VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2022 Jan Hrabica

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SYSTÉM PRO MĚŘENÍ PRŮBĚHU SÍLY STISKU SPOUŠTĚ

TRIGGER PULL MEASUREMENT SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Jan Hrabica

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2022

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Jan Hrabica ***ID:*** 220986

Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Systém pro měření průběhu síly stisku spouště

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Odpor spouště ručních palných zbraní je jeden ze sledovaných parametrů při jejich výrobě, servisu i používání. Cílem práce je návrh vhodného měřicího systému pro potřeby výrobního závodu. Zadaní lze shrnout do následujících bodů:

1) Seznamte se s problematikou měření odporu spouště, vypracujte přehled používaných metod a měřicích systémů

2) Popište současný stav ve výrobním závodě a diskutujte výhody a nevýhody použitých řešení

3) Na základě měření odporu spouště vybraných zbraní současnými měřicími zařízeními zhodnoťte jejich výhody a nevýhody

4) Navrhněte několik variant měřicího systému pro automatizované měření průběhu síly v závislosti na poloze spouště s těmito parametry:

a. Rozsah síly 0-100 N, přesnost 0,5N

b. Poloha 0-10 cm, přesnost 0,1mm

5) Diskutujte dosažené parametry, ekonomiku, výhody a nevýhody jednotlivých variant návrhu, případně navrhněte další úpravy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Webster J. G.: Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook: Two-Volume Set. Taylor&Francis Inc., ISBN 978-1439848838

Termín zadání: 7.2.2022 ***Termín odevzdání:*** 23.5.2022

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tématem této bakalářské práce je návrh systému pro měření síly odporu spouště pistolí společnosti Česká Zbrojovka, a.s. Uherský Brod. Cílem práce je seznámení s problematikou měření, zhodnocení současného stavu ve výrobním závodě a návrh zařízení pro měření požadovaných parametrů.

Klíčová slova

Zbraně, pistole, síla odporu spouště, měření síly

Abstract

The topic of this bachelor thesis is proposal of system for the measurement of trigger pull and for pistols of the company Česká Zbrojovka, a.s. Uherský Brod. The aim of this work is the introduction into the problematics, assessment of current state in the production establishment and proposal of device for measuring the required parameters.

Keywords

Firearm, pistol, trigger pull force, force measurement

Bibliografická citace

HRABICA, Jan. *Systém pro měření průběhu síly stisku spouště.* Brno, 2022. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142578. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Petr Beneš.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: Jan Hrabica

VUT ID studenta: 220986

Typ práce: Bakalářská práce

Akademický rok: 2021/22

Téma závěrečné práce: Systém pro měření průběhu síly stisku spouště

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 20. května 2022

podpis autora

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Petru Benešovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat firmě Česká Zbrojovka, a.s. Uherský Brod, divizi krátkých zbraní, oddělení konstrukce, za poskytnutí tématu a konzultantovi Ing. Matěji Harčaríkovi za ochotu a poskytování informací, které byly potřebné k úspěšnému dokončení mé práce.

V Brně dne: 20. května 2022

podpis autora

Obsah

1. ÚVOD 12

1.1 PARAMETRY PISTOLÍ 12
1.2 POPIS PRODUKTU 14
1.3 HLAVNÍ CÍLE PRÁCE 14

2. PŘEHLED POUŽÍVANÝCH METOD A MĚŘICÍCH SYSTÉMŮ 15

2.1 ZÁVAŽÍ 15
2.2 PRUŽINOVÉ SILOMĚRY 16
2.3 TENZOMETRICKÉ SILOMĚRY 17
2.4 SYSTÉMY 18

3. SOUČASNÉ METODY MĚŘENÍ ODPORU SPOUŠTĚ V CZUB 20

3.1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO MĚŘICÍHO SYSTÉMU 20
3.2 POPIS PROVEDENÝCH EXPERIMENTŮ 22
3.2.1 Měření závažím 22
3.2.2 Měření siloměrem 23
3.2.3 Měření systémem 24

4. NÁVRH METOD MĚŘENÍ 32

4.1 ZHODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH ŘEŠENÍ 32
4.2 ZHODNOCENÍ ZADÁNÍ 32
4.3 NÁVRH HARDWARU 33
4.3.1 Pohon 33
4.3.2 Posuv 34
4.3.3 Řídící jednotka 34
4.3.4 Snímač síly 34
4.3.5 Rám 34
4.3.6 Upínač 35
4.4 NÁVRH SOFTWARU 36

5. NAVRŽENÉ KONCEPCE 37

5.1 PROTOTYPOVÉ ZAŘÍZENÍ 37
5.1.1 Pohon 37
5.1.2 Řídící jednotka 38
5.1.3 Siloměr 38
5.1.4 Rám 38
5.1.5 Upínač 39
5.1.6 Software 39
5.1.7 Zhodnocení 39
5.2 LOW-COST PROVOZNÍ ZAŘÍZENÍ 40
5.2.1 Pohon 40
5.2.2 Řídící jednotka 40
5.2.3 Zdroj 41
5.2.4 Siloměr 41
5.2.5 Rám 41
5.2.6 Upínač 41
5.2.7 Uživatelské rozhraní 42
5.2.8 Snímání čárových kódů 46
5.2.9 Čas měření 46

5.2.10 Zhodnocení *46*
5.3 PROFESIONÁLNÍ ZAŘÍZENÍ 47
5.3.1 Řídící jednotka *47*
5.3.2 Pohon *47*
5.3.3 Napájení *48*
5.3.4 Snímač síly *48*
5.3.5 Upínač *48*
5.3.6 Rám *49*
5.3.7 Bezpečnostní prvky *49*
5.3.8 Snímání čárových kódů *49*
5.3.9 Měření úhlu vyklonění kohoutku *49*
5.3.10 Uživatelské rozhraní *50*
5.3.11 Uživatelské rozhraní *50*
5.3.12 Čas měření *53*
5.3.13 Zhodnocení *53*
5.4 TABULKOVÉ SROVNÁNÍ NÁVRHŮ 54
6. ZÁVĚR 55

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1.1 Obrázek pistolí CZ P-10 C a CZ Shadow 2
2.1.1 Fotografie závaží
2.2.1 Fotografie analogového siloměru ZN
2.3.1 Fotografie fóliového tenzometru připevněného na nosník
2.3.2 Fotografie elektronického siloměru značky Lyman
2.4.1 Měřicí systém TriggerScan
3.1.1 Blokové schéma současného měřicího systému
3.1.2 Fotografie měřicího systému v závodu
3.1.3 Detail upínače měřicího systému
3.2.1 Měření odporu spouště závažím na pistoli CZ P-07 v režimu SA
3.2.2 Měření odporu spouště siloměrem na pistoli CZ P-07 v režimu SA
4.3.1 Principiální návrh možných řešení upínače
4.5.1 Blokové schéma prototypového zařízení
4.5.2 Blokové schéma zařízení do provozu
4.5.3 Pneumatický obvod upínače low-cost zařízení
4.5.4 Vývojový diagram měření na low-cost zařízení
4.5.5 Návrh uživatelského rozhraní low-cost zařízení
4.5.6 Návrh uživatelského rozhraní módu úpravy karta „Krok/rychlost”
4.5.7 Návrh uživatelského rozhraní módu úpravy karta „Manuální posuv”
4.5.8 Blokové schéma profesionálního zařízení
4.5.9 Pneumatický obvod upínače profesionálního zařízení
4.5.10 Vývojový diagram měření na profesionálním zařízení
4.5.11 Návrh uživatelského rozhraní profesionálního zařízení

SEZNAM GRAFŮ

3.2.1 Graf závislosti síly odporu spouště na dráze stisku, pistole CZ P-07 v režimu DA
3.2.2 Graf závislosti síly odporu spouště na dráze stisku, pistole CZ P-07 v režimu DA s kohoutkem na bezpečnostním ozubu
3.2.3 Graf závislosti síly odporu spouště na dráze stisku, pistole CZ P-07 v režimu SA
3.2.4 Graf průměrných závislostí odporu spouště na dráze stisku, pistole CZ P-07 ve všech režimech
3.2.5 Graf závislosti síly odporu spouště na dráze stisku, pistole CZ P 75 BD v režimu DA
3.2.6 Graf závislosti síly odporu spouště na dráze stisku, pistole CZ P 75 BD v režimu DA s kohoutkem na bezpečnostním ozubu
3.2.7 Graf závislosti síly odporu spouště na dráze stisku, pistole CZ P 75 BD v režimu SA
3.2.8 Graf průměrných závislostí odporů spouště na dráze stisku, pistole CZ 75 BD ve všech režimech
3.2.9 Graf průměrných závislostí odporů spouště na dráze stisku, 5 pistolí CZ P-10 F ze stejné šarže
3.2.10 Graf průměrných závislostí odporů spouště na dráze stisku, 5. pistole CZ P-10 F, krok 0,5 mm a 0,1 mm
3.2.11 Porovnání průběhů pro posouzení reprodukovatelnosti měření, pistole CZ 75 BD v režimu DA
3.2.12 Závislost prohnutí upínače na působící síle

SEZNAM TABULEK

3.2.1 Výsledky měření závažím
3.2.2 Výsledky měření siloměrem
5.1 Tabulkové srovnání komponent jednotlivých návrhů

1. ÚVOD

Ruční palné zbraně slouží primárně jako nástroje osobní ochrany. Palné zbraně se dělí na dlouhé a krátké dle délky hlavně. Velmi obsáhlou podskupinu krátkých zbraní tvoří pistole. Samotných pistolí existuje velmi široká škála přes různé kalibry, velikosti, délky hlavně nebo kapacity nábojů. Jako produkt přesného strojírenství náleží pistole mnohým požadavkům a tolerancím. Mezi obvyklé dimenzionální parametry patří například průměr hlavně, geometrie komory, vodících drážek v závěru. Dále se pistole skládají z různých materiálů o různých tvrdostech, které opět podléhají normám, například tvrdost drážkování hlavně, povrchová tvrdost úderníku, tvrdost různých čepů a kontaktních ploch. Dalšími měřitelnými parametry je například úsťová rychlost, která závisí na ráži pistole, prachové náloži a délce hlavně. Zpětný ráz výstřelu, který opět závisí na ráži, typu projektilu, prachové náloži, délce hlavně a hmotnosti pistole. Minimální zpětný ráz zvyšuje komfort při střelbě a je požadovaný hlavně při sportovní střelbě kde umožňuje rychlejší a přesnější palbu. Dále lze měřit síly, se kterými uživatel operuje ovládací prvky pistole, například zádržku zásobníku, pojistky, záchyt závěru. Ovšem i pružiny a pružné elementy v pistolích podléhají přesným požadavkům například vratná pružina v závěru, pružiny v bicím a spoušťovém mechanismu. V souvislosti s bicím a spoušťovým mechanismem lze měřit sílu, se kterou je nutno zmáčknout spoušť, aby došlo k odpalu a dráhu, kterou musí spoušť urazit něž k odpalu dojde. Dále je možno měřit vzdálenost po kterou je nutno spoušť na dráze stisku vrátit, aby došlo k obnovení funkce tzv. reset spouště. U kohoutkových pistolí se měří úhel vyklonění kohoutku, který zajistí, že po vypuštění dodá kohoutek úderníku dostatek energie na odpálení náboje.

Tato bakalářská práce se zabývá měřením parametrů pistolí, dále se práce zaměřuje na měření parametrů spoušťového a bicího mechanismu, konkrétně na měření síly, se kterou je nutno spoušť zmáčknout, aby došlo k výstřelu.

1.1 Parametry pistolí

Bicí a spoušťový mechanismus jsou jedny z hlavních konstrukčních provedení, podle kterých, lze pistole kategorizovat a primárně se dělí na kohoutkové a bezkohoutkové. Kohoutkové mechanismy mají nejobvykleji jednočinnou, výhradně jednočinnou funkci (SA, single action; SAO, single action only) a dvojčinnou, výhradně dvojčinnou funkci (DA, double action; DAO double action only).

Při SAO spoušťovém mechanismu musí střelec před prvním výstřelem manuálně stlačit kohoutek do natažené polohy obvykle buď palcem ruky nebo natažením závěru. Tím dojde ke stlačení bicí pružiny a zbraň je připravena k výstřelu. Po stisknutí spouště dojde k uvolnění kohoutku, který je urychlen bicí pružinou, který udeří do úderníku, který následně odpálí náboj v komoře pistole či válci revolveru a dojde k výstřelu. Mačkáním spouště tedy dochází pouze k jedné

akci, a to vypuštění kohoutku. Dráha spouště je krátká, odpor je nízký. [Graf 3.2.3 P-07 SA] Po každém výstřelu je u pistolí obvykle kohoutek automaticky napínán zpětným pohybem závěru a zůstane natažený (bicí pružina je stlačená) u SAO revolverů musí po každém výstřelu střelec opětovně manuálně kohoutek natáhnout.

Při DAO spoušťovém mechanismu dochází mačkáním spouště ke dvěma akcím: natahování a následovnému vypuštění kohoutku. Pistole s tímto typem bicího mechanismu nedisponují možností předepnutí bicí pružiny a snížení odporu spouště. Dráha spouště je delší a odpor je vyšší než u SA provedení. [Graf 3.2.1 P-07 DA]

Nejrozšířenější konstrukcí bicích a spoušťových mechanismů kohoutkových pistolí je DA/SA (double action/single action, dvojčinný/jednočinný). Je to v podstatě kombinace dvojčinného a jednočinného mechanismu v tom smyslu že je možné spouští natáhnout a uvolnit kohoutek stejně tak jako již předem natažený kohoutek pouze uvolnit. Po výstřelu dojde u pistolí k opětovnému natažení bicího mechanismu díky zpětnému rázu výstřelu, který natáhne závěr.

Modernější konstrukce pistolí využívá bicí mechanismus s přímoběžným úderníkem (SF, striker fired), která je obecně spolehlivější v důsledku konstrukce z nižšího počtu součástek, a hlavně bezpečnější z důvodu jednodušší implementace mnoha bezpečnostních prvků například pojistka spouště, pojistka táhla spouště nebo blokace úderníku. Kladivo, úderník a bicí pružina jsou nahrazeny přímoběžným úderníkem (přímoběžný s osou hlavně), který je obvykle ovinutý bicí pružinou a je umístěn v zadní části závěru na rozdíl od běžného umístění bicí pružiny v zadní straně pažbičky u pistolí s kladivem. Bicí mechanismus je většinou v provedení SAO, kdy musí před každým výstřelem dojít k jeho natažení, to může představovat problém, jelikož v situacích sebeobrany může záviset na každé vteřině, a tak může být čas strávený natahováním závěru kritický. Nutnost natažení bicího mechanismu lze ovšem obejít nošením pistole s nábojem v komoře a nataženým bicím mechanismem. Díky bezpečnostním prvkům, kterými SF pistole dominují, je tato možnost bezpečnější než u kohoutkových pistolí. Navíc SOA bicí mechanismus zajišťuje neměnný odpor spouště. Dále jsou většinou rámy SF pistolí konstruovány z polymerů, a tak je i celková hmotnost pistole nižší a umožňuje pohodlnější nošení. Výhodou je tedy vyšší bezpečnost, větší spolehlivost, nižší hmotnost a konzistentní relativně nízký odpor spouště [Graf 3.2.10 CZ P-10 F].

Vyšší odpor spouště, by se mohl obecně zdát jako nežádoucí vlastnost, ovšem to záleží na aplikaci. U pistolí určených na sebeobranu je vyšší odpor spouště právě žádoucí, protože se snižuje riziko neúmyslného výstřelu. V jednočinném režimu je odpor spouště nižší ale to může představovat problém, jelikož po prvním výstřelu obvykle přejde kohoutková pistole z DA do SA režimu, snížení odpalové síly může být velmi zásadní například z 35 N (DA) na 16 N (SA) [Graf 3.2.4 P-07], takový rozdíl může představovat nebezpečí, protože opět může dojít k nechtěnému výstřelu kvůli stresu.

Ovšem i nižší odpor spouště má své uplatnění například ve sportovní střelbě na terč kde umožňuje rychlejší střelbu, a hlavně lepší přesnost.

Konzistence odporu, který spoušť klade je dokonce ještě důležitější než maximální hodnota, které síla dosáhne. Je daleko lepší střílet z pistole, která má sice vysoký ale relativně konzistentní odpor než z pistole, která má v dráze odporu spouště různé nežádoucí skoky.

Obrázek 1.1.1 Pistole na osobní ochranu P-10C vlevo (25 N) a sportovní pistole CZ Shadow 2 (13 N) [CZx21]

1.2 Popis produktu

Konstrukce pistolí nabízených společností CZUB zaručuje maximální komfort pro uživatele díky svému technickému provedení, například velikostními kategoriemi vyměnitelných hřbetů rukojeti nebo třeba oboustrannými ovládacími prvky (záchyt závěru, zádržka zásobníku, pojistka, ovladač vypouštění…). Produktové portfolio pokrývá všechny kategorie od subkompaktů (S) přes semikompakty (SC) a kompakty (C) po modely standardní velikosti (F) a sportovní speciály. K dispozici jsou modelové řady z klasických i vysoce moderních materiálů, s vnějším kohoutem i přímoběžným úderníkem nejen v běžných provedeních ale i ve variantách SR silencer ready (model s vnějším hlavňovým závitem pro používání úsťových zařízení například právě tlumičů zvuku výstřelu či tlumičů zášlehu plamene) a OR optics ready (model se závěrem upraveným pro snadnou montáž kolimátoru)[CZx21].

