



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

EXPERIMENTÁLNÍ IDENTIFIKACE SILOVÝCH PARAMETRŮ OTEVÍRÁNÍ DVEŘÍ POMOCÍ MANIPULÁTORU

EXPERIMENTAL IDENTIFICATION OF PARAMETERS FOR THE TASK OF DOOR OPENING USING
MANIPULATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Mikulič

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student:	Tomáš Mikulič
Studijní program:	Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor:	Mechatronika
Vedoucí práce:	doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.
Akademický rok:	2022/23

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

Experimentální identifikace silových parametrů otevírání dveří pomocí manipulátoru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedním z robotických projektů řešených na UMTMB je mobilní robot schopný jízdy výtahem. Dalším krokem je rozšířit jeho operační možnosti o schopnost otevření dveří. Pro tuto úlohu je nutné nejprve zjistit silové parametry nutné k vlastnímu otevření dveří (moment pro stisk kliky, moment pro vlastní otevření dveří) a stanovit tak rozsahy parametrů pro běžně používané dveře. Cílem bakalářské práce je experimentální zjištění těchto parametrů.

Cíle bakalářské práce:

- Navrhněte měřicí řetězec s uvažováním různých způsobů otevírání dveří
- Realizujte sadu měření na reprezentativním vzorku
- Naměřená data statisticky vyhodnoťte

Seznam doporučené literatury:

Bentley J.P.: Principles of Measurement Systems, 2005, Pearson Education; 4th edition

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

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem měřicího řetězce pro experimentální měření momentu síly k ose. Na tomto měřícím řetězci byla realizována sada měření na reprezentativním vzorku dveří různého stáří a různých velikostí. Pro univerzálnost výsledků byly dveře osazeny různými typy klik. Naměřená data byla statisticky vyhodnocena pro účely jejich dalšího využití.

KLÍČOVÁ SLOVA

silové parametry, klika, dveřní samozavírač, dveře, moment síly k ose, experimentální měření

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of a measuring chain for experimental measurement of the torque. This measurement chain will be used to conduct a set of measurements on a representative sample of doors of different ages and sizes. Also, these doors will be fitted with different types of handles to assure versatility of the results. The measured data will be statistically evaluated for further use.

KEYWORDS

force parameters, door handle, door closer, door, torque, experimental measurement

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MIKULIČ, Tomáš. *Experimentální identifikace silových parametrů otevírání dveří pomocí manipulátoru* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149702>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Jiří Krejsa.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Krejso, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 26.5.2023

.....
Tomáš Mikulič

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Krejsovi, Ph.D. za jeho přínosné vedení, cenné rady a připomínky. Také bych chtěl poděkovat své rodině, spolubydlícím a kamarádům za nekonečnou podporu ve studiu. V neposlední řadě také lidem z platformy Discord za pomoc při překonávání nástrah studia.

Obsah

1.	Úvod.....	6
2.	Rešerše	7
2.1.	Dvevní kování, klika a zámek.....	7
2.2.	Dvevní samozavírač.....	12
2.3.	Měření síly a momentu k ose	14
3.	Nastavení experimentu	16
3.1.	Základní rozvržení experimentu	16
3.2.	Návrh úchyty	16
3.3.	Popis celku měřicího řetězce a vzájemné propojení	19
4.	Měření dat	22
5.	Statistické zpracování dat	24
5.1.	Naměřená data.....	24
5.2.	Skript na zpracování dat.....	24
5.2.1.	Načtení dat.....	24
5.2.2.	Zpracování dat a jejich vykreslení.....	25
5.2.3.	Uživatelské výstupy a nejistoty měření.....	27
6.	Vyhodnocení dat	29
6.1.	Rozsah momentu síly pro stisk kliky	29
6.2.	Rozsah momentu síly pro otevření dveří	31
7.	Závěr	34
8.	Bibliografie	35
9.	Seznam obrázků a tabulek	38
10.	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	39
11.	Seznam příloh	40

1. Úvod

Otevírání dveří je úkon, který za den zopakujeme několikrát. V době, kdy autonomní roboti nahrazují mnoho komplexních činností, které člověk vykonává, se jeví tak častý úkon, jakým je otevírání dveří, za dokonale prozkoumaný a neměl by tedy být pro robota ničím složitým. Přesto je samotný proces otevírání dveří vcelku složitý a správně jej robota naučit vyžaduje dost práce.

Aby mohl být navržen správně dimenzovaný mechanismus, který by byl schopen provádět tento úkon, je potřeba znát rozsah silových parametrů, které musí aktuátor na robotickém rameni vyvinout. Zjištění tohoto rozsahu je hlavním cílem práce, který vznikl na základě snahy o rozšíření operačních schopností mobilního robota na Ústavu mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky Fakulty strojního inženýrství VUT Brno. Mobilní robot, jenž je součástí již dokončených závěrečných prací na výše zmíněném ústavu, se zvládá pohybovat mezi jednotlivými patry pomocí výtahu, což však není dostatečné pro pohyb po budovách, jelikož je jeho rozsah pohybu omezen na místa, která nejsou předělena dveřmi, případně mezi dvěma dveřmi. Míst splňujících tuto podmínku však příliš mnoho není za podmínky zachování celistvosti všech dveří v objektu.

Pro zjištění zmíněných veličin je potřeba navrhnout samotnou metodiku měření a zařízení, které bude umožňovat dané veličiny měřit. Zařízení, které bude možné umístit na různé typy klik a naměřit tak, pokud možno co nejuniverzálnější, rozsah hodnot. Metodika experimentu by měla zaručit především jeho opakovatelnost, tedy přesně definovat okolní podmínky, které mohou měření ovlivnit.

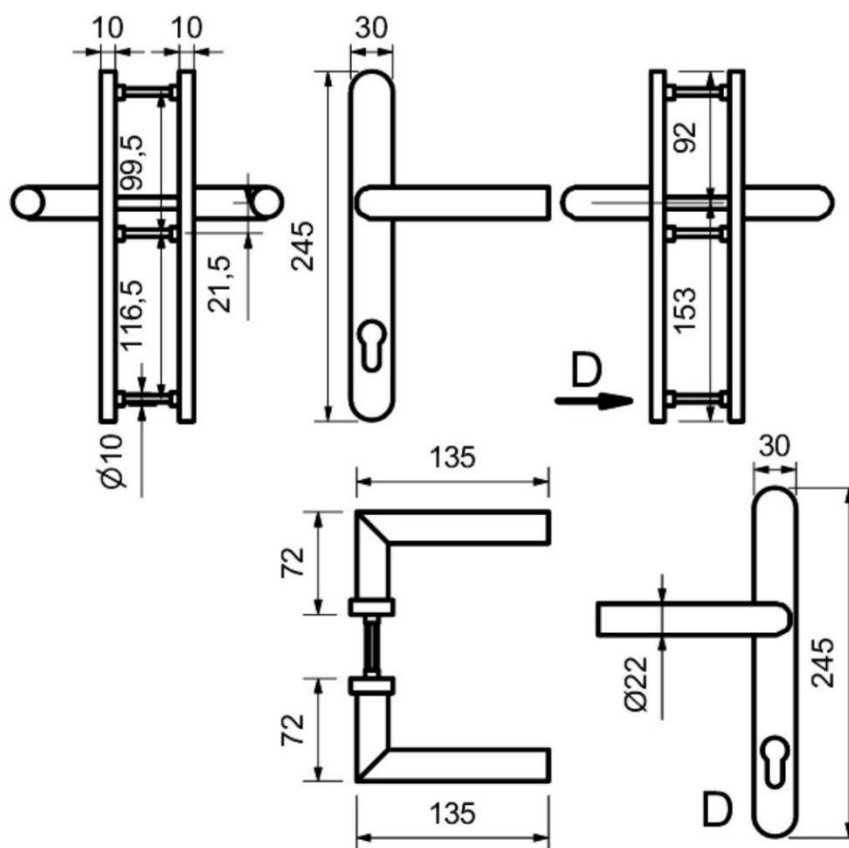
Rozsah silových parametrů tvoří dvě samostatné části, které jsou v experimentální části této práce měřeny a následně analyzovány. První částí je síla, která musí být vyvinuta na zmáčknutí kliky. Zmáčknutím kliky dojde k zasunutí střelky, a tedy odblokování pohybu dveří. Dveřní kliky bychom mohli kategorizovat do několika skupin a měření byla proto prováděna na více druzích dveřních uzávěrů pro obsáhnutí co největšího počtu případů, se kterými se robot může potkat. Dveře je dále nutné rozpohybovat, což je druhá část této práce. Zkoumanou veličinou je v tomto případě moment síly k ose dveří, tedy ke dveřním pantům, který musí být vyvinut na uvedení dveří do pohybu. V některých případech je na dveřích umístěn dveřní samozavírač neboli táhlo, které proces rozpohybování ztěžuje. Zároveň také slouží ke zpomalení pohybu při zavírání dveří. Těmito případy, kdy je na dveřích umístěn dveřní zavírač se práce také zabývá.

2. Rešerše

2.1. Dveřní kování, klika a zámek

Tato práce se zabývá dveřními klikami. Jedná se o mechanické zařízení používané k otevírání a zavírání dveří a jim podobných záklopních mechanismů. Pracuje na jednoduchém principu, podobném kolu na hřídeli, kdy moment síly, vyvinutý obvykle lidskou rukou, otáčí mechanismem dveřního či okenního zámku. [1]

Dveřní kování je tvořeno zpravidla dvěma klikami, čtyřhranem, který zajišťuje jejich vzájemné propojení, a štítem. Méně často se vyskytují i varianty klika – koule nebo dokonce koule – koule. Délka kliky určuje délku ramena, na kterém osoba působí silou pro otevření dveří. Kliky lze dělit na pravé a levé dle způsobu otvírání dveří neboli na které straně dveří jsou umístěny panty.

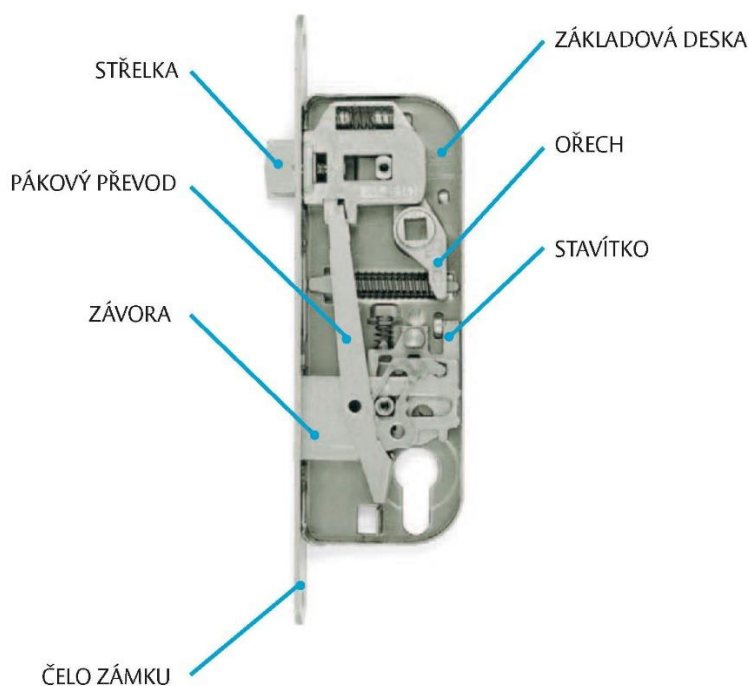


Obrázek 2.1 - Dveřní klika a dveřní kování [2]

Dveřní kování je velmi často doplněno o dveřní zámek. Zámek je mechanické zařízení, které je užíváno k personalizovanému zabezpečení dveří proti otevření cizími osobami. Dveřní zámek obsahuje schránku, ve které je umístěna závora, která je pomocí stavěcího členu spojeného s ořechem nebo se zámkovým válcem přemístitelná do polohy otevřeno, nebo do polohy zavřeno. [3]

Základová deska je nosnou konstrukcí celého zámku, který můžeme v řezu vidět na obrázku. Na základové desce je umístěn ořech, kterým prochází čtyřhran, jenž je přímo spojen s klikou. Zmáčknutím kliky je otočen čtyřhran, a tedy i ořech. Ořech je spojen se střílkou, která je v základní pozici vysunuta ze zámku. Otočením ořechu jsou provedeny dvě operace. První operací je zasunutí střílky dovnitř zámku, a tedy umožnění otevření dveří, kterých je zámeček součástí. Druhou operací je stlačení pružiny na druhé straně ořechu. Tato pružina slouží pro navrácení kliky do původní pozice. Její další funkcí je protiváha, jejíž úkolem je zabránění samovolnému zasunutí střílky dovnitř zámku, čímž je zabráněno samovolnému otevření dveří.

