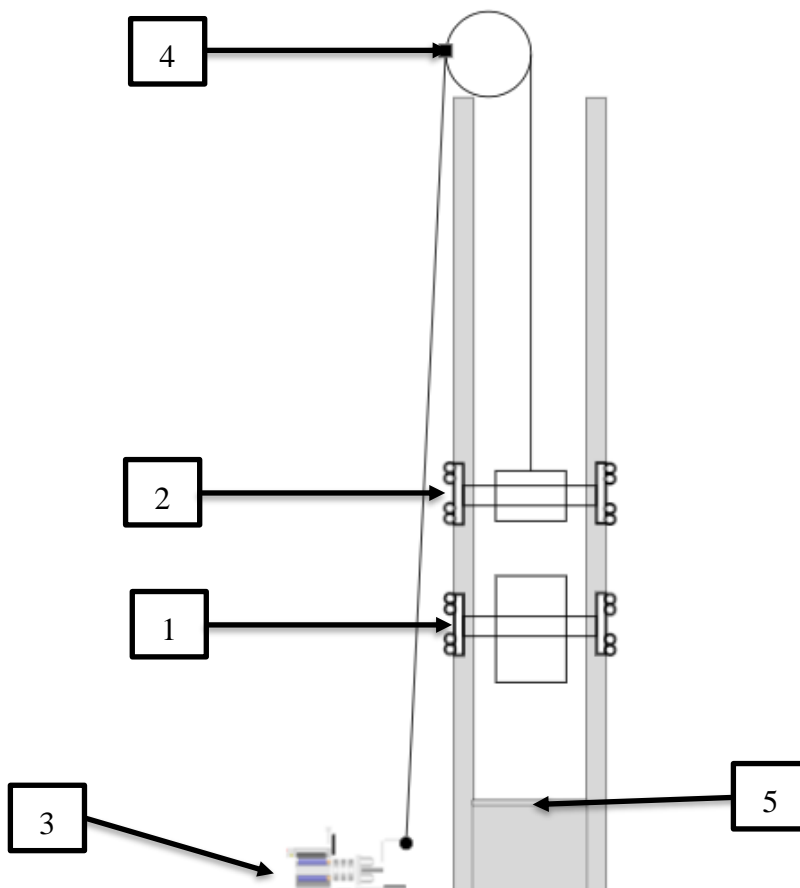
2.2.1 Součásti měřicí aparatury

Měřicí soustava se skládá z na sobě nezávisle pohybujících se vozíků. Vozíky se pohybují v lineárním vertikálním směru. Vrchní vozík je v práci nazýván jako „dok“. Spodní vozík má ve spodní části indenter, který má za úkol proříznout měřený materiál.

Dok je připevněn pomocí lana a kladky k navijáku, který se nachází v podstavci aparatury. Schéma měřicí aparatury je na obrázku 1.

Popis obrázku 1:

1. Vozík s indentorem
2. Dok
3. Elektrický naviják
4. Kladka
5. Dopadová plocha



Obrázek 1: Schéma konstrukce měřící aparatury

2.2.2 Možnosti řešení vypouštěcího mechanismu

Elektromagnetický zámek

Elektromagnetický zámek („bzučák“) je jednoduchým zařízením, které by mohlo splňovat funkci vypouštěcího zařízení. Jelikož se jedná již o hotový výrobek, mělo by toto řešení nízké nároky na výrobu, která by pravděpodobně spočívala pouze v úchytu tohoto prvku.

Během testů na dveřích disponující tímto zámkem jsem zjistil, že se tento typ zámku nedokáže odjistit, pokud jsou dveře v tahu. Tímto jsem toto řešení zavrhl. [1]

Elektromagnetický aktuátor

Elektromagnetický aktuátor je zařízení, které se dokáže pomocí elektromagnetického pole pohybovat v lineárním směru. Pro řešení projektu by byla využita jakási západka, která by za aretovala spodní vozík k doku.

Nevýhodou tohoto řešení je vysoká hmotnost vozíku s indentorem, která by vytvářela silné tření mezi západkou a vozíkem, které by snižovalo životnost jednotlivých komponent, či úplnou nemožnost odjištění. [1]

Manuální dálkové odjištění

Tento mechanismus by pracoval na stejném principu jako elektromagnetický aktuátor. Pro zajištění vozíku by byla použita západka, která by se uvolňovala pomocí bowdenu k ní připojené. Vzhledem k identičnosti principu jsou zde identické problémy jako u předchozího řešení. [1]

Elektromagnet

Vozík s indentorem by byl spojen s dokem pomocí elektromagnetu na doku a magnetické podložky na vozíku. Za použití dostatečně silného elektromagnetu by bylo řešení velice spolehlivé s nízkými nároky na údržbu a náhradní díly. [1]

Demagnetizační elektromagnet

Demagnetizační elektromagnet se skládá z permanentního magnetu a elektrické cívky. Za normálního stavu je magnet zmagnetizován, tudíž neustále přitahuje magnetické předměty. V případě že je dodán elektrický proud, cívka vytváří magnetické pole opačného směru než permanentní elektromagnet, jež téměř způsobí vzájemné vyrušení sil.

2.2.3 Možnosti řešení automatizace vytažení do předem definované výšky

Digitální odměřování

Pro určení výšky, ve které se dok nachází by mohlo sloužit digitální odměřování vzdálenosti, které se používá u starších obráběcích strojů pro zlepšení přesnosti a zjednodušení obsluhy stroje. Výhodou tohoto řešení je možnost změnit výšku bez nutnosti mechanického zásahu do zařízení.

Koncový spínač

Koncový spínač je jednoduchým řešením pro ustavení doku v dané výšce. Koncový spínač musí být pohyblivý tak, aby bylo možné nastavit požadovanou výšku, do které má být dok vytáhnut navijákem.

Výběr řešení

Pro potřeby práce by bylo ideální využít digitální odměřování, ovšem finanční náročnost je příliš vysoká oproti výhodám, které toto řešení přináší. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl využít koncového spínače pro ustavování doku v požadované výšce.

2.2.4 Typy mikrokontroleru

V rámci řešení bude nutné zvolit vhodný mikrokontroler, který by umožnil snadnou a rychlou realizaci. Po analýze a dle technických možností jsem nakonec volil mezi třemi populárními mikrokontrolery: Arduino Nano, ESP8266 a Raspberry Pi Zero. Každý z těchto mikrokontrolerů má své vlastní výhody a nevýhody, a tak jsem se musel důkladně rozhodnout, který z nich bude pro práci nejvhodnější. V následujícím srovnání je uvedeno několik výhod a nevýhod jednotlivých mikrokontrolerů.

Arduino Nano:

Výhody

- Snadná integrace do různých projektů díky malé velikosti
- Dostupnost a nízká cena
- Velká komunita a podpora knihoven kódu pro Arduino Nano
- Kompatibilita s mnoha rozšířeními
- Možnost využití integrovaného USB portu pro napájení a programování

Nevýhody

- Omezené množství paměti a výkonu, což může omezit použití v náročnějších projektech
- Omezené množství digitálních vstupů a výstupů, což může vyžadovat použití dalších komponentů pro rozšíření
- Není vhodný pro aplikace, které vyžadují velkou rychlost a výkon, jako jsou například náročné grafické aplikace

ESP8266

Výhody

- Vestavěná podpora Wi-Fi, což umožňuje snadné připojení k internetu a vzdálené řízení projektu
- Poměrně nízká cena a dostupnost
- Dostatečné množství paměti a výkonu pro většinu projektů
- Dostupnost rozsáhlé komunity a knihoven kódu
- Možnost programování v jazyce Lua nebo C++

Nevýhody

- Omezené množství vstupů a výstupů, což může vyžadovat použití dalších komponentů pro rozšíření
- Není tak jednoduché použití jako Arduino, zejména pro začátečníky
- Spotřeba energie může být vysoká, zejména při použití Wi-Fi připojení

Raspberry Pi Zero

Výhody

- Velmi malý a kompaktní design, což umožňuje integraci do mnoha projektů
- Poměrně vysoký výkon a dostatečné množství paměti pro náročnější projekty
- Vestavěná podpora Wi-Fi a Bluetooth
- Možnost použití různých operačních systémů, včetně Raspbian a Linux
- Dostatek digitálních vstupů a výstupů, včetně možnosti připojení kamer a displejů

Nevýhody

- Vyšší cena než Arduino Nano a další mikrokontrolery
- Spotřeba energie může být vysoká
- Vyžaduje více konfigurace a přizpůsobení než Arduino, což může být náročné pro začátečníky

2.3 Požadavky norem a BOZP

Bezpečnostní normy pro zařízení, jako je stroj s volně padajícím indentorem poháněným elektromagnetem, zahrnují řadu klíčových aspektů. Zařízení by mělo být navrženo tak, aby bylo spolehlivé a bezpečné, s použitím kvalitních komponent, včetně bezpečnostních interlocků a ochrany proti přetížení a zkratu. Dále by mělo být zabezpečeno proti nechtěnému vypuštění elektromagnetu a jeho elektrické součásti by měly být řádně uzemněny.

V případě kritických bezpečnostních funkcí, jako je vypouštění elektromagnetu, by měly být použity redundantní systémy pro zajištění kontinuální bezpečnosti i v případě selhání hlavního systému. To znamená, že pokud hlavní systém selže, záložní systém převezme jeho funkci a zabrání nebezpečné situaci.

Ovládací systémy by měly být navrženy tak, aby byly snadno ovladatelné a intuitivní pro operátora, s jasnými instrukcemi a signalizací pro správnou a bezpečnou manipulaci. Operátoři by měli být řádně proškoleni v bezpečném ovládní systému vypouštění elektromagnetu. Bezpečnostní školení a pokyny jsou klíčové pro zajištění bezpečného provozu a údržby zařízení.

2.4 Závěr kapitoly

Tato kapitola pojednává o různých typech testovacích aparatur a jejich principy fungování. Tyto aparatury zahrnují ruční zatěžovací zařízení, mechanická zatěžovací zařízení, hydraulická zatěžovací zařízení, elektromechanická zatěžovací zařízení a gravitační zatěžovací zařízení. Každé z nich má své vlastní výhody a nevýhody, které se musí vzít v úvahu při výběru zařízení pro konkrétní aplikaci.

Měřicí aparatura, kterou na fakultě používáme, má určité nedostatky, které je třeba řešit. Hlavní problémy se týkají bezpečnosti, efektivity a komfortu při používání aparatury. Měřicí aparatura se skládá z na sobě nezávisle pohybujících se vozíků a několika dalších součástí.

Při řešení vypouštěcího mechanismu byly zváženy různé možnosti, včetně elektromagnetického zámku, elektromagnetického aktuátoru, manuálního dálkového odjištění, elektromagnetu a demagnetizačního elektromagnetu. Z hlediska automatizace vytažení do předem definované výšky bylo zváženo použití digitálního odměřování nebo koncového spínače.

V případě analýz mikrokontrolerů se jako vhodné ukazují tři populární typy: Arduino Nano, ESP8266 a Raspberry Pi Zero. Každý z nich má své vlastní výhody a nevýhody, které musí být vzaty v úvahu při výběru.

3 Cíle práce

Na základě provedené rešerše současného stavu problematiky a zadání práce bylo cílem práce zautomatizovat pracovní cyklus měřící aparatury tak, aby byla zajištěna vyšší bezpečnost používání, efektivita a komfort. Pro dosažení těchto cílů je nutné vykonat několik dílčích částí.

První částí je zajištění vypuštění indentoru bez nutnosti fyzické přítomnosti obsluhy v bezprostředním okolí zařízení. Tímto bude dosažena bezpečnost, díky tomu, že se osoby nebudou pohybovat v okolí zařízení během měřícího pádu. Navržené zařízení bude splňovat státní normy BOZP a bezpečnosti elektrických zařízení.

Dalším částí bylo zajištění automatizace navijáku, jež pohybuje s dokem, ke kterému je připevněn vozík s indentorem před měřícím pádem. Díky automatizování navijáku je následně možné zajistit automatické ustavení doku s indentorem v požadované výšce. Zařízení a aplikační software umožní opakované měření materiálů při stejné uživatelem nastavené energii dopadu.

Zařízení bude otestováno, statisticky vyhodnocena spolehlivost měření a definována chyba měření.

Pro bezpečnou obsluhu zařízení bude sepsán návod pro jeho užívání.

4 Metody

4.1 Vypouštěcí mechanismus indentoru

4.1.1 Výchozí stav

Měřicí aparatura má dvě hlavní pohyblivé části, kterými jsou vozík s indentorem a dok. Dok je připevněn pomocí ocelové lanky k navijáku, který s ním pohybuje. Měřicí aparatura byla vybavena navijákem PARKSIDE PSZ 250 A2 jehož součástí je i ovládací panel.

Hlavním úkolem doku je připevnění vozíku indentorem ve spodní pozici, následné vytažení do požadované výšky a také uvolnění vozíku při měřicím pádu. [1]

V oblasti BOZP bylo zařízení zcela neodpovídající, z důvodu nutnosti přímého zásahu osob do měřicí aparatury během pohybu, i testovacích pádů, kdy hrozí možnost zranění dopadajícím indentorem, nebo jeho částmi, které by se mohly při poruše uvolnit.

4.1.2 Návrh řešení

Demagnetizační elektromagnet

Na základě provedené rešerše jsem zjistil, že jako vhodné je použití demagnetizačního elektromagnetu, který se skládá z permanentního magnetu a elektrické cívky. Za normálního stavu je magnet zmagnetizován, tudíž neustále přitahuje magnetické předměty. V případě že je dodán elektrický proud, cívka vytváří magnetické pole opačného směru než permanentní elektromagnet, jež téměř způsobí vzájemné vyrušení sil.