1.3 Hlavní cíle práce

Hlavním cílem bakalářské práce je rozbor problematiky, seznámení se stávajícími metodami na trhu a v závodu a návrh koncepcí systému pro měření požadovaných parametrů

2. PŘEHLED POUŽÍVANÝCH METOD A MĚŘICÍCH SYSTÉMŮ

Na trhu existuje mnoho různých metod pro měření síly tahu či tlaku. Konstrukce měřicích přístrojů a zařízení je možno rozdělit do čtyř kategorií, které jsou detailněji popsány v následujících podkapitolách 2.1 až 2.4

2.1 Závaží

Měření síly odporu spouště pomocí závaží je nejjednodušší možné řešení v ohledu na složitost samotného zařízení. Stačí kalibrované závaží se způsobem zavěšení na spoušť, například háčkem. Závaží se zavěsí za spoušť a zdvižením zbraně začne působit síla definovaná vztahem

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{m} \cdot \boldsymbol{g}, \tag{2.1.1}$$

Kde: $\boldsymbol{F}$ představuje vektor síly zdvihu závaží [N], m je hmotnost závaží [kg] a $\mathbf{g}$ je vektor gravitačního zrychlení v místě měření [$\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-2}$], změnu gravitačního zrychlení v místě měření můžeme zanedbat.

Obrázek 2.1.1 Fotografie závaží

Náročnost na operátora je pro přesné měření relativně vysoká, zvedání závaží musí probíhat co možná nejpomaleji a nejplynuleji, což právě představuje problém. Při cuknutí s měřeným zařízením může dojít k falešně pozitivnímu vyhodnocení.

Přesnost měření se odvíjí od přesnosti hmotnosti závaží a zkušenosti operátora. Prakticky se z důvodů časové náročnosti přesného měření a nutnosti opakovaných pokusů nedá měřit s přesností větší než 0,5 kg.

Vyhodnocení obecně představuje problém, výstup měření může být poslední závaží které odpálilo, nebo interval například závaží ocejchované na 14 N neodpálilo, závaží 18 N odpálilo.

Není tedy prakticky možné vynášet sílu tlaku v závislosti na vzdálenosti stlačení spouště.

2.2 Pružinové siloměry

Stejně jako měření odporu spouště závažím je metoda měření pružinou čistě mechanická a zařízení jsou také relativně levná. K měření je třeba pružina o spolehlivě stálé tuhosti většinou zapouzdřená ve vedení v podobě trubičky, které je ocejchováno osou pro odečítání výsledné síly. Pro uchování maximální naměřené hodnoty se používá indikátor, který je v průběhu měření posouván směrem po stupnici. Při překročení maximální síly a opětovnému natažení nebo stlačení pružiny zůstává indikátor na stupnici. Háček pro zachycení za spoušť vede buď skrze pružinu a slouží jako její vedení, měření stláčením pružiny, nebo je uchycen na volném konci pružiny, měření roztahováním pružiny. Pro oba případy platí že výsledná síla je definována vztahem

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{k} \cdot \boldsymbol{y}, \tag{2.2.1}$$

Kde: $\boldsymbol{F}$ představuje vektor síly vyvinutý pružinou [N], k je tuhost pružiny [$\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^{-1}$]
a y je délka stlačení nebo roztažení pružiny [m].

Běžně dostupné jsou i analogové siloměry se zabudovaným mechanickým převodem, který převádí translační pohyb pružiny na rotační pohyb ručičky na hodinovém ciferníku

Obrázek 2.2.1 Fotografie analogového siloměru ZN

Náročnost na operátora není moc vysoká. Stláčení pružiny musí, stejně jako zvedání závaží, probíhat co možná nejpomaleji a nejplynuleji, což stále představuje problém. Při rychlém stláčení pružiny může dojít k cuknutí kvůli náhlému pádu odporu spouště při odpalu a nárazu spouště do rámu pistole, to způsobí že se výsledná maximální hodnota odporu spouště změní a měření je nutno opakovat.

Přesnost měření se odvíjí od přesnosti zařízení a zkušenosti operátora a pohybuje se v rozmezí 1-5 %.

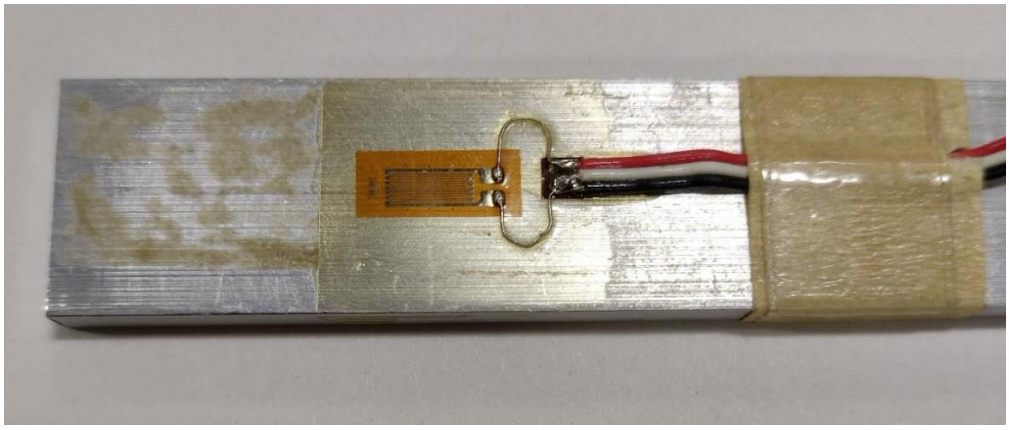
Vyhodnocení měření je v podobě indikace výsledné síly po odečtení ze stupnice.

Stále není prakticky možné vynášet sílu působící na spoušť v závislosti na vzdálenosti stlačení spouště.

2.3 Tenzometrické siloměry

Tenzometr je pasivní elektrická součástka používaná k nepřímému měření síly převodem povrchové deformace objektu nebo deformačního členu na změnu elektrického odporu. Volbou materiálu se dělí na kovové a polovodičové.

Nejrozšířenější konstrukce kovového tenzometru spočívá v nanesení tenké vrstvičky materiálu na fólii. Samotný tenzometr se používá zřídka, například při měření deformace konstrukcí letadel. Obvykle se používá deformační člen s definovanou tuhostí, na který jej upevníme. S deformací členu se deformuje i vodivá dráha, při natažení se zvýší délka a sníží její průřez tak, aby byl zachován celkový objem. A právě zvětšení délky a snížení průřezu mají za následek zvýšení elektrického odporu vrstvy.



Obrázek 2.3.1 Fotografie fóliového tenzometru připevněného na nosník

Na fotografii je možno si všimnout „nahuštění“ odporové dráhy. Změna odporu s deformací je relativně malá, proto se odporová dráha vede přes deformovanou oblast vícekrát. Výsledný odpor se potom nasčítá a tenzometr má vyšší citlivost.

Polovodičové odporové tenzometry se vytváření z monokrystalu základního materiálu (křemík, germanium) a využívají k vyhodnocení deformace piezorezistivní jev. Piezorezistivní jev je dán hlavně změnou koncentrace nosičů náboje v krystalické mřížce polovodiče a je to změna vodivosti polovodiče. S mechanickým namáháním se potom odpor zvyšuje či snižuje podle materiálu, kterým je polovodič dotován. Deformační citlivost je daleko větší než u kovových tenzometrů, umožňuje měřit bez zesilovačů běžnými ohmmetry, voltmetry nebo osciloskopy. Zajímavostí je že polovodičové tenzometry dokáží měřit deformaci kovů již 1nm na délkovém metru

Tenzometry se běžně prodávají už zapojené v můstku se stínícími kabely buď nainstalované na deformačních členech nebo uzavřené v pouzdře, jehož část

zároveň slouží jako deformační člen a třeba i se zabudovaným A/D převodníkem. Různá provedení umožňují měřit sílu (hmotnost) od zlomků gramu až po tisíce tun. Dále se tenzometry dá měřit i tlak, vibrace nebo akcelerace, jelikož lze vhodným deformačním členem tyto veličiny převést na povrchové napětí materiálu.

Obrázek 2.3.2 Fotografie digitálního siloměru značky Lyman

Náročnost na operátora není moc vysoká. Stlačení spouště musí probíhat co možná nejpomaleji a nejplynuleji, což stále představuje problém. Některé siloměry určené právě na měření odporu spouště mají programově ošetřený náraz spouště do rámu, ke kterému může dojít při cuknutí se siloměrem po pádu odporu spouště při odpálení a tím pádem přepsání maximální hodnoty. Některá zařízení taky umožňují průměrovat výslednou maximální hodnotu přes počet měření a tím dosáhnout jistějšího výsledku.

Přesnost měření se odvíjí od přesnosti zařízení a zkušenosti operátora. Samotná přesnost se pohybuje v rozmezí 1-5 %.
Vyhodnocení měření je v podobě výsledné síly po odečtení z displeje.

2.4 Systémy

Žádná z metod uvedených v kapitolách 2.1 až 2.3 neumožňuje praktické měření průběhu odporu spouště na dráze stisku. To byl jeden z hlavních důvodů vzniku systémů na měření charakteristik spoušťových mechanismů v podobě závislosti odporu spouště na dráze stisku. Manuální pohyb stlačení je nahrazen strojovým a snímač zaznamenává sílu v závislosti na dráze. Díky tomuto uspořádání je možno kvantifikovat chování spouště a také ho nejlepším možným způsobem dokumentovat.

Jako pohon pro stlačení spouště je nejčastěji volen krokový motor, který úhel natočení své osy mění postupně po krocích, kdy je rotor přitahován k jednotlivým párům vinutí statoru. Je možno zapnout i více páru vinutí najednou a dostat tak rotor

do mezipolohy vytvořených magnetických pólů, tento režim řízení polohy se nazývá mikrokrokování. Různá konstrukční provedení umožňují dosáhnout mikrokrokováním až na 256 násobek původního rozlišení ale za cenu menšího točivého momentu. Malý krok je kritický pro zajištění co nejdetailnější vyhodnocení odporu spouště. Na to se váže i výběr snímače, nejpoužívanější jsou tenzometry upevněné na deformačním členu nebo na tuhé membráně v zapouzdřeném provedení. Synchronizace informací o poloze a analogové, popřípadě digitální hodnoty snímače umožňuje vynést průběh chování spouště do grafu. Některé řídící jednotky motorů dokážou autonomně, na základě vložených parametrů, převádět počet otáček přímo na polohu a komunikovat s externími zařízeními po sériové lince. Systém je pak ovládán přes počítačový program a umožňuje nastavení parametrů jako minimální a maximální dráha, síla, výsledná energie, segmentování charakteristiky atd.

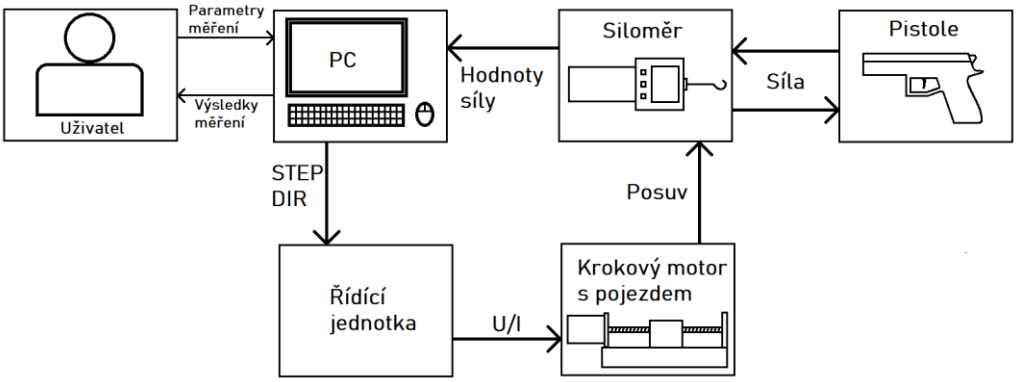
Obrázek 2.4.1 Měřicí systém TriggerScan [TGS21]

3. Současné metody měření odporu spouště v CZUB

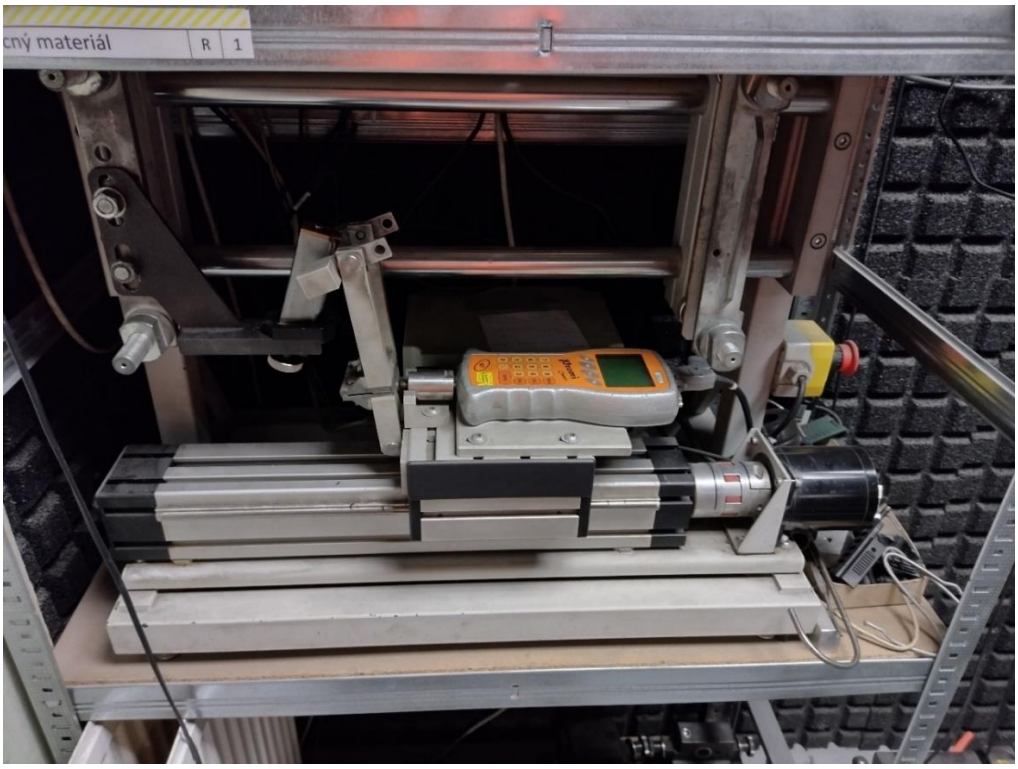
V závodě se odpor spouště měří všemi způsoby uvedenými v kapitole 2. Tato kapitola se bude převážně zabývat rozborem a zhodnocením měřicího systému a popisem provedených experimentů na systému.

3.1 Zhodnocení současného měřicího systému

Měřicí systém v závodě se skládá z počítače, řídící jednotky, krokového motoru s pojezdem a snímačem síly. Na počítači je nainstalován software k ovládání zařízení. Uživatel má možnost manuálně ovládat pozici pojezdu se siloměrem, nastavit parametry měření: krok posuvu pojezdu, maximální sílu a počet opakovaných měření. Řídící jednotka přijímá povely z počítače a na základě instrukcí pohybuje pojezdem za pomocí krokového motoru model SL-34-2530 značky MICROCON, ten otáčí s kuličkovým šroubem, na kterém je umístěna matice s posuvem a snímačem síly. Snímač síly je realizován v podobě digitálního siloměru Promi Classic 500N, ten odesílá naměřené hodnoty síly do počítače, kde jej program zpracovává. Pistole se upíná nasunutím zásobníkové šachty na násadec. Mechanické spojení mezi spouští a siloměrem je zajištěno válečkem, který se díky upevnění na ložiscích může pohybovat nahoru a dolů po spoušti a simuluje tak přirozený pohyb prstu.



Obrázek 3.1.1 Blokové schéma současného měřicího systému



Obrázek 3.1.2 Fotografie měřicího systému v závodu

Obrázek 3.1.3 Detail upínače měřicího systému

Zařízení dokáže měřit sílu s rozlišením 0,01N díky profesionálnímu měřicímu přístroji. Pohon je zajištěn krokovým motorem s úhlem kroku 1,8°, krokový motor je následně zpřevodován kuličkovým šroubem s maticí, a tak dokáže dosáhnout velmi přesného polohování. Minimální krok posuvu je 0,05 mm. Ze softwaru je možné data exportovat v textovém souboru a/nebo ve formě grafu.

Problém zařízení je že se jedná o starý design a neexistuje k němu dokumentace. Software je nespolehlivý, zastaralý a velice obtížně modifikovatelný. Často dochází k zamrznutí celého systému, v takovém případě je nutný restart počítače. Upínání je zdlouhavé a pro měření různých pistolí je nutno vždy iterativně nalézt správné nastavení maximální dráhy a síly, které dále proces prodlužují.

3.2 Popis provedených experimentů

Jako součást zhodnocení současného stavu byla provedena řada experimentálních měření ručně a na měřicím zařízení za účelem vyhodnocení přesnosti, opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření.

3.2.1 Měření závažím

První byla na měření odporu spouště využita sada závaží kalibrovaná na hodnoty síly, které buď bicí mechanismus musí nebo nesmí odpálit. Výstupem měření je tedy pouze informace, jestli váha odpálila nebo neodpálila – OK/NOK. Měření bylo provedeno pro všechny režimy bicích mechanismů.

Obrázek 3.2.1 Měření odporu spouště závažím na pistoli CZ P-07 v režimu SA

		Závaží [N]			
Pistole		14,7	20	24,5	58,9
CZ 75 BD	SA/ozub/DA	0/0/0	0/0/0	X/0/0	X/X/X
CZ P-07	SA/ozub/DA	0/0/0	0/0/0	X/0/0	X/X/X
CZ P-10 C	SA	0	0	X/0/0	X

Tabulka 3.2.1 Výsledky měření závažím, X – došlo k odpalu, 0 – nedošlo k odpalu

Metoda umožňuje pouze určit, jestli pistole náleží v toleranci, neumožňuje zjistit přesné hodnoty odporu. Velký problém vzhledem k přesnosti představuje proměnlivé umístění váhy na spoušť, na obrázku 3.2.1 je vidět, že jak pistole, tak závaží si najde přirozenou polohu, která ovšem nemusí odpovídat pozici prsu a směru působení síly při střelbě.