Při tomto experimentu je tedy měřeno, jaká je tuhost pružiny uvnitř dveřního zámku, respektive jak velký odpor bude svou tuhostí působit proti momentu síly, který je vytvořen v ose ořechu při působení silou na rameni kliky během zmáčknutí kliky.



Obrázek 2.2 - Mechanismus dveřního zámku [4]

Spodní polovina dveřního zámku je tvořena otvorem pro klíč či cylindrickou vložku. Zasunutím a otočením klíče, ať už přímo v zámku, nebo v cylindrické vložce, se pohybuje buď stavítkem, nebo pákovým převodem. V případě stavítka je vysunuta závora, která blokuje otevření dveří. Stavítko má často 2 pozice, a tedy lze vysunout další část závory. Otočením klíče na druhou stranu se stavítko vrací o pozici dozadu a závora se zasouvá zpět do zámku. V případě, že již závora nelze zasunout dále do zámku (je tedy v základní pozici), tak se klíč nebo část vložky pohybuje pákovým převodem. Ten zasune střílku do zámku a umožní otevření dveří. Tato operace je, tak jako standardní pohyb střílky, držena pružinou, která klíč otočí zpět do základní pozice a nenechá střílku zasunutou bez aktivního zapříčinění jednotlivce při správném fungování.

Běžně používaným typem dveřního zámku v Evropě je typ zadlabací. [5] Tento typ zámku se vyznačuje potřebou „kapsy“ v zárubních, aby do nich mohl být kompletně vnořen. Dále jej můžeme dělit podle druhu zamykání daného zámku, přičemž se jedná o následující dělení:

1) Západkové zámky

Daný zámek již nepotřebuje žádnou další součást, aby sloužil k zabezpečení objektu či zařízení. „Jedná se o nejpoužívanější a nejpoužívanější typ zámku.“ [6] Sám o sobě již obsahuje mechanismus, do kterého se pouze vloží klíč. Výhodou daného řešení je jednoduchost, naopak nevýhoda se objeví při výměně klíče, kdy je nutné vyměnit celý zámek.

2) Vložkové zámky

Tento typ potřebuje zvlášť cylindrickou vložku, která je vložena do zámku a o samotné zabezpečení objektu se stará vložka. Zámek v tomto případě slouží pouze jako schránka pro správné umístění vložky vůči západce. Nevýhodou je další investice, kterou musí osoba podstoupit pro funkčnost zámku. Výhodou je snadná výměna při ztrátě nebo zalomení klíče.

3) Koupelňové zámky

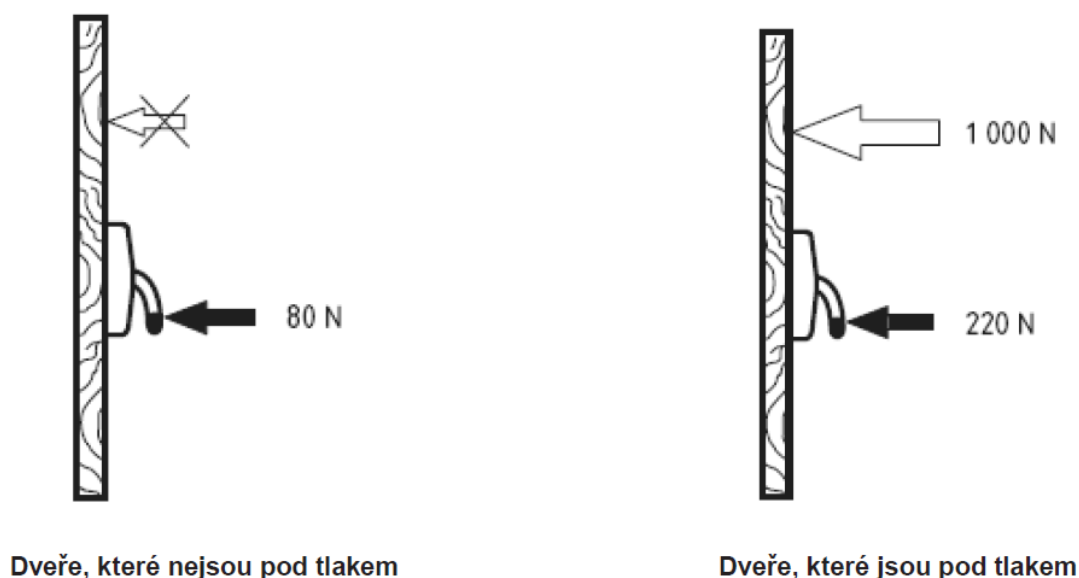
Koupelňové zámky jsou, jak již název napovídá, využívány nejčastěji v místnostech, kde je žádoucí mít zámek z jedné strany zamykatelný, avšak z druhé strany zámku musí zůstat možnost jej otevřít v nouzových případech – takovými místnostmi jsou koupelny, toalety, pokoje starších lidí nebo zkušební kabinky v obchodech.



Obrázek 2.3 - zleva západkový zámek, vložkový zámek, koupelňový zámek [7] (upraveno)

Speciálním druhem kliky jsou panikové dveřní uzávěry. V České republice je jejich využití upraveno normou ČSN EN 1125, která specifikuje požadavky pro výrobu, provedení a zkoušení panikových dveřních uzávěrů a také ČSN EN 179, která specifikuje téměř totéž. Rozdíl v těchto dvou normách je jejich užití, kdy norma ČSN EN 1125 se využívá v momentech, kdy lze krizovou situaci předpovědět, ale lidé, kteří panikový dveřní uzávěr využijí, nemají zásadní znalosti o funkci zařízení. Zatímco norma ČSN EN 179 je uplatněna v případech, kdy se nepředpokládá, že by ke krizovým situacím došlo, avšak unikající lidé mají znalost mechanismu.

Dle normy ČSN EN 1125 musí dveře splňovat podmínku, že se dveřní uzávěr otevře celkově za méně než 1 sekundu. Uvolňovací síla, která je potřeba pro otevření panikového dveřního uzávěru, musí být rovna nebo menší než 80 N. Pokud by takové dveře byly pod tlakem, je hodnota stanovená normou navýšena na 220 N. [8] [9] Dodržení této hodnoty bude následně kontrolováno při provedených měřeních.



Obrázek 2.4 - Uvolňovací síly panikových dveřních uzávěrů dle normy ČSN EN 1125 [8]

Ne každý panikový dveřní uzávěr musí být konstruovaný jako protipožární, avšak pokud je zamýšlené užití v protikouřových/protipožárních dveřních sestavách, musí navíc splňovat další požadavky, které také specifikuje norma ČSN EN 1125 v příloze B. Tím jest především úspěšné absolvování zkoušky, která je stanovena normou ČSN EN 1634-3.

Panikové dveřní uzávěry lze také rozdělit podle typu dveřního madla použitého v této sestavě. Prvním typem je tlačné madlo, které je konstrukčně navrženo pro uchycení mezi dva otočné body. Nejčastěji je otevíráno stlačením v oblouku dolů, nebo lze do něj tlačít ve směru úniku.



Obrázek 2.5 - Tlačné madlo [10]

Druhým typem je dotykové madlo, jež je vždy ovládáno ve směru úniku. Samotné madlo je tvořeno jako profil, který je tlačěn do konstrukce, což je zároveň největším rozdílem mezi těmito typy. [8]



Obrázek 2.6 - Dotykové madlo [9]

2.2.Dveřní samozavírač

Jedná se o strojní zařízení, které zajišťuje kontrolované zavírání dveří. V dnešní době můžeme valnou většinu z nich klasifikovat buď jako pneumatické, nebo hydraulické. Ačkoliv mohou být rozděleny do dvou kategorií, tak princip, na kterém fungují, je téměř stejný.

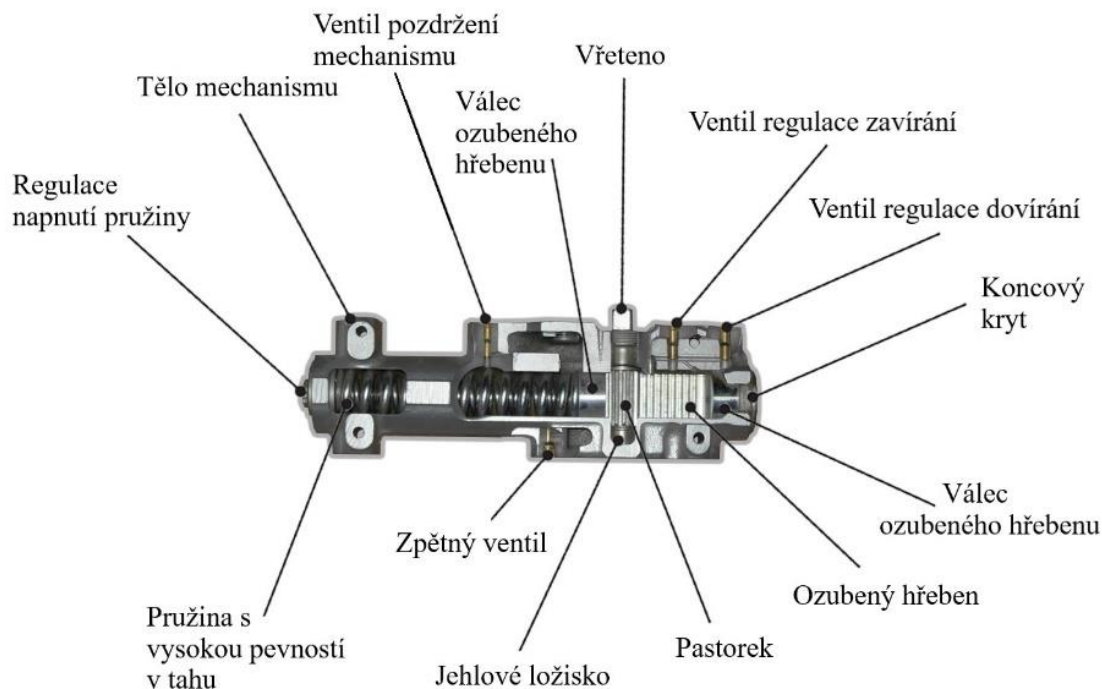


Obrázek 2.7 - Dveřní zavírač s aretačním ramínkem [10]

Pokud jsou dveře otevřeny, je uvnitř dveřního zavírače stlačena pružina. Ta v moment, kdy je dveřím umožněn volný pohyb, začne dveře táhnout k sobě, jelikož se snaží vrátit do své původní délky. Pružina je pevně spojena s pouzdem, uvnitř kterého je na daném místě umístěn pastorek. Pouzdro má v sobě ozubení, které se pohybuje po pastorku. Délka ozubení určuje, jak moc lze pružinu stlačit. Aby nedocházelo k příliš rychlému pohybu dveří, jsou pružiny brzděny právě výše zmíněnými médii.

Součástí dveřního samozavírače je část, která slouží k pohybu dveří. Tyto části disponují buď ramínkem, nebo kluznou lištou. Ramínko, které je vidět na obrázku výše, má klouby, které zajistí v případě zavření dveří složení ramínka v půlce. Druhou možností jsou samozavírače s kluznou lištou. Ty obsahují čep, který se pohybuje uvnitř kluzné lišty. Na rozdíl od ramínka tedy lišta není rozdělena na dvě části, ale je vcelku.