Pro potřeby práce jsem pořídil demagnetizační elektromagnet s přídržnou silou 40 Kg. Během práce s tímto elektromagnetem jsem zjistil, že je důležité, aby byl přitahovaný povrch hladký a čistý. [1]

4.1.3 Návrh a výroba úchytů rozpojovacích prvků

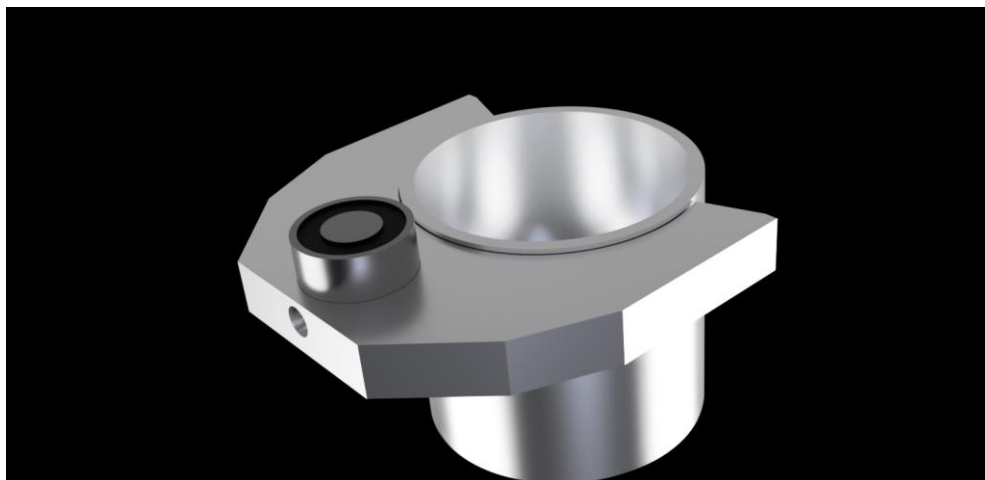
Modely pro rozpojovací mechanismus jsem vytvořil v programu Autodesk Fusion 360. [1] Optimalizace návrhu probíhala postupným prototypováním za pomoci 3D tisku, podle čehož byly jednotlivé modely upraveny tak, aby plně splňovaly svůj účel.

Uchycení k vozíku a doku

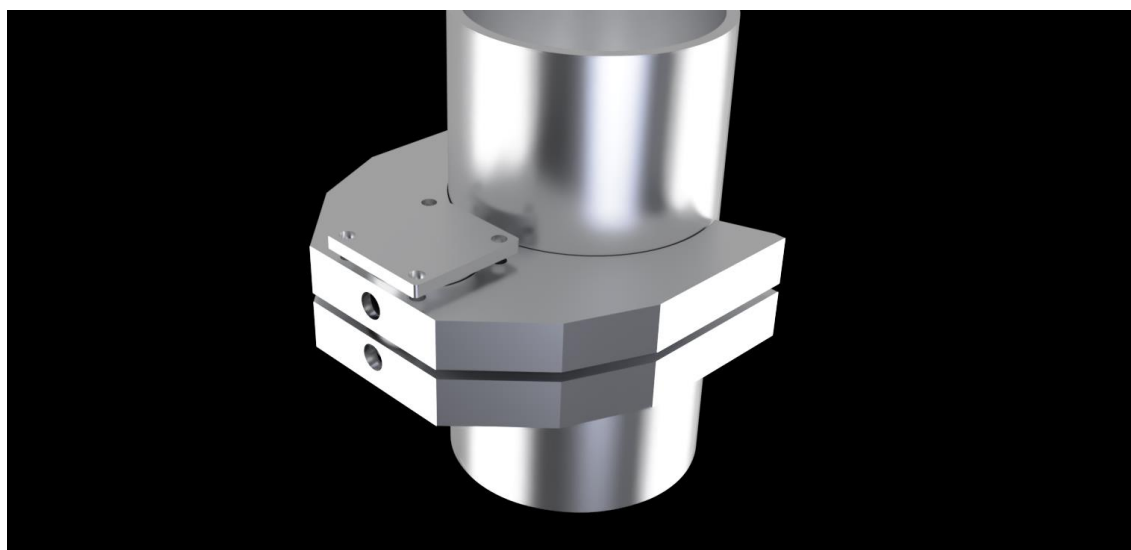
Vozík a dok jsou vyrobeny z hliníkové trubky o vnějším průměru 110 mm.

Úchyty jsem navrhl tak, aby obepnuly trubku, ze které se vozík a dok skládají. Geometrie úchytů je symetrická, a zploštění, které se nacházejí na bocích jsou do budoucna k dispozici pro instalaci nových zařízení.

Elektromagnet se nachází na straně doku a je do držáku zapuštěn a připevněn pomocí šroubu. V držáku se také nachází otvor pro protažení ovládacího kabelu. Viz obrázek 2.



Obrázek 2: Dok s elektromagnetem



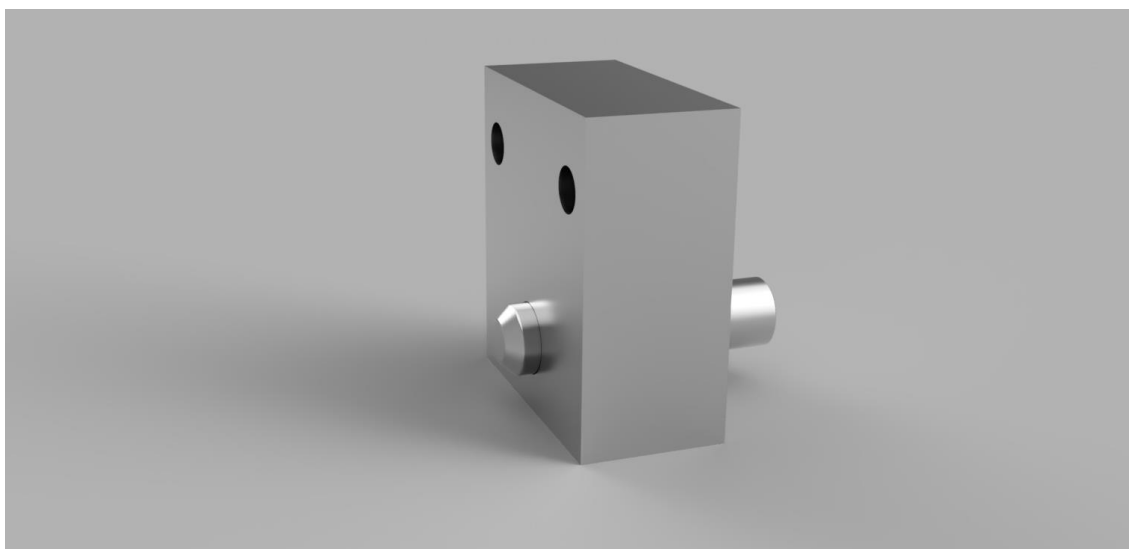
Obrázek 3: Kompletní rozpojovací prvek

V držáku na vozíku s indentorem se nachází magnetický protikus, která je vyroben z oceli. Z předchozích pokusů bylo zřejmé, že je nutné, aby měl tento protikus dokonale hladký a čistý povrch. Protikus musí být také s elektromagnetem srovnán, aby na sebe obě části dosedaly celou plochou. Z tohoto důvodu protikus uchycen na čtyřech šroubech, díky čemuž je možné seřídit hloubku protikusu a jeho náklon. [1]

Návrh mechanické pojistky

Mechanická pojistka se nachází na pravé straně vrchního úchytu. Pojistka je tvořena pomocí čepu, který zapadá do otvoru ve spodním vozíku, pružiny a aretačního prvku.

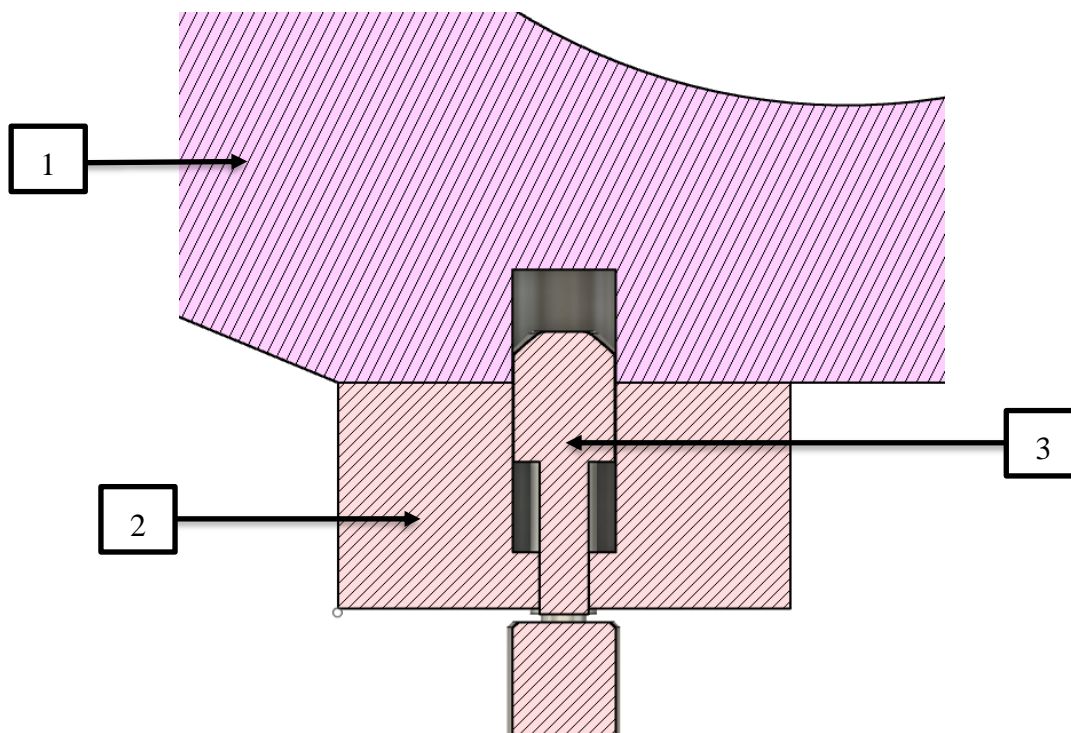
Čep se skládá ze dvou částí, spojených pomocí závitu M4, čímž je zajištěn uvnitř těla pojistky. Pružina konstantně vytlačuje čep z těla pojistky tak, aby neustále držel zajištěnou pozici. Na obrázku 4 a 5 můžete vidět mechanickou pojistku a její řez, pružina není součástí návrhu. Aretační prvek je vyroben pomocí 3D tisku a má za úkol zajistit čep v odjištěné poloze. Aretační prvek má připravený otvor pro případnou instalaci provázku, na kterém bude moci viset v případě jeho nečinnosti.



Obrázek 4: Mechanická pojistka

Popis obrázku 5:

1. Tělo úchytu vozíku s indentorem
2. Tělo mechanické pojistky
3. Zajišťovací čep



Obrázek 5: Řez mechanickou pojistkou

4.2 Výroba

Výroba jednotlivých dílů probíhala převážně pomocí vertikální CNC frézky HAAS VF-2. Pro toto zařízení bylo třeba vytvořit obráběcí kód v CAM programu, k čemuž opět posloužil program Autodesk Fusion360. [1]

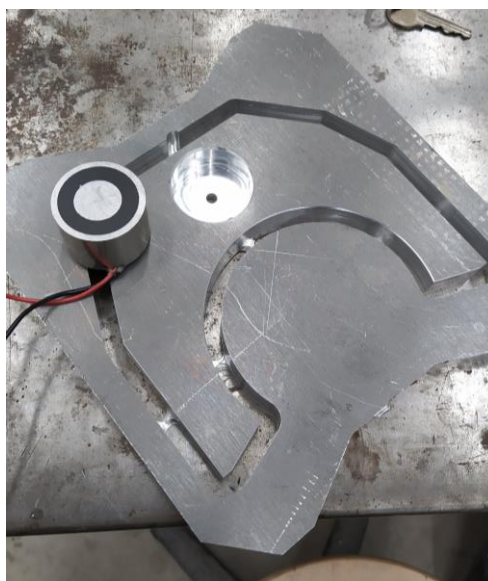
4.2.1 Postupy obrábění jednotlivých částí

Horní a spodní úchyt

Úchyty jsem obrobil z čtvercového hliníkového polotovaru. Z počátku jsem obrobil geometrie pro uchycení elektromagnetu, či magnetického protikusu, po čemž následovalo routerování. Routerování je postup, při kterém je objížďena kontura výrobku za cílem oddělení z polotovaru. Při routerování je důležité vytvořit mosty mezi oddělovanými částmi, aby nedošlo k uvolnění dílu a poškození frézy. Výsledek routerování je na obrázku 7 a 8.



Obrázek 6: Obrobek upnutý ve stroji



Obrázek 7: Obrobek připravený na odstranění z polotovaru



Obrázek 8: Úchyty vyřezané z polotovaru

Magnetický protikus

Magnetický protikus jsem obrobil z ocelové kulatiny, upnuté do universálního sklíčidla. Nejprve jsem vyrobil základní tvar a následně jsem vyvrtal otvory pro montáž k úchytům. [1]

Mechanická pojistka

Tělo mechanické pojistky jsem obrobil z hliníkového kvádrů. Postupně jsem vyvrtal otvory pro montáž, a následně jsem vyvrtal otvor pro zajišťovací čep. Zajišťovací čep jsem vyrobil na manuálním soustruhu z oceli (obr. 9). Skládá se ze samotného čepu a držáku pro uvolnění. Obě části jsou spolu spojeny závitem M4. Části byly jsem obrobil jednotlivě a následně spojil uvnitř těla pojistky. Zajišťovací prvek sem vytiskl na 3D tiskárně. Slouží jako aretace pojistky v odjištěné poloze (obr. 10). [1]



Obrázek 9: Zajišťovací prvek



Obrázek 10: Obrábění čepu

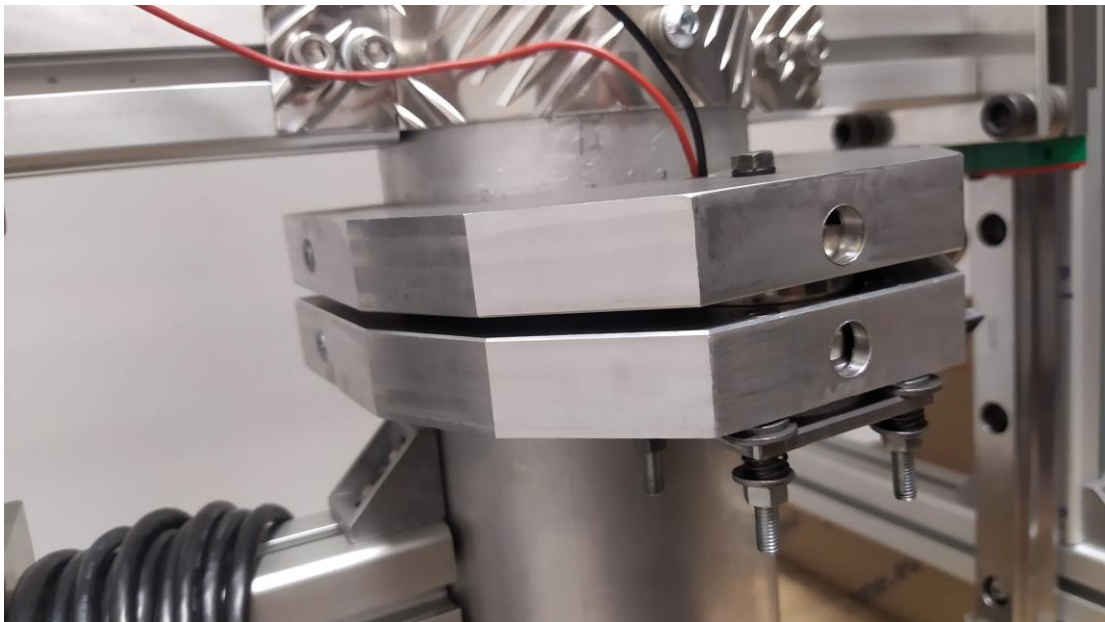
4.2.2 Implementace vypouštěcího mechanismu na testovací zařízení