3.2.2 Měření siloměrem

Další metodou měření je ruční siloměr, pistole byly opět změřeny při všech režimem bicího mechanismu. Výstupem měření pro tento způsob je maximální hodnota odporu za celou dráhu stisku.

Obrázek 3.2.2 Měření odporu spouště siloměrem na pistoli CZ P-07 v režimu SA

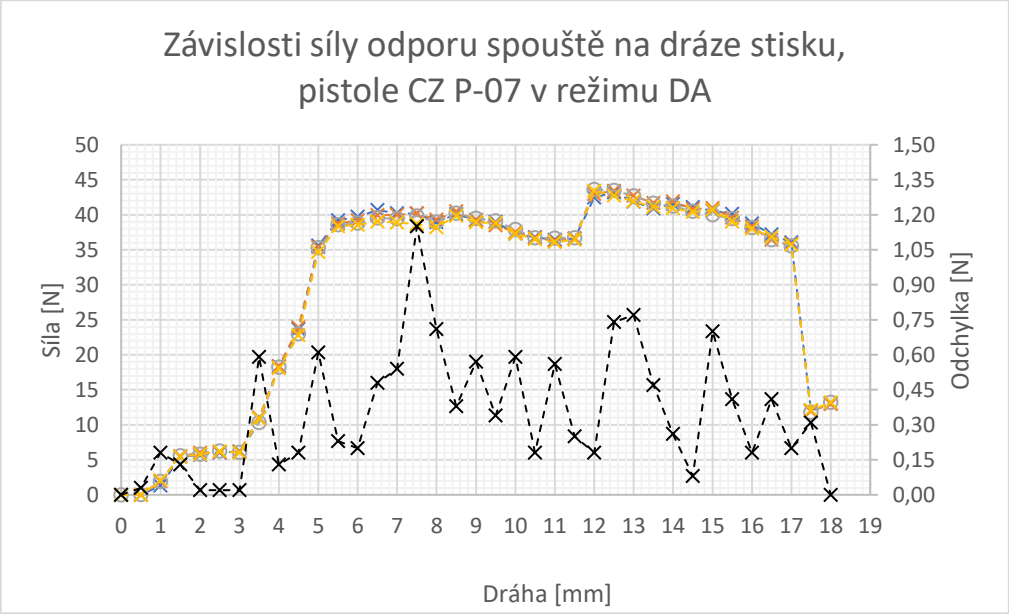
Pistole		Maximální hodnota síly [N]					Průměrná hodnota [N]	Maximální relativní odchylka [%]
CZ 75 BD	SA	25,38	24,03	25,69	19,98	26,83	24,38	10,05
CZ P-07	SA	17,67	20,80	19,23	18,82	17,98	18,90	10,05
CZ P-10 C	SA	18,76	19,23	19,51	19,96	19,20	19,33	3,25

Tabulka 3.2.2 Výsledky měření siloměrem

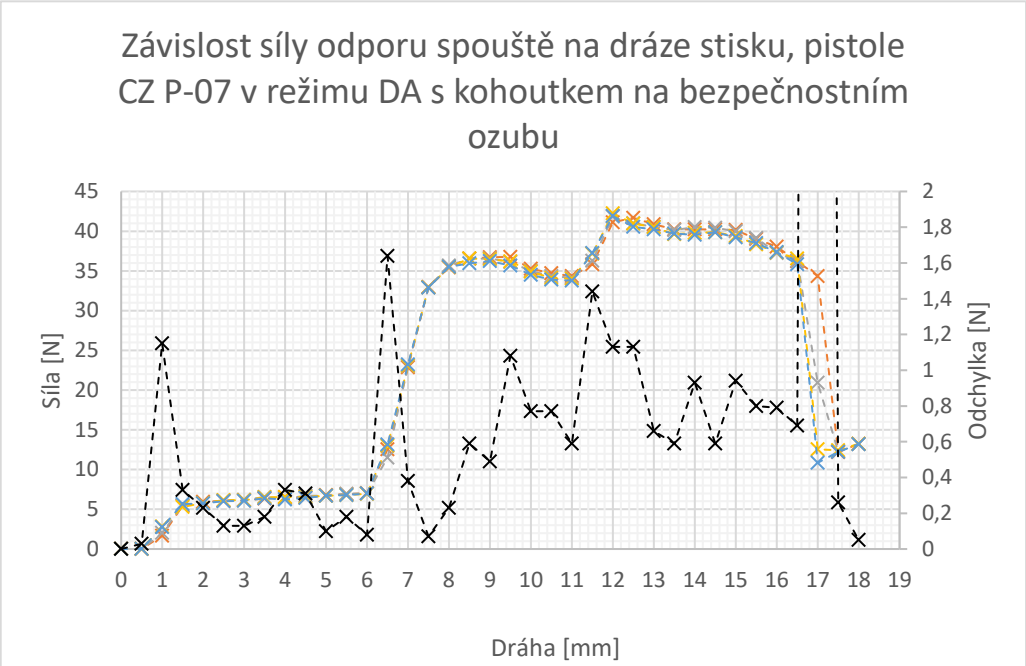
Tato metoda na rozdíl od měření vahami dává číselnou hodnotu maximálního odporu. Problém představuje právě odpal pistole, kdy odpor spouště náhle klesne a je možné že nezkušený operátor se siloměrem cukne a stiskne spoušť dále a narazí do rámu, což vede k přepisu maximální hodnoty odporu a měření se musí opakovat.

3.2.3 Měření systémem

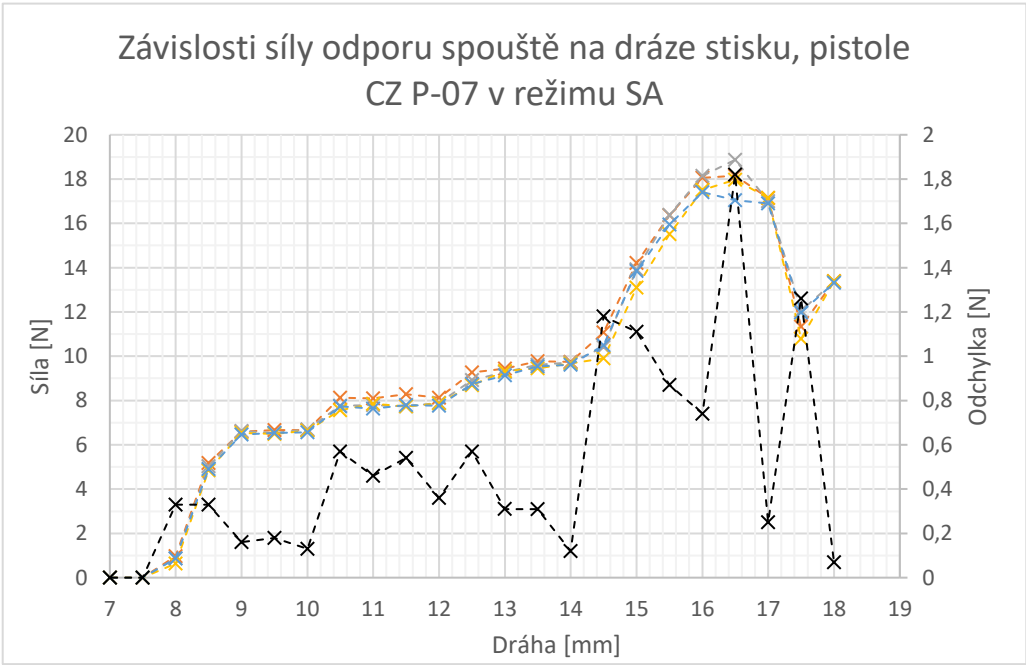
Na závěr bylo provedeno měření na zařízení, první byl změřen průběh odporu spouště na kohoutkové pistoli CZ P-07. Měření bylo provedeno čtyřikrát pro všechny režimy bicího mechanismu, tedy v režimu DA, DA s kohoutkem na bezpečnostním ozubu a v režimu SA, výsledné hodnoty jsou vyneseny v následujících grafech.



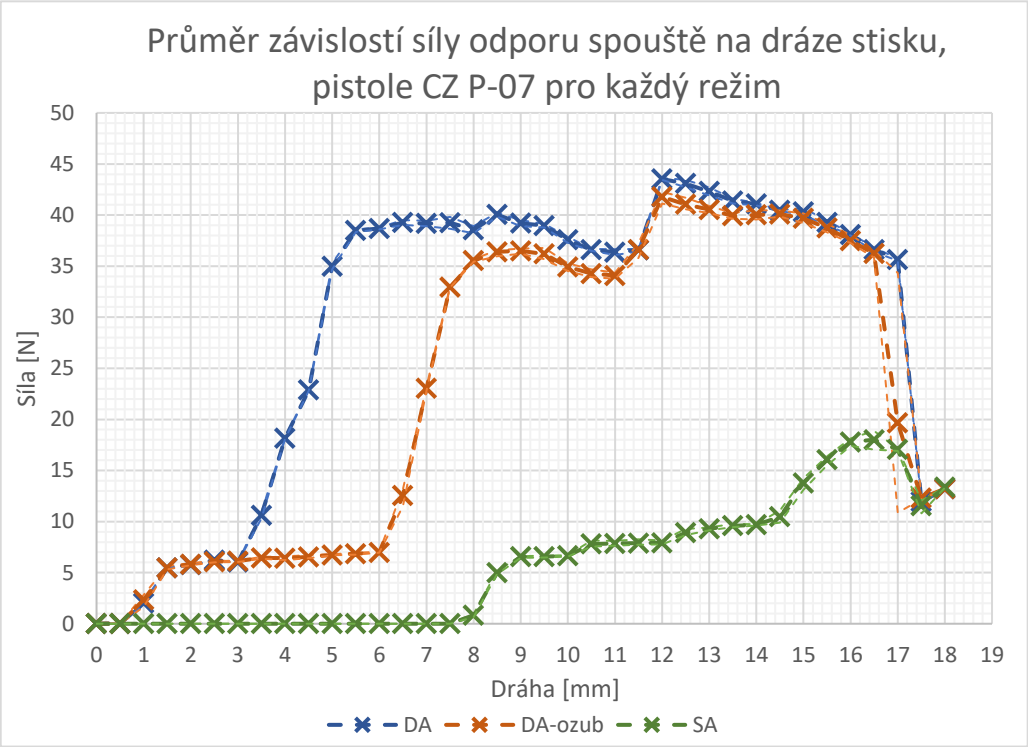
Graf 3.2.1 Graf závislosti síly odporu spouště na dráze stisku, pistole CZ P-07 v režimu DA



Graf 3.2.2 Graf závislosti síly odporu spouště na dráze stisku, pistole CZ P-07 v režimu DA s kohoutkem na bezpečnostním ozubu



Graf 3.2.3 Graf závislosti síly odporu spouště na dráze stisku, pistole CZ P-07 v režimu SA



Graf 3.2.4 Graf průměrných závislostí odporů spouště na dráze stisku, pistole CZ P-07 ve všech režimech

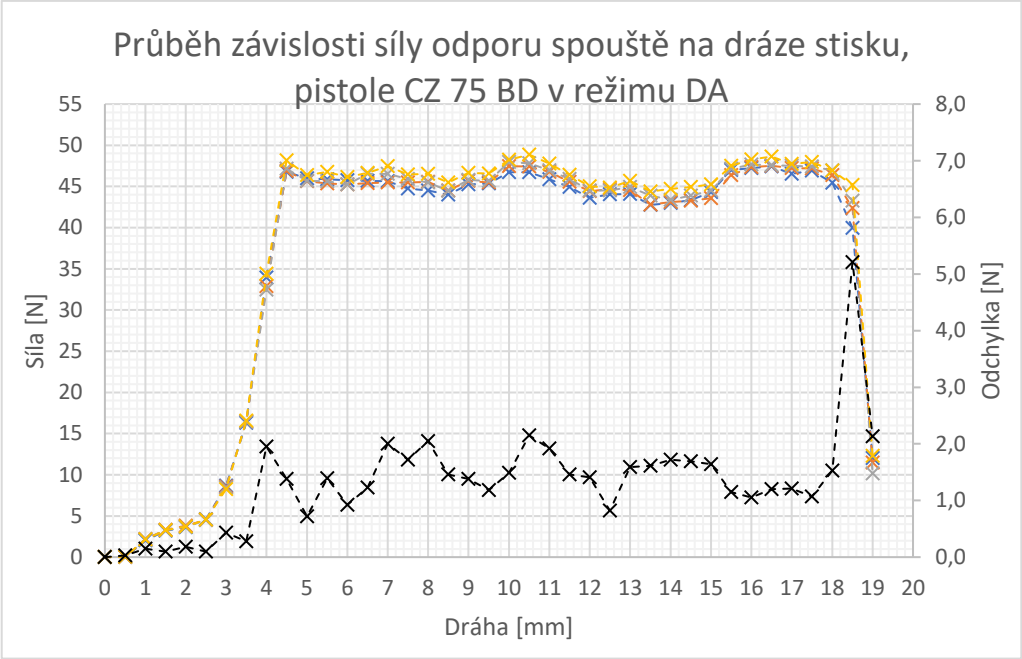
Odchylka je vypočtena jako rozdíl maximální a minimální hodnoty naměřené v daném bodě při opakovaných měřeních.

Z maximálních a minimálních hodnot průběhů v každém režimu je v grafech vytvořena oblast, ve které se s velkou pravděpodobností bude nacházet přesná hodnota. Průběhy ve všech režimech byly skombinovány do grafu 3.2.4. V tomto grafu je velmi zřetelně vidět rozdíl v odporu mezi režimy DA a SA zmíněný v kapitole 1.1.

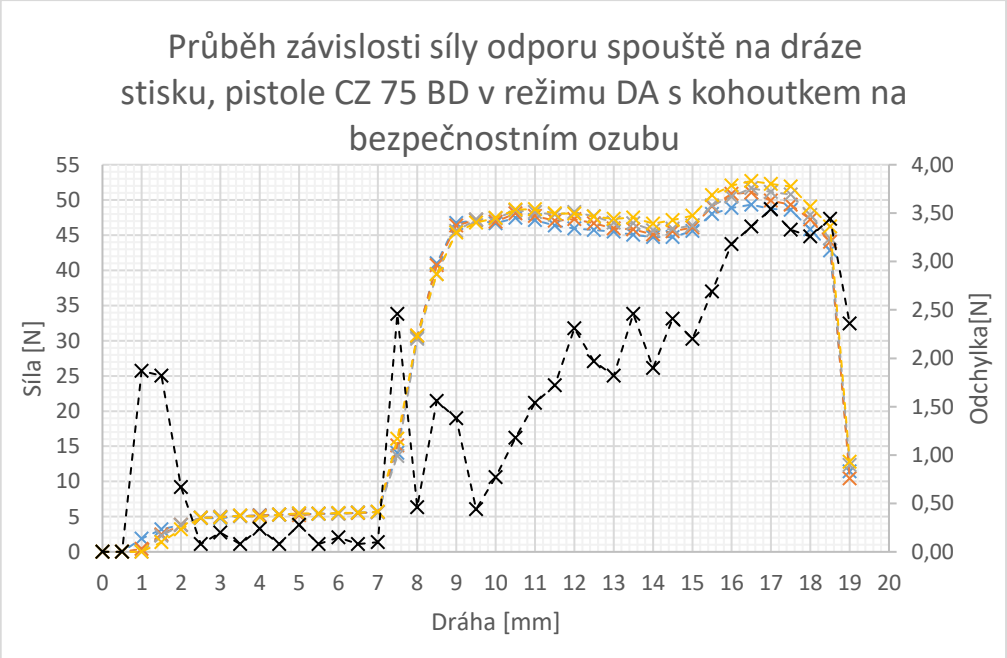
Velká hodnota odchylky okolo 17. milimetru dráhy v grafu 3.2.3 je způsobena tím, že se přesná vzdálenost stlačení spouště pro odpal nachází někde těsně kolem inkrementů posuvu, a z toho důvodu nebyla zahrnuta do následovných zhodnocení.

Pro opakované měření síly v režimu DA tvoří maximální odchylka pouze 2,9% měřené hodnoty, v režimu DA s kohoutkem na bezpečnostním ozubu byla maximální odchylka 13% měřené hodnoty a v režimu SA byla maximální odchylka 11% měřené hodnoty.