V neposlední řadě lze zavírače dveří dělit dle momentu síly k ose vzhledem k hmotnosti dveří, což je údaj daný normou ČSN EN 1154. Ta rozděluje zavírače do 7 tříd dle doporučené šířky dveří a od toho odvozené hmotnosti zkušební vzorku. Na zkušebním vzorku je pak provedeno měření, které musí zaručit momenty síly pro jednotlivé úhly otevření dveří. [11]



Obrázek 2.8 - Mechanismus dveřního zavírače a jeho částí [12]

Hydraulické zavírače jako médium používají speciální hydraulické kapaliny nebo lehké oleje, které se vyznačují nižší hustotou než klasické oleje. Tento typ najde své využití u těžších dveří nebo v místech, kde je potřeba dveře zavírat pomalu a bezpečně, jako jsou například školy nebo nemocnice. Využívány jsou také v bezbariérových vchodech, kdy je potřeba dodat osobě více času na průchod dveřmi. Pomalé zavírání je způsobeno nízkou stlačitelností kapalin. Nevýhodou hydraulických zavíračů jsou složitější opravy, pokud dojde k úniku kapaliny. [13]



Obrázek 2.9 - Hydraulický dveřní zavírač [14]

Dveřní zavírače lze také dělit podle místa, na kterém jsou umístěny. Z hlediska funkce se nejedná o zásadní rozdíl, avšak pokud je na dveřní zavírač vzhledeno jako na designový prvek, který doplňuje celkovou estetiku místnosti, jedná se o podstatné rozdíly.

Nejčastěji používané jsou dveřní zavírače montované nad dveře do rámu dveří nebo nad něj. Tento typ nepotřebuje téměř žádnou přípravu pro jeho montáž na dveře. Jejich mínusem je však právě to, že jsou montovány na stěnu, čímž tvoří velmi nápadný prvek interiéru (popř. exteriéru). Popisované táhlo lze vidět na obrázku 2.7. [15]

Druhou možností jsou samozavírače, které vyžadují úpravu od výrobce dveří, protože jsou montovány přímo do těla dveří a zárubní. Z designového hlediska však nabízí čistý profil dveří, který není ničím rušený. Na principu funkce se nic nemění, jediným rozdílem je častější volba řešení pouze s kluznou lištou, tedy rozměrově delší samozavírač. [15]



Obrázek 2.10 - Integrovaný dveřní zavírač [16]

Posledním speciálním případem, který se vyskytuje na trhu již delší čas dle informací obchodního zástupce společnosti SAPELI, a.s., jsou samozavírací panty. Ty obsahují pružinu, která je navinuta kolem pantu a ta se roztahuje a zpátky smršťuje, což zajišťuje zavření dveří. Nevýhodou je neregulovatelnost takového řešení a absence fáze dověření dveří. Pro tyto nevýhody nejsou příliš používané.

2.3.Měření síly a momentu k ose

Síla je odvozená veličina ze základního systému jednotek SI a zároveň jedna ze základních přímo měřitelných veličin, ze které je dopočítáváno mnoho dalších veličin jako např. moment síly k ose nebo tlak. [17] Sílu je možné měřit mnoha způsoby – existují buď přímé metody, kdy je síla porovnávána se známou hodnotou gravitační síly závislou

na hmotnosti, nebo nepřímé metody, které jsou založeny na měření účinků síly na dané objekty, jako je například zrychlení. Podle způsobu můžeme zařízení k měření síly rozřadit na:

1) Váhy

a. Rovnoramenné váhy

Vyznačují se dvěma stejně dlouhými rameny. Na jedno z nich je umístěno závaží o neznámé hmotnosti a na druhé jsou postupně vkládány závaží o známé hmotnosti, dokud nejsou ramena v rovnováze.

b. Nerovnoramenné váhy

Základem je rameno, které je nesymetricky umístěno na podpěrný bod. Na kratší stranu ramene je zavěšen objekt neznámé hmotnosti. Na delší straně je závaží, kterým lze pohybovat po delší straně. Tím se mění rameno, na kterém je závaží zavěšeno a zvyšuje se tím moment síly, kterým je působeno proti závaží na druhé straně na konstantním rameni. Opět je cílem dosáhnout rovnováhy ramen.

c. Kyvadlové váhy

Tyto váhy využívají principu kyvadla, a tedy nejsou závislé na změnách v hodnotě gravitačního zrychlení. Jsou tvořena závažím, které je upevněné na rameni, které se při vážení kýve nahoru a dolů. Pohyb kyvadla je postupně utlumován, dokud není dosaženo bodu rovnováhy. [18]

2) Prstencové siloměry

„Siloměr tohoto typu stanovuje velikost síly podle poměrné deformace pružného členu namáhaného v oblasti platnosti Hookova zákona.“ [19] Poměrná deformace je poté převedena na sílu pomocí softwaru.

3) Snímače zatížení

a. Tenzometrické snímače zatížení

Tenzometrický snímač je snímačem odporového typu, který mění svou hodnotu odporu v závislosti na měřené deformaci, převádějící mechanickou veličinu na elektrický signál. Tenzometrické snímače se používají k měření síly, deformace nebo napětí v různých aplikacích. [20]

b. Hydraulické snímače zatížení

Na plochu o daném obsahu působí tlak, který je měřen tlakoměrem. Tento tlak je přímo úměrný síle F , která působí na plochu S . [19]

c. Pneumatické snímače zatížení

„Výstupní tlak dýzy je laděn vzdáleností x určenou průhybem pružného tělesa. V oblasti elastických deformací je průhyb lineární funkcí síly F .“ [19]

3. Nastavení experimentu

3.1. Základní rozvržení experimentu

Jedním z prvních problémů práce bylo navržení měřicího řetězce. Prvotní myšlenky směřovaly k sestrojení zařízení pro měření dvou parametrů, které byly zadány jako potřebné – moment síly k ose kliky pro pohyb kliky a moment síly k ose dveří pro otevření dveří. Bylo požadováno, aby zařízení bylo univerzální, a tedy použitelné pro oba typy měření. Sestrojení celkového zařízení, které by sílu testovalo pomocí motoru či jiného zařízení u kterého je snadné dosáhnout lineárního zatížení, bylo vyhodnoceno jako časově velmi náročné, a proto bylo od této možnosti ustoupeno. Bylo přistoupeno k využití zařízení k měření síly pomocí zatěžování lidskou rukou, což je přirozený způsob ovládání kliky.

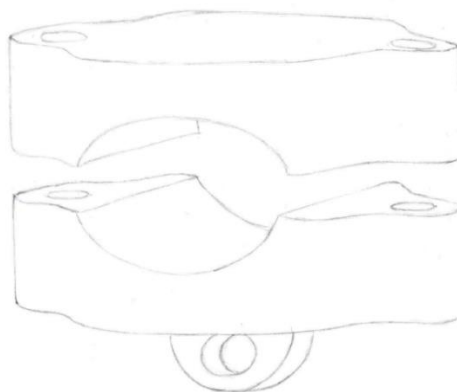
Pro získání prvního přehledu o hodnotách, které budou měřeny, byl zapůjčen jednoduchý pružinový analogový siloměr z Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity. Tento siloměr je tvořen pružinou, dvěma háčky pro uchycení k tělesům a stupnicí. Rozsah tohoto zařízení je $F = < 0 - 5 > \text{ N}$. Pro uchycení na různé typy klik bylo potřeba vymyslet způsob, kterým bude siloměr upevněn.



Obrázek 3.1 - Pružinový siloměr

3.2. Návrh úchytu

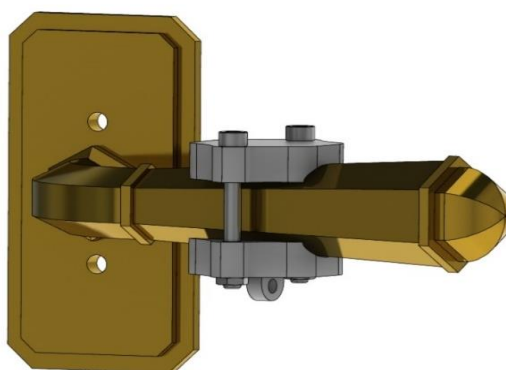
Při návrhu úchytu bylo postupováno postupně od rozmyšlení tvaru a rychlé rešerše možných řešení, což bylo následováno náčrtly na papír. Tyto náčrtly byly poté zhodnoceny s ohledem na jejich výhody a nevýhody a byl vybrán nejvhodnější z nich. Ten byl zpracován v programu SolidWorks. Daný model byl poté vytisknut na 3D tiskárně z materiálu PETG. Metoda 3D tisku byla zvolena pro svou cenovou nenáročnost, rychlost výroby a pro fakt, že není vyžadována přílišná přesnost a pevnost modelu. Ve prospěch této technologie hraje i možnost snadného verzování díky dostupnosti materiálu a již zmíněné rychlosti výroby.



Obrázek 3.2 - Náčrt modelu úchytu

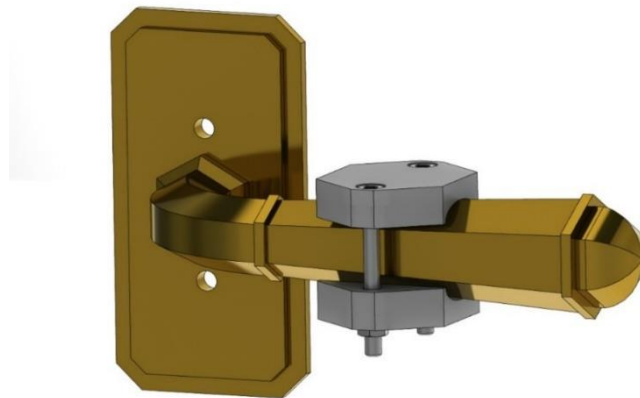
Úchyt je tvořen ze dvou samostatných částí, které jsem navrhl jako spojitelné pomocí šroubů M6 o různých délkách dle potřeby – pro měření jednoduchých klik bylo použito M6x50, avšak pro měření koulí jsem musel přistoupit k využití delších šroubů, a to konkrétně M6x80. Celkový tvar byl v prvním konceptu navržen jako kvádr. Po optimalizaci návrhu byl vybrán tvar s vybráním. Pro fixaci kliky v úchytu byl zvolen elipsový otvor, který umožnil uchycení na zvolené různé typy klik. Další možností, kterou jsem zvažoval bylo použití stupňových výřezů, jež by umožnili uchycení širšího spektra velikostí. Od této možnosti bylo upuštěno z důvodu nevhodnosti pro použití na klice typu koule, která by poté byla chycena na minimu materiálu a vznikly zde obavy o nedostatečnou pevnost spoje. Šrouby jsou na konci zajištěny matkou pro šroub M6.

První použitý model počítal s využitím siloměru zapůjčeného z Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity. Na spodní straně modelu je vytvořeno závěsné oko, které slouží k uchycení siloměru. Závěsné oko se však na prvním modelu ukázalo jako poddimenzované, protože při zatížení prasklo. Naštěstí již z prvních pár pokusů měření momentu na klice bylo zjištěno, ještě před momentem, než závěsné oko prasklo, že siloměr je nevyhovující a bude potřeba využít jiný siloměr a uzpůsobit mu úchyt.