Úprava vozíků

Pro montáž úchytů na vozíky bylo třeba do jejich konstrukce tvořené z hliníkové trubky vytvořit závity tak, aby bylo dosaženo sousostí jednotlivých vozíků a na nich připojených úchytů. Pro dosažení kolmosti vůči konstrukci jsem musel srovnat čelo jedné z trubek, které nebylo rovně uříznuto. [1]

Instalace úchytů k vozíkům

Instalaci jsem provedl mimo testovací zařízení. Bylo třeba spojit jednotlivé díly pomocí šroubů. Instalace vypouštěcích prvků byla možná až po uchycení držáků k vozíkům z důvodu pozice montážních otvorů, které se nacházejí v místech vypouštěcích prvků, tudíž by vypouštěcí prvky zabraňovali instalaci úchytů na vozík (obr. 11). [1]



Obrázek 11: Instalace úchytů k vozíkům

Nastavení vypouštěcích prvků

Pro správnou funkci bylo třeba nastavit elektromagnet a magnetický protikus, by na sebe dokonale doléhali. Za tímto účelem slouží čtyři matice, nacházející se pod magnetickým protikusem. Pomocí těchto matic je možné upravovat výšku a náklon magnetického protikusu. Pro upravení výšky elektromagnetu je možné přidat podložky mezi elektromagnet a tělo úchytu. [1]

Ovládání elektromagnetu

Pro ovládání elektromagnetu je nainstalováno vypouštěcí tlačítko, které spojuje obvod elektromagnetu s akumulátorem 12 V. Toto tlačítko plní funkci bezpečnostního prvku, a zabraňuje vypuštění indentoru v případě, kdy je tlačítko stisknuto příliš silným stiskem, který může být vyvolán reflexem, či nechtěným zavazením o tlačítko. Akumulátor je připojen k dobíjecímu obvodu a slouží jako záložní zdroj pro případ výpadku napětí v rozvodné síti. Akumulátor je do obvodu připojen pomocí konektoru typu jack tudíž ho je možné z bezpečnostních důvodů odpojit. [1]

4.3 Automatizace navijáku

4.3.1 Ovládání elektromotoru navijáku

Naviják byl od výroby vybaven ovládacím panelem (obr. 12), který obsahuje kolébkový přepínač pro volbu směru a nouzové tlačítko, které znemožní ovládání navijáku pomocí tohoto panelu. Uvnitř panelu se také nachází rozběhový kondenzátor motoru.

Z důvodu zachování tohoto ovladače jsem pro potřeby automatizace vyrobil duplicitní zapojení, které je ovládáno elektronicky pomocí mikrokontroleru.

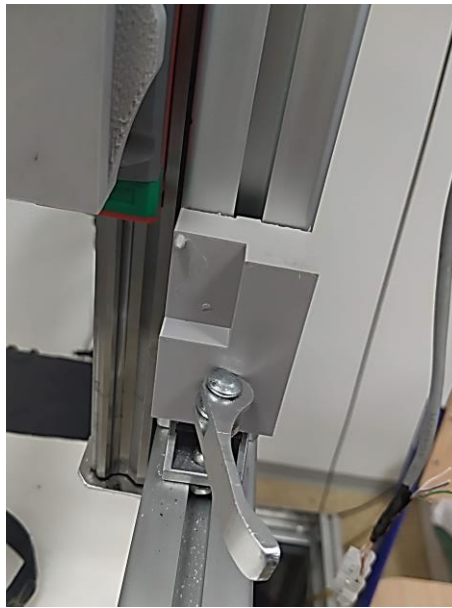


Obrázek 12: Ovladač navijáku [3]

4.3.2 Řešení automatizace vytažení do předem definované výšky

Koncový spínač

Pro určení, zda se dok nachází v předem nastavené výšce slouží mnou navržený koncový spínač, který je uchycen v dílu vytištěném na 3D tiskárně. Tento díl je usazen v hliníkovém profilu a vybaven rychloupínákem, který umožňuje pohodlné uvolnění dílu s koncovým spínačem a následnou změnu definované výšky a následné dotažení. Na obrázku 13 se uprostřed nachází úchyt koncového spínače s rychloupínákem, který se pohybuje ve drážce profilu



Obrázek 13: Rychloupínání koncového spínače

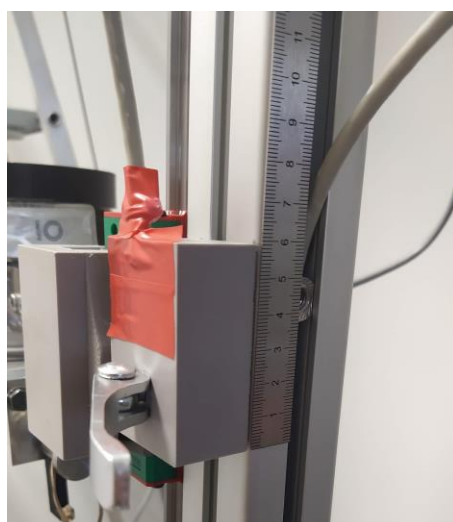
Na straně doku je připevněna rampa, (obr. 14) která umožňuje hladký nájezd sestavy doku na koncový spínač, i jeho úplné přejetí. Rampa je připevněna místo mezikusy, který uchycoval dok k lineárnímu vedení, tudíž bylo nutné v těchto oblastech rampu vyztužit. Rampu jsem vyztužil nalisováním ocelových trubek do otvorů pro šrouby, které jsem účelně navrhl o větším průměru. Tyto trubky jsem vyrobil na soustruhu.

Výška se nastavuje pomocí pravítka umístěného na vedlejším boku hliníkového profilu, než se nachází dráha dílu s koncovým spínačem. Pro změnu výšky stačí pouze uvolnit rychloupínák a nastavit koncový spínač do požadované výšky.

Výšku na pravítku jsem označoval jako relativní výška, jelikož se velikost rozdílu vzdálenosti od měřeného materiálu k indentoru v relativní výšce 0 mm mění v závislosti na tloušťce měřeného materiálu. Umístění pravítka je patrné z obrázku 15.



Obrázek 14: Rampa koncového spínače



Obrázek 15: Právítko pro nastavení koncového spínače

Ovládání automatizovaného pojezdu

Pro ovládání slouží malý ovladač SELVE, který obsahuje kolébkový přepínač pro volbu směru pojezdu, spínač sloužící jako funkční tlačítko a indikační diodu. Tento ovladač slouží jako náhrada stávajícího ovladače, má ovšem navíc funkci automatizovaného posuvu. Ovladač byl vybrán z toho důvodu, že byl k dispozici na fakultě, a disponoval požadovanými funkcemi, tudíž nebylo třeba pořizovat nový. Ovladač je na obrázku 16.



Obrázek 16 - Ovladač pro automatizovaný posuv

4.3.3 Mikrokontroler

Po pečlivém zvažování jsem se nakonec rozhodl pro Arduino Nano, který mi nabídl ideální kombinaci malé velikosti, jednoduchého použití a cenové dostupnosti, což mi umožnilo snadno integrovat tento mikrokontroler do elektrického zapojení a dosáhnout požadované funkcionality.

4.3.4 Spínací prvky elektromotoru

Pro spínání elektromotoru jsem z počátku využíval relé. Během testování se však dostavily problémy se spolehlivostí. Během rozpínání obvodu vznikala na kontaktech relé výboj, který postupně poškodil kontaktní plochy, kvůli čemuž zůstalo relé v sepnuté poloze. Tento problém jsem vyřešil výměnou relé za stykače. Relé zde ovšem zůstalo za účelem spínání stykačů. Schéma zapojení se nachází na obrázku 17.

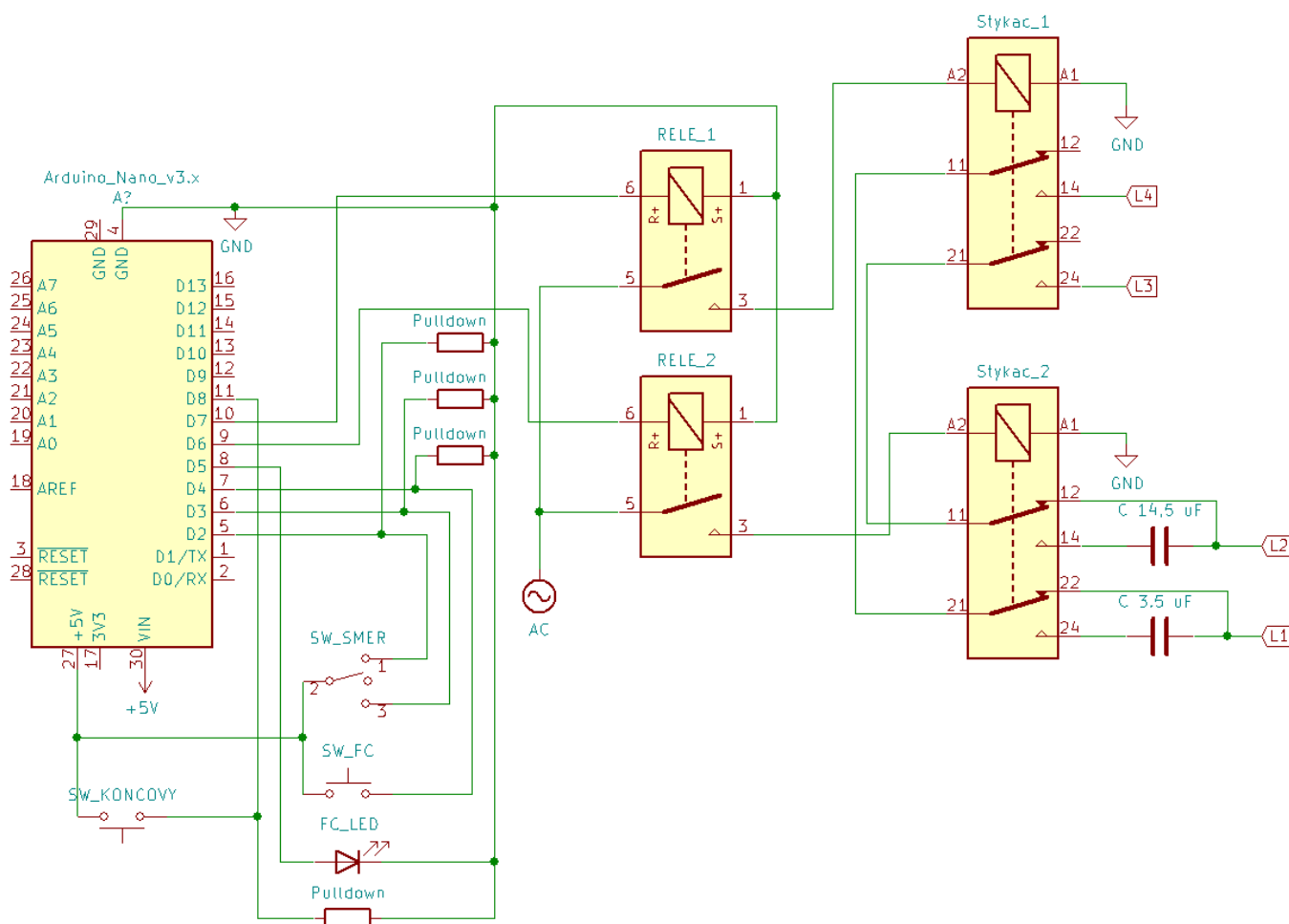
4.3.5 Elektrické zapojení

Veškeré prvky pro automatizaci se nacházejí ve dvou elektroinstalačních krabicích umístěných v podstavci měřící aparatury. Krabice jsou z bezpečnostních důvodů rozděleny na nízkonapěťové a vysokonapěťové prvky. Krabice jsou vybaveny průchodkami pro výstup jednotlivých kabelů (obr. 17).

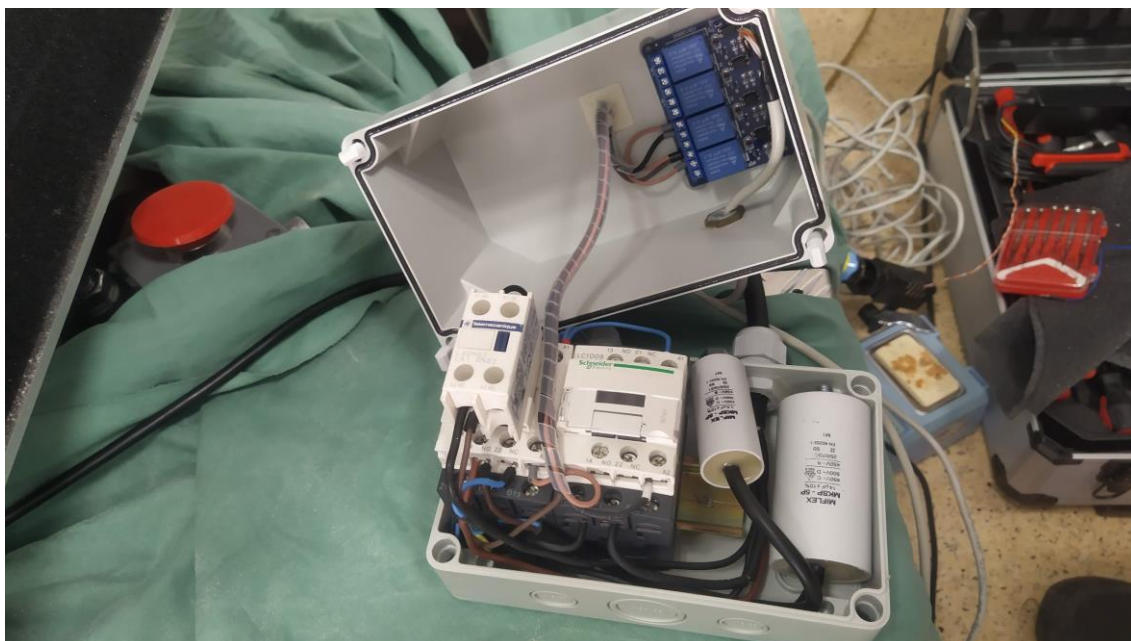
Popis zapojení

Schéma popisovaného zapojení je k nahlédnutí na obrázku 17. Nízkonapěťová část, která je fyzicky oddělena v elektroinstalační krabici se nachází na levé části schématu. Je zde připojen ovladač automatizovaného pojezdu (ve spodní části schématu) a koncový spínač. Všechny spínače jsou opatřeny $1\text{K}\Omega$ pulldown rezistorem, který eliminuje chybnou indikaci sepnutí naindukovaným proudem.