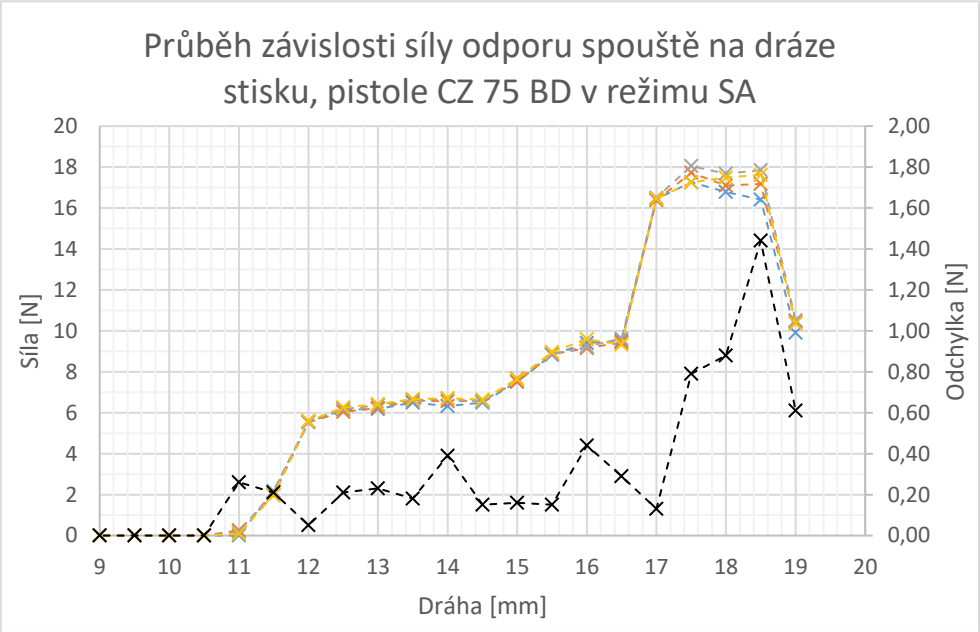
Následně byla změřena známá kohoutková pistole CZ 75 BD, měření bylo opět provedeno čtyřikrát pro všechny režimy bicího mechanismu a hodnoty vyneseny do následných grafů.



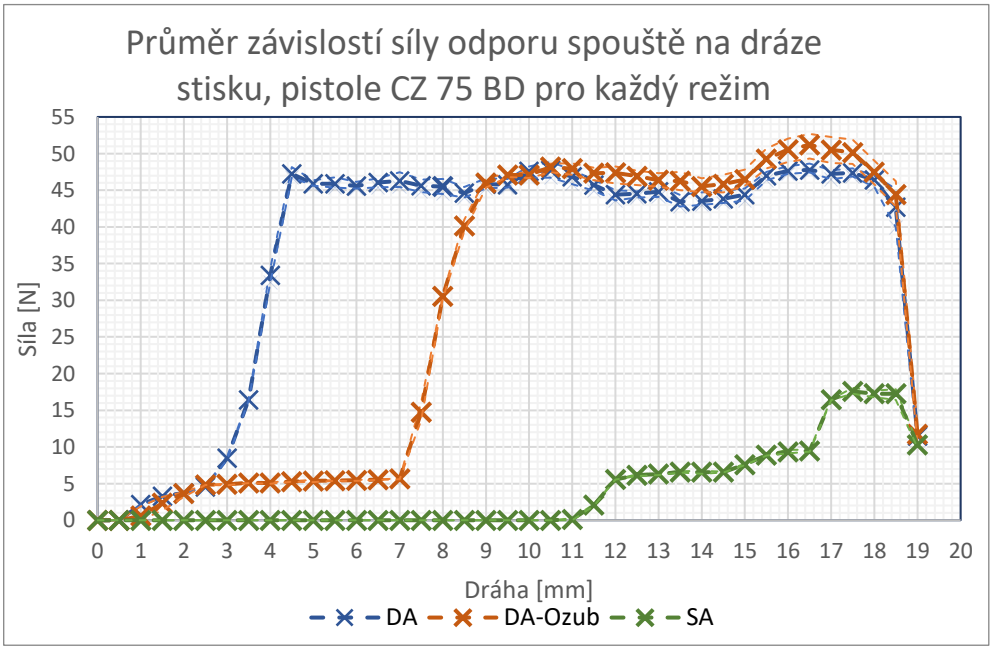
Graf 3.2.5 Graf závislosti síly odporu spouště na dráze stisku, pistole CZ P 75 BD v režimu DA



Graf 3.2.6 Graf závislosti síly odporu spouště na dráze stisku, pistole CZ P 75 BD v režimu DA s kohoutkem na bezpečnostním ozubu



Graf 3.2.7 Graf závislosti síly odporu spouště na dráze stisku, pistole CZ P 75 BD v režimu SA

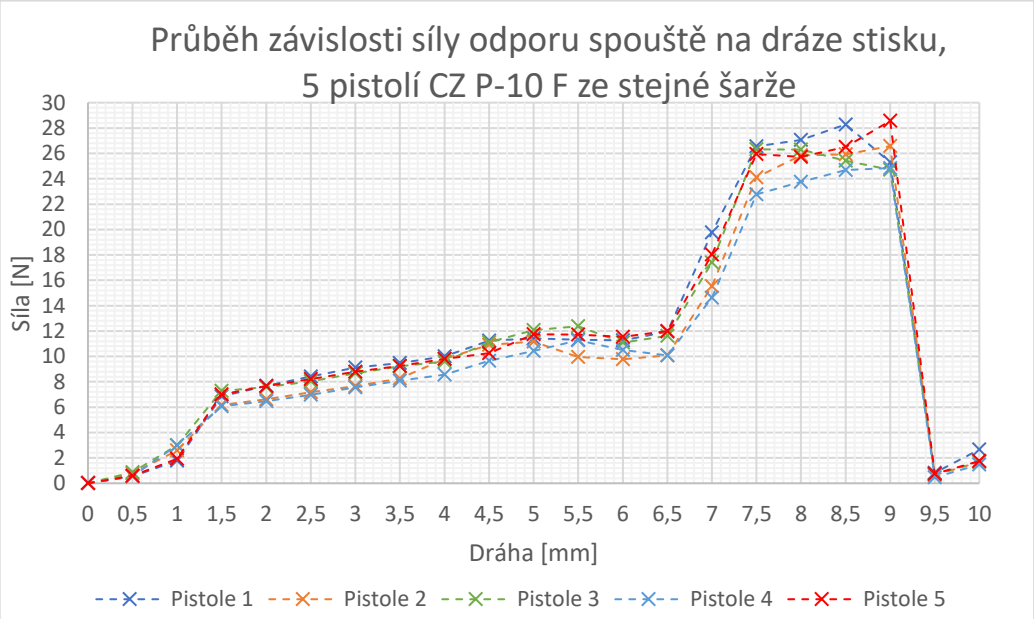


Graf 3.2.8 Graf průměrných závislostí odporů spouště na dráze stisku, pistole CZ 75 BD ve všech režimech

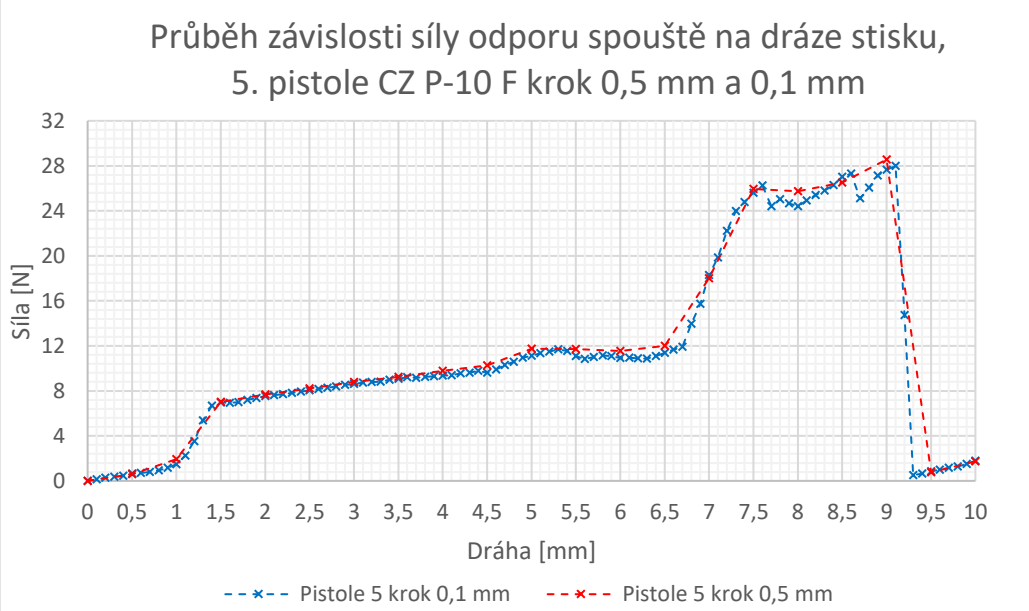
Pro opakované měření síly v režimu DA tvoří maximální odchylka 4,5% měřené hodnoty, v režimu DA s kohoutkem na bezpečnostním ozubu byla maximální odchylka 7% měřené hodnoty a v režimu SA byla maximální odchylka 5% měřené hodnoty. Výsledky byly tudíž lepší než u CZ P-07.

Jako poslední pistole byla změřena CZ P-10 F, ta na rozdíl od předešlých disponuje bicím mechanismem typu SF, konkrétněji SFDA (Striker Fired Double Action) s částečně předepnutým bicím mechanismem. Tato konstrukce zajistí relativně krátkou dráhu spouště, krátký reset a nízký odpor. Měření bylo provedeno třikrát na pěti pistolích ze stejné šarže.

Následně byl změřen průběh síly poslední pistole s jemnějším krokem pojezdu 0,1mm, měření bylo opakováno třikrát a do grafu je vynesena průměrná hodnota.



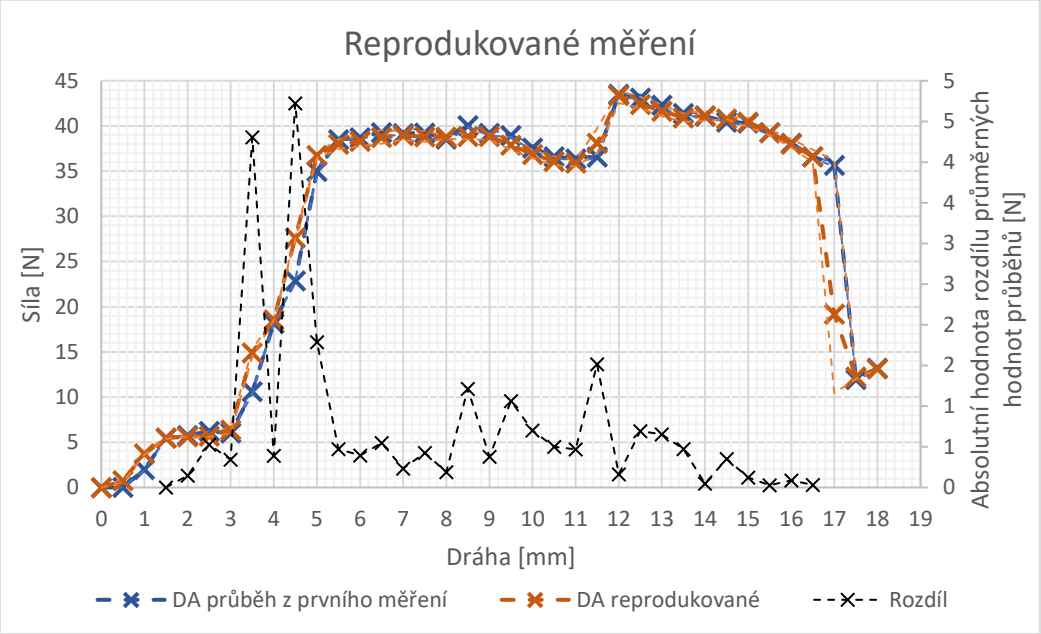
Graf 3.2.9 Graf průměrných závislostí odporů spouště na dráze stisku, 5 pistolí CZ P-10 F ze stejné šarže



Graf 3.2.10 Graf průměrných závislostí odporů spouště na dráze stisku, 5. pistole CZ P-10 F, krok 0,5 mm a 0,1 mm

Výsledné průběhy spadají do tolerance uváděné na stránkách České zbrojovky 25±4 N. [CZF22] Z uvedených grafů je dobře vidět krátký úsek vysokého odporu, kterým disponují pistole se SF bicím mechanismem. Maximální hodnota odporu spadá někde mezi hodnoty režimů SA a DA u kohoutkových pistolí.

Následovně byla opět změřena pistole CZ P-07 v režimu DA za účelem vyhodnocení reprodukovatelnost měření. Měření průběhu bylo opakováno čtyřikrát a výsledek je společně s průběhem z prvního měření vynesen v následujícím grafu.



Graf 3.2.11 Porovnání průběhů pro posouzení reprodukovatelnosti měření, pistole CZ P-07 v režimu DA

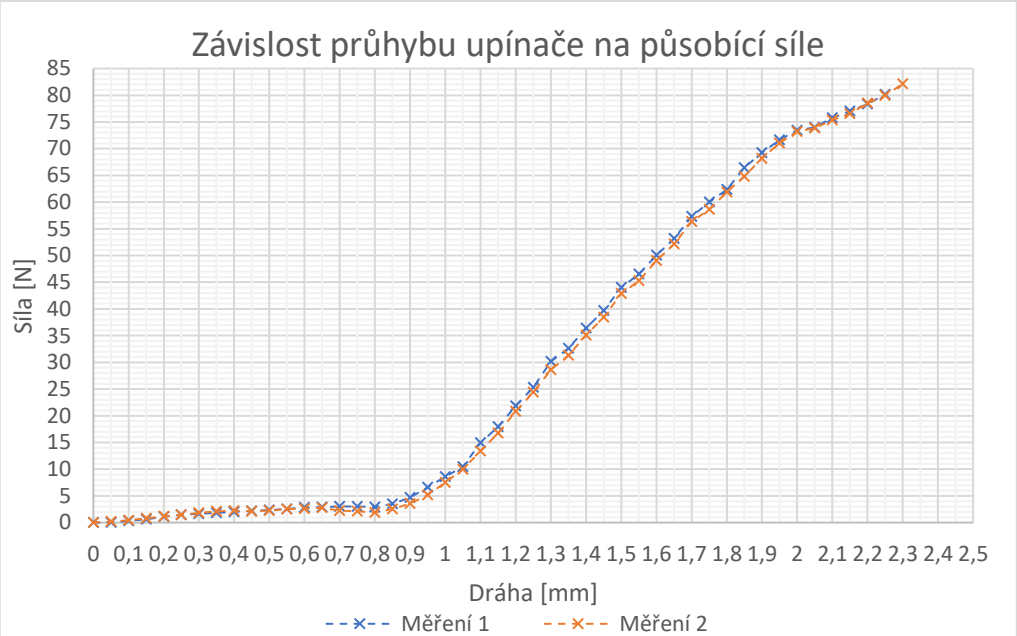
Absolutní hodnotu rozdílů průměrných hodnot průběhů byl spočítán pomocí vzorce

$$|F_{DA1} - F_{DA2}|, \tag{3.2.1}$$

kde: F_{DA1} je průměrná hodnota síly v bodě (minulý průběh) a F_{DA2} je průměrná hodnota síly v bodě (nově naměřený průběh).

Z hodnot rozdílu byly vyfiltrovány vysoké hodnoty v oblasti kolem odpalu.V náběhu síly je sice relativní chyba vysoká a dosahuje až zhruba 29 % ale nejpodstatnější je že je relativní chyba méně než 5% pronásledující část křivky, kde je odpor relativně konstantní.

Na konec bylo provedeno měření tuhosti rámu, váleček simulující prst byl opřen o lučík rámu pistole a maximální síla měření nastavena na 80 N. Výsledná charakteristika je vynesena do následujícího grafu:



Graf 3.2.12 Závislost prohnutí upínače na působící síle

Na základě provedených experimentů byla do návrhu zahrnuta možnost proměnlivého kroku posuvu v průběhu měření, aby se předešlo vysokým odchylkám vzniklým tím, že se bod odpalu nachází někde těsně kolem inkrementů posuvu, jak je vidět v grafu 3.2.2.

4. NÁVRH METOD MĚŘENÍ

4.1 Zhodnocení existujících řešení

Měření vahami umožňuje dosáhnout maximální požadované síly 100 N a dráha není metodou nijak limitována. Kde ale váhy zaostávají je obtížnost přesného měření s vysokým rozlišením, a hlavně nemožnost vynést závislosti měřených spouští do grafu.

Použitím pružinových siloměrů je možné dosáhnout jak síly 100 N, tak požadované dráhy ale metoda zaostává v měření s vysokým rozlišením a neumožňuje vynesení hodnot do grafu.

Tenzometrické siloměry umožňují měřit sílu 100 N stejně jako dráhu 100 mm. Na rozdíl od analogových metod dokážou elektronické přístroje měřit s vyšším rozlišením a přesností ale podobně jako předešlé metody neumožňují dráhu zaznamenávat a v závislosti na ni vynášet sílu stisku do grafu.

Jediným možným řešením tedy zbývá měřicí systém. Programově řízený elektrický pohon a elektronický snímač síly dokážou prostřednictvím počítače nebo mikrokontroleru zaznamenávat data s dostatečným rozlišením a vynášet hodnoty do grafu. Dosažitelnost parametrů závisí na jednotlivých komponentech. Na trhu existuje relativně malé množství dostupných řešení. Většinou jsou všechny systémy vyráběny zakázkově za vysokou cenou nebo nesplňují požadavky zadání. Jedním z mála volně dostupných zařízení je systém TriggerScan (na obr. 2.4.1). Toto zařízení umožňuje měřit sílu až 89 N s rozlišením 0,003N, délku stisku až 35,6 mm s rozlišením 0,013mm. Maximální síla ani délka pojezdu nesplňují zadání. [TGS21]

4.2 Zhodnocení zadání

Na základě zadání a konzultací ve firmě byly nároky na zařízení shrnuty do bodů pro jednodušší hodnocení navržených koncepcí.

Požadavky, které je nutno splnit diktuje zadání:

- Minimální rozsah měřené síly 100 N.
- Minimální přesnost měření síly: 0,5 N.
- Minimální dráha měření síly: 10 cm.
- Minimální rozlišení měření dráhy 0,1 mm.

Možné rozšiřující vlastnosti nebo parametry:

- Maximální doba operace 2 minuty

Čas na vložení, upnutí, změření parametrů zbraně, odeslání naměřených dat a vyjmutí zbraně.