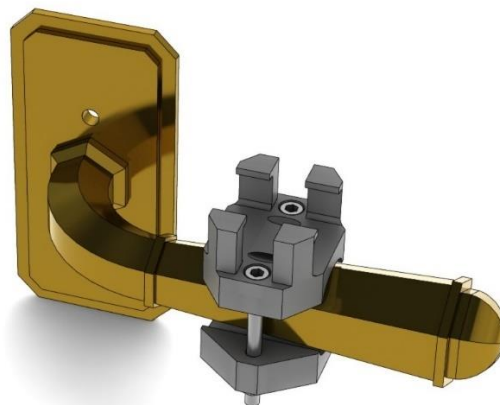
Obrázek 3.3 - První model úchytu na kliku umístěný na klice

Druhý model již počítal s využitím druhého tenzometru, který byl zapůjčen od pana Ing. Petra Krejčího, Ph.D. Ten nepotřeboval závěsné oko na připevnění k úchytu. Celková myšlenka původního modelu zůstala zachována, tedy dvoudílný úchyt otvorem tvaru elipsy pro uchycení na vybrané typy klik spojitelný pomocí běžně dostupných šroubů. Bylo však důležité, aby bylo doplněno zahloubení pro hlavy šroubů, jelikož se jevílo jako ideální příkládat senzor z vrchní strany úchytu a hlavy šroubu by překážely rovnému uchycení. Po konzultaci se studenty, kteří mají rozsáhlejší znalosti v oblasti 3D tisku, byl upraven i celkový tvar pro zjednodušení tisku odstraněním tvarového vybrání a jeho nahrazením jednodušším zkosem. Úpravy byly provedeny opět v programu SolidWorks a nový úchyt vytisknut na 3D tiskárně z totožného materiálu.



Obrázek 3.4 - Druhý model úchytu na kliku umístěný na klice

Druhý model sloužil k otestování funkčnosti snímače a pro zjištění, zda již pokryje požadovaný rozsah. Ukázalo se, že snímač je dostatečný, a proto byl vytvořen třetí, již finální model. Ten zaznamenal úpravy pouze v horní části, proto spodní část nebyla tisknuta znovu. Byly namodelovány čtyři úchyty, které upevňují snímač síly na celkovém úchytu na klice. Zároveň bylo vytvarováno zahloubení pro pásek, který zajišťuje těsnost spojení a působí proti možnému pohybu snímače.



Obrázek 3.5 - Třetí model úchytu na kliku umístěný na klice



Obrázek 3.6 - Řez třetím modelem úchytu pro znázornění zahloubení

3.3. Popis celku měřicího řetězce a vzájemné propojení

Výsledný měřicí řetězec se tedy skládá z těchto částí: měřicí ústředna a snímač síly od firmy HBM, úchyt a počítač s programem Catman Easy. V další části se věnuji popisu jednotlivých částí a poskytnutí souhrnných informací o jejich funkci v měřicím řetězci a specifikacích.

Měřicí ústředna řady QuantumX od firmy HBM byla zvolena jako optimální z dostupných variant díky své malé váze, tedy manévrovatelnosti, což bylo důležité pro snadné přemísťování mezi jednotlivými dveřmi. Stanice disponuje 8 vstupy pro připojení senzorů či snímačů, avšak pro potřeby experimentu byl využit pouze jeden port. Ústředna je napájena ze sítě 230 V. Spojení s počítačem zajišťuje vstup pro ethernet.



Obrázek 3.7 - Měřicí ústředna HBM QuantumX [21]

Snímač síly byl zvolen model PW4F-2 také od firmy HBM. Maximální možné zatížení dle datasheetu je 3,6 kg. Tento rozsah byl v měřeních lehce přesahován, ale senzor je naddimenzován, a to dle datasheetu na 150 %, což bylo ověřeno na zkušebních měřeních. [22] Přesnost měření tohoto senzoru je dána zařazením do *Accuracy Class 0,1* neboli třídy přesnosti. Ta udává nejistotu měření na $\pm 0,1$ %. [23]

Typově se senzor řadí mezi tzv. single point tenzometrické snímače. „Nejdůležitější vlastností snímačů Single Point je, že mohou být zatěžovány mimo osu zatížení snímače.“ [24] To je ideální pro použití v tomto experimentu, jelikož v rámci experimentu je snímač zatěžován lidskou rukou, a tedy není zajištěno zatížení přesně ve středu senzoru. To by mohlo v případě využití snímače, který není uzpůsoben pro excentrické zatížení, způsobit výrazné zkreslení naměřených hodnot. Tenzometrické zařazení snímače hovoří o jeho způsobu zpracování naměřené veličiny. „Tenzometrický snímač hmotnosti (síly) převádí mechanickou veličinou (hmotnost) na elektrickou (napětí). Tento převod se děje prostřednictvím tenzometrických známek (strain gauges), které jsou nalepeny na těle snímače. Známky mění odpor při změně svojí délky. Známky jsou většinou čtyři a jsou zapojeny do Wheatstonova můstku. Tato konfigurace umožňuje převést relativně malou změnu odporu na použitelný elektrický signál.“ [25]

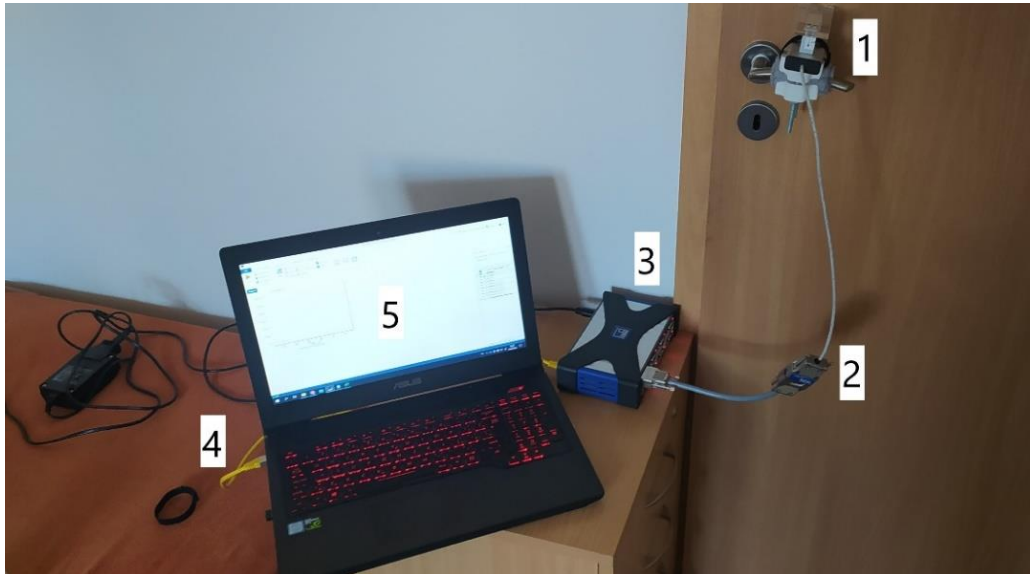


Obrázek 3.8 - Tenzometrický single point tlakový senzor PW4F-2 [22]

Program Catman Easy je software od firmy HBM, který je určený pro základní zpracování a vykreslení dat. Jedná se o základní verzi, která umožňuje vizualizaci v reálném čase a také online propojení senzoru s úložištěm dat. Tento senzor dokáže fungovat i v režimu offline, což bylo velice přínosné pro tuto práci vzhledem k povaze měření. [26]

Celý měřicí řetězec je propojen následovně (číslováno dle obrázku níže):

- 1) Měření hodnot síly zajišťuje snímač síly.
- 2) Přenos dat ze senzoru do měřicí centrály je zprostředkován pomocí kabelu SD15 s koncovkami male i female.
- 3) Měřicí centrála zaštiťuje zpracování dat ze senzoru.
- 4) Výměna dat mezi měřicí centrálou a počítačem je pomocí ethernetového kabelu.
- 5) Koncovým prvkem je počítač se softwarem Catman Easy.



Obrázek 3.9 - Celkové zapojení měřicího řetězce



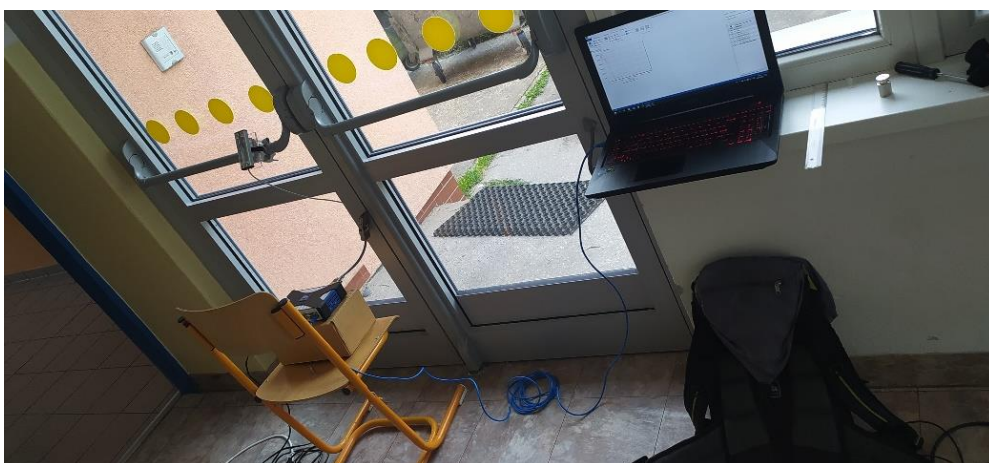
Obrázek 3.10 - Detail úchyty na klice

4. Měření dat

Cílem experimentu bylo realizovat sadu měření na reprezentativním vzorku dveří. Celkem byly zvoleny 3 druhy klik – klika, otočná koule a panikový dveřní uzávěr. Pro variabilitu dat a co nejpřesnější výsledky experimentu byly měřeny dveře různého stáří a různých rozměrů – pro znázornění tohoto popisu uvedu dvě fotografie měřených dveří.



Obrázek 4.1 - Měření starých vchodových dveří



Obrázek 4.2 - Měření dveří školního únikového východu osazeného panikovým uzávěrem

Jak již bylo uvedeno, pro dostatečnou relevanci experimentu bylo nutné provést měření na vzorku dat, který může být považován za reprezentativní. Na začátku experimentu bylo stanoveno, že takový vzorek by měl obsahovat min. 10 dveří od každého typu kliky. Nalézt dveře s klasickou klikou bylo nejjednodušší a bylo proto od daného typu kliky provedeno více měření pro zvýšení přesnosti měření. Souhrn hodnot daných měření je zanesen do tabulky.

Tabulka 1 - Počty jednotlivých měření

	Počet měření síly	Počet měření momentu k ose	
		Bez dveřního zavírače	S dveřním zavíračem
Klika	19	10	0
Otočná koule	0	0	0
Panikový dveřní uzávěr	4	0	2
Celkem měření	23	12	

U dveřního typu otočná koule se bohužel nepodařilo naměřit předpokládaný počet, který by byl považován za reprezentativní vzorek. Tato skutečnost je způsobena především dnes již velmi nízkou mírou užívání tohoto typu, jelikož klasická klika, která je považována za náhradu typu otočná koule, je pro ergonomii pohybu přívětivější. Většina dveří dříve disponovala tímto typem, avšak modernější řešení ve formě klasické kliky jej vytlačilo z trhu. Často je toto řešení k nalezení např. v USA. [27]

Vzhledem k faktu, že dveře jsou téměř všude se může zdát jednoduché sehnat dostatečný počet vzorků. U dveří s běžnou klikou to nebyl problém, jak již bylo uvedeno výše. Panikové dveřní uzávěry se vyskytují často na únikových východech, což se začalo jevit jako problém při potřebě měření na takových dveřích. Bylo navštíveno hned několik míst, kde měření nebylo povoleno kvůli blokaci únikového východu během průběhu měření. Jednou z variant, kde sehnat panikový dveřní uzávěr byla i budova Strojní fakulty Vysokého učení technického. Zde proběhlo několik měření, avšak značný počet dveří (ať už s dveřním samozavíračem, nebo bez něj) u sebe neměl zdroj energie. V rámci sehnání dostatečného množství bylo kontaktováno i několik showroomů dveří po území města Brna. Většina z nich však vůbec neodpověděla či uvedli, že v jejich showroomu nemají požadované typy dveřních uzávěrů. Nakonec bylo měření provedeno v showroomu SAPELI, a.s., kde mi bylo vyhověno v mé žádosti a bylo mi umožněno změřit několik požadovaných vzorků.