Vpravo se nachází vysokonapěťová část, která má také vlastní krabici, ve které je uložena. Nacházejí se zde dvojice relé, která je ve skutečnosti součástí relé modulu. Relé zde plní účel spínání stykačů, které vyžadují spínací proud 230 V , tudíž by je nebylo možné spínat přímo mikrokontrolerem. Stykač_1 slouží jako spínač motorového obvodu. Stykač_2 volí směr otáčení elektromotoru. V této krabici se též nacházejí dva rozběhové kondenzátory.



Obrázek 17: Schéma zapojení řízení navijáku



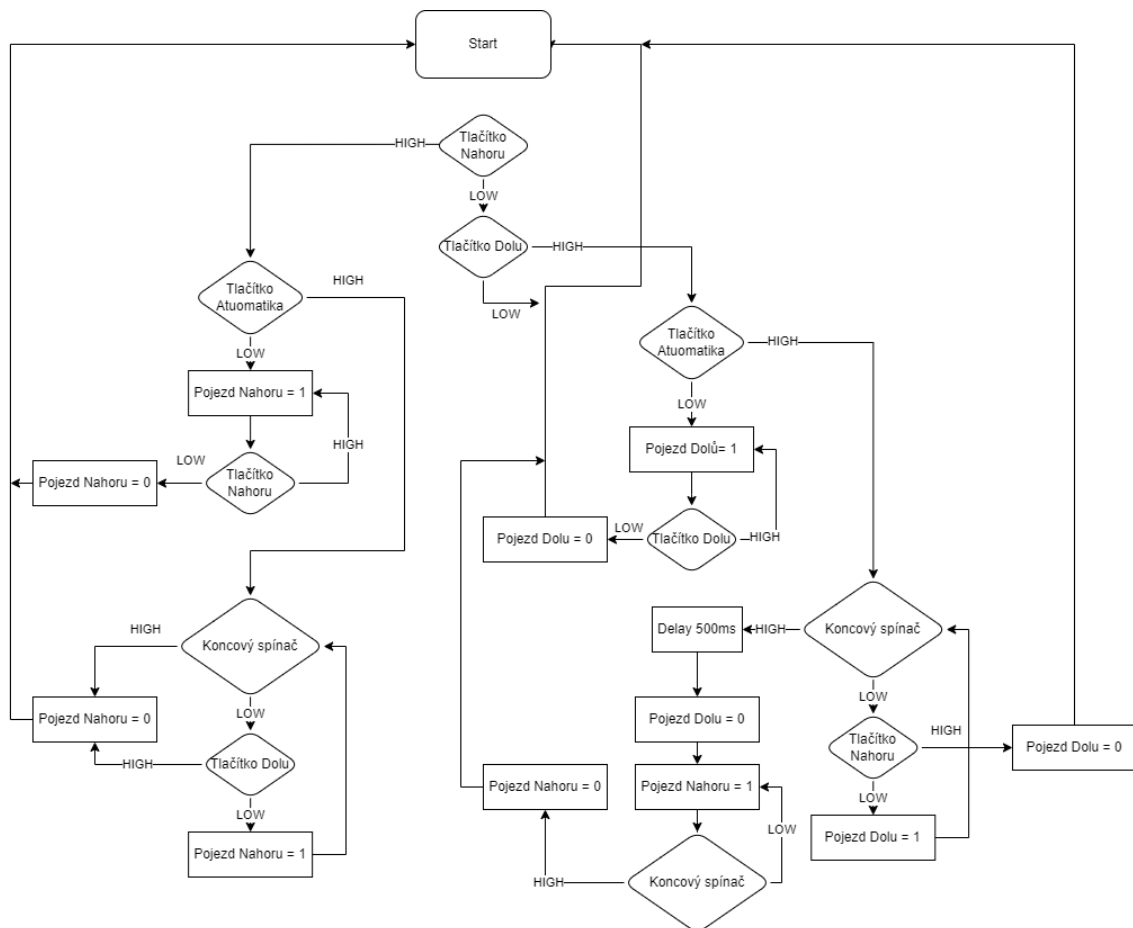
Obrázek 18: Vysokonapěťová krabice s elektronikou

4.3.6 Ovládací program

Ovládací program jsem napsal v jazyce C ve vývojovém prostředí Arduino IDE, které bylo pro programování těchto zařízení vytvořeno. Program řídí jednotlivá relé, které kombinací sepnutí určují směr otáčení elektromotoru. V programu je hlavní smyčka, která čte vstupy jednotlivých tlačítek, podle kterých volá jednotlivé funkce. V programu jsou čtyři základní funkce pro manuální pohyb nahoru a dolů, a automatické vyrovnání nahoru a dolů. Zdrojový kód je přílohou 4.

Manuální pohyb je spuštěn stisknutím příslušného tlačítka směru na ovladači. Pro spuštění funkce automatického vyrovnání je nutné nejprve stisknout a držet funkční tlačítko, přičemž se rozsvítí indikační dioda, a poté stisknout směrové tlačítko volící směr, kterým se dok rozjede podle toho, zda se nachází pod či nad koncovým spínačem. Po spuštění je možné tlačítka uvolnit. Indikační dioda zůstává svítit po celou dobu vykonávání funkce. Funkci je možné přerušit stiskem opačného směrového tlačítka.

Fungování programu je zobrazeno na diagramu v obrázku 19.



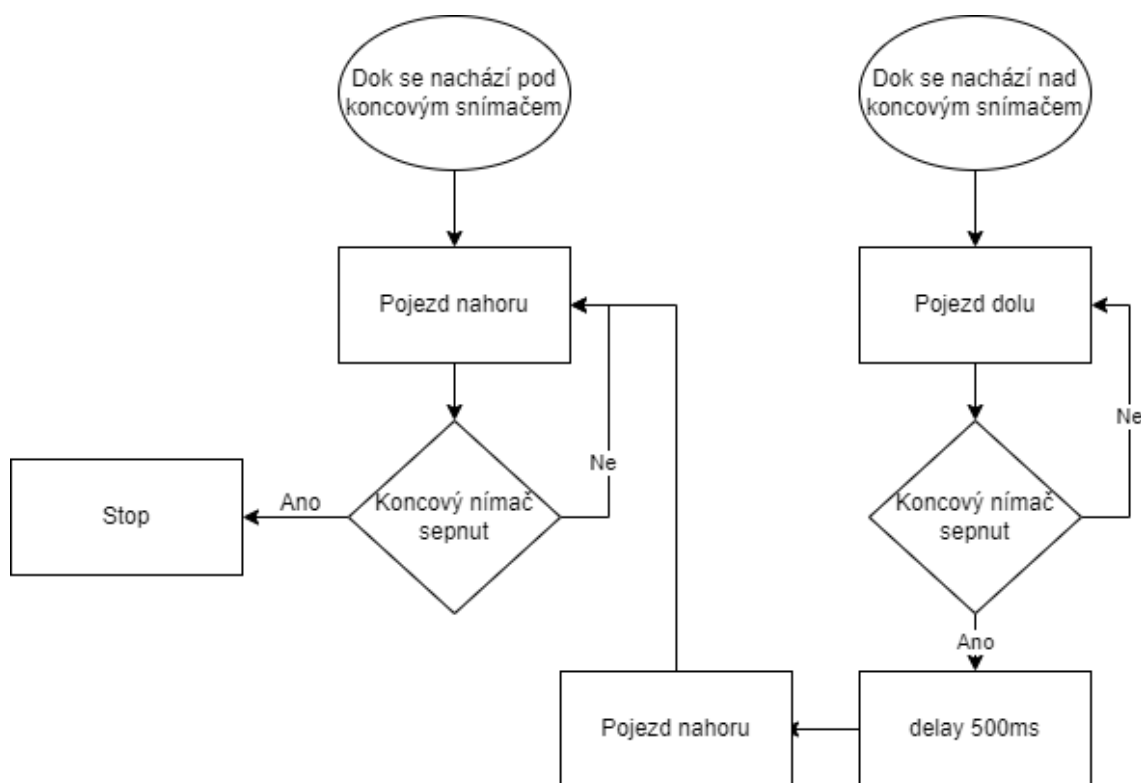
Obrázek 19: Diagram ovládacího programu

4.3.7 Funkce pro ustavení v požadované výšce

Ustavení v požadované výšce je spuštěno pomocí ovladače. Pokud se dok nachází pod koncovým spínačem, spuštěním funkce pro automatickou jízdu vzhůru se dok rozjede směrem vzhůru a zastaví ve chvíli sepnutí koncového spínače.

V případě, že se dok nachází nad koncovým spínačem je spuštěním funkce pro automatickou jízdu dolů zahájen pohyb dolů, který trvá do okamžiku stisknutí a následného uvolnění koncového spínače, poté je dok pohybem vzhůru vyrovnán v požadované výšce analogicky jako u funkce pro automatickou jízdu vzhůru.

Diagram, popisující funkci pro ustavení v požadované výšce se se nachází na obrázku 20.



Obrázek 20: Diagram pro ustavení v požadované výšce

4.3.8 Shoda s normami bezpečnosti a BOZP

Zajištění zařízení a zabránění jeho pádu

Jelikož je rozpojovacím zařízením elektromagnet, mělo by zařízení dodržovat toto ustanovení. „U strojů s elektromagneticky, elektropneumaticky nebo jinak ovládanou spojkou, kromě hydraulického lisu, musí brzda působit samočinně při každé poruše v přívodu energie do ovládacího systému.“ [2] Spojkou je u měřicí stolice vypouštěcí magnet s magnetickým protikusem.

Mechanická pojistka obsahuje pružinu, která zajišťuje udržení aretačního kolíku v bezpečné pozici. U mechanické pojistky jsem použil tlačné pružiny. “K vypnutí a zapnutí spojky, pokud je její funkce závislá na pružinách, musí být použito tlačných pružin; pokud to není možné, musí být použito dvou tažných pružin, z nichž každá je schopna samostatně plnit požadovanou funkci.“ [2] Mechanická pojistka je důležitým bezpečnostním prvkem pro bezpečný pohyb v bezprostředním okolí měřicí aparatury.

Zabránění náhodného uvolnění vozíku s indentorem

Během poruchy, či výpadku elektrické energie je třeba zajistit, aby nedošlo k uvolnění vozíku s indentorem a následnému nekontrolovanému pádu. Jedním z použitých prvků je výše zmíněná mechanická pojistka.

Dalším opatřením je použití demagnetizačního elektromagnetu, který pro držení vozíku s indentorem, nepotřebuje přísun elektrické energie, tudíž by teoreticky neměl být výpadek problém. Zde by teoreticky mohl nastat problém s nečekaným zkratem, který by do elektromagnetu přivedl napětí, čímž by byl elektromagnet uvolněn. Tento scénář však řeší výše zmiňovaná mechanická pojistka.

Ochrana proti nechtěnému vpuštění

Ochrana proti nechtěnému vpuštění zabraňuje neúmyslnému spuštění zařízení, které obsluha nechce úmyslně provést. Existují situace, kdy může dojít k stisknutí vypouštěcího tlačítka jiným způsobem než obvykle, například pádem předmětu na tlačítko, aktivací jinými částmi těla atd. Těmto situacím by mělo předcházet průmyslové tlačítko s panickou funkcí, které je nutné držet v určité poloze pro aktivaci, a v jiných polohách nedochází k aktivaci.

5 Výsledky

5.1 Ověření funkce vypouštěcího mechanismu

Test vypuštění

Test vypuštění jsem provedl po dokončení instalace vypouštěcího mechanismu na testovací zařízení. Účelem testu bylo ověřit spolehlivost vypouštění vozíku s indentorem.

Z 20 provedených pokusů neproběhlo rozpojení pouze v 1. případě. Video z test je dostupný v příloze č.2

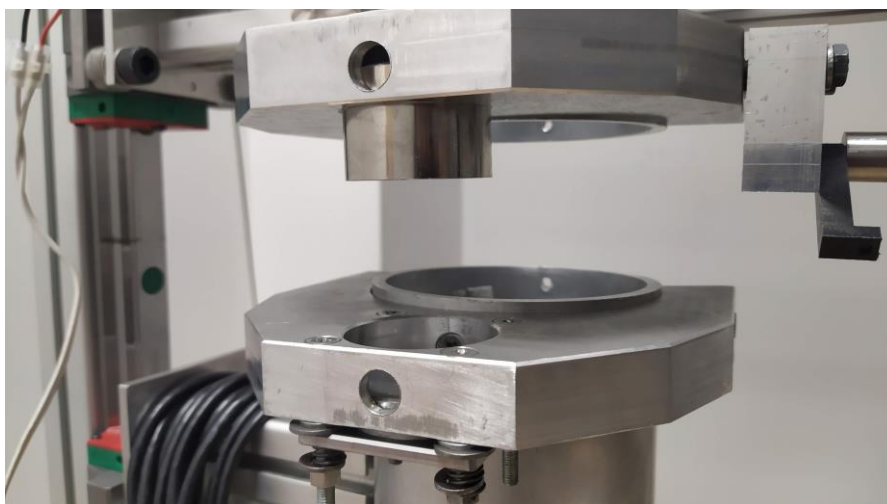
Test automatického spojení

Test probíhal simultánně se seřizováním magnetického protikusů. Průběh seřízení je popsán v návodu k použití, který je přílohou č.1. Po seřízení navazovalo 20 opakování. Při tomto testu proběhly všechny pokusy úspěšně.

Video z test je dostupný v příloze č.3

Test mechanické pojistky

Jelikož je pojistka bezpečnostním prvkem, bylo třeba zkontrolovat, zda plní svoji funkci. Test spočíval v záměrném vypuštění vozíku pomocí magnetu s aktivovanou pojistkou. Během prvních pokusů vozík popojel o cca 5 mm po čemž se zastavil díky pojistce. Po provedení kalibrace, jsem provedl 20 pokusů, při kterých se vozíky po uvolnění vypouštěcího tlačítka vždy opět spojily, tudíž měl test 100% úspěšnost.