- Možnost komunikace s nadřazeným systémem

Ukládání dat o jednotlivých pistolích například pro vytváření dlouhodobých statistik nebo pro důkaz splnění norem při reklamacích

- Možnost snímání čárových kódů

Snímání čárových kódů urychlí zapisování pistole do databáze a předejde se možným chybám vzniklým opisováním výrobního čísla.

- Možnost měřit vzdálenost resetu spouště

Jedná se o vzdálenost, kterou musí spoušť urazit po odpalu zpět na dráze, aby došlo k obnovení funkce spoušťového mechanismu.

- Možnost měřit úhel vyklonění kohoutku

Pro správnou funkci kohoutkové pistole je nutné, aby kohoutek dosáhl požadované pozice pro uložení dostatečného množství energie do bicí pružiny.

4.3 Návrh Hardwaru

V následující kapitole jsou rozebrány návrhy možných řešení jednotlivých bloků, ze kterých je možno zařízení poskládat.

4.3.1 Pohon

Způsob, jakým bude systém mačkat spoušť vychází z požadavků zadání a konstrukce pistolí. Protože je směr stisku přímočarý bude nejlepší použít lineární pohyb. Provedení akčních členů neboli aktuátorů, díky kterým lze dosáhnout lineárního pohybu je více buď přímo například lineární elektromotor, pneumatický, hydraulický a piezoelektrický pohon nebo nepřímo převodem rotace vyvolané jedním z různých typů motorů na translaci.

Běžné pneumatické pohony se spíše, než na přesné pozicování používají v režimu vysunout/zasunout pro například upínání obrobků, a tak nedosahují požadovaného rozlišení, ovšem existují i aktuátory, které dosahují požadované přesnosti pozice, ale tyto zařízení jsou většinou vyráběny zakázkově, a proto mají vysokou cenu.

Hydraulickým pohonem by bylo na rozdíl od pneumatického snadnější dosáhnout požadované přesnosti ale zajištění přívodu kapaliny by bylo naopak komplikovanější a opět dražší nehledě na údržbu.

Lineární elektromotor má nízké provozní náklady a může dosáhnout velmi velkého rozlišení, vysokých rychlostí a velikých výkonů, hlavní problém představuje z většiny zakázková produkce těchto pohonů na danou aplikaci, a tak je možno je pořídit za vysokou cenu. Navíc by realizace řízení této varianty byla relativně složitá.

Piezoelektrické motory můžou se zpětnou vazbou dosahovat rozlišení až v řádu jednotek nanometrů ale většinou za cenu velmi malé posuvné dráhy v řádu mikrometrů a také malé síly a složitého řízení.

Pro vyvolání rotačního pohybu pro následné převedení na lineární posuv lze využít širokou škálu motorů založených na různých principech. Podobně jako v předchozích bodech nevyhovují pneumatické, hydraulické ani piezoelektrické provedení. Naopak elektromotory se pro tuto oblast hodí nejvíce díky svému kompaktnímu provedení, vysoké přesnosti, rozlišení a relativně nízké ceně.

Do úvahy byly vzaty pouze elektromotory, u nichž je možné přímo řídit natočení rotoru, dále byl výběr zúžen na krokové motory, krokové motory se zpětnou vazbou a servomotory.

Krokový motor má díky principu funkce vysoké rozlišení natočení rotoru, zpětná vazba nejčastěji v podobě enkodéru. Enkodér se skládá ze zdroje světla a clony, která moduluje světlo dopadající na fotocitlivý prvek, výsledný počet pulzů dává informaci o počtu otáček. Pro zjištění směru otáček se používá clona se dvěma otvory a dvěma fotocitlivými prvky, směr je vyhodnocen rozlišením pořadí pulzů. Běžné enkodéry dosahují rozlišení 1024 pulzů na otáčku.

Servopohon je spojení vhodného motoru a enkodéru, pracuje na principu snímání a kompenzace chyby natočení. Způsobů řízení pozice servo motoru je více, dnes je možno motor připojit do příslušného driveru a v programu nastavit veškeré parametry motoru, převodů. Motor je pak řízen například zadáním finální pozice a rampy, kterou má rychlost motoru kopírovat. Z tohoto důvodu jsou servopohony obecně dražší a konstrukčně složitější než krokové motory.

4.3.2 Posuv

Způsobů převodu otáčení rotoru na lineární posuv je mnoho, vzhledem k relativně malé délce zdvihu 10 cm byly zhodnoceny tři: trapézový a kuličkový šroub s maticemi nebo řemenový pohon. Kuličkový šroub s příslušnou maticí představuje z těchto tří možností nejvhodnější řešení: Kuličkový šroub pracuje velmi podobně jako trapézový šroub, se kterým se lze setkat například ve svěrácích nebo ovocných lisech. Kuličkový šroub má oproti trapézovému šroubu výhodu v menším tření, a tudíž plynulejšímu rozběhu. Oproti řemenu mají šrouby už z principu vysoký mechanický převod, díky kterému dojde ke zvýšení rozlišení použitého pohonu. Na šroubu matice budou upevněny saně podobně jako na soustruhu, na ně bude připevněn snímač síly.

4.3.3 Řídící jednotka

Na řízení celého systému bude potřeba programovatelného zařízení, které bude schopno obsluhovat dostatečný počet vstupů a výstupů nutných ke správné funkci celého zařízení. Bonusem navíc bude například analogový vstup nebo možnost modulárního provedení v případě použití profesionálních vestavných systémů.

4.3.4 Snímač síly

Snímač síly musí mít dostatečné rozlišení a maximální zatížitelnost na splnění zadání. Výhodou může být připojitelnost do počítače a kalibrovatelnost pro zajištění správných hodnot

4.3.5 Rám

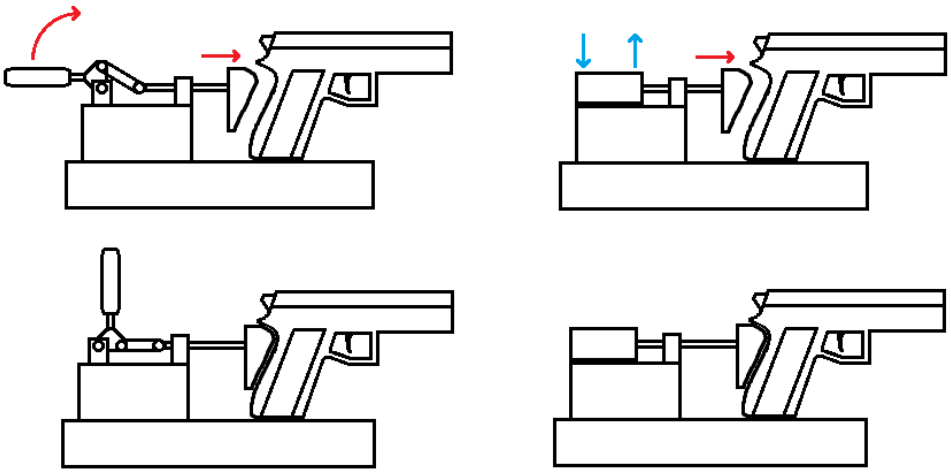
Pro sestrojení rámu budou použity hliníkové profily díky jednoduché smontovatelnosti, možnosti rozšíření konstrukce pro případné budoucí úpravy a pro zajištění dostatečné tuhosti rámu.

4.3.6 Upínač

Možné způsoby upnutí jsou například zasazení zadní stěny pažbičky pistole do tvarově odpovídajícího držáku nebo nasazení pistole zásobníkovou šachtou na trn, který tvarově odpovídá zásobníku. Navrhuji spojit tyto dvě možnosti. Většinu pistolí bude možno nasadit na stejný trn a na hřbet (zadní stěna pažbičky) bude tlačit tvarově odpovídající protikus. Při mechanickém návrhu upínače bude dobré dbát na to, aby síla působící na spoušť pistole byla co nejvíce souosá se silou působící na pistoli upínačem. Materiál protikusu, který přijde do kontaktu s pistolí, musí být dostatečně poddajný, aby se síla rozprostřela a nedošlo k poškození povrchové úpravy pistole s kovovým rámem nebo polymerového hřbetu. Zároveň musí být materiál dostatečně houževnatý, aby nedocházelo k jeho přílišnému opotřebení při upnutí. Rozdíly v délce zásobníkových šachet mezi různými pistolemi lze vykompenzovat podložením pistole v upínači. Upínání ze zadní strany je výhodou, jelikož při upínání z bočních stran by mohlo dojít k poškození pistole například relativně měkkých hliníkových střenek na sportovní pistoli CZ SHADOW 2. Ovládání upínače je možno provést více způsoby, v návrhu jsou zhodnoceny mechanický a pneumatický.

Mechanické provedení lze realizovat přímou upínkou. Toto řešení se hodí spíše pro prototypové zařízení, jelikož se musí upínka pro různé typy pistolí seřizovat a může tak vzniknout problém kvůli různé hodnotě upínací síly.

Pneumatický pohon protikusu zajistí, že síla působící na hřbet pažbičky bude pro všechny typy pistolí stejná díky stálému tlaku. Toto provedení eliminuje nutnost seřizování upínače pro měření různých typů pistolí. Ovládání je možno provést buď manuálně nebo elektricky, pro elektrické provedení bude potřeba počítat s ovládáním ventilů nutných k funkci pístů upínače a zahrnout reléové výstupy do návrhu řídící jednotky. Pro manuální ovládání upínání je návrh jednodušší, jelikož se skládá pouze z pneumatického ventilu na ruční ovládání a pístu který přitlačí protikus na pažbičku. V obou případech bude nutno zajistit přívod stlačeného vzduchu do zařízení, což nebude problém, jelikož prostory, ve kterých má být zařízení umístěné má rozvody stlačeného vzduchu a pneumatické přípravky se zde běžně používají. Přínos takového řešení je menší nárok na operátora, zajištění minimálního rozdílu upínací síly mezi měřením a stejné podmínky měření.



Obrázek 4.3.1 Principiální návrh možných řešení upínače. Vlevo mechanické provedení, vpravo pneumatické provedení

4.4 Návrh softwaru

Hlavní požadavky, které musí SW zařízení splnit je maximální využití HW, co největší nastavitelnost podmínek měření, přívětivost softwaru a komfort obsluhy. Případně zajistit komunikaci s nadřazeným systémem. Software by měl disponovat alespoň třemi režimy, ve kterých bude pracovat a to:

- Operátor

  Software bude omezen pouze na funkce minimálně nutné k vykonání požadované operace, možnost upnutí/uvolnění kusu, výběr profilu parametrů měření pistole, spuštění/pozastavení/ukončení měření, import-export souboru a návrat do výchozí pozice při poruše.

- Servisní technik

  Možnost upravovat profily parametrů měření pistolí, nastavovat profil délky kroku, počáteční a koncovou pozici pojezdu, hodnoty tolerančního pásma a manuální pohyb pojezdu pomocí softwaru.

- Programátor

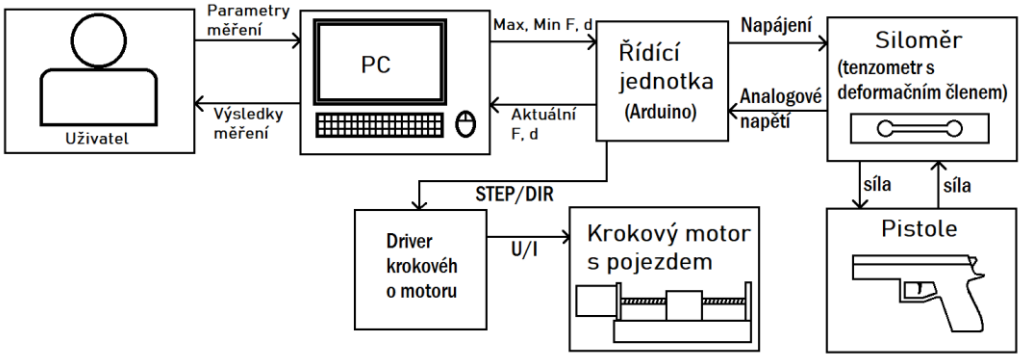
  Možnost zasahovat přímo do kódu, který zařízení ovládá, ovlivňovat funkce, přístupy jiných uživatelů, měnit uživatelské rozhraní.

5. Navržené koncepce

Z bloků rozebraných v předchozí kapitole jsou v následujících kapitolách vytvořeny návrhy třech možných provedení zařízení. V návrhu není kladen velký důraz na IP krytí ani mechanickou odolnost, jelikož se uvažuje že zařízení nebude instalováno v drsném prostředí. Všechna provedení splňují minimální požadavky zařízení a jsou seřazeny podle odhadované ceny výsledného návrhu.

5.1 Prototypové zařízení

Poslouží primárně jako proof-of-concept (zkušební provedení) nebo platforma pro vývoj a doladění SW a popřípadě pro otestování různých možností posuvu, snímání síly nebo upínačů.



Obrázek 4.5.1 Blokové schéma prototypového zařízení

5.1.1 Pohon

Pro pohon posuvu měřicí soustavy byl vybrán krokový motor bez zpětné vazby. Při předpokladu, že kuličkový šroub bude mít stoupání 5 mm na otáčku lze pomocí vzorce

$$\boldsymbol{F} = \frac{\boldsymbol{2 \cdot \pi \cdot \upsilon \cdot T}}{\boldsymbol{l}}, \tag{5.1.1}$$

Kde: $\boldsymbol{F}$ je vektor síly působící na matici ve směru podél šroubu [N], υ je účinnost kuličkového šroubu [-], $\boldsymbol{T}$ je vektor točivého momentu [Nm] a l je stoupání kuličkového šroubu [mm]

spočítat, že při předimenzované síle 150 N a účinnosti 0,7 bude požadovaný točivý moment pouze 0,17 Nm. Z tohoto důvodu nehrozí ztráta kroku, a tak není potřeba sledovat přímo jeho natočení, ale postačí tuto informaci získat součtem pulsů vstupujících do motoru.

Mnoho firem vyrábí již smontované zdvihové aktuátory, takže zákazník nemusí nakupovat jednotlivé komponenty zvlášť. Pro pohon a vedení siloměru byl vybrán zdvihový aktuátor firmy Befenybay, který splňuje požadavky zadání: maximální horizontální síla: 200 N, efektivní délka pojezdu 100 mm, maximální vstupní proud fáze motoru 1,5 A, přídržný moment 1,2 Nm, úhel kroku 1,8° tedy 200 kroků na

otáčku a stoupání šroubu 5 mm/otáčku zajistí teoretické rozlišení 0,025mm, což bez problému splňuje zadání a cena se pohybuje okolo 1700 kč. [BF122]

5.1.2 Řídící jednotka

Pro ovládání krokového motoru je ideální použít driver s výstupním proudem alespoň 1,5 A na fázi spolu se zdrojem napájení a mikrokontroleru Arduino UNO pro řízení. Driver bude řízený kódem v Arduinu, které bude komunikovat s externím počítačem, navíc budou další vstupy a výstupy Arduina sloužit jako platforma pro případně budoucí rozšíření, cena za mikrokontroler se pohybuje okolo 300 kč [ARD22]. Pro snímání koncové nebo domovské polohy pojezdu budou použity spínače. Pro napájení celého zařízení byl navržen modulový spínaný zdroj pro vestavbu se dvěma výstupními větvemi 5 V DC a 48 V DC ADS-15548 MEAN WELL, s výkonem 154.2 W a výstupními proudy 2,9 A a 3 A. Zdroj napětí disponuje dvěma větvemi, které odpovídají doporučeným hodnotám proudu a napětí pro napájení jak Arduina, tak driveru krokového motoru. Cena se pohybuje okolo 1600 kč. [ADS22] Motor bude napájet driver Topdirect TB6600 s vstupním a výstupním napětím 9-42V a maximálním výstupním proudem 3,5 A, cena se pohybuje okolo 400 kč [TOP22]. Výstupní proud by měl být dvakrát větší než vstupní proud motoru protože u krokového motoru můžou být napájená obě vinutí najednou. Tento měnič navíc disponuje maximálním rozlišením až 32 mikrokroků na krok díky čemuž je možno krok posuvu ještě více zjemnit: Pravděpodobně nebude možno s takovým rozlišením mikrokrokování dosáhnout nutného kroutivého momentu k úspěšnému vykonání mikrokroku ale motor sám o sobě zajistí dostatečně jemné natočení po 1,8° toto řešení by vyšlo okolo 1400 kč.

5.1.3 Siloměr

Vzhledem k prototypovému provedení vyhoví ke snímání síly deformační člen s tenzometrem. Běžně dostupné deformační členy s tenzometry dosahují přesnosti C3 tedy 3000 dílů rozsahu, takže by s maximálním zatížením 100 N dosahoval zadání splňující rozlišení 0,033 N. V tomto případě půjde s výhodou využít analogový vstup Arduina, protože obsahuje 10 b A/D převodník. Pravděpodobně nebude možno dosáhnout teoretického rozlišení 10b, tím pádem toto provedení A/D převodu potlačí rozlišení samotného snímače. Pro rozsah 100N a rozlišení 8b bude každá úroveň představovat 0,39 N, což splňuje zadání i za předpokladu potlačení spodních 2 bitů. V tomto případě byl vybrán tenzometrický snímač Temic L6D/10 kg C3 s maximální snímanou sílou 100N, můstovým zapojením a přesností C3 v ceně 1200 kč [TZM22]. Pro snímání síly bude tenzometr na jedné straně připevněn na pojezd a druhý konec se bude opírat o spoušť měřené pistole přímo v lučíku.

5.1.4 Rám

Rám bude sestavený z hliníkových profilů z důvodu jednoduché smontovatelnosti, modifikovatelnosti a možnost relativně levné výroby na míru.