5. Statistické zpracování dat

Tato kapitola se zaměřuje na způsob, jakým byla naměřená data zpracována a vyhodnocena. Dále obsahuje informace o zjištěných výsledcích a nejistotách, které ovlivnily měření a způsobily nepřesnosti měření.

5.1. Naměřená data

Naměřená data ze senzoru byla přes centrálu přenášena do počítače, kde byla zpracována nativním systémem od firmy HBM určeným pro danou měřící centrálu, kterou je „catman Easy“. Jedná se o DAQ software pro sběr a vyhodnocení dat. DAQ slouží jako zkratka anglického Data Acquisition Software, což je pojem, kterým jsou označovány programy pro vzorkování signálů, které zaznamenávají fyzikální veličiny a převádí je do digitální podoby, ve které mohou být dále zpracovány softwarově. [28] Program catman Easy mimo měření dat umožňuje i vizualizaci dat, což velmi pomohlo při synchronizaci jednotlivých měření mezi sebou na jednotlivých klikách. Data ze softwaru byla ukládána ve formátu ASCII do textového souboru. ASCII je metoda kódování znaků, která je založena na abecedním pořadí znaků v anglickém jazyce. Daná nezpracovaná data bylo nadále potřeba upravit.

5.2. Skript na zpracování dat

Pro samotné zpracování dat do formy vizualizace, která je přívětivější pro čtení a zároveň přehlednější, byl zvolen program Matlab. Ten byl zvolen z důvodu velkého množství možností pro zpracování dat. Dalším faktorem pro jeho volbu byly předchozí zkušenosti s daným programem. V neposlední řadě je výhodou obsažení mnoha funkcí, které dovolují kvalitní převedení dat do grafů či tabulek, což je zásadní pro prezentaci dat.

Skript se skládá z jednoho hlavního skriptu, který zajišťuje volání dalších funkcí a základní inicializaci. Dále skript obsahuje 3 funkce, které mají využití popsané v následujících podkapitolách a jsou přiloženy k práci jako Příloha č.1.

5.2.1. Načtení dat

Funkce slouží k importu dat do programu Matlab. Ve funkci je zadána složka, ve které jsou uložena veškerá data. Do této složky funkce přistupuje a načte z ní veškeré soubory. Dané soubory jsou poté rozřazeny podle koncovky na textové soubory a jeden soubor formátu Office Open XML, tedy koncovka *.xlsx*. Skript nadále pracuje s těmito soubory jen s drobnými rozdíly.

Jako první krok při nakládání se soubory skript příslušné soubory otevře a analyzuje. Dále z nich vytvoří matici a smaže nepotřebné sloupce, které neobsahují žádná relevantní data. Tabulku následně převede na typ *datové pole*, které je pro následné zpracování více vyhovující.

Skript obsahuje ještě jednu funkcionalitu, která je potřebná pro následující funkci. Přečtením všech souborů a jejich rozříděním vzniknou tři druhy souborů – textové soubory *job a jub* a výše zmíněná tabulka programu Excel. Tímto způsobem jsou ve složce značeny soubory obsahující data z měření síly na klíce – *job*, a soubory obsahující data z měření momentu síly k ose dveří (=pantů) – *jub*. Soubory typu *job* jsou poté počítány, aby bylo poté jednodušší odlišovat v množství zpracovaných dat data síly a momentu.

Výstupem funkce jsou tedy tři proměnné – naměřená data sil a momentů, vzdálenosti působišť sil od osy kliky a působišť síly od osy dveří a v poslední řadě počet souborů označených *job*.

5.2.2. Zpracování dat a jejich vykreslení

Funkce potřebuje dva uživatelské vstupy – zvolení, zda má vykreslit data o naměřené síle, nebo data momentu síly k ose dveří. Druhým uživatelským vstupem je potom číslo vzorku, které má být vykresleno.

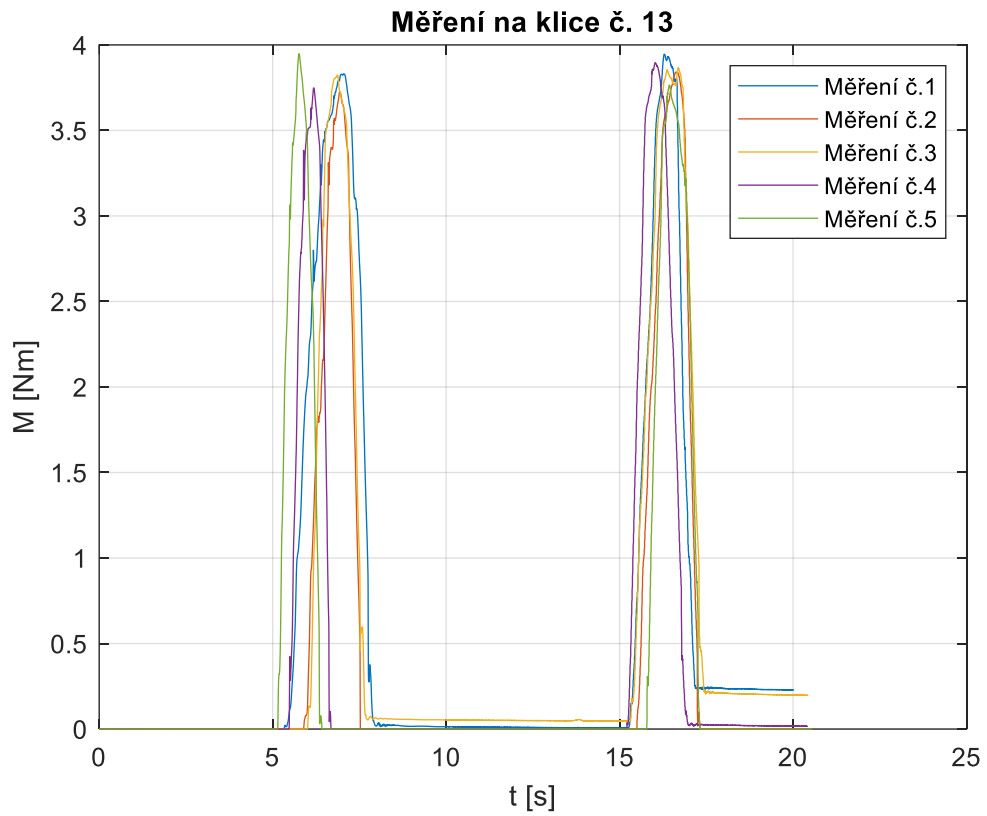
Programovací jazyk Matlab neumí číst desetinou čárku jako oddělovač. Bylo tedy nutno veškerá data přepsat, aby byl nahrazen oddělovač desetinných míst za tečku. Tuto funkcionalitu lze jednoduše vyřešit funkcí *strrep*, která dokáže vyhledat daný symbol a nahradit jej uživatelem požadovaným symbolem. Jednotlivá čísla bylo nadále nutné přeformátovat, jelikož byla v datovém poli uložena jako *string*, tedy textový datatyp. Avšak pro výpočty je nutný numerický datatyp, proto je každé číslo převedeno na datový typ *double*.

Následně byla data opravena, aby byl vykreslován moment síly. U veškerých naměřených dat se totiž jedná o změřenou hmotnost, kterou je působeno na snímač. Hmotnost je ve skriptu vynásobena gravitačním zrychlením g , které má hodnotu $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$. Tím je získána síla, kterou je působeno na kliku. Síla je nadále vynásobena ještě vzdáleností, která je mezi působišťem síly a osou rotace kliky/dveří.

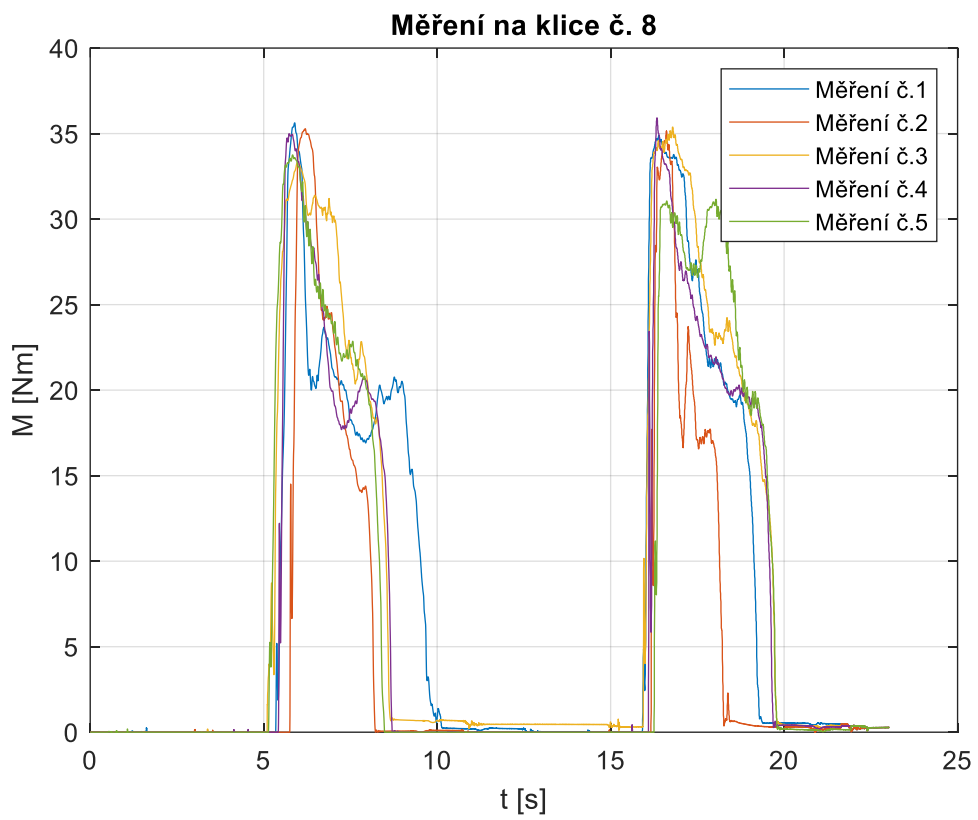
Data jsou následně vykreslována, přičemž na ose x jsou vykreslována časová data v sekundách. Na ose y jsou proti tomu vyznačena data momentu síly v newton metrech. Do jednoho grafu je zaneseno všech 5 měření, která byla na jednom vzorku dveří provedena a navzájem jsou barevně odlišena.

Při vykreslování dat bylo zjištěno, že senzor neumí dokonale nulovat svou výchozí pozici. V grafu to způsobovalo hodnoty, které byly pod nulou, a tedy celý graf působil mnohem méně upraveně a měl menší měřítko, čímž snížil čitelnost dat. Z hlediska experimentu jsou data, která se pohybují okolo nulové hodnoty v kladných i v záporných hodnotách nerelevantní. Dané hodnoty v záporu jsou proto ve skriptu nahrazovány na hodnotu nula.

V poslední řadě je ve skriptu provedena funkcionalita, která hledá maximální hodnotu z daného měření. Tyto hodnoty jsou ukládány do matice, která je vždy velikosti 5×1 , jelikož na každých dveřích bylo provedeno 5 měření.