Obrázek 21: Detail na spojovací zařízení

5.2 Ověření konzistentnosti dopadové energie za použití automatizovaného navijáku

Měření sloužilo pro ověření funkce automatizovaného navijáku, který má za úkol ustavovat dok ve stejné výšce tak, aby byla dopadová energie co nejkonzistentnější po několik měření. Data o energii jsem získal z aplikačního software, po jednotlivých měřících pádech. Měření jsem provedl ve dvou vypouštěcích polohách indentoru po pěti měřících pádech pro každou polohu. Poloha indentoru je v tabulce uvedena jako relativní výška, jelikož zařízení využívá pro nastavení výšky pravítka, jehož stupnice neodpovídá vzdálenosti indentoru od měřeného materiálu. Naměřená data se nacházejí v tabulce 1.

5.2.1 Popis měření

Pro první měření jsem nastavil koncový spínač do polohy 0 mm, která se odměřuje na instalované stupnici. Poté jsem vždy provedl vypuštění spodního vozíku, který vždy dopadl určitou energií. Jako dopadový materiál bylo použito těsto z kukuřičné mouky a oleje, které se též používá jako kalibrační materiál pro měřící aparaturu. Po dopadu jsem pomocí doku zajel pro spodní vozík. Následně jsem pomocí automatického posuvu vyvezl spodní vozík do předem nastavené výšky. Takto jsem udělal 5 zkušebních pádů.

Další měření probíhalo identicky pouze s rozdílem vypouštěcí výšky, která byla 260 mm.

Vztah pro výpočet směrodatné odchylky

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N (x_i^2 - N\bar{x}^2) \right)}$$

Vztah pro výpočet střední kvadratické chyby aritmetického průměru

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}}$$

Tabulka 1: ověření konzistentnosti dopadové energie za použití automatizovaného navijáku

Číslo pádu	Relativní výška [mm]	Energie dopadu [J]
1	0	1,23
2	0	1,255
3	0	1,258
4	0	1,258
5	0	1,26
Průměrná energie dopadu		1,2522
Střední kvadratická odchylka		0,025
6	260	1,884
7	260	1,792
8	260	1,782
9	260	1,78
10	260	1,792
Průměrná energie dopadu		1,806
Střední kvadratická odchylka		0,087

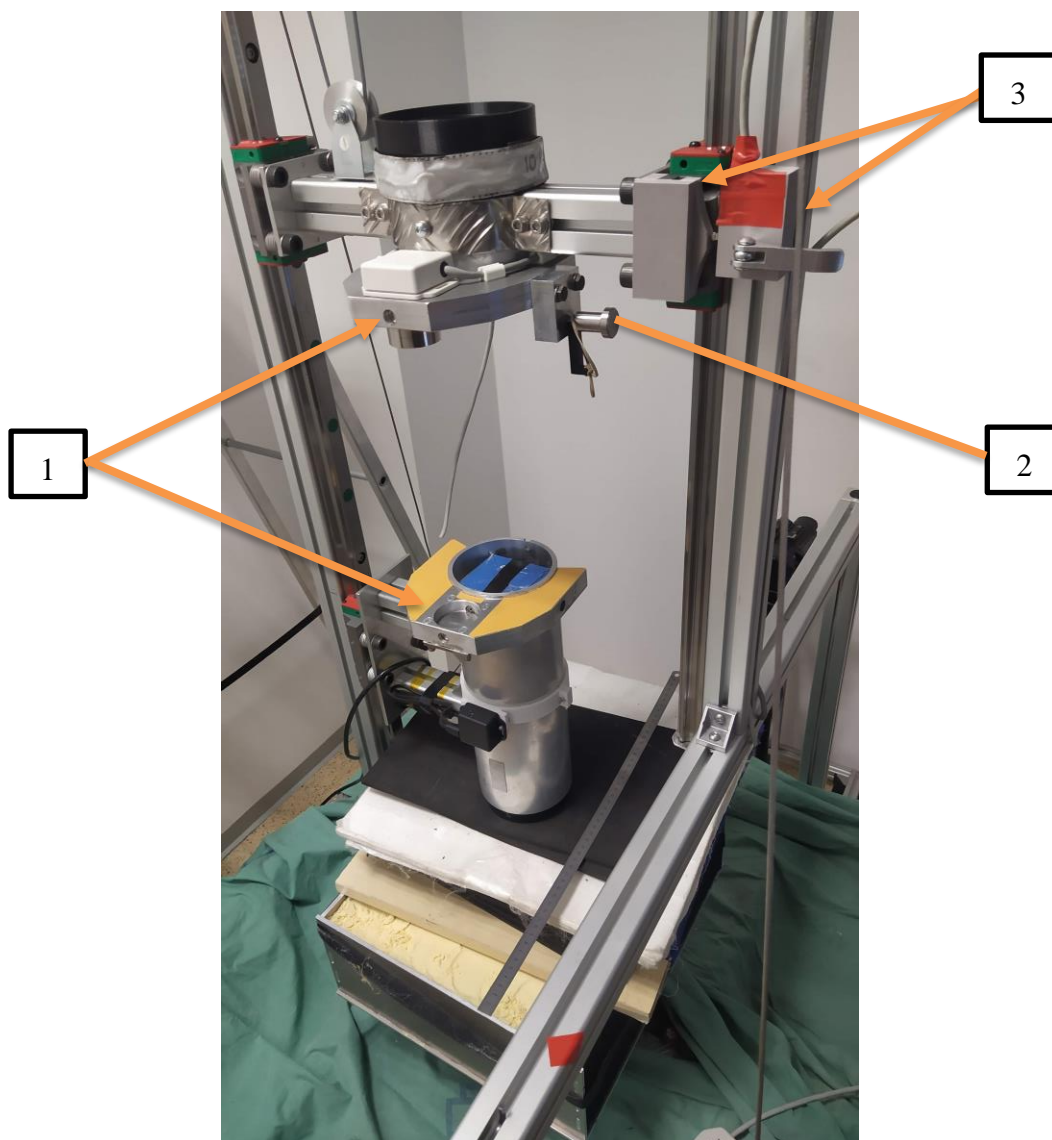
Průměr hodnoty středních kvadratických odchylek obou měření činí 0,056 J. Pokud tuto hodnotu vyčíslíme v procentech průměrné energie dopadu, získáme, že odchylka činí 3,66 %.

5.3 Výsledky montáže jednotlivých prvků

Na obrázcích 22 a 23 se nacházejí jednotlivé prvky zajišťující automatizaci pracovního cyklu. Je zde vidět rozpojovací zařízení (1), mechanická pojistka (2) a dvojice dílů pro zajištění funkce koncového spínače (3).



Obrázek 22: Pohled na celé zařízení – Připraveno na pád



Obrázek 23: Pohled na celé zařízení – Po oddělení vozíků

5.3.1 Vliv opotřebení na životnost

Životnost zařízení není známa, ale předpokládám, že by měl vypouštěcí mechanismus vydržet několik 10 000 cyklů, jelikož zde nejsou mechanické prvky. Opotřebení bude podléhat pouze mechanická pojistka. Je možné, že vlivem vlhkost začne magnetický protikus korodovat, čemuž lze předejít údržbou.

6 Diskuse

6.1 Ověření funkce vypouštěcího mechanismu

6.1.1 Test vypuštění

Neúspěšný pokus vznikl kvůli odpojení napájení elektromagnetu, které klasifikuji jako moji chybu. Rozpojovací mechanismus pracuje bezchybně bez potřeby opakovaného seřízení magnetického protikusu. Po prvotním seřízení proběhlo více než 100 cyklů vypuštění a spojení, během kterých doposud nebylo nutné rozpojovací mechanismus seřizovat.

6.1.2 Test automatického spojení

Během pokusů jsem sledoval, zda je spojení pevné, a zda nevzniká v magnetickém protikusu vůle. Tento test probíhal během seřizování magnetického protikusu, tudíž dokud nebyl magnetický protikus seřizen, nepočítal jsem předchozí pokusy za relevantní pokusy k posouzení spolehlivosti mechanismu.

Během těchto pokusů jsem taktéž vyzkoušel, zda je síla, kterou drží magnet spodní vozík k doku dostatečná pokusem o roztrhnutí těchto dvou dílů od sebe. Roztržení bylo proveditelné, avšak bylo nutné vynaložit velkou sílu, kterou je nutné cíleně vynaložit pro překonání síly magnetu.

6.1.3 Test mechanické pojistky

První méně úspěšné pokusy byly způsobeny špatným nastavením zapuštění elektromagnetu do držáku. Před zafungováním pojistky ujel vozík krátkou vzdálenost, kterou po uvolnění tlačítka nemohl magnet překonat. Z bezpečnostního hlediska by takto pojistka pracovala v pořádku, avšak pro opětovné připravení pro pád vyžadovalo manuálně spojit oba vozíky tak, aby byly opět drženy pomocí magnetu. Proto jsem provedl seřízení, po kterém se při uvolnění magnetu za působení pojistky ozvalo pouze cvaknutí magnetického protikusu, který se nepatrně uvolnil. Po uvolnění tlačítka se díly opět spojily magnetem, a pojistka mohla být vytažena, a tím připravena pro další měřicí pád.

6.1.4 Ověření konzistentnosti dopadové energie za použití automatizovaného navijáku

Z tabulky je vyplývá, že rozdíly mezi hodnotami energie dopadu jsou velice nízké. Rozdíly mezi jednotlivými energiemi dopadu se průměrně pohybují do 3,4 %. Odchytky jednotlivých hodnot mohou být způsobeny několika různými faktory, jako je například tření lineárních posuvů, mírná nekonzistence dopadového materiálu, či chybou přístrojů. Tyto odchytky jsou však natolik nízké, že je možné je naprosto zanedbat.

6.1.5 Spínání elektromotoru

Pro spínání elektromotoru jsem z počátku využíval relé modul ovládaný napětím 5 V se spínaným napětím 250 V AC. Toto řešení však fungovalo pouze omezený čas, dokud nedošlo k přilepení kontaktů uvnitř relé. Po první poruše jsem proměřil napětí na svorkách relé. Při měření napětí na svorkách se ukázalo, že díky rozběhovým kondenzátorům vzniká špičkové napětí 400 V, na které není tento relé modul stavěný, proto jsem, vyměnil relé modul za dvojici samostatných relé, které by měly parametry již odpovídat potřebám obvodu.

Během testů nových relé se projevovalo jiskření při rozpojování kontaktů, které bylo zřetelné díky průhlednému zapouzdrazení relé. Během používání těchto relé došlo k přilepení kontaktů, které je s největší pravděpodobností způsobeno přítomností rozběhových kondenzátorů v obvodu, které během spínání kontaktů vytvoří mezi kontaktními plochami výboj, způsobující zahřátí kontaktních ploch, které po dotyku způsobí slepení materiálů do sebe.

Pro zajištění spolehlivosti jsem nakonec vyměnil relé za stykače, které jsou vybaveny zhášením kontaktů, jež zabraňuje vytvoření elektrického oblouku mezi kontakty, které způsobuje vysoké opotřebení a následné poškození. Využití stykače jsem se do poslední chvíle vyhýbal z důvodu potřeby vyššího spínacího napětí, než je schopen dodat mikrokontroler. Na základě analýzy jsem problém vyřešil instalací nového relé modulu, který je identický s prvním použitým modulem a má za úkol spínat 230 V z elektrické sítě pro ovládání stykačů.

7 Závěr

Pro bezpečné vypuštění vozíku s indentorem jsem navrhl a vyrobil rozpojovací mechanismus, který využívá demagnetizačního elektromagnetu, jež zajišťuje spolehlivé a bezpečné vypuštění během měřicího pádu. Pro zajištění bezpečnosti jsem navrhl a vyrobil mechanickou pojistku zabráňující nechtěný pád vozíku s indentorem. Jednotlivé části jsem vymodeloval a následně vyrobil pomocí konvenčních i CNC obráběcích strojů. Z několika možných řešení jsem vybral demagnetizační elektromagnet, který se během následných testů funkčnosti a spolehlivosti osvědčil. Výhodou tohoto řešení je absence pohyblivých prvků, které jsou náchylnější na opotřebení. Mechanická pojistka je funkční, avšak do budoucna by mohla být vyměněna za pojistku, který provede aretaci automaticky po spojení obou vozíků. Zda nutné bude tuto úpravu provést se projeví až během používání přístroje.

Po vytvoření schopnosti spojit a odpojit vozíky pomocí vypouštěcího mechanismu jsem automatizoval ovládání navijáku pohybující s dokem. Automatizaci jsem provedl vytvořením identického zapojení, jako se nachází v původním ovladači navijáku s tím rozdílem, že ovládání spínání řídí mikrokontroler Arduino Nano. Ovládání mikrokontroleru je zajištěno ovladačem, který nahrazuje původní ovladač, jeho funkci však nevyklučuje.

Automatizované ovládání navijáku následně umožnilo automatizovaně ustavit dok do požadované pozice pomocí koncového spínače, který je pohyblivý, čímž je možno nastavit libovolnou výšku vypouštění indentoru.

Po otestování celého zařízení jsem vytvořil návod pro bezpečné ovládání zařízení, který je součástí práce jako příloha 1.

Navržené zařízení splňuje tyto státní normy:

ČSN EN ISO 12100 Bezpečnost strojních zařízení - Posouzení rizika a snižování rizika, ČSN EN 60204-1 - Elektrická zařízení pracovních strojů

Ze statistického vyhodnocení vyplývá, že se velikost energie jednotlivých pádů liší maximálně o 3,66 %.

7.1 Naplnění cílů práce a další směry řešení

7.2 Naplnění cílů práce

Navrhl jsem a vyrobil zařízení, které je pomocí elektromagnetu schopno vypustit vozík s indentorem bez nutnosti pohybu osob v okolí zařízení, čímž je zajištěna bezpečnost při používání testovací aparatury. Zařízení je vybaveno prvky, které zajišťují splnění státních norem BOZP a norem bezpečnosti elektrických zařízení.

Následně jsem pomocí mikrokontroleru a řídicí elektroniky zautomatizoval chod navijáku, který se ovládá pomocí nového ovladače. Pro nastavení požadované výšky je nainstalován koncový spínač, který lze díky rychlospojce jednoduše posunout na požadované místo. Tento krok zefektivňuje práci zařízení a zajišťuje vyšší konzistentnost měření materiálů.

Zařízení jsem otestoval, statisticky vyhodnotil spolehlivost a chybu měření.

Pro bezpečnou obsluhu zařízení jsem sepsal návod pro jeho užívání.

Tímto byly všechny cíle splněny.