5.1.5 Upínač

Vzhledem k prototypovému zařízení bude nejlepší mechanický tvořený přímou upínkou. Konkrétně byla vybrána přímá upínka 350 ze stránek JC metal, zdvih upnutí je 40 mm a maximální vyvinutá síla 2500 N. Cena se pohybuje okolo 500 kč. [UPx22]

5.1.6 Software

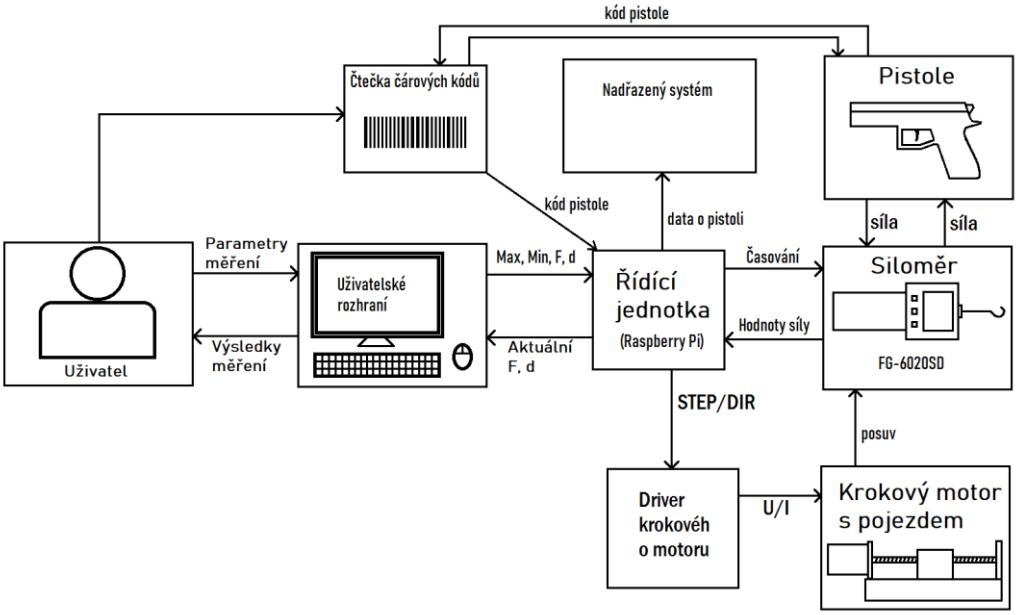
Software bude relativně jednoduchý, jeho primární funkce budou přijímat zprávy z počítače o nastavených podmínkách měření jako maximální posuv a maximální síla, odesílat zprávy o směru a kroku do driveru a zapisovat počet ujetých kroků, převádět analogové hodnoty napětí z tenzometru na hodnoty síly a spolu s počtem kroků posílat tyto hodnoty zpět do počítače pro ukončení měření a vykreslení grafu.

5.1.7 Zhodnocení

- Rozsah měřené síly 100 N.
- Přesnost měření síly: 0,4 N.
- Dráha měření síly: 10 cm.
- Rozlišení měření dráhy 0,03 mm.
- Dobou měření u tohoto provedení se nemá smysl zabývat, jelikož se jedná pouze o proof-of-concept
- Komunikace s nadřazeným systémem: umožňuje, skrze počítač.
- Snímání čárových kódů: neumožňuje.
- Měření vzdálenosti resetu spouště: umožňuje.
- Měření úhlu vyklonění kohoutku: neumožňuje.
- Výstup měření: soubor s hodnotami posuvu a síly.
- Odhadovaná cena komponent zařízení 8000 kč.

5.2 Low-cost provozní zařízení

Po případném odladění SW a možném rozšíření požadavků na zařízení přichází na řadu komplexnější konstrukční řešení, které bude obsahovat bezpečnostní prvky, čtečku čárových kódů a bude spolehlivé, aby nemělo negativní vliv na plynulost výrobního řetězce.



Obrázek 4.5.2 Blokové schéma zařízení do provozu

5.2.1 Pohon

Stejně jako u prototypového zařízení bylo navrženo s výhodou použít krokový motor s kuličkovým šroubem a vedením. Pro tento model byl vybrán robustnější aktuátor od firmy Befenybay s vyztuženým vedením a parametry: maximální horizontální síla: 300 N, efektivní délka pojezdu 100 mm, maximální vstupní proud fáze motoru 1,5 A, přídržný moment 1.2 Nm, úhel kroku 1,8° tedy 200 kroků na otáčku. Stoupání šroubu 5 mm/otáčku opět zajistí teoretické rozlišení 0,025 mm, což bez problému splňuje zadání a cena se pohybuje okolo 2300 kč. [BF222]

5.2.2 Řídící jednotka

Pro eliminaci potřeby externího počítače lze zařízení s výhodou sestrojit tak, aby počítač samo obsahovalo. Za tímto účelem byl vybrán jednodeskový počítač Raspberry Pi, který disponuje jak GPIO piny (general purpose input output, vstupně výstupní piny pro obecné využití) tak sériovými USB porty, Ethernetovou přípojkou, a dokonce HDMI portem pro připojení monituru. Cena se pohybuje oko 2300 kč. [RPI22] Toto řešení tedy plně nahradí jak Arduino, tak počítač z předešlého návrhu. GPIO piny lze využít na snímání koncové polohy pojezdu různými typy snímačů nebo zajištění bezpečnosti tlačítky pro upínání pistole do

upínače. Do části USB portů bude připojena myš s klávesnici, HDMI port bude využit pro připojení monitoru s rozhraním na ovládání zařízení a získávání hodnot. Ethernetová přípojka bude využita pro připojení zařízení do nadřazeného systému za účelem ukládání dat.

Řízení krokového motoru zajistí driver EASON DM542 se vstupně výstupním napětím 20–50 V a maximálním výstupním proudem 4.2 A. Měnič je určený na řízení krokových motorů série Nema 17-42, což vyhovuje vybranému motoru. Driver umožňuje rozlišení až 128 mikrokroků na krok. Cena se pohybuje okolo 650 kč. [EAS22] Takto vysoké rozlišení bohužel nepůjde pravděpodobně využít, protože se zvyšujícím se rozlišení mikrokrokování klesá točivý moment motoru.

5.2.3 Zdroj

Pro napájení celého zařízení byl navržen modulový spínaný zdroj pro vestavbu se dvěma výstupními větvemi 5 V DC a 48 V DC ADS-15548 MEAN WELL, s výkonem 154.2 W a výstupními proudy 2,9 A a 3 A. Zdroj napětí disponuje dvěma větvemi, které odpovídají doporučeným hodnotám proudu a napětí pro napájení jak Raspberry Pi, tak driveru krokového motoru. Cena se pohybuje okolo 1600 kč. [ADS22]

5.2.4 Siloměr

Pro provozní zařízení byl vybrán profesionální digitální siloměr FG-6020SD s možností připojení do počítače pro jednoduchost propojení, možnost kalibrace snímače a zajištění přesnosti naměřených hodnot. Siloměr má 4 digity, maximální snímanou sílu 196,12 N, rozlišení 0,02 N, přesnost ±(0.5% + 2 digity). Siloměr navíc disponuje malou periodou vzorkování 10ms, dosažení požadavku na rozlišení a velkou výhodou připojitelnosti do PC pomocí USB, cena se pohybuje okolo 11 500 kč. [MRC22] Na rozdíl od provedení s tenzometrem bude snímání složitější z důvodu větších fyzických rozměrů siloměru, a tak bude pravděpodobně nutno spoušť mačkat pákou podobně jako na současném zařízení.

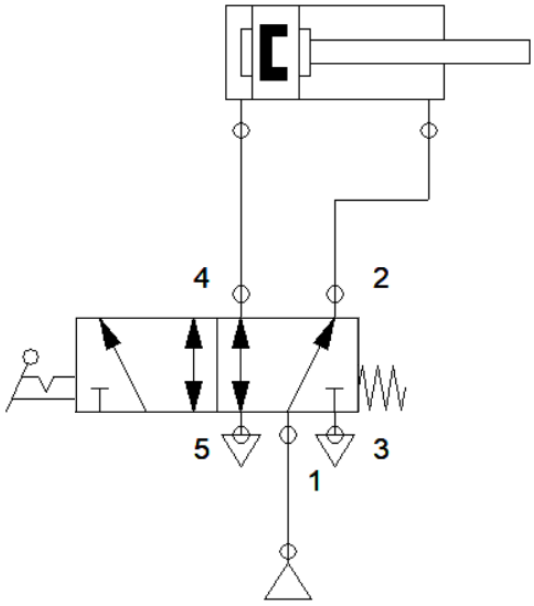
5.2.5 Rám

Rám bude stejně jako u předešlého provedení sešroubovaný z hliníkových profilů. V tomto případě bude konstrukce robustnější a bude obsahovat rozvodnou skříň pro montáž komponent.

5.2.6 Upínač

Pro provozní provedení bude lepší použít pneumatický upínač s manuálním ovládáním pro urychlení a zjednodušení procesu upínání, pneumatický obvod se bude skládat z dvoucestného ventilu a dvojčinného válce. Konkrétní součástky záleží na nutné upínací síle a délky vytažení pístu, které vycházení z mechanické konstrukce upínače. Síla nutná k pevnému upnutí pistole je uvažována 200 N. Vzdálenost od upínače, dostatečnou pro jednoduché nasazení pistole na trn, která představuje zdvih pístu je uvažována 30 mm. Pro tuto aplikaci byl vybrán dvojčinný

kruhový válec DSNU-S-25-30-P-A značky FESTO, díky splnění požadovaných parametrů a rozšířenosti výrobce. Maximální zdvih pístnice 30 mm, Teoretická síla při 6 barech, pohyb vpřed 294,5 N. [FS122] Pro ovládání pístu byl zvolen ručně ovládaný ventil VHEF-V-B52-G14 značky FESTO, díky požadované funkci a zaručené kompatibilitě mezi vlastními produkty. [FS222]

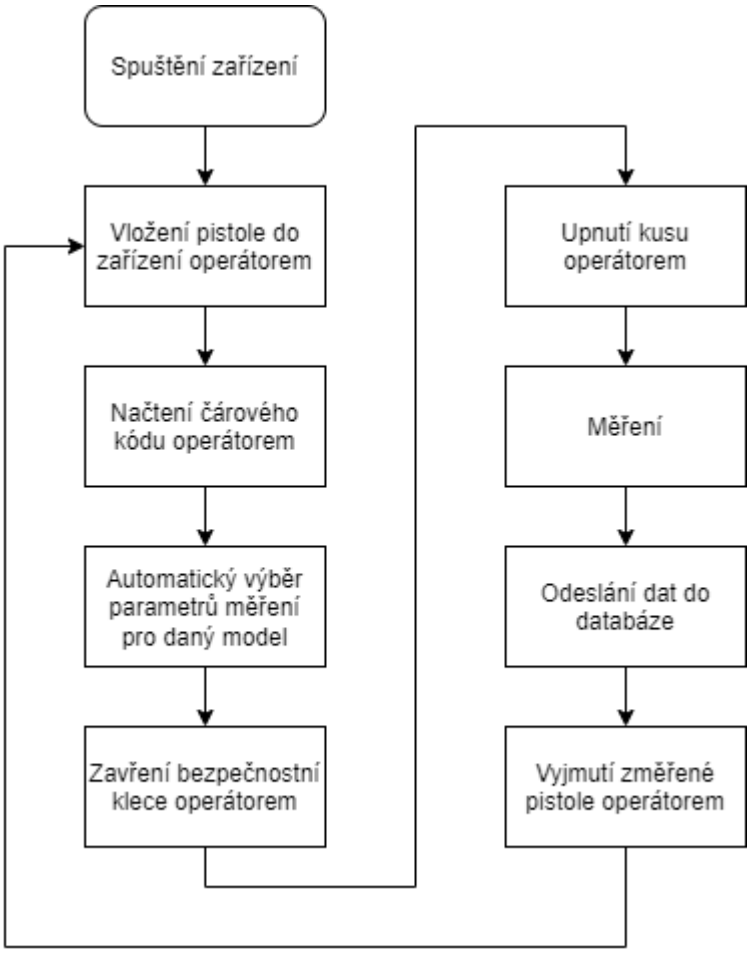


Obrázek 4.5.3 Pneumatický obvod upínače low-cost zařízení

5.2.7 Uživatelské rozhraní

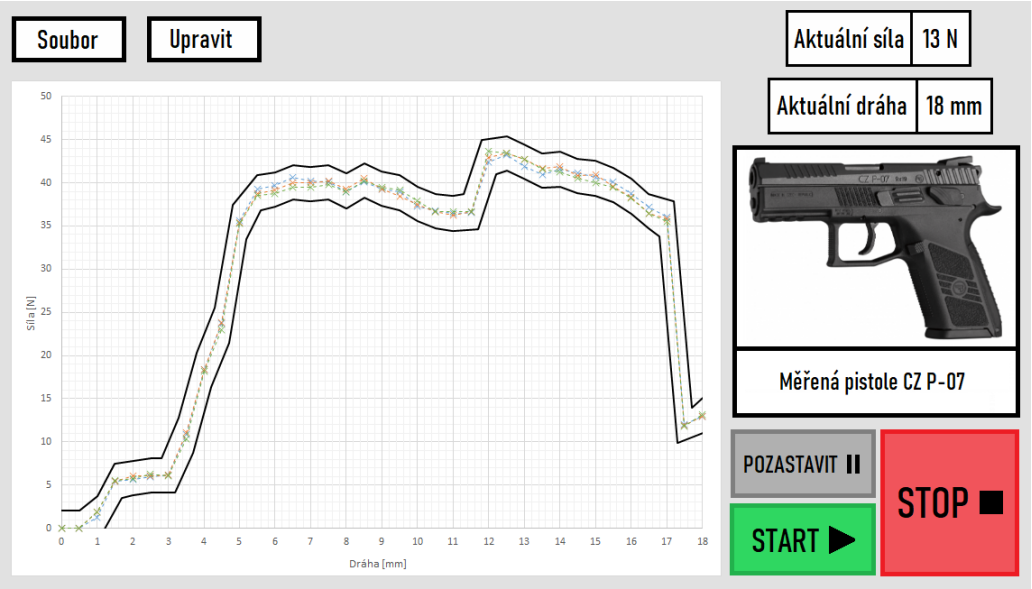
Uživatel bude zařízení ovládat přes monitor, myš a klávesnici připojené přímo do Raspberry Pi.

Software bude pracovat ve 3 režimech, jak bylo zmíněno v kapitole 4.4. Řídící jednota Raspberry Pi bude obsluhovat veškeré periferie, zpracovávat příchozí data a odesílat data do nadřazeného systému a na monitor.



Obrázek **4.5.4** Vývojový diagram měření na low-cost zařízení

V následujících obrázcích je uveden návrh rozvržení uživatelského rozhraní.



Obrázek 4.5.5 Návrh uživatelského rozhraní low-cost zařízení, CZ P-07 [CZ722]

Režim „operátor"

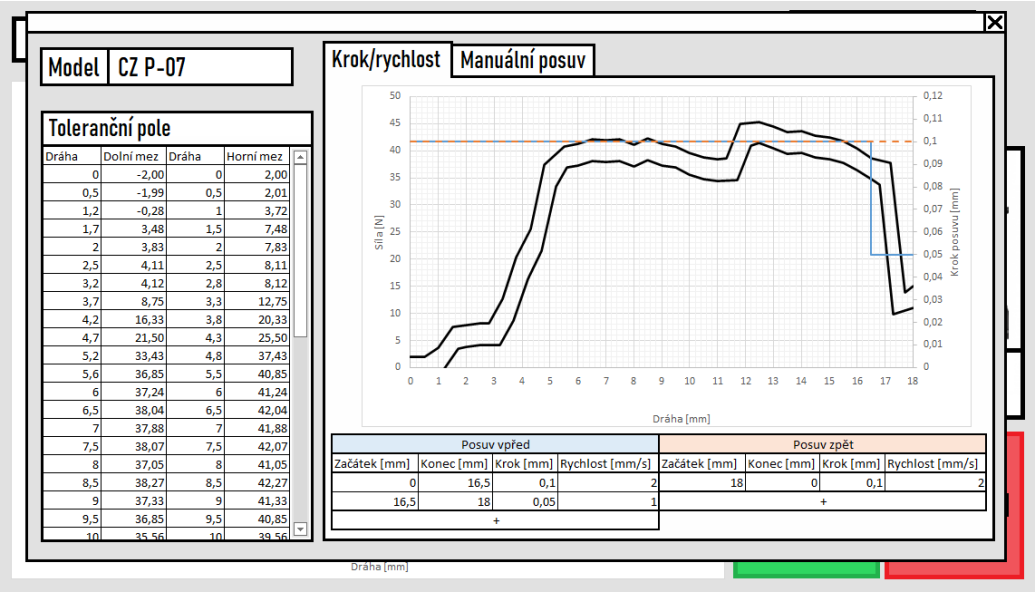
Po vložení kusu do zařízení operátor naskenuje čárový kód zbraně a automaticky se nastaví parametry měření. V rozhraní se zobrazí model pistole. Po zavření klece může být pistole upnuta přepnutím manuálního ventilu a zahájeno měření. V průběhu měření se do grafu budou dokreslovat hodnoty síly v odpovídající dráze spouště. Plné čáry v grafu značí toleranční pole pro sílu a dráhu. Po odpalu se bude posuv vracet zpět po krocích, za účelem změření vzdálenosti resetu spouště. Po dokončení daného počtu opakovaných měření dojde k vyhodnocení a v případě OK kusu odeslání dat do nadřazeného systému. V menu „Soubor" může operátor zvolit tisk protokolu a export nebo import naměřených hodnot.