Obrázek 5.1 - Graf měření momentu síly k ose kliky, vzorek č.13



Obrázek 5.2 - Graf měření momentu síly k ose dveří, vzorek č.8

5.2.3. Uživatelské výstupy a nejistoty měření

Tato funkce generuje uživatelský výstup obsahující veškeré důležité informace, které lze z dat vyčíst a vypočítat. Vstupem je matice obsahující 5 hodnot, které jsou maximálními hodnotami v jednotlivých měřeních. Pro uživatele skript vypíše nejmenší a největší hodnotu peeku, které byly naměřeny. Také je dopočítána procentuální odchylka, která je mezi měřeními. Pokud by tato odchylka byla příliš velká, je nutné měření považovat za nepřesné a bylo by nutné jej zopakovat. Nakonec je uživateli zprostředkován aritmetický průměr naměřených peeků dle vzorce:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

K aritmetickému průměru je dále dopočítána nejistota. Ta se počítá jako součet nejistoty typu A a nejistoty typu B. Nejistoty typu A jsou stanoveny z výsledků opakovaných měření statistickou analýzou série naměřených hodnot. Z dat je spočtena výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru pomocí vzorce:

$$\sigma(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n * (n - 1)} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Vzhledem k malému počtu měření ($n < 10$) je nutné upravit směrodatnou odchylku na tzv. rozšířenou nejistotu $\Delta_A \bar{x} = k \cdot \sigma(\bar{x})$. Koeficient k závisí na počtu měření a určuje interval, ve kterém se na 95 % nachází hodnota aritmetického průměru. Pro počet měření 5 vzorků je koeficient $k = 2,78$, což nám dává výslednou hodnotu nejistoty typu A.

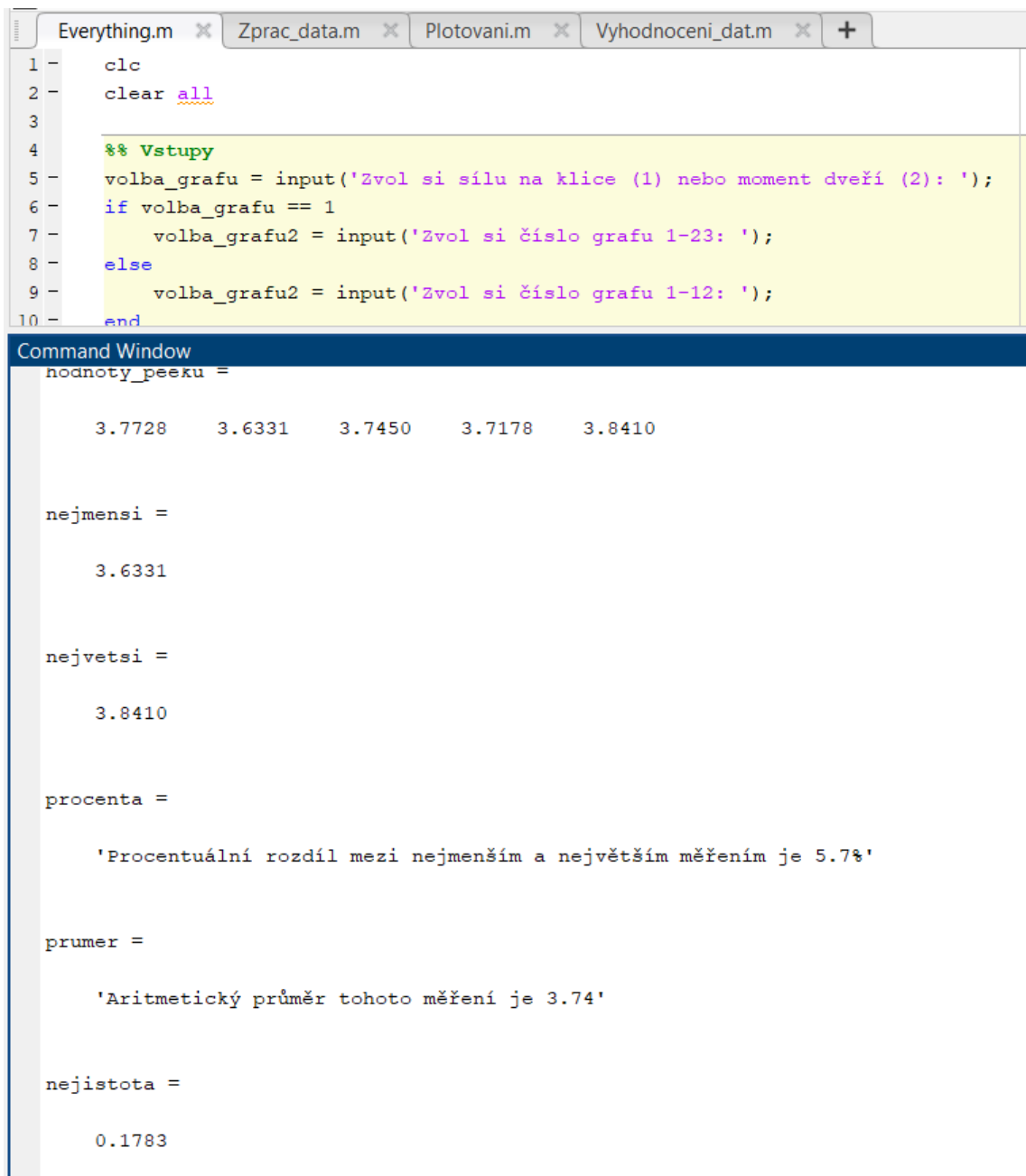
Standardní nejistota typu B se odhaduje pomocí úsudku na základě dostupných informací a zkušenosti, přičemž nejčastěji se jedná o technické parametry použitého zařízení, údaje získané při kalibraci nebo nejistoty referenčních údajů v příručkách. V tomto případě bylo z datasheetu senzoru síly zjištěna hodnota nepřesnosti 0,1 %. Pro každé maximum měření tedy byla spočtena nejistoty typu B a výsledná nejistota se pak určila jako:

$$\Delta_B x = \sqrt{(\Delta_{B1}x)^2 + (\Delta_{B2}x)^2 + \dots + (\Delta_{Bn}x)^2} \quad (3)$$

Kombinovaná hodnota byla následně vypočtena podle vztahu [29]:

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta_A x)^2 + (\Delta_B x)^2} \quad (4)$$

Uživatelský vstup a výstup je zobrazen na obrázku níže. Ukazuje možnosti, které má uživatel po zapnutí. Skript se jej zeptá, zda chce zobrazovat grafy sílu na klice, nebo moment síly k ose dveří. Dále jej nechá vybrat číslo vzorku, který skript poté zobrazí.



```
Everything.m x Zprac_data.m x Plotovani.m x Vyhodnoceni_dat.m x +
1 - clc
2 - clear all
3
4 %% Vstupy
5 - volba_grafu = input('Zvol si sílu na klice (1) nebo moment dveří (2): ');
6 - if volba_grafu == 1
7 -     volba_grafu2 = input('Zvol si číslo grafu 1-23: ');
8 - else
9 -     volba_grafu2 = input('Zvol si číslo grafu 1-12: ');
10 - end

Command Window
nodnoty_peeku =

    3.7728    3.6331    3.7450    3.7178    3.8410

nejmensi =

    3.6331

nejvetsi =

    3.8410

procenta =

    'Procentuální rozdíl mezi nejmenším a největším měřením je 5.7%'

prumer =

    'Aritmetický průměr tohoto měření je 3.74'

nejjistota =

    0.1783
```

Obrázek 5.3 - Uživatelský vstup a výstup

6. Vyhodnocení dat

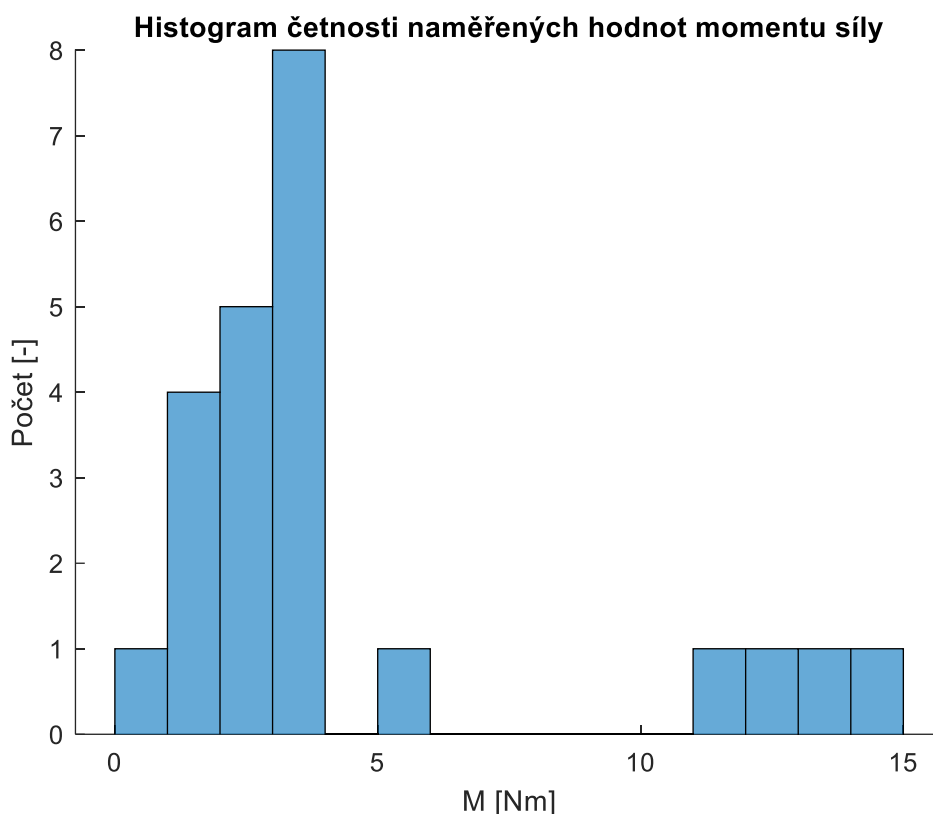
Hlavním cílem této bakalářské práce je stanovení rozsahu silových parametrů, které jsou potřeba pro otevření dveří. Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, měření bylo rozděleno na dvě části, jelikož každá část měření se zabývá odlišnými rozsahy momentu síly.

6.1. Rozsah momentu síly pro stisk kliky

Pomocí Matlab skriptu byla stanovena průměrná hodnota momentu, kterou musí být schopen aktuátor na robotické ruce robota vyvinout. Taková hodnota je rovna:

$$\bar{M}_s = (4,7104 \pm 0,4666) \text{ Nm}$$

Bohužel nebyl dohledán žádný předešlý výzkum nebo článek, který by se zabýval tímto tématem, proto není možné porovnat tyto výsledky. Lze však vidět z histogramu, který ilustruje rozložení naměřených hodnot, že tato hodnota leží nad většinou výsledků. Je to způsobeno ovlivněním průměrné hodnoty daty z panikových dveřních uzávěrů.



Obrázek 6.1 - Histogram rozložení naměřených hodnot momentu síly k ose kliky

Při rozdělení dat na dvě části a rozděleného zkoumání dat pro kliky a pro panikové dveřní uzávěry, dospěli bychom k výsledkům:

$$\bar{M}_{klika} = (2,67 \pm 0,27) \text{ Nm}$$

$$\bar{M}_{panik.uzávěr} = (12,82 \pm 1,16) \text{ Nm}$$

Tyto výsledky již odpovídají mnohem více histogramu na obr. 19. Zároveň ukazují skutečnost, že na otevření typické kliky je potřeba menší moment síly než na otevření panikového dveřního uzávěru. Tento dveřního uzávěru je používán především z důvodu své velikosti a vhodnosti právě v krizových situacích, které jsou charakteristické nedostatkem času nebo prostoru pro hledání umístění kliky na konkrétních dveřích, a tudíž je tento výsledek očekávatelný.

Celkový rozsah momentu síly, který vyplynul z měření, je poměrně široký. Za předpokladu zkoumání daných klik za opětovného rozdělení dostaneme dva rozsahy. První rozsah momentu síly pro kliku vyšel následovně:

$$M_{klika} = < 0,02 - 5,01 > \text{ Nm}$$

Je zřejmé, že spodní hodnota je velmi nízká. Jedná se o měření, které bylo provedeno na vchodových dveřích na kolejkách, které jsou relativně staré a hojně používané. Klika již v době měření byla velmi opotřebovaná, a tedy moment síly potřebný na otevření takových dveří je velmi malý. Pro další využití těchto dat je však podstatnější maximální hodnota, která je zároveň rozhodující pro volbu aktuátoru na robotické ruce.