7.3 Další směry řešení

Dalším krokem automatizace testovací aparatury by mohla být plná automatizace celého procesu, která by vyžadovala instalaci dalších zařízení a vývoj software, který by celý proces řídil.

Pro zajištění plně autonomního měření by bylo třeba vytvořit pohyblivou dopadovou plochu, která by zajišťovala pohyb s testovacím materiálem tak, aby měření probíhalo na vždy novém místě.

Na zařízení by bylo nutné přidat další senzory/spínače, které by zajistily informace pro řídicí systém o spojení vozíků, polohy mechanické pojistky, kterou by bylo třeba též zautomatizovat, například pomocí stlačeného vzduchu.

Aby mohlo být zajištěno automatické nastavení požadované dopadové energie, bylo by nevyhnutelné na zařízení implementovat magnetický snímač polohy, který je v práci již zmíněn. Díky němuž by software mohl provést automatickou korekci vypouštěcí výšky na základě energie předchozího pádu, jelikož by disponoval daty o aktuální výšce.

Pro zajištění bezpečnosti během autonomního procesu by bylo nutné zařízení zakrytovat, a použít další bezpečnostní prvky, jako například laserové bariéry.

Toto řešení by přispělo efektivitě zařízení, ale bylo by finančně náročnější. Pro aktuální potřebu fakulty je stávající řešení naprosto dostatečné.

Seznam použité literatury

- [1] HNÍZDO, Josef. *Vypouštěcí mechanismus indentoru pro měření materiálových vlastností ochranných materiálů*. Kladno, 2022. Projekt. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Vedoucí práce Doc. Ing. Patrik Kutílek, MSc., Ph.D.
- [2] Norma ČSN EN ISO 16092-1: *Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů - Lisy - Část 1: Obecné bezpečnostní požadavky*. Česká republika: Česká technická norma, 2019.
- [3] *Ovladač pro navigák*. Citex.com [online]. Brazílie: citex.com, 2022 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: www.citex.com.br/cop-21kj.html
- [4] RACHŮNEK, Radek. *ZAŘÍZENÍ PRO MECHANICKÉ ZATĚŽOVÁNÍ VZORKŮ*. Brno, 2019. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. Rostislav Huzlík, Ph.D.
- [5] MTS Systems Corporation: www.mts.com/en [online]. USA: MTS, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.mts.com/en>
- [6] Micro Materials Ltd [online]. UK: micromaterials, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: www.micromaterials.co.uk
- [7] Hysitron Inc. [online]. USA: Hysitron, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: ceramics.org/company/hysitron-inc
- [8] NANOVEA Inc [online]. California: NANOVEA, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: nanovea.com
- [9] CSIRO [online]. Australia: CSIRO, 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: www.csiro.au
- [10] Norma ČSN EN ISO 12100: *Bezpečnost strojních zařízení - Posouzení rizika a snižování rizika*. Česká republika: Česká technická norma, 2011.
- [11] Norma ČSN EN 60204-1: *Elektrická zařízení pracovních strojů*. Česká republika: Česká technická norma, 2019.

8 Seznam příloh

Příloha č.1 – Návod k obsluze zařízení pro testy ochranných materiálů

Příloha č.2 – Video – test vypuštění

Příloha č.3 – Video – test spojení

Příloha č.4 – Zdrojový kód pro mikrokontroler

Příloha č.5 – Technický výkres: Držáky rozpojovacího zařízení

Příloha č.6 - Technický výkres: Magnetický protikus

Příloha č.7 - Technický výkres: Mechanická pojistka

Příloha č.8 - Technický výkres: Rampa koncového spínače

Příloha č.9 - Technický výkres: Úchyt koncového snímače

Příloha č.10 - Technický výkres: Aretační kolík

Příloha 1 - Návod k obsluze měřícího zařízení s indentorem

Úvod

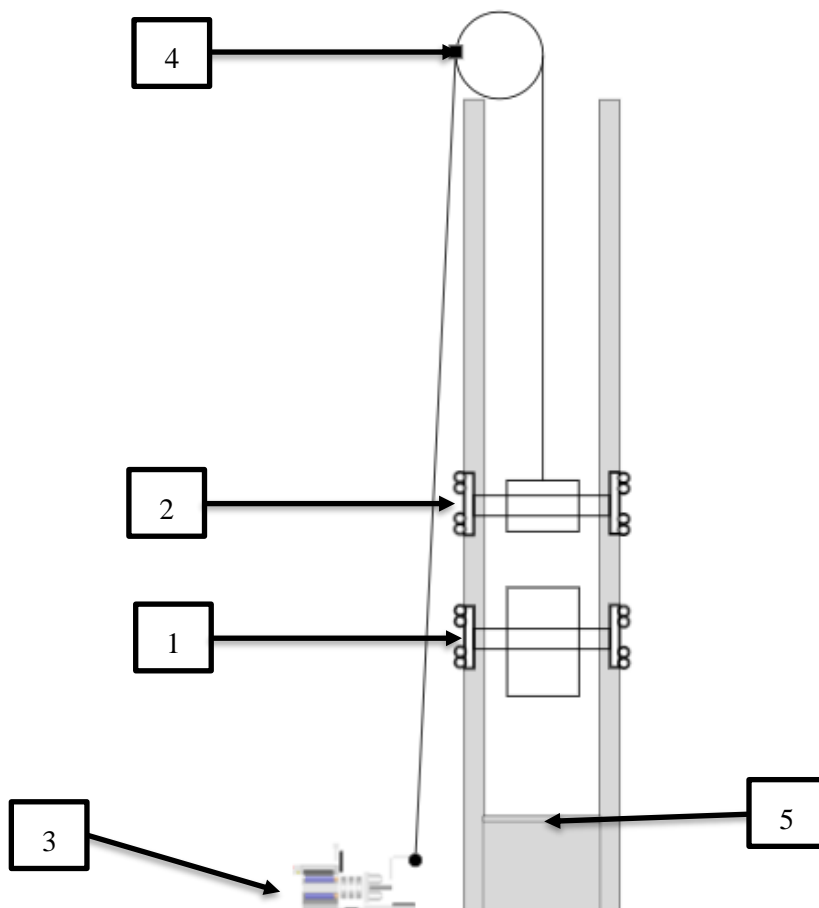
Před použitím tohoto měřícího zařízení s indentorem je důležité seznámit se s návodem k použití. Tento návod obsahuje důležité informace o správném používání zařízení a bezpečnostních opatřeních. Přečtení a porozumění návodu je nezbytné pro zajištění správného a bezpečného používání tohoto zařízení.

Před zahájením používání měřícího zařízení je také důležité provést kontrolu stavu zařízení. Vizuálně zkontrolujte, zda není zařízení poškozené nebo narušené. Pokud zaznamenáte jakékoli poškození, nedostatek nebo nesprávnou funkci, musí být závada neprodleně odstraněna.

Zařízení slouží pro testování materiálů za pomoci indentoru, který během měření proniká do testovaného materiálu za pomoci kinetické energie, která je dána výškou, ze které je indentor připevněný na vozíku vypuštěn. Velikost energie / výška vypuštění se reguluje pomocí posouvání koncového spínače, který lze výškově nastavit za pomoci měřidla.

Popis částí testovací aparatury

1. Vozík s indentorem
2. Dok
3. Elektrický naviják
4. Kladka
5. Dopadová plocha



Ovládací prvky zařízení:

Naviják s dálkovým ovládním (Žluté)

Bílý ovladač

Vypouštěcí tlačítko

Koncový spínač s rychloupínačem

Prvky umístěné na vozících

Vrchní vozík

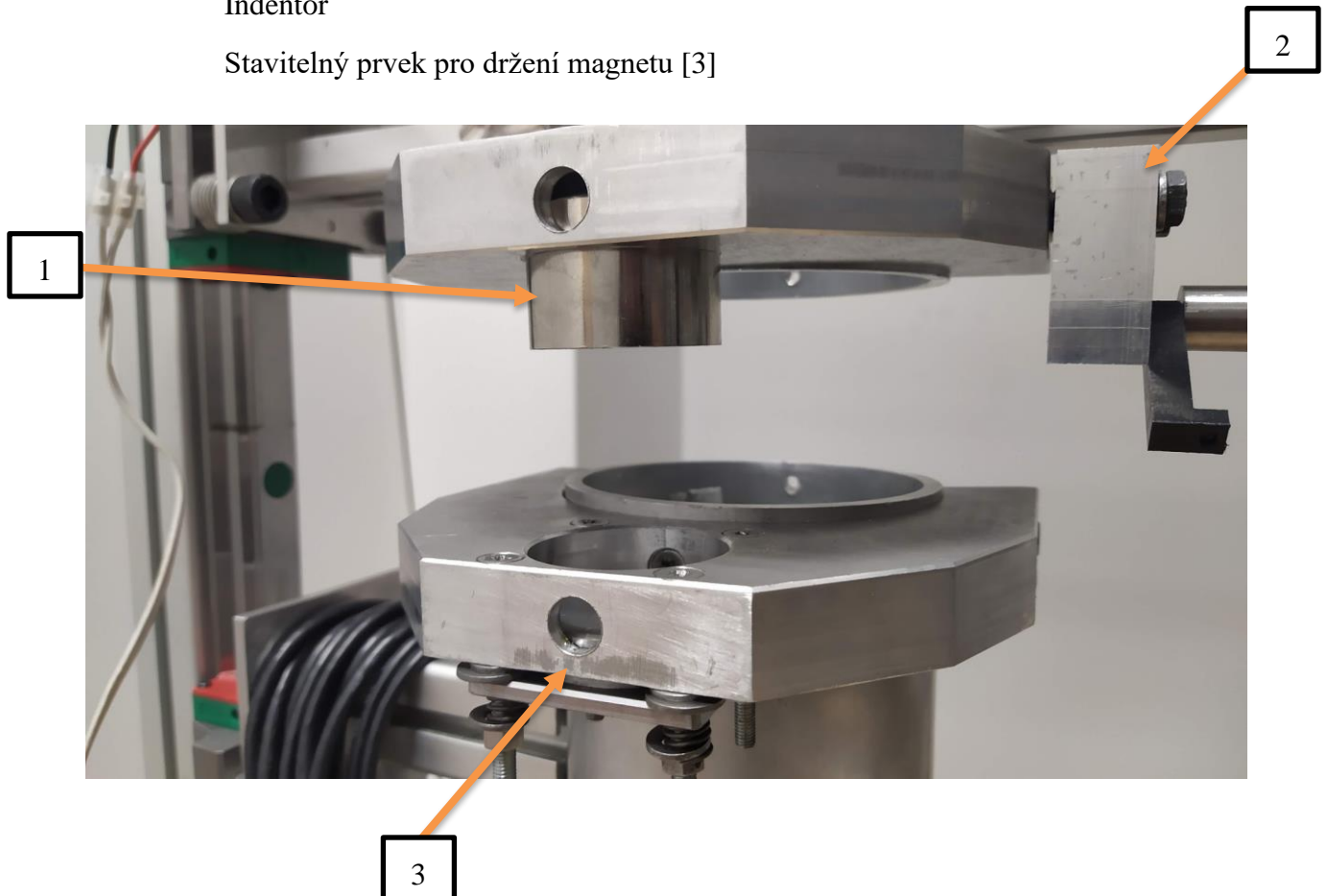
Vypouštěcí elektromagnet [1]

Mechanická pojistka [2]

Spodní vozík

Indentor

Stavitelný prvek pro držení magnetu [3]



Spuštění zařízení:

Ujistěte se, že se v okolí zařízení nenacházejí osoby

Z důvodu poruchy by mohlo dojít k nečekanému pohybu zařízení

Připojte zařízení do elektrické sítě

Funkce bílého ovladače

Manuální pojezd

Manuální pojezd je ovládán pomocí přepínače s šipkou, který určuje směr, jímž se dok rozjede. Pojezd je aktivní po dobu držení daného přepínače.

Automatické ustavení v předem nastavené výšce

Tato funkce ustaví dok do výšky, která je dána polohou koncového spínače. Před aktivací této funkce je důležité zjistit, zda se dok nachází pod, či nad koncovým spínačem.

Funkce se aktivuje pomocí funkčního tlačítka s písmenem E, po jehož stisku se rozsvítí žlutá indikační dioda. Pro aktivaci funkce je nutné stisknout přepínač příslušného směru, kterým musí dok jet, aby dorazil ke koncovému spínači za stálého držení funkčního tlačítka. Ve chvíli uvedení zařízení do pohybu je možné obě tlačítka uvolnit. Žlutá dioda bude svítit, dokud nebude dok ustaven ve správné výšce.

Pokud je třeba přerušit funkci automatického ustavení, je nutno stisknout směrové tlačítko opačného směru než se dok během funkce pohybuje. Tímto bude funkce přerušena a pohyb zastaven. Příklad: Pokud je spuštěna funkce pro automatické ustavení směrem nahoru, bude funkce přerušena stiskem

Uvedení do připravené pozice

Pomocí bílého ovladače sjeďte dokem ke spodnímu, dokud na sebe nebudou vozíky přiléhat pomocí magnetu.

Přilehnutí magnetu lze zkontrolovat pomocí otvoru na přední straně doku.

Vytáhnutím plastové závlačky zajistěte mechanickou pojistku, která zabrání nečekané aktivaci zařízení.

Uvolněte rychloupínač na koncovém spínači a nastavte požadovanou výšku, do které bude dok automaticky vytažen.

Utáhněte rychloupínač a pomocí příslušné kombinace tlačítek nechte dok automaticky ustavit v nastavené výšce



Bílý ovladač



Koncový spínač s rychloupínačem

Vypuštění indentoru do testovacího materiálu:

Ujistěte se, že je testovaný materiál připraven, a v okolí zařízení se nenahází žádné osoby, které by mohly být zraněny.

Vytáhněte mechanickou pojistku a pomocí plastové závlačky ji zajistěte v uvolněné poloze.

Odstupte od zařízení do bezpečné vzdálenosti.

Nyní můžete stisknout červené tlačítko pro vypuštění indentoru do testovaného materiálu.



Vypouštěcí tlačítko

Vypnutí zařízení:

Vypnout zařízení lze pouze v případě, že jsou vozíky odděleny

Pokud jsou vozíky spojeny, je třeba je pomocí ovladače spustit do spodní pozice, kdy se napnutí lana uvolní.

Pokud je lano uvolněné, uvolněte mechanickou pojistku vytažením a vložením závlačky.

Stiskněte vypouštěcí tlačítko a držte ho. Pomocí ovladače separujte vozíky pojezdem vzhůru. Po separaci je možné vypouštěcí tlačítko uvolnit.

Nyní lze zařízení vypnout vytažením zástrčky z elektrické sítě.