Režim „servisní technik"

Po kliknutí na menu „Upravit" se zobrazí pole na vložení ID zaměstnance pro ověření pravomocí. Po úspěšném vstoupení do menu je možno upravovat profily parametrů měření pistolí, nastavovat profil délky kroku, počáteční a koncovou pozici pojezdu, hodnoty tolerančního pásma a manuální pohyb pojezdu pomocí softwaru. Při nastavování hodnot délky kroku a rychlosti musí software hlídat, aby nedošlo k překročení minimální periody mezi kroky 20ms, kterou představuje perioda snímání siloměru 10ms s přičtenou rezervou.

Režim programátor

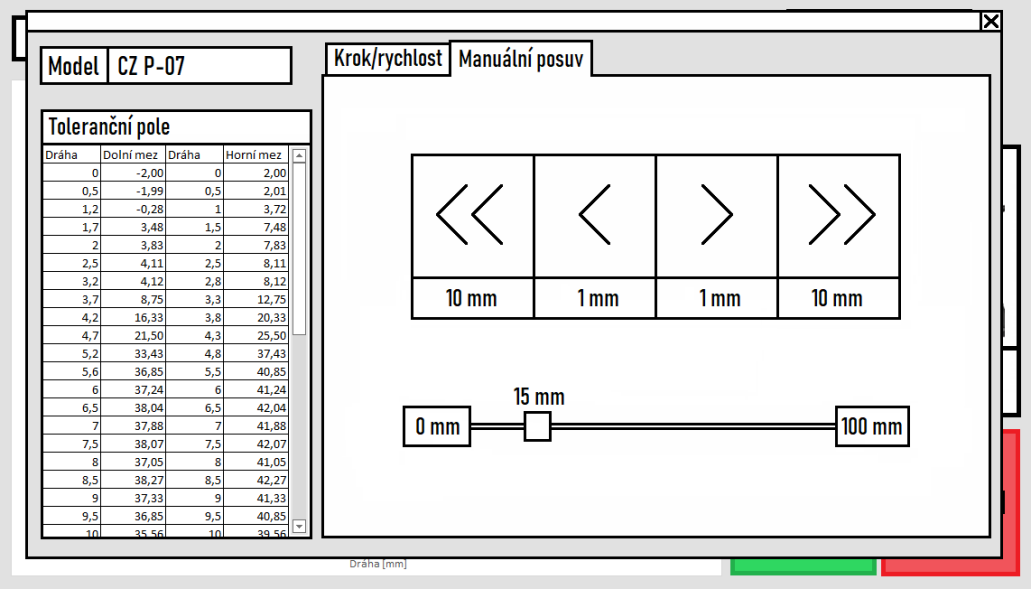
Režim spočívá v připojení externího programovacího zařízení a umožnění přístupu přímo ke kódu uloženém v řídící jednotce Raspberry Pi.



Obrázek 4.5.6 Návrh uživatelského rozhraní módu úpravy karta „Krok/rychlost”

Karta Krok/rychlost

Po levé straně se nachází tabulka s hodnotami pro definici tolerančního pole měřeného modelu, který lze změnit v levém horním rohu. Po pravé straně se nachází vizualizace tolerančních polí a nastavené rychlostní profily pro posuv vpřed a zpět.



Obrázek 4.5.7 Návrh uživatelského rozhraní módu úpravy karta „Manuální posuv”

Karta Manuální posuv

V hodní polovině karty se nacházejí tlačítka pro manuální posuv, délky posuvu pro krok lze měnit přepsáním hodnoty.

V dolní polovině se nachází posuvník s minimální, současnou a maximální vzdálenost posuvu. Táhlem lze hýbat pro rychlé nastavení pozice nebo přímo zadat hodnotu a posuv odjede automaticky na požadované místo.

5.2.8 Snímání čárových kódů

Čtečka může být buď ruční nebo přímo zabudovaná v zařízení. Pro ruční variantu byla vybrána čtečka Virtuos HT-900A, podporuje 1D snímání, až 100 skenů za sekundu a hlavně disponuje USB konektorem, cena se pohybuje okolo 1200 kč. [ČT122] Bude ji tak možno jednoduše připojit do Raspberry a udělit datům o průběhu měření index podle kterého je založit do systému. Pro čtečku zabudovanou přímo do zařízení byla vybrán model Sensordoid M300, disponuje USB konektorem a provádí 280 snímků za sekundu, cena se pohybuje okolo 2000 kč. [ČT222] Pro správnou funkci zabudované čtečky je nezbytné, aby byly čárové kódy vždy správně nalepeny na pistoli.

5.2.9 Čas měření

Pro určení maximální rychlosti byl nejdříve v produktovém portfoliu CZ nalezena pistole s nejdelším chodem spouště, CZ 75 B s chodem (15+1) mm. Při maximální délce kroku 0,1 mm bude na odpálení potřeba 160 kroků posuvu. Zpáteční směr bude ovšem také krokován, jelikož se na něm měří vzdálenost resetu spouště. Pro třikrát opakované měření tedy vychází počet kroků na 960. S minimální periodou mezi kroky 20 ms je celkový čas měření zhruba 20 s. Po odhadu rezervy zahrnující jemnější krok okolo oblasti odpalu byl čas měření zvýšen na 40 s.

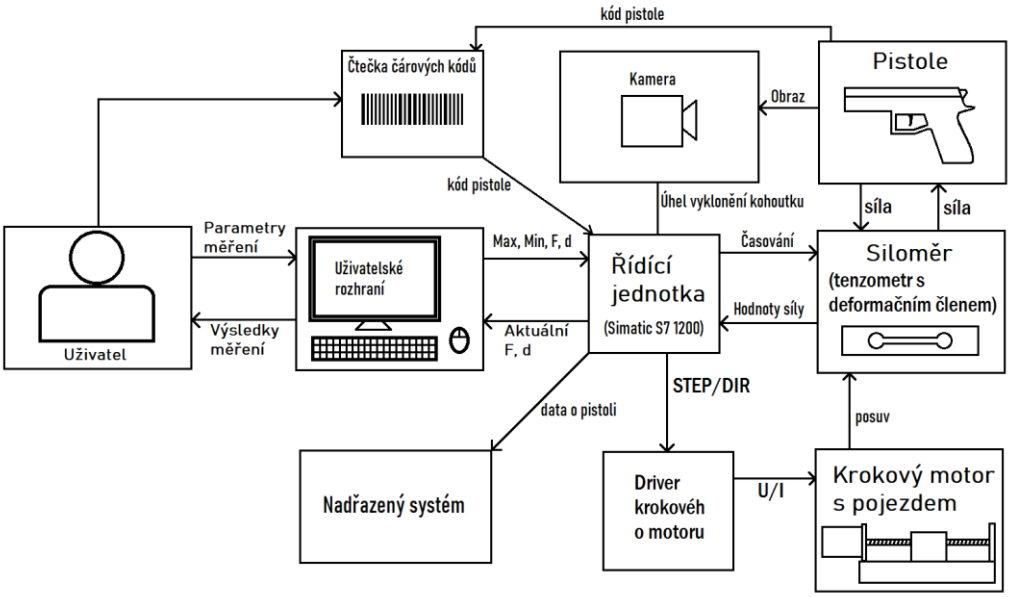
Na upnutí, zahájení měření, automatické odeslání dat a uvolnění pistole tedy zbývá 80 s. Nutná manipulace s pistolí by za tuto dobu neměla představovat problém.

5.2.10 Zhodnocení

- Rozsah měřené síly 100 N.
- Přesnost měření síly: ±(0.5% + 2 digity) N.
- Dráha měření síly: 10 cm.
- Rozlišení měření dráhy 0,03 mm.
- Doba měření: pod 2 minuty.
- Komunikace s nadřazeným systémem: umožňuje.
- Snímání čárových kódů: umožňuje.
- Měření vzdálenosti resetu spouště: umožňuje.
- Měření úhlu vyklonění kohoutku: neumožňuje.
- Výstup měření: soubor s hodnotami posuvu a síly, graf, protokol.
- Odhadovaná cena komponent zařízení 25 000 kč.

5.3 Profesionální zařízení

Finální návrh vychází z vylepšení low-cost zařízení nahrazením komponent za profesionální určené do průmyslového prostředí.



Obrázek 4.5.8 Blokové schéma profesionálního zařízení

5.3.1 Řídící jednotka

Použití PLC jako řídící jednotky zajistí oproti běžnému počítači nebo mikrokontroleru vyšší spolehlivost a odolnost do průmyslového prostředí. Program v PLC dokáže obsloužit v podstatě veškeré periferie za pomocí rozšiřujících karet. Jako CPU (centrální procesorovou jednotku) byla vybrána SIEMENS SIMATIC–S7 1200 CPU 1211C díky spolehlivosti, reléovým výstupům pro ovládání upínače, 10b AD převodníku pro analogové vstupy, komunikaci po PROFINETu a rozšířenosti výrobce. [SM122] Centrální jednotka má ale pouze jednu ethernetovou přípojku. Proto byl vybrán switch modul SIMATIC CSM 1277 s 4x přípojkou RJ45 pro zajištění komunikace mezi CPU a dalšími moduly. [SM222] Pro obsloužení veškerých periferií tohoto návrhu bude nutno instalovat dva tyto komunikační moduly.

5.3.2 Pohon

Pohon se bude skládat z vřetena ELGC-BS-KF-60-100-12P firmy FESTO. Pracovní zdvih 100 mm, opakovatelná přesnost polohy ±0,01 mm, maximální posuvná síla 200 N, vstupní moment pro dosažení posuvné síly 100 N 0,4 Nm. [FS322] Pohon vřetene bude zajištěn krokovým motorem EMMS-ST-57-S-S-G2 firmy FESTO, úhel celého kroku 1,8°, Přídržný moment motoru 0,8 Nm, jmenovité provozní napětí 48 V, jmenovitý proud do motoru 5 A. Motor byl vybrán z důvodu dosažení požadovaných parametrů a výrobcem zajištěné kompatibility mezi produkty pro snadnou montáž k vřetenu. [FS422] Pro ovládání krokového motoru

byl vybrán ovladač CMMT-ST-C8-1C-PN-S0 FESTO, výstupní napětí 48V, výstupní proud 8 A, komunikace po PROFINET. Výrobce uvádí že je vhodný pro napájení jak servo tak krokových motorů a je kompatibilní s vlastními krokovými motory.[FS522]

5.3.3 Napájení

Pro napájení rozšiřujících modulů byl navržen napájecí modul SIEMENS PM1207 s výstupem DC 24 V/2,5 A, 60 W. [SM322] Zdroj pro napájení ovladače krokového motoru byl zvolen CACN-3A-7-10-G2 výrobce FESTO, jmenovité výstupní napětí 48 V, jmenovitý výstupní proud 10 A. [FS622]

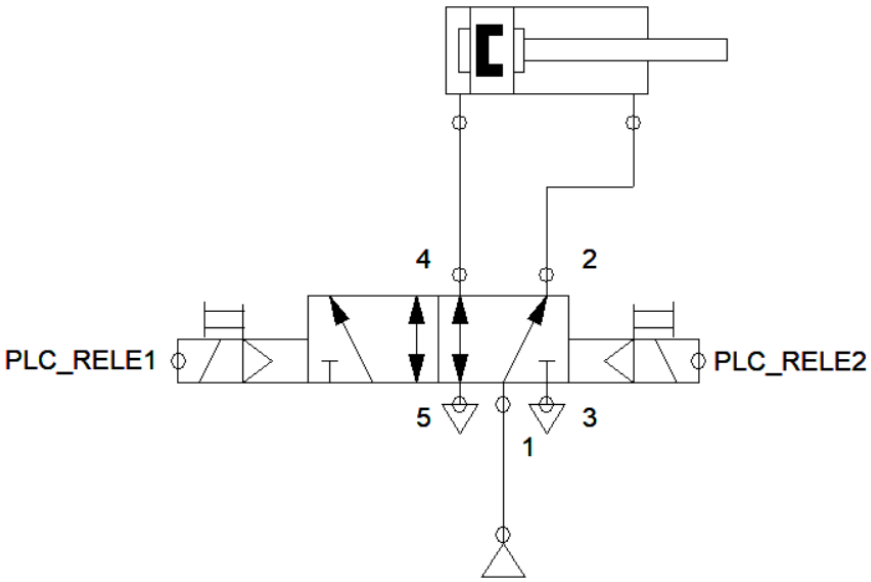
5.3.4 Snímač síly

Jedna možnost je využít deformační člen s tenzometrem. Pro napájení a měření výstupního napětí bude potřeba připojit k PLC rozšiřující modul určený přímo pro připojení tenzometrických snímačů. Výhodou tohoto řešení bude menší konstrukce snímače síly. V takovém případě je navrženo použít tenzometrický snímač Siwarex WL 260 SP-S AA 10kg C3, díky maximální síle 100N, dostatečnému rozsahu měřené síly, šestivodičovému zapojení a přesnosti C3.[SM622] Pro zpracování signálu a napájení byl zvolen modul SIMATIC ET 200SP s možností připojení šestivodičového tenzometrického snímače, 16b A/D převodníkem a zajištění kompatibility s CPU. [SM722]

Alternativou je použít profesionální digitální siloměr FG-6020SD v konfiguraci s RS-232 portem s maximální měřenou silou 200N, displayem se 4 digity a přesností ±(0.5% + 2 digity). [MRC22] Pro komunikaci měřícího přístroje s PLC byl navržen komunikační modul SIMATIC CM 1241 s RS-232 přípojkou. [SM422]

5.3.5 Upínač

Pro pohon upínače je navržen stejně jako v minulém návrhu dvojčinný kruhový válec DSNU-S-25-30-P-A. [FS122] Pro jeho ovládání byl navržen bistabilní elektromagnetický 5/2 ventil ovládaný relé VUVG-LK14-B52-T-G18-1H2L-S, který bude napájen z výstupů pro relé PLC. [FS722]



Obrázek 4.5.9 Pneumatický obvod upínače profesionálního zařízení

5.3.6 Rám

Rám bude vzhledem k zajištění maximální tuhosti nejlepší svařit z ocelových jeklů. Pracovní prostor zařízení bude opatřen bezpečnostní klecí pro prevenci možných úrazů způsobených pneumatickým upínačem.

5.3.7 Bezpečnostní prvky

Pro zajištění bezpečnosti obsluhy byl zvolen bezpečnostní dveřní spínač SH5D-02RN s 2 rozpínacími kontakty. [IDE22] Při zavření klece dojde k zasunutí vačky do spínače, PLC vyhodnotí zavřenou klec a umožní upnutí pistole do upínače. Při otevření klece v průběhu měření dojde k zastavení a program přejde do havarijního stavu.

5.3.8 Snímání čárových kódů

Čtečku je lepší vzhledem k možné budoucí robotizaci měření zabudovat přímo do zařízení, vybral jsem O2I512 firmy ifm, disponuje hlavně připojitelností přes PROFINET a 2D snímáním. [IF122] Díky 2D snímání nebudou odchylky v pozici čárového kódu na pistoli představovat až takový problém.

5.3.9 Měření úhlu vyklonění kohoutku

Zpracování obrazu průmyslovou kamerou bylo vybráno jako metoda měření úhlu vyklonění kohoutku. Jiné principy vyžadující fyzický kontakt s měřeným objektem by představovaly problém vzhledem k proměnlivé pozici kohoutku dle typu pistole. Stejně tak ostatní bezkontaktní provedení měření se hodí spíše pro aplikace, kde s nimi není třeba manipulovat. Kamera eliminuje jak nutnost fyzického kontaktu s měřeným objektem, tak možnost proměnlivého výskytu kohoutku, díky většímu snímanému prostoru. Snímková frekvence kamery vychází

z rychlosti měření a délky dráhy kohoutku. Kohoutková pistole s nejkratším chodem spouště v režimu DA z portfolia České zbrojovky je sportovní pistole CZ SHADOW 2 s chodem spouště 5 mm, úhel vyklonění kohoutu u tohoto modelu je (48+3)°. [CZx21] Při maximální délce kroku posuvu 0,1 mm bude v průběhu měření nasnímáno 50 hodnot síly a při době měření 10s bude každý krok trvat asi 200 ms. Přepočet periody 200 ms na frekvenci odpovídá 5 snímků za sekundu. Siloměr dokáže měřit s periodou až 10ms, maximální rychlost posuvu pro toto provedení je 100mm/s, 5mm/10s odpovídá rychlosti 0,5mm/s.

Naopak nejdelší chod spouště má CZ 75 B s dráhou (15+1) mm. [CZx21] S krokem 0,1 mm bude tedy v průběhu měření nasnímáno až 160 hodnot. S dobou měření 10 s bude každý krok trvat asi 62,5 ms. Periodě 62,5 ms odpovídá frekvence 16 snímků za sekundu.

Kamera musí mít tedy minimální snímkovací frekvenci alespoň 20 snímků/s.

Pokud by v procesu realizace zařízení nastal problém s nedostatečnou rychlostí snímání kamery, je možné zjemnit krok stláčení spouště v oblasti odpalu pistole pro zpomalení pohybu kohoutku.

