

ČVUT v Praze

Software

**SW uživatelského rozhraní příložného PID generátoru
zpětného rázu pro osobní palné zbraně**

TJ04000176-V3

Autor:

Ing. Hourová Michaela

Ing. Hejda Jan Ph.D.

Ing. Karavaev Aleksei

Ing. Král Pavel

Ing. Leová Lýdie

doc. Ing. Kutílek Patrik, Ph.D.

Ing. Čubanová Slávka

Ing. Příhoda Aleš

bc. Hýbl Ján

Číslo projektu TJ04000176

Identifikační číslo výsledku: TJ04000176-V3

Typ výsledku: R - software

Projekt „Simulace reálných silových účinků na střeleckém trenažéru a vliv na přesnost střelby“ č. TJ04000176 je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu ZÉTA 4.“

Odpovědný pracovník: Ing. Michaela Hourová, (ČVUT v Praze)

PRAHA 04/2022

Jazyk výsledku: CZE

Hlavní obor: JB - Senzory, čidla, měření a regulace

Uplatněn: ANO

Název výsledku česky: SW uživatelského rozhraní příložného PID generátoru zpětného rázu pro osobní palné zbraně

Název výsledku anglicky: SW of the user interface of the attached PID recoil generator for personal firearms

Abstrakt k výsledku česky:

Software který prostřednictvím příložného PID generátoru zpětného rázu pro osobní palné zbraně umožňuje měřit charakteristiky palné zbraně, střelce při střelbě a simulovat pohyb makety zbraně během výstřelu. Software umožňuje záznam zpětného rázu a generování zpětného rázu. Zařízení nabízí on-line a off-line datové vstupy a výstupy umožňující hodnocení vlivu zpětného rázu na střelbu v reálném čase i retrospektivně ze záznamu. Software umožňuje metodami pohybové analýzy hodnotit chování střelce a zbraně během výstřelu. Software umožňuje měření a zpracování pohybových dat během střelby z reálné zbraně i z makety zbraně, a to se zapnutým zpětným rázem i střelby bez zpětného rázu.

Abstrakt k výsledku anglicky:

Software that allows you to measure the characteristics of the firearm, the shooter during the shooting and simulate the movement of the model of the weapon during the shot, using the attached PID recoil generator for personal firearms. The software allows you to record kickback and generate kickback. The device offers on-line and off-line data inputs and outputs enabling the evaluation of the effect of recoil on shooting in real time and retrospectively from the recording. The software allows motion analysis methods to evaluate the behavior of the shooter and the weapon during the shot. The software enables measurement and processing of movement data during shooting from a real weapon as well as from a weapon model, both with recoil on and shooting without recoil.

Klíčová slova česky: střelba, zpětný ráz, pohyb, ruční zbraň

Klíčová slova anglicky: fire, recoil, movement, firearm

Vlastník výsledku: České vysoké učení technické v Praze (IČO 68407700) - 100%

Lokalizace: České vysoké učení technické v Praze

Licence: Ano

Licenční poplatek: Ne

Ekonomické parametry:

Trh obsahuje pouze software záznamu základních charakteristik pohybu zbraně a střela během střelby, ale neumožňují monitoring pohybových a silových dat a jejich zpracování a využití k simulaci střelby ze skutečné zbraně. Realizace se zaměřuje na software optimalizovaný pro měření charakteristik skutečné střelby a simulaci střelby z makety zbraně. Tímto umožňuje začátečníkům výcviku střelby získat povědomí o střelbě ze skutečných zbraní a hodnotit chování střelce během střelby. Software nabízí záznam chování zbraně/makety zbraně a střelce v reálném čase a datové vstupy a výstupy umožňuje určit a hodnotit charakteristiky chování zbraně a střelce. Obdobný software není na trhu dostupný. Ekonomické přínosy vyplývají z možnosti nejen simulace střelby, ale především měření pohybového chování zbraně a střelce, což vede zkrácení či optimalizaci výcviku střelby, a tímto zvýšení bezpečnosti střelby.

Kategorie nákladů: výše nákladů \leq 4 mil. Kč.