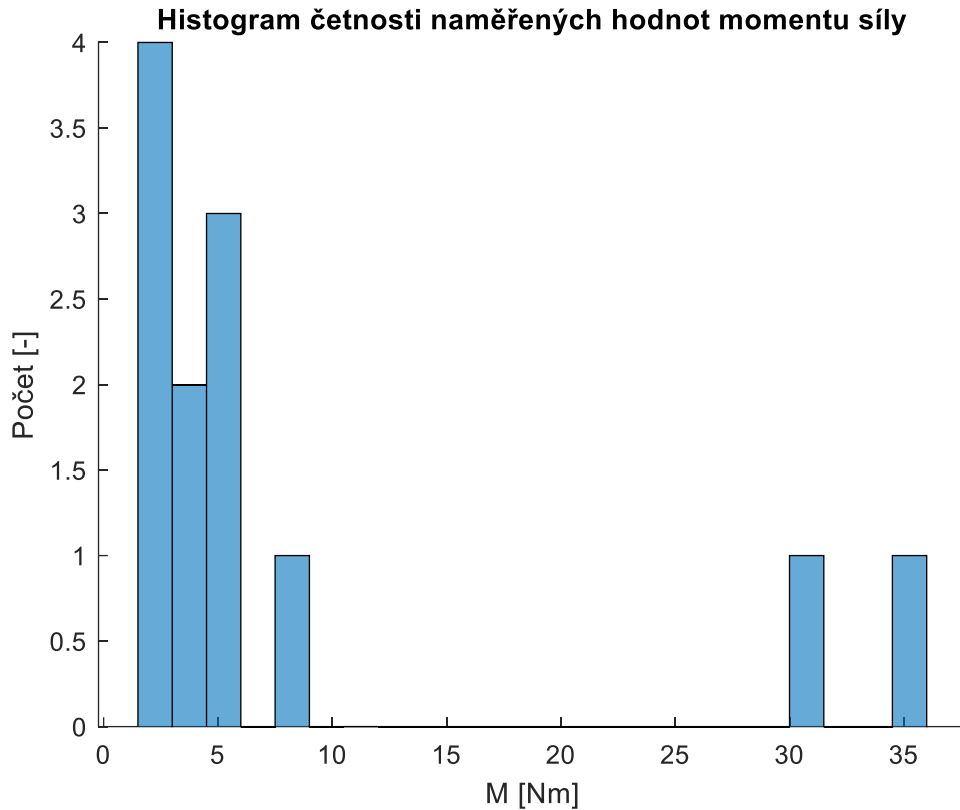
Rozsah pro otevření dveří s panikovým dveřním uzávěrem je vyšší, jak je již zřejmé z průměrné hodnoty, a to:

$$M_{panik.uzávěr} = < 11,40 - 14,10 > \text{ Nm}$$

Tyto hodnoty byly porovnány s hodnotami, které stanovuje norma ČSN EN 1225. Maximální naměřená síla $F = 57,38 \text{ N}$ se vztahuje k ramenu, na kterém bylo prováděno měření, jež je dáno průměrnou vzdáleností madla od pantů $r = 260 \text{ mm}$. Je tedy zřejmé, že maximální síla nebyla u žádných dveří překročena, a tedy byly splněny podmínky nastavené normou.

6.2. Rozsah momentu síly pro otevření dveří

Naměřené hodnoty byly zaneseny do histogramu pro grafické znázornění jejich rozložení. Z něj je zřejmé, že histogram lze rozdělit na dvě části. Toto rozčlenění jde vysvětlit namontovaným dveřním zavíračem na některých dveřích, který značně ovlivňuje výsledek měření.



Obrázek 6.2 - Histogram rozložení naměřených hodnot momentu síly k ose dveří

V levé části histogramu najdeme rozložení momentu síly, které je potřeba pro otevření dveří, které na sobě nemají namontovaný dveřní zavírač. Průměr těchto hodnot je:

$$\bar{M}_{dveře} = (3,81 \pm 0,89) \text{ Nm}$$

Pokud tuto hodnotu porovnáme s hodnotou potřebnou pro zmáčknutí kliky, vidíme podobnost mezi hodnotami navzájem. Celkový rozsah, který je důležitý pro návrh mechanismu vychází na hodnoty:

$$M_{dveře} = < 1,60 - 7,58 > \text{ Nm}$$

Maximální naměřená síla, kterou by tedy robot musel být schopen vyvinout, je, dle průměrné vzdálenosti mezi působištem (v tomto případě přibližně prostředkem kliky) a panty (tedy osou rotace dveří), rovna $F_{dveře} = 11,48 \text{ N}$.

Pokud bychom tuto hodnotu porovnali s maximální hodnotou potřebnou pro zmáčknutí kliky, která byla $F_{klika} = 57,38 \text{ N}$, je zřejmé, že pro zmáčknutí kliky je

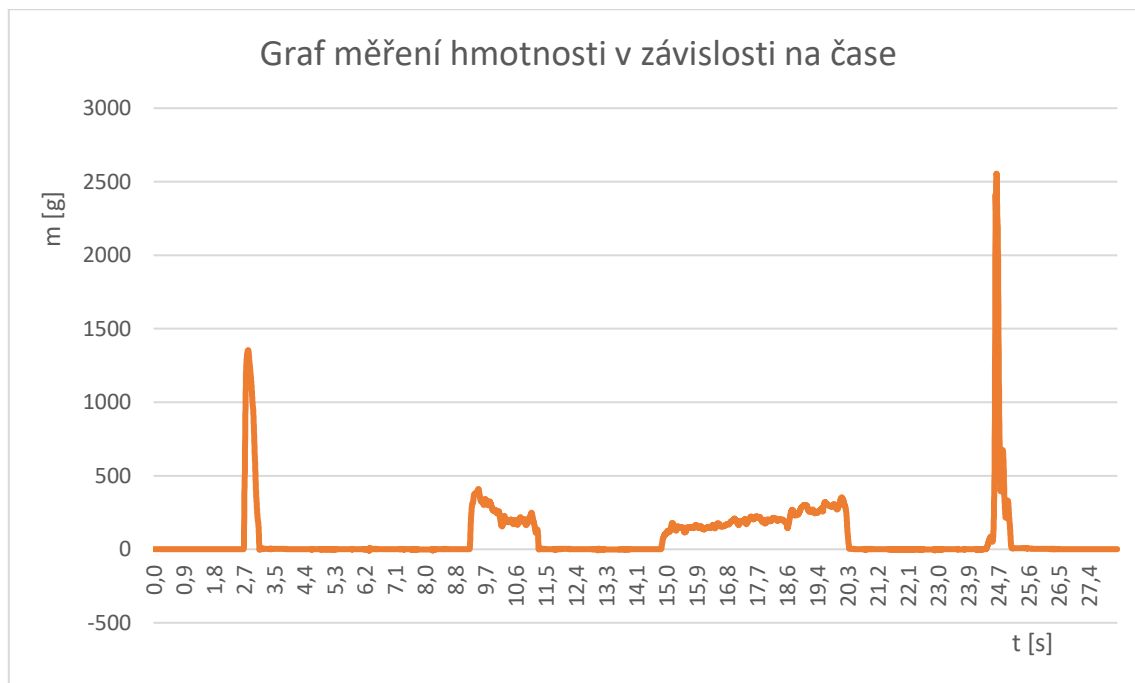
potřeba mnohem větší síla. Hodnoty momentu jsou podobné, což je však zkreslováno délkou ramene, na kterém je touto silou působeno.

Tyto výsledky lze srovnat se závěry, které byly zveřejněny ve článku *Design of the force measuring system for the hinged door: analysis of the required operating torque*. Daný článek se zabýval měřením momentu síly, jehož je třeba dosáhnout člověkem na invalidním vozíku pro úspěšné otevření dveří. Článek zkoumal dveře o třech různých hmotnostech (15 kg, 30 kg a 45 kg) při otevření různou rychlostí. Rozsah momentu síly k ose, který plyne z článku je $M_o = < 1,84 - 7,76 > \text{Nm}$. Tento rozsah téměř přesně odpovídá rozsahu, který byl zjištěn v této práci. [30]

V pravé části histogramu poté nalezneme dva vzorky, které odpovídají dveřím s dveřním samozavíračem. Potřebný moment je mnohem větší než u dveří, které dveřní samozavírač nemají. To je předpokládaný stav, který byl odvozen díky znalosti mechanismu dveřního samozavírače. V tomto případě se rozsah nachází momentu síly mezi těmito hodnotami:

$$M_{o_{\text{samozavírač}}} = < 31,01 - 35,20 > \text{Nm}$$

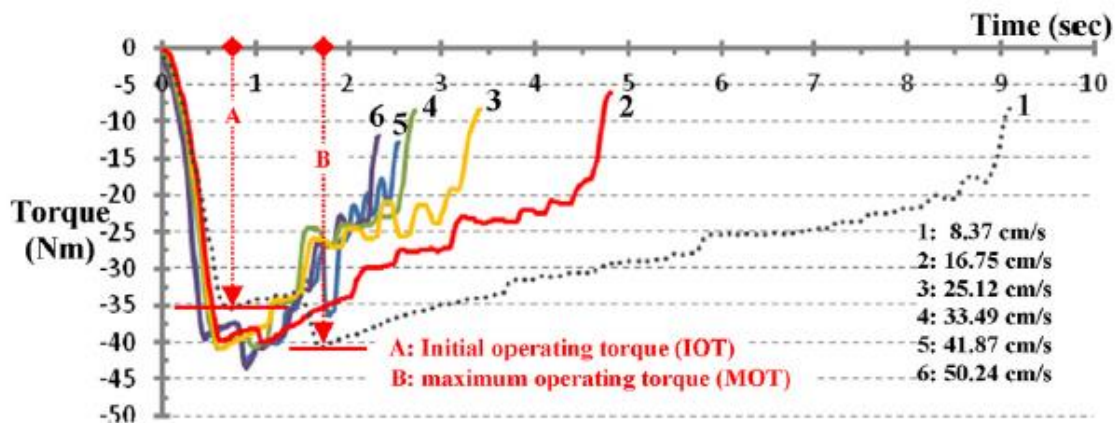
Dělat aritmetický průměr ze dvou hodnot není vhodné, proto jeho hodnota není uvedena. Avšak k měření momentu k ose dveří je nutno zmínit ještě jednu podstatnou věc. V některých měřeních odchylka mezi měřeními na jednom vzorku dveří výrazně přesáhla hodnotu 20 %. Je to způsobeno nerovnoměrným zatížením, respektive rychlostí zatížení snímače. Kvůli prokázání jevu, že rychlost působení může ovlivnit hodnoty, bylo provedeno kontrolní měření, které lze vidět v grafu níže.



Obrázek 6.3 - Graf závislosti hmotnosti na době, po kterou je vyvíjen tlak na snímač

Z grafu je patrné, že rychlost působení silou na snímač síly značně ovlivňuje naměřené hodnoty. Z tohoto důvodu byly hodnoty u měření momentu síly k ose dveří brány jako správné, ač byla odchylka větší než zmiňovaných 20 %.

Pokud bychom data porovnali s již výše zmíněným článkem, tak se rozsah uvedený v této práci nachází uvnitř rozsahu, který obsahuje článek a to konkrétně $M_{o_{samozavírač}} = \langle 18,16 - 43,68 \rangle$ Nm. Dále ve článku najdeme také srovnání hodnot momentů pro různé rychlosti, což potvrzuje zmíněnou závislost velikosti momentu síly k ose dveří na rychlosti otevření dveří, respektive rychlosti působení na snímač síly.