Byla vybrána kamera O2D510 firmy ifm, díky připojitelnosti přes PROFINET, výrobcem zaručené spolupráci se Siemens S7-1200, snímkové frekvenci až 40 snímků/s, integrovaným přísvitem a možnosti zpracovávat obrazovou informaci přímo v kameře. Jedná se o model určený ke kontrole obrysů, který dokáže vyhodnocovat natočení snímaného objektu. Tuto vlastnost lze s velkou výhodou použít právě pro snímání úhlu vyklonění kohoutku. [IF222]

5.3.10 Uživatelské rozhraní

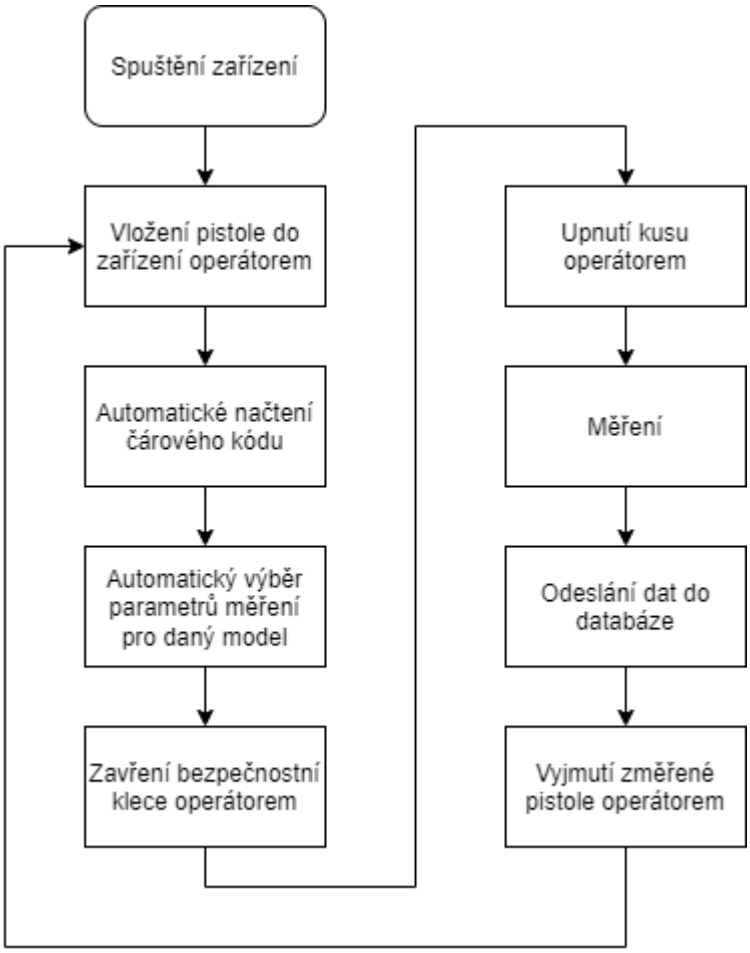
Pro ovládání zařízení byl vybrán uživatelský panel SIMATIC HMI TP1200 Comfort, díky dotykovému displeji, 12palcové úhlopříčce displeje, kompatibility mezi produkty a připojitelnosti přes PROFINET. Panel disponuje 2 USB konektory, proto do něj navrhuji zapojit klávesnici pro jednodušší ovládání. [SM522]

5.3.11 Uživatelské rozhraní

Uživatel bude zařízení ovládat přes dotykový panel a klávesnici.

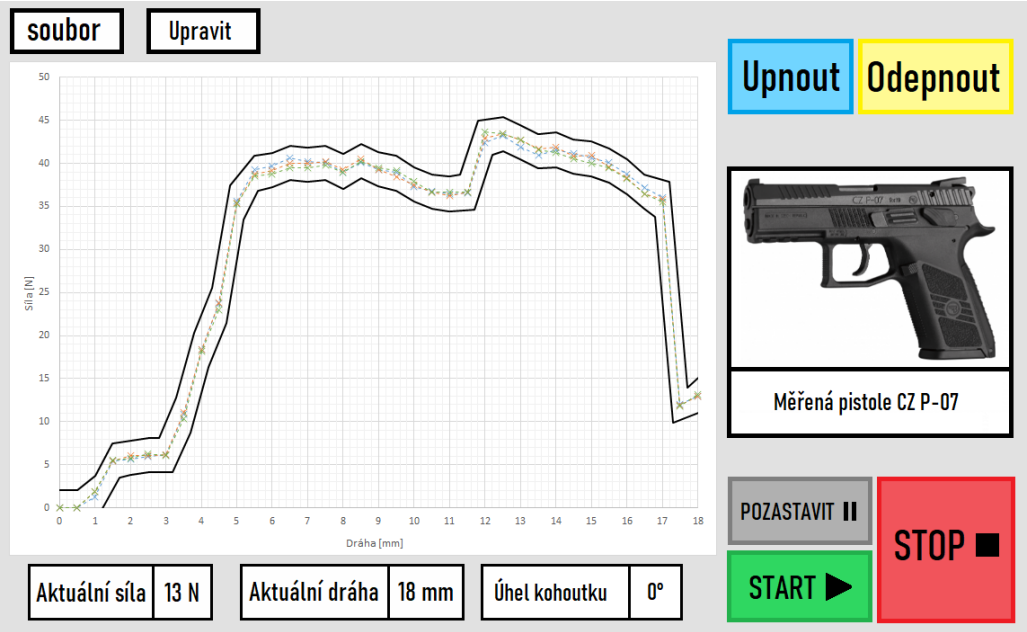
Software bude pracovat ve 3 režimech, jak bylo navrženo v kapitole 4.4.

Řídící program bude uložen v PLC, které bude přijímat data z HMI panelu a připojených periferií, zpracovávat veškerá data a odesílat je do nadřazeného systému a HMI panelu.



Obrázek 4.5.10 Vývojový diagram měření na profesionálním zařízení

Do následujících obrázků byl vytvořen návrh rozvržení uživatelského rozhraní.



Obrázek 4.5.11 Návrh uživatelského rozhraní profesionálního zařízení, CZ P-07 [CZ722]

Rozhraní bude pracovat stejně jako v případě low-cost zařízení.

Režim „operátor"

Po vložení kusu do zařízení operátorem dojde k automatickému načtení čárového kódu zbraně a nastavení parametrů měření. V rozhraní se zobrazí model pistole. Po zavření klece může být pistole upnuta pomocí operátorského panelu a zahájeno měření. V průběhu měření se do grafu budou dokreslovat hodnoty síly v odpovídajících bodech dráhy spouště. Plné čáry v grafu značí toleranční pole pro sílu a dráhu. Po odpalu se bude posuv opět vracet po krocích, za účelem změření vzdálenosti resetu spouště. Po dokončení daného počtu opakovaných měření dojde k vyhodnocení a v případě OK kusu odeslání dat do nadřazeného systému. V menu „Soubor" může operátor zvolit tisk protokolu a export nebo import naměřených hodnot.

Režim „servisní technik"

Po kliknutí na menu „Upravit" se zobrazí pole na vložení ID zaměstnance pro ověření pravomocí. Po úspěšném vstoupení do menu je možno upravovat profily parametrů měření pistolí, nastavovat profil délky kroku, počáteční a koncovou pozici pojezdu, hodnoty tolerančního pásma a manuální pohyb pojezdu pomocí softwaru. Při nastavování hodnot délky kroku a rychlosti musí software hlídat, aby nedošlo k překročení minimální periody mezi kroky 20ms, kterou představuje perioda snímání siloměru 10ms s přičtenou rezervou. Při přiblížení kohoutku k maximální hodnotě úhlu vyklonění nesmí být perioda kroku větší než perioda snímkování kamery. Kamera O2D510 dokáže snímat rychlostí 40 snímků/s perioda je tedy 25 ms, minimální perioda kroku byla určena alespoň 30 ms.

Režim programátor spočívá v připojení externího programovacího zařízení a umožnění přístupu přímo ke kódu uloženém v PLC a konfiguraci softwaru kamery.

5.3.12 Čas měření

Pro samotné měření třech průběhů s rezervou na zjemnění kroku v oblasti odpalu je uvažováno 60 s.

Na upnutí, zahájení měření, automatické odeslání dat a uvolnění pistole tedy zbývá rovněž 60 s. Nutná manipulace s pistolí by za tuto dobu také neměla představovat problém.

5.3.13 Zhodnocení

- Rozsah měřené síly 100 N.
- Přesnost měření síly: ±(0.5% + 2 digity) N se siloměrem,
  0,4 N s tenzometrickým snímačem.
- Dráha měření síly: 10 cm.
- Rozlišení měření dráhy 0,03 mm.
- Doba měření: pod 2 minuty.
- Komunikace s nadřazeným systémem: umožňuje.
- Snímání čárových kódů: umožňuje.
- Měření vzdálenosti resetu spouště: umožňuje.
- Měření úhlu vyklonění kohoutku: umožňuje.
- Výstup měření: soubor s hodnotami posuvu a síly, graf, protokol.
- Odhadovaná cena komponent zařízení 200 000 – 300 000 kč.

5.4 Tabulkové srovnání návrhů

Hlavní komponenty z předešle navržených řešení jsou uvedeny v následující tabulce.

	Provedení		
Modul	Prototyp	Low-cost	Profesionální
Řídící jednotka	Arduino UNO	Raspberry Pi	SIMATIC S-7 1200
Propojovací modul	Není	Není	2x SCM 1277
Pohon	Zabudovaný krokový motor	Zabudovaný krokový motor	EMMS-ST-57-S-S-G2
Vřeteno	Posuv s kuličkovým šroubem BEFENYBAY	Posuv s kuličkovým šroubem BEFENYBAY	ELGC-BS-KF-60-100-12P
Driver	Topdirect TB6600	EASON DM452	CMMT-ST-C8-4C-PN-S0
Napájení pohonu	ADS-15548 MEAN WELL	ADS-15548 MEAN WELL	CACN-3A-7-10-G2
Napájení zařízení	ADS-15548 MEAN WELL	ADS-15548 MEAN WELL	Síť, SIEMENS PM1207
Snímač síly	Tenzometrický snímač Temic L6D/10 kg C3	Digitální siloměr FG-6020SD	Digitální siloměr FG-6020SD, Tenzometrický snímač Siwarex WL 260 SP-S AA 10kg C3
Upínač	Přímá upínka 350	Dvojčinný kruhový válec DSNU-S-25-30-P-A	Dvojčinný kruhový válec DSNU-S-25-30-P-A
Ovládání	Manuální	Manuální, ventil VHEF-V-B52-G14	Elektrické, ventil VUVG-LK14-B52-T-G18-1H2L-S
Rám	Hliníkové profily	Hliníkové profily, bezpečnostní klec	Ocelové jekly, bezpečnostní klec se spínačem
Snímání čárových kódů	Není	Opticky, Virtuos HT-900A	Opticky, O2I512
Měření úhlu vyklonění kohoutku	Není	Není	Kamerově, O2D512
Odhadovaná cena	8000 kč	25 000 kč	200 000 - 300 000 kč

Tabulka 5.1. Tabulkové srovnání komponent jednotlivých návrhů

6. ZÁVĚR

Tato práce se věnuje návrhu možných provedení systému pro automatizované měření průběhu síly odporu spouště v závislosti na jejím stisku.

V první kapitole je vypracován úvod do mechanického principu funkce pistolí a konstrukce spoušťových mechanismů. Dále jsou zde uvedeny možné měřitelné parametry pistolí. Měření části z nich je zahrnuto do návrhu systému.

Druhá kapitola se věnuje rozboru principů a zhodnocení možných způsobů měření síly odporu spouště. Jsou zde uvedeny nejjednodušší měření vahami, měření analogovým či digitálním siloměrem, a v závěru kapitoly jsou popsány měřicí systémy

Třetí kapitola se zabývá zhodnocením současných měřících metod ve výrobním závodě CZUB. V úvodu je zhodnocen současný měřící systém používaný v závodu. Následně jsou zde uvedeny výsledky experimentů měření síly odporu spouště všemi metodami uvedenými v kapitole 2. Měření bylo provedeno pro kohoutkové pistole CZ 75 BD, CZP-07 a bezkohoutkovou pistoli CZ P-10 C.

Měření vahami bylo na základě praktické zkušenosti zhodnoceno jako nejméně vypovídající díky malému rozlišení měření síly bez možnosti sledovat dráhu spouště.

Měření siloměrem udává přesnější hodnoty ale opět lze touto metodou získat pouze maximální hodnotu síly, kterou musí uživatel v průběhu stisku působit.

V druhé polovině kapitoly jsou uvedeny výsledky počtu měření na současném měřícím systému v závodě, veškeré naměřené charakteristiky jsou zpracovány do grafů. Jeden z experimentů se týká změny kroku posuvu, výsledná charakteristika dle očekávání detailněji popisuje chování spouště na dráze stisku. Dále je zde vyhodnocena reprodukovatelnost měření a měření tuhost upínacího zařízení.

Tuhost upínače je vlastnost, kterou současné zařízení poněkud zaostává, proto bylo navrženo, aby se v budoucnu provedlo konkrétní měření za účelem vyhodnocení příčiny nízké tuhosti upínače.

Ve čtvrté kapitole jsou zhodnoceny současné metody měření a dále se kapitola zaměřuje na požadované parametry navrhovaného zařízení spolu s popisem možných řešení jednotlivých bloků, ze kterých se bude zařízení skládat.

Pátá kapitola obsahuje návrh jednotlivých provedení: prototypové zařízení, low-cost zařízení a profesionálního zařízení. Všechny návrhy splňují minimální požadavky zadání a jsou seřazeny podle očekávané ceny a dalších rozšiřujících vlastností. U každého návrhu je uvedeno blokové schéma zařízení, postup výběru komponent a návrh softwarové části.

V závěru poslední kapitoly je vypracováno tabulkové srovnání jednotlivých komponent.

LITERATURA

[CZx21] Portál *CZUB Česká zbrojovka* [online]. 2021 [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: https://www.czub.cz/firearms-and-products/pistole

[TGS21] Portál *TriggerScan* [online]. 2021 [cit. 2021-11-26]. Dostupné z: http://www.triggerscan.com/

[BF122] Zdvihový aktuátor Befenybay [online]. 2022 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: https://www.amazon.com/Befenybay-Actuator-Ballscrew-SFU1605-Stepper/dp/B085SXDS2B/

[BF222] Zdvihový aktuátor Befenybay [online]. 2022 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: https://www.amazon.com/dp/B0965GCNXG

[ADS22] Zdroj napětí ADS-15548 MEAN WELL [online]. 2022 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: https://www.tme.eu/cz/details/ads-15548/napajeci-zdroje-pro-vestavbu/mean-well/

[TOP22] Driver pro krokový motor Topdirect TB6600 [online]. 2022 [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: https://www.amazon.de/-/en/Topdirect-TB6600-Stepper-Stepper-Controller-Printer/dp/B0711J1K66/ref=pd_sbs_1/262-0389300-2936113

[TZM22] Portál tenzometrické snímače [online]. 2022 [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: https://www.tenzometricke-snimace.cz/Tenzometricky-snimac-Zemic-L6D-10kg-C3-d369.htm

[UPx22] Portál JC metal [online]. 2022 [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: https://www.jcmetal.cz/eshop/cs/prime-upinky/651-prima-upinka-350.html?gclid=Cj0KCQjwpcOTBhCZARIsAEAYLuX3ck9xTU_CLVe6LIGwjFFGqTgBwawY8CMzpJljmRZp0a8GEd5pgAUaAqwqEALw_wcB

[MRC22] Portál MRC [online], siloměr FG-6020SD [online]. 2022 [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: https://www.mrclab.com/force-gauge-20kg-20-ms-sampling-time-recorderdatalogger

[CZF22] Portál *CZUB Česká zbrojovka* [online]. 2022 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: https://www.czub.cz/firearms-and-products-product/cz-p-10-f

[ARD22] Portál *DRÁTEK.CZ* [online]. 2022 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/1353-klon-arduino-uno-r3-atmega328p-ch340-mini-usb.html

[RPI22] Portál *RPishop* [online]. 2022 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: https://rpishop.cz/raspberry-pi-4b/2611-raspberry-pi-4-model-b-8gb-ram-0765756931199.html

[EAS22] Driver pro krokový motor EASON DM542 [online]. 2022 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: https://www.amazon.com/EASON-DC20-50V-Subdivision-Controller-MicroStepping/dp/B08WLLJD34

[ČT122] Internetový obchod *Alza.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: https://www.alza.cz/virtuos-ht-900a-usb-cerna-d5031743.htm

[ČT222] Portál sensodroid [online] 2022 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: https://www.sensodroid.com/p/ccd-ctecka-carovych-kodu-sensodroid-m300

[FS122] Portál FESTO [online] 2022 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/a/5228231/
[FS222] Portál FESTO [online] 2022 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/a/5300035/
[FS322] Portál FESTO [online] 2022 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/a/8061491/
[FS422] Portál FESTO [online] 2022 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/a/1370474/
[FS522] Portál FESTO [online] 2022 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/a/8084004/
[FS622] Portál FESTO [online] 2022 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/a/8149584/
[FS722] Portál FESTO [online] 2022 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/a/8042564/
[SM122] Portál SIEMES [online] 2022 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6ES7211-1BE40-0XB0
[SM222] Portál SIEMES [online] 2022 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6GK7277-1AA10-0AA0
[SM322] Portál SIEMES [online] 2022 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6EP1332-1SH71
[SM422] Portál SIEMES [online] 2022 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6ES7241-1AH32-0XB0
[SM522] Portál SIEMES [online] 2022 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6AV2124-0MC01-0AX0
[SM622] Portál SIEMES [online] 2022 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/7MH5102-2AD00
[SM722] Portál SIEMES [online] 2022 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/7MH4134-6LB00-0DA0
[IF122] Portál ifm [online] 2022 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: https://www.ifm.com/cz/cs/product/O2I304
[IF222] Portál ifm [online] 2022 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: https://www.ifm.com/cz/cs/product/O2D510
[CZ722] Portál *CZUB Česká zbrojovka* [online]. 2022 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: https://www.czub.cz/firearms-and-products-product/cz-p-07

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
a.s.	Akciová společnost
A/D	Analog/Digital (analogově/digitální)
PC	Personal computer (osobní počítač)
CZ	Česká zbrojovka
CZUB	Česká zbrojovka Uherský Brod