Řešení nestandardních situací:

Mechanická pojistka nelze vytáhnout

Příčina:

V případě, že nelze mechanická pojistka vytáhnout, znamená to, že je pojistka zatížena a spodní vozík na ni visí. Tato situace může nastat, pokud je stisknuto vypouštěcí tlačítko bez uvolnění mechanické pojistky.

Řešení:

Pomocí ovladače spusťte vozíky do dolní pozice. V tuto chvíli by se měla pojistka uvolnit. Pokud se tak nestane, nebo po vytažení problém přetrvává, je třeba seřídít stavitelný prvek pro držení magnetu. Více v části: **Seřizování stavitelného prvku.**

Magnet nespojil vozíky

Příčina:

Stavitelný prvek pro držení magnetu s magnetem nedoléhá. Správné dolehnutí lze zkontrolovat otvorem v přední části držáku.

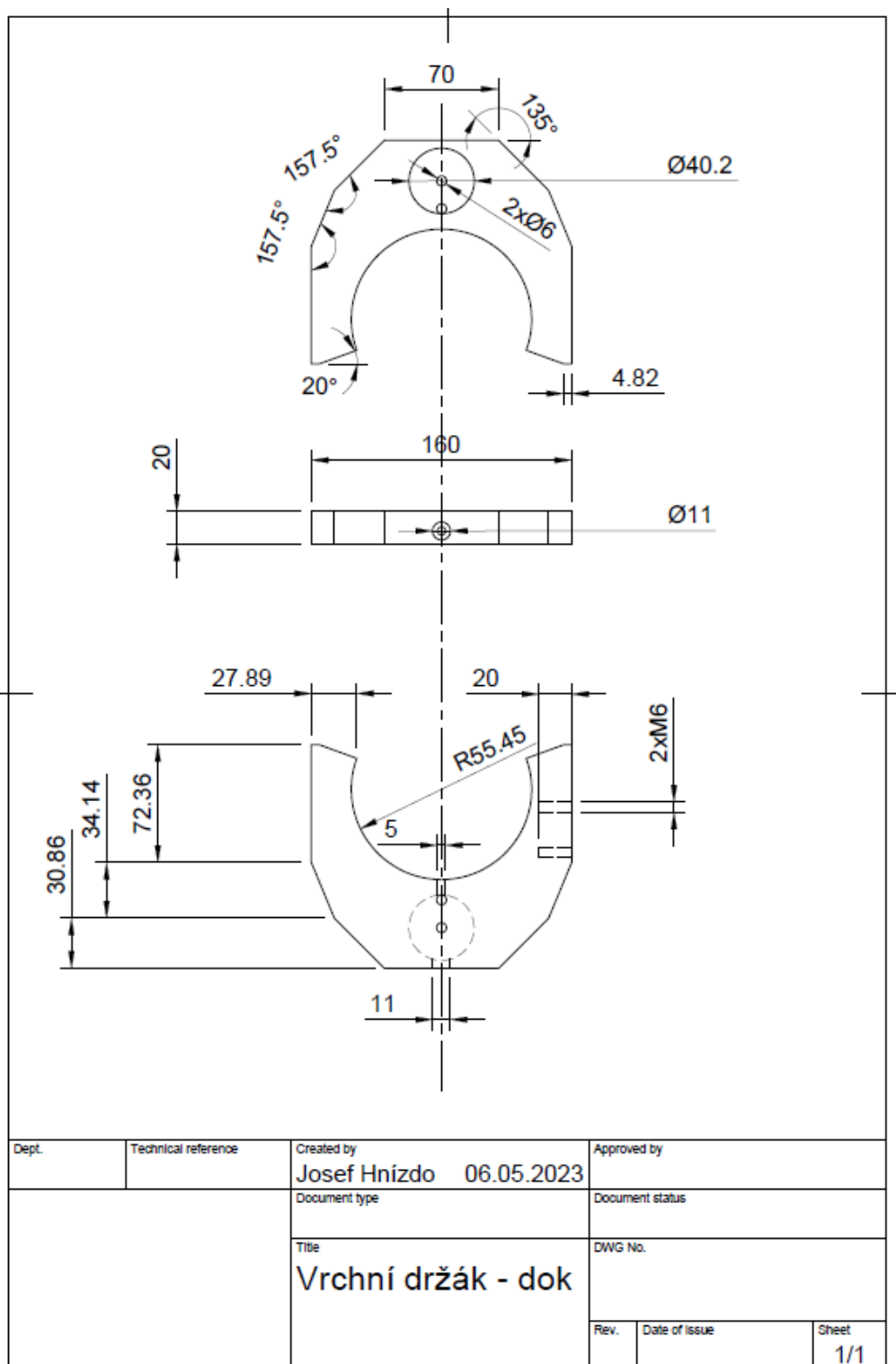
Řešení:

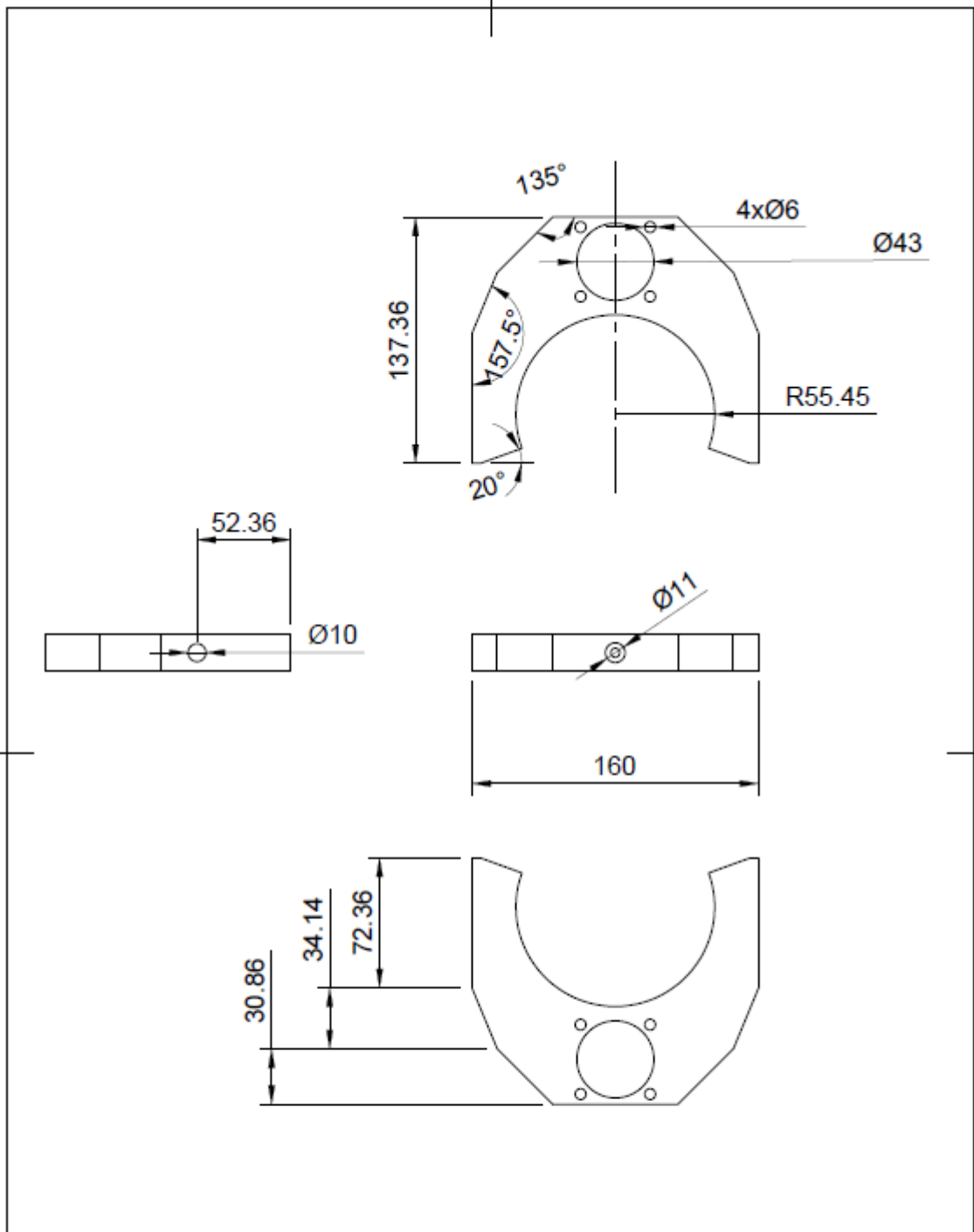
Seříd'te stavitelný prvek. Více v části: **Seřizování stavitelného prvku.**

Seřizování stavitelného prvku

Upravte polohu stavitelného prvku pomocí matek, které se naházejí ze spodu držáku. Obě části by na sebe měly dokonale doléhat. Při uvolnění magnetu by nemělo docházet k větším pohybům stavitelného prvku, které jsou způsobeny velkou vůlí mezi držákem a stavitelným prvkem. Pro vymezení leze použít podložky s různými tloušťkami, které se nainstalují dle potřeby pod stavitelný prvek. Maximální vůle by měla činit 2 mm. Tuto vůli lze změřit tak, že spojenými vozíky zajedeme na dopadovou plochu pomocí navijáku, uvolníme mechanickou pojistku, kterou zajistíme v uvolněné poloze pomocí závlačky. Nyní můžeme stiskem vypouštěcího tlačítka uvolnit stavitelný prvek, který by se neměl ve vertikálním směru pohnout o více než 2 mm.

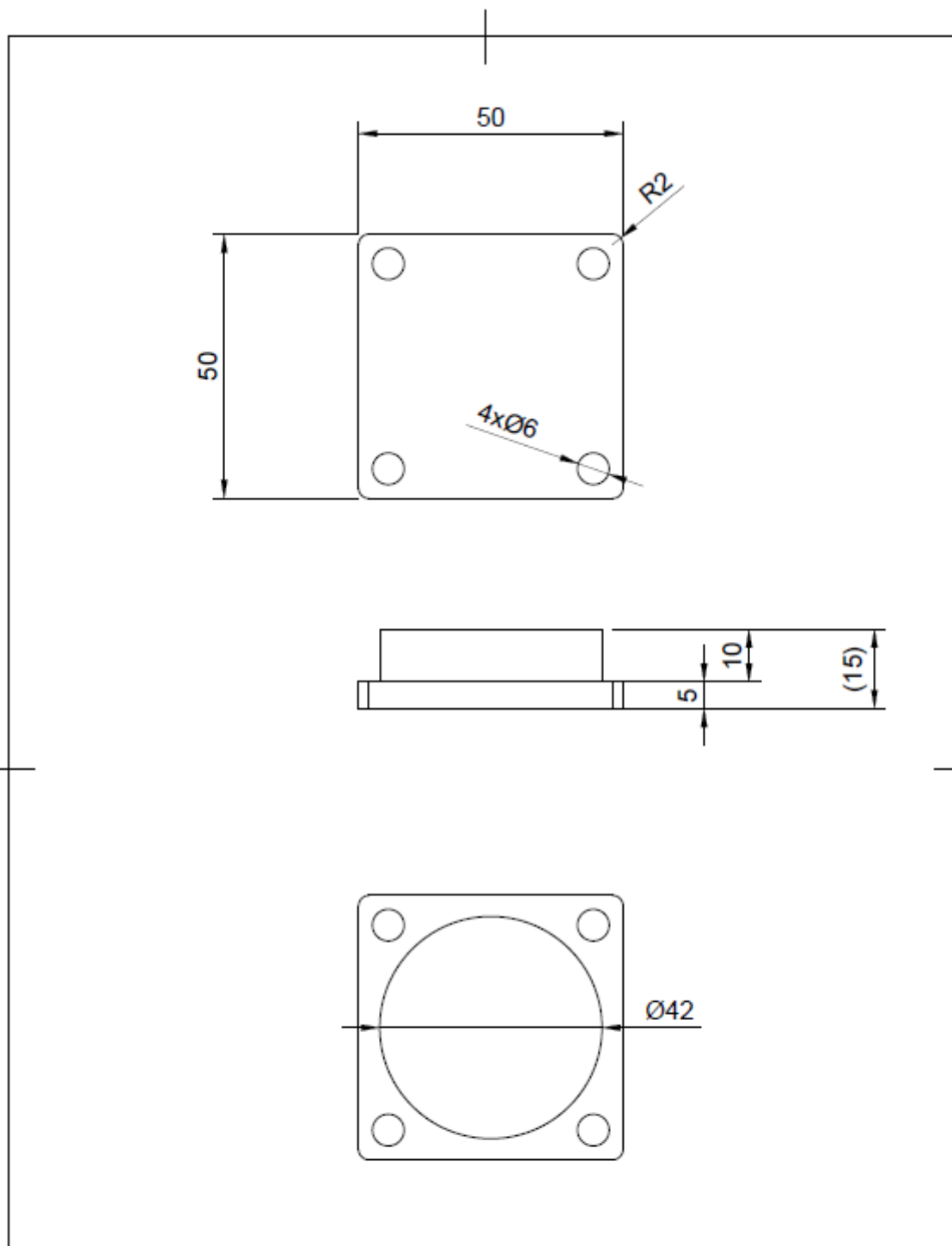
Příloha 5 – Technický výkres: Držáky rozpojovacího zařízení