Obrázek 6.4 - Měření momentu síly k ose pro dveře se zavíračem určeným pro těžké dveře [30]

7. Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo zjistit, jaký je rozsah momentu síly, který musí robotická ruka vyvinout pro otevření dveří. Pro volbu správného typu robotické ruky jsou zásadní především maximální hodnota pro jednotlivé typy klik. První důležitou hodnotou je $M_o = 5,01$ Nm jakožto hodnota momentu síly pro zmáčknutí kliky. Tato hodnota je pro dveře osazené klasickou nejčastěji používanou klikou. Druhá hodnota je $M_o = 14,1$ Nm, což je hodnota, která byla naměřena u dveří osazených panikovým dveřním uzávěrem. Třetí hodnotou je $M_o = 7,58$ Nm, což odpovídá dveřím bez dveřního táhla, což je častější z variant. Poslední hodnota je $M_o = 35,2$ Nm pro otevření dveří jako celku, které byly osazeny dveřním samozavíračem. Tato hodnota však může být nepatrně vyšší ale i nižší, jelikož jsou dveřní samozavírače zařízení s nastavitelným zatížením.

Aby bylo dosaženo zmíněného hlavního cíle, bylo potřeba navrhnout zařízení, které bude umožňovat měřit tyto hodnoty. Takové zařízení je složeno z několika částí, přičemž kreativní částí v této práci je návrh úchytu. U něj byl požadavek především na univerzálnost pro různé typy klik. Na úchytu musel být rovněž umístěn snímač síly, který měří samotnou požadovanou veličinu. Úchyt splňující vyslovené požadavky byl navržen v programu SolidWorks a následně vytisknut na 3D tiskárně. Úchyt byl otestován pro měření požadovaných veličin a ukázal se jako funkční. Tento cíl mé bakalářské práce byl tedy splněn.

Pro statické vyhodnocení dat, které bylo dalším z cílů této práce, byl vypracován skript v programu Matlab. Ten obsahuje roztřídění dat ze složky, do které data ukládá měřící řetězec. Roztříděná data dále zpracuje a uživateli vykreslí výsledky v číselné podobě i ve formě grafů. Skript je tvořen několika funkcemi, které provádějí dílčí části zpracování dat. Tento cíl byl tedy také splněn.

Navázat na tuto práci je možné rozšířením vzorku měřených dveří, avšak pro rámcovou představu o silách a momentech, které jsou požadovány pro většinu běžných dveří, jsou naměřené hodnoty vypovídající. Dále by se na práci mohlo dát navázat samotným testováním zařízení, které by dveře otvíralo. Pro výběr zařízení na otvírání dveří práce poskytuje podklad ve formě rozsahu momentu síly k ose, který musí být zařízení schopno pokrýt.

8. Bibliografie

- [1] Klikka obecně. In: *Vševěd* [online]. Netpoint s.r.o. [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://encyklopedie.vseved.cz/klika+obecn%c4%9b>
- [2] Štítkové kování Südmetall Bremen. In: *Luxusní kování* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.luxusnikovani.cz/stitkove-kovani-sudmetall-bremen-klika-klika-sirka-30-mm>
- [3] *Dveřní zámek*. 1999. Česká republika. CZ 3699-98 A3. Uděleno 03.05.1997. Zapsáno 12.05.1999.
- [4] Jak vybrat zadlabací dveřní zámek?: Co je to zadlabací dveřní zámek?. In: *NOVELO Brno* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.novelobrno.cz/odborne-clanky/jak-vybrat-zadlabaci-dverni-zamek.htm>
- [5] 8 Most Common Types of Household Door Locks. In: *Tony's Locksmith* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.tonyslocksmith.com/blog/8-most-common-types-of-household-door-locks/>
- [6] Typy zámků pro dveře. In: *Erkado: Výrobce dveří a zárubní* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://dvere-erkado.cz/blog/typy-zamku>
- [7] Jak vybrat zadlabací zámek: Rozdělení zadlabacích zámků. In: *Kování-Kličky* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.kovani-kličky.cz/uzitecne-rady/jak-vybrat-zadlabaci-zamek/>
- [8] ČSN EN 1125. *Stavební kování - Panikové dveřní uzávěry ovládané horizontálním madlem pro používání na únikových cestách - Požadavky a zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2008, 52 s. 16 6236.
- [9] ČSN EN 179. *Stavební kování - Nouzové dveřní uzávěry ovládané klikou nebo zařízením s tlačnou plochou pro používání na únikových cestách - Požadavky a zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2008, 52 s. 16 6237.
- [10] Dveřní zavírač. In: *Hs-kování* [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.hs-kovani.cz/dverni-zavirac-richter-rz-903/>
- [11] ČSN EN 1154. *Stavební kování - Zavírače dveří s řízený průběhem zavírání - Požadavky a zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 1998, 24 s. 16 6232.
- [12] Door closer components. In: *Door Closers USA* [online]. [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.doorclosersusa.com/How-To-Fix-A-Leaking-Door-Closer-s/34430.htm>
- [13] Hydraulic door closers or pneumatic door closers ?. In: *IdealHardware* [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://idealhardware.com.au/hydraulic-door-closers-or-pneumatic-door-closers/>
- [14] Zavírač dveří BRANO K204/12. In: *Atypklič: Josef Houdek* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://atypklic.cz/zavirace-dveri-brano/181-zavirac-dveri-brano-k204-12.html>

- [15] RUBENOFF, Tom. Door Closer Basics: Everything You Need to Know. *Dengarden* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://dengarden.com/home-improvement/Door-Closer-Basics#gid=ci02bde1ce700026c2&pid=door-closer-basics-MTc0MzM3NTY0ODUyMTY4MzI2>
- [16] Dveřní zavírač integr. BOXER. In: *Schachermayer* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://webshop.schachermayer.com/cat/cs-CZ/product/dverni-zavirac-integr-boxer-en-2-4-standard-stibr/102282135>
- [17] MIHAI ȘTEFĂNESCU, Dan a Mirela ADELAI DA ANGHEL. Electrical methods for force measurement – A brief survey. *Measurement*. 2012, **46**(2), 46. Dostupné z: doi:0263-2241
- [18] Scale Types. In: *International Society of Antique Scale Collectors* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.isasc.org/Tutorial/Scale-Types.html>
- [19] Principy snímačů síly. In: *Učebna mechatroniky: Didaktické materiály pro studenty Střední průmyslové školy Resslova 5 v Ústí nad Labem* [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: https://ucebnaaut.wz.cz/wp-content/uploads/2017/12/c_7_principy_snimacu_sily.pdf
- [20] DOLGA, Lia a Valer DOLGA. The tensometric force sensor: Design, evaluation and optimal selection. *Annals of DAAAM & Proceedings*. Vídeň: DAAAM International Vienna, 2008. ISSN 1726-9679.
- [21] HBM MX840B amplifier. In: *Alibaba* [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: https://sidph.en.alibaba.com/product/60834500418-805738672/HBM_MX840B_amplifier.html
- [22] PW4F-2 / PW4FC3 Data Sheet: Single point load cells. In: *Biuro Inżynierskie Maciej Zajczkowski* [online]. s. 2 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <http://www.wzmacniacze-pomiarowe.pl/arch/b1068.pdf>
- [23] KELECHAVA, Brad. ANSI C12.20-2015 – Electricity Meters: 0.1, 0.2, and 0.5 Accuracy Classes. In: *ANSI - American National Standards Institute* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://blog.ansi.org/ansi-c12-20-2015-electric-meters-accuracy-classes/#gref>
- [24] Tenzometrické snímače zatížení: Single point. In: *MANAT s.r.o.* [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.manat.cz/kategorie-produktu/tenzometricke-snimace-zatizeni/single-point/>
- [25] Princip činnosti snímačů. In: *VÁHY ROBIN s.r.o.* [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: https://www.tenzometricke-snimace.cz/Princip-cinnosti-snimacu-c11_0_1.htm
- [26] *HBK: Hottinger Brüel & Kjær* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.hbkworld.com/en#!ref_www.hbm.com
- [27] Door handles or door knobs?: Which one you should choose and why?. In: *Luxterior* [online]. [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://luxterior.com.au/door-handles-vs-door-knobs/>
- [28] Data acquisition. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA):

- Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Data_acquisition
- [29] *Zápis číselných hodnot a nejistoty měření*. Dostupné také z: <http://physics.fme.vutbr.cz/~mcerny/BF/labiny/nejistoty.pdf>. Návod pro laboratoře předmětu BF na VUT FSI.
- [30] WANG, Shih-Bin a Chih-Fu WU. Design of the force measuring system for the hinged door: Analysis of the required operating torque. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2015, (49), 10. ISSN 0169-8141. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.05.010>.
- [31] Anti-panic cross bar set mortice lock. In: *AXA Home Security* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.axasecurity.com/home-security/en-gb/products/anti-panic-or-emergency-openers/115/7BR379DNSE/anti-panic-cross-bar-set-mortice-lock>

9. Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 2.1 - Dveřní klika a dveřní kování [2]	7
Obrázek 2.2 - Mechanismus dveřního zámku [4]	8
Obrázek 2.3 - zleva západkový zámek, vložkový zámek, koupelnový zámek [7] (upraveno)	9
Obrázek 2.4 - Uvolňovací síly panikových dveřních uzávěrů dle normy ČSN EN 1125 [8]	10
Obrázek 2.5 - Tlačné madlo [10]	11
Obrázek 2.6 - Dotykové madlo [9]	11
Obrázek 2.7 - Dveřní zavírač s aretačním rámečkem [10]	12
Obrázek 2.8 - Mechanismus dveřního zavírače a jeho částí [12]	13
Obrázek 2.9 - Hydraulický dveřní zavírač [14]	13
Obrázek 2.10 - Integrovaný dveřní zavírač [16]	14
Obrázek 3.1 - Pružinový siloměr	16
Obrázek 3.2 - Náčrt modelu úchyty	17
Obrázek 3.3 - První model úchyty na kliku umístěný na klice	17
Obrázek 3.4 - Druhý model úchyty na kliku umístěný na klice	18
Obrázek 3.5 - Třetí model úchyty na kliku umístěný na klice	18
Obrázek 3.6 - Řez třetím modelem úchyty pro znázornění zhloubení	19
Obrázek 3.7 - Měřicí ústředna HBM QuantumX [21]	19
Obrázek 3.8 - Tenzometrický single point tlakový senzor PW4F-2 [22]	20
Obrázek 3.9 - Celkové zapojení měřícího řetězce	21
Obrázek 3.10 - Detail úchyty na klice	21
Obrázek 4.1 - Měření starých vchodových dveří	22
Obrázek 4.2 - Měření dveří školního únikového východu osazeného panikovým uzávěrem	22
Obrázek 5.1 - Graf měření momentu síly k ose kliky, vzorek č.13	26
Obrázek 5.2 - Graf měření momentu síly k ose dveří, vzorek č.8	26
Obrázek 5.3 - Uživatelský vstup a výstup	28
Obrázek 6.1 - Histogram rozložení naměřených hodnot momentu síly k ose kliky	29
Obrázek 6.2 - Histogram rozložení naměřených hodnot momentu síly k ose dveří	31
Obrázek 6.3 - Graf závislosti hmotnosti na době, po kterou je vyvíjen tlak na snímač .	32
Obrázek 6.4 - Měření momentu síly k ose pro dveře se zavíračem určeným pro těžké dveře [30]	33
Tabulka 1 - Počty jednotlivých měření	23

10. Seznam použitých zkratek a symbolů

SD15	Standart Density 15
\bar{x}	průměrná hodnota
n	počet vzorků
σ	směrodatná odchylka
F	síla
M	moment síly

11. Seznam příloh

Inicializace.m	Skript, který má uživatelské vstupy a spouští funkce pro výpočet
Zprac_data.m	Funkce, jež zajišťuje zpřístupnění dat dalším funkcím
Plotovani.m	Funkce, jež zajišťuje výpočty a vykreslení grafů
Vyhodnoceni_dat.m	Funkce, jež zajišťuje uživatelské výstupy