OBSAH

1. SOFTWARE ZÁZNAMU A REGULACE ZPĚTNÉHO RÁZU	7
1.1. REŽIM PRO ZÁZNAM DAT	9
1.2. REŽIM LADĚNÍ ZPĚTNÉHO RÁZU	11
1.3. REŽIM PRO PŘÍMÉ ŘÍZENÍ	13
1.4. NASTAVENÍ APLIKACE	14
2. SOFTWARE ZPRACOVÁNÍ DAT ZPĚTNÉHO RÁZU	16
2.1. VSTUPNÍ DATA	16
2.2. UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ APLIKACE	17
2.2.1. IMPORT DAT	18
2.2.2. VÝSTUPNÍ KONZOLE PRO UŽIVATELE	19
3. SOFTWARE ZPRACOVÁNÍ DAT POSTURÁLNÍ STABILITY A POHYBU	21
3.1. VSTUPNÍ DATA	21
3.2. PARAMETRY HODNOCENÍ POHYBOVÝCH AKTIVIT	22
3.3. UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ APLIKACE	25
3.3.1. IMPORT DAT	27
3.3.2. EXPORT DAT	27
3.3.3. ZPRACOVÁNÍ DAT	28
3.3.4. REPREZENTACE DAT	29
3.3.5. VÝSTUPNÍ KONZOLE PRO UŽIVATELE	29
ZDROJE	32

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1. Principiální schéma navrhnutého PID regulátoru
- Obr. 2. Hlavní okno aplikace SiReFo-Control, které se vykreslí po spuštění aplikace. Data se vykreslí do grafů po ukončení ladění zpětného rázu nebo po ukončení nahrávání.
- Obr. 3. Stavové okno aplikace SiReFo-Control, bez připojených zařízení.
- Obr. 4. Stavové okno aplikace SiReFo-Control, s potvrzeným zaškrťovacím polem potvrzující připojení senzorů Akcelerometr1 a Akcelerometr2.
- Obr. 5. Stavové okno aplikace SiReFo-Control, s aktivním Stop tlačítkem, které umožňuje zastavit nahrávání dat ze snímačů, nebo ladění zpětného rázu.
- Obr. 6. Aplikace SiReFo-Control připravená pro záznam DAT.
- Obr. 7. Aplikace SiReFo-Control po ukončení záznamu ze senzorů měření posturální stability.
- Obr. 8. Dialogové okno aplikace SiReFo-Control pro export dat ladění zpětného rázu nebo záznamu ze senzorů.
- Obr. 9. Rámec aplikace SiReFo-Control s ovládacími prvky Ladění simulátoru vlevo v neaktivním stavu a vpravo v aktivním stavu.
- Obr. 10. Aplikace SiReFo-Control v režimu aktivovaného ladění zpětného rázu.
- Obr. 11. Detail rámce Řízení simulátoru a Ladění simulátoru Aplikace SiReFo-Control v režimu aktivovaného ladění zpětného rázu.
- Obr. 12. Aplikace SiReFo-Control po ukončení ladění zpětného rázu.
- Obr. 13. Detail rámce Řízení simulátoru Aplikace SiReFo-Control s vyplněnými editovatelnými textovými poli pro nastavení času sepnutí a vypnutí cívky A a cívky B.
- Obr. 14. Vztah časů sepnutí a rozepnutí cívek vzhledem k nastavení časových parametrů t_{00} , t_{01} , t_{10} , t_{11} .
- Obr. 15. Ukázka konfiguračního souboru config.ini.
- Obr. 16. Ukázka uživatelského rozhraní pro reprezentaci dat.
- Obr. 17. Ukázka části uživatelského rozhraní pro prezentaci dat jednoho výstřelu s grafem průběhu jednoho výstřelu, tlačítkem Výstřel pro přepínání výstřelů v grafu a text boxem pro počet nalezených výstřelů.
- Obr. 18. Tlačítka pro import dat.
- Obr. 19. Diagramy ovládání vytvořeného software.
- Obr. 20. Konzolové okno aplikace
- Obr. 21. Umístění Senzoru měření posturální stability A na těle.
- Obr. 22. Umístění Senzoru měření posturální stability B na zbrani.
- Obr. 23. Ukázka rozhraní pro reprezentaci dat.
- Obr. 24. Tlačítka pro import dat
- Obr. 25. Tlačítka pro definování cesty k souboru a export dat
- Obr. 26. Ukázka reprezentace parametrů MIN, MAX, ROZSAH, AVG, MEDIAN (vlevo), což jsou statistické parametry pro zrychlení a úhlové zrychlení a Natočení (vpravo) pro konfidenční elipsu pracující s daty zrychlení.

Obr. 27. Ukázka automaticky vytvořených oken grafů během analýz

Obr. 28. Diagramy výstupů do konzole.

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Popis konfiguračních parametrů v konfiguračním souboru config.ini.

Tab. 2. Pořadí importovaných dat pro zrychlení a úhlovou rychlost.

Tab. 3. Pořadí exportovaných dat pro sílu v počtu 5 snímačů.

Tab. 4. Uživatelské výstupy do výstupní konzole.

Tab. 5. Pořadí exportovaných dat.

Tab. 6. Použité parametry pro reprezentaci posturální stability.

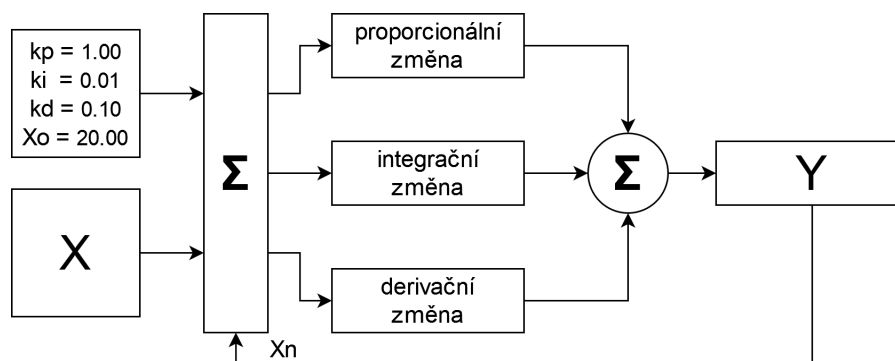
Tab. 7. Formát exportovaných dat.

Tab. 8. Uživatelské výstupy do výstupní konzole.

1. SOFTWARE ZÁZNAMU A REGULACE ZPĚTNÉHO RÁZU

Pro práci s Generátorem pro tvorbu zpětného rázu a záznamu dat ze Senzorů posturální stability a Podsystemu pro měření zpětného rázu byla navržena a implementována aplikace SiReFo-Control. Aplikace umožňuje záznam ze dvou gyro-akcelerometrických senzorů a pěti tenzometrických siloměrných čidel. GI Aplikace SiReFo-Control je v Obr. 2.

Aplikace pracuje s PID regulátorem nastavující napájení a ukončení napájení každé ze dvou cívek A, B které jsou součástí příložného zařízení generátoru zpětného rázu. Princip navrhnutého řešení je v automatickém regulování regulované veličiny, kterou je aktuální hodnota velikosti zpětného rázu regulovaná Řídící jednotkou generátoru zpětného rázu do podoby referenční veličiny, kterou je naměřená hodnota velikosti zpětného rázu reálné střelné zbraně. Odchylka regulované a referenční veličiny je dána rozdílem skalární hodnoty definující plochu pod křivkou celkového zrychlení během střelby.



Obr. 1. Principiální schéma navrhnutého PID regulátoru

PID regulátor je nastaven konstantami pro jednotlivé složky:

- proporcionální: $K_p = 1$
- integrační: $K_i = 0.01$
- derivační: $K_d = 0.1$

Regulace pomocí PID je možná dvěma způsoby:

1. automatickou střelbou, kdy je Generátor zpětného rázu umístěn v Zařízení pro měření zpětného rázu
 - pro tento typ regulace je využito rámce Ladění simulátoru (Obr. 6.)
 - uživatel může zadat, zdali se bude ladit levá, pravá či obě cívky (Obr. 6.)
 - pro zahájení automatické střelby uživatel stiskne tlačítko Spustit ladění (Obr. 6.)
2. na základě střelby uživatelem
 - pro tento typ regulace je využito rámce Řízení simulátoru (Obr. 9.)

Aplikace je implementována v interpretačním jazyce Python a je dostupná ve dvou variantách. První způsob sdílení kódu je pomocí repozitáře na platformě gitHub. Kód je v privátním repozitáři ke kterému uživatel po zakoupení licence získá přístup pomocí:

GitHub CLI: `gh repo clone biomechlab-cz/SiReFoFire-Control`