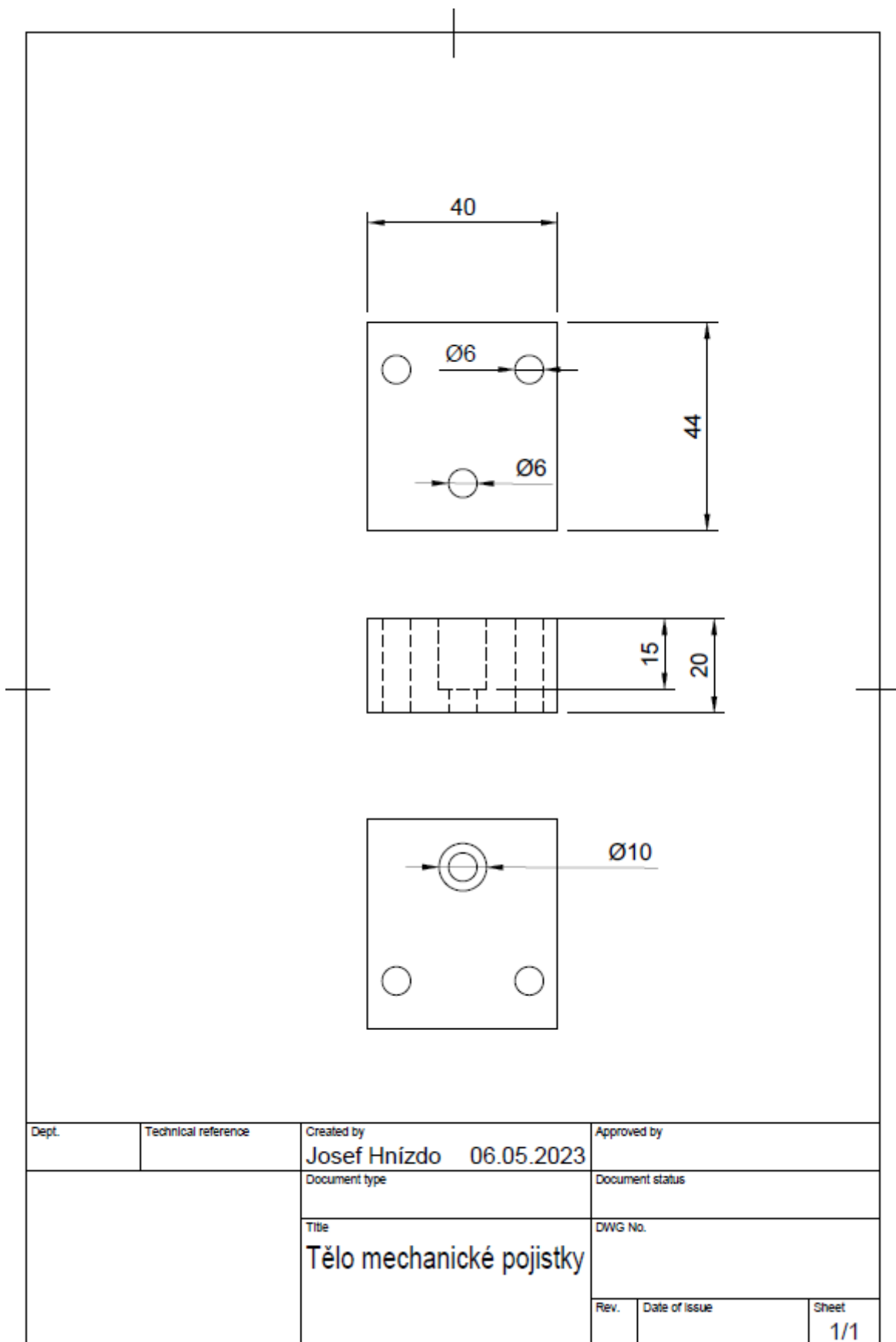
Dept.	Technical reference	Created by Josef Hnízdo 06.05.2023	Approved by
		Document type	Document status
		Title Spodní držák	DWG No.
	Rev.	Date of Issue	Sheet 1/1

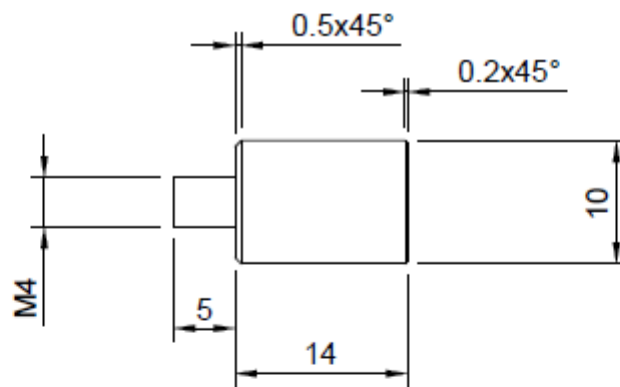
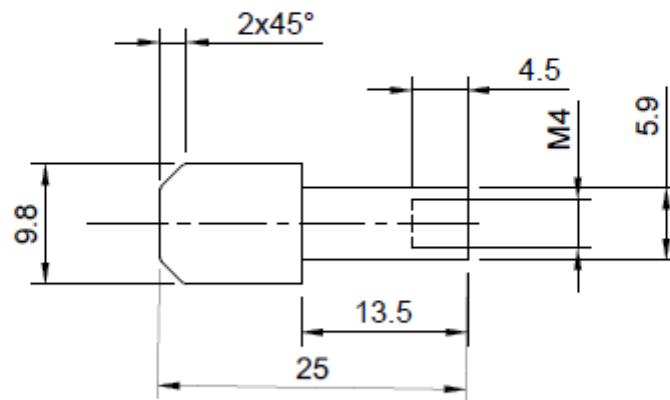
Příloha 6 - Technický výkres: Magnetický protikus



Dept.	Technical reference	Created by Josef Hnízdo 06.05.2023	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title Magnetický protikus	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1

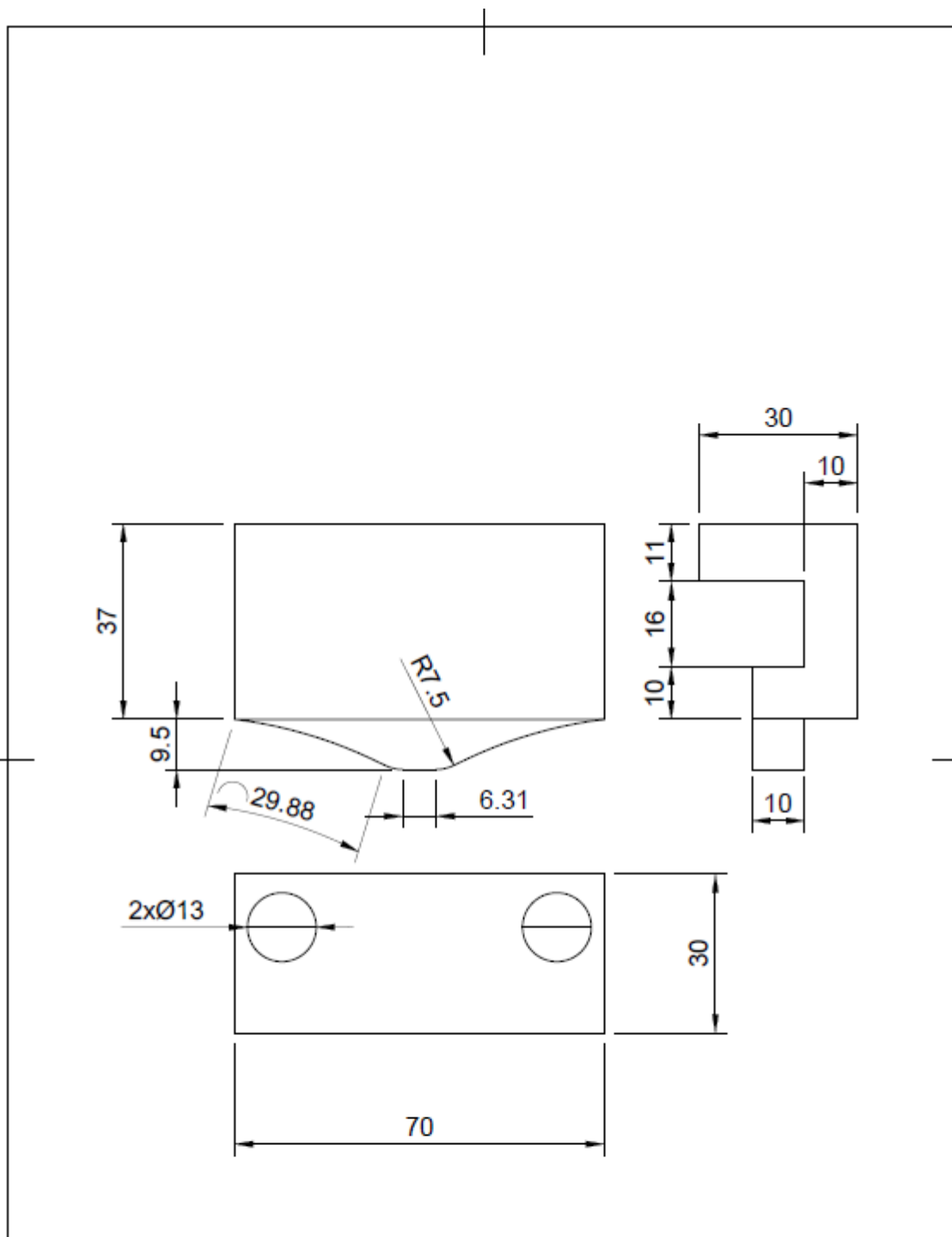
Příloha 7 - Technický výkres: Mechanická pojistka





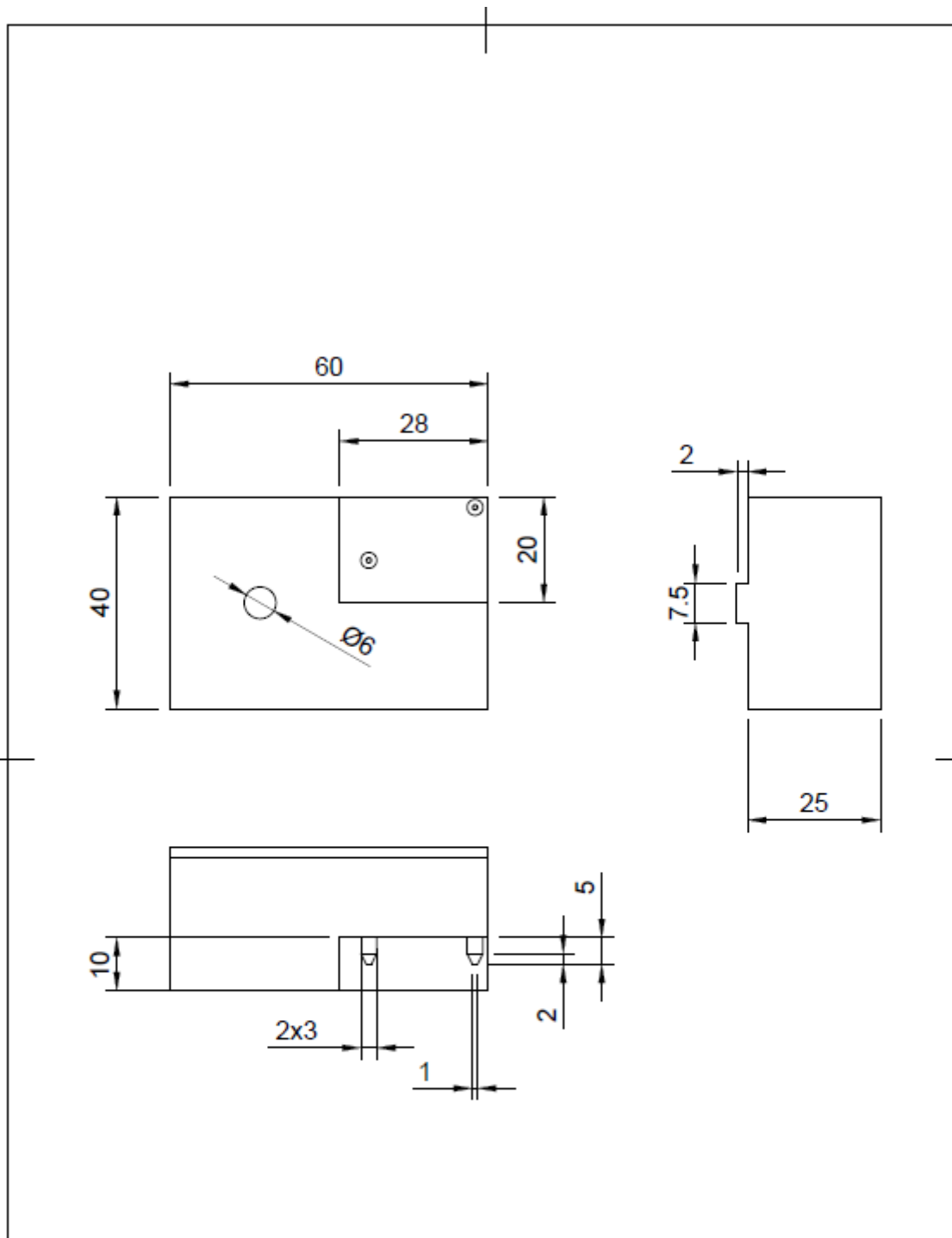
Dept.	Technical reference	Created by Josef Hnízdo 06.05.2023	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title Aretační čep	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1

Příloha 8 - Technický výkres: Rampa koncového spínače



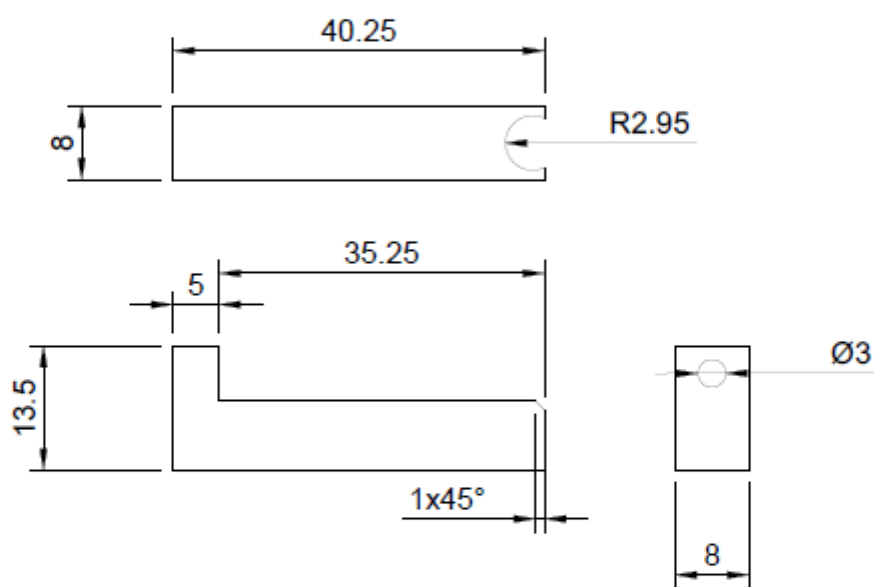
Dept.	Technical reference	Created by Josef Hnízdo 10.05.2023	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title Rampa koncového spínače	DWG No.	
		Rev.	Date of Issue	Sheet 1/1

Příloha 9 - Technický výkres: Úchyt koncového snímače



Dept.	Technical reference	Created by Josef Hnízdo 10.05.2023	Approved by
		Document type	Document status
		Title Úchyt koncového spínače	DWG No.
		Rev.	Date of issue
		Sheet 1/1	

Příloha č.10 - Technický výkres: Aretační kolík



Dept.	Technical reference	Created by Josef Hnízdo 10.05.2023	Approved by
		Document type	Document status
		Title Aretační kolík	DWG No.
	Rev.	Date of issue	Sheet 1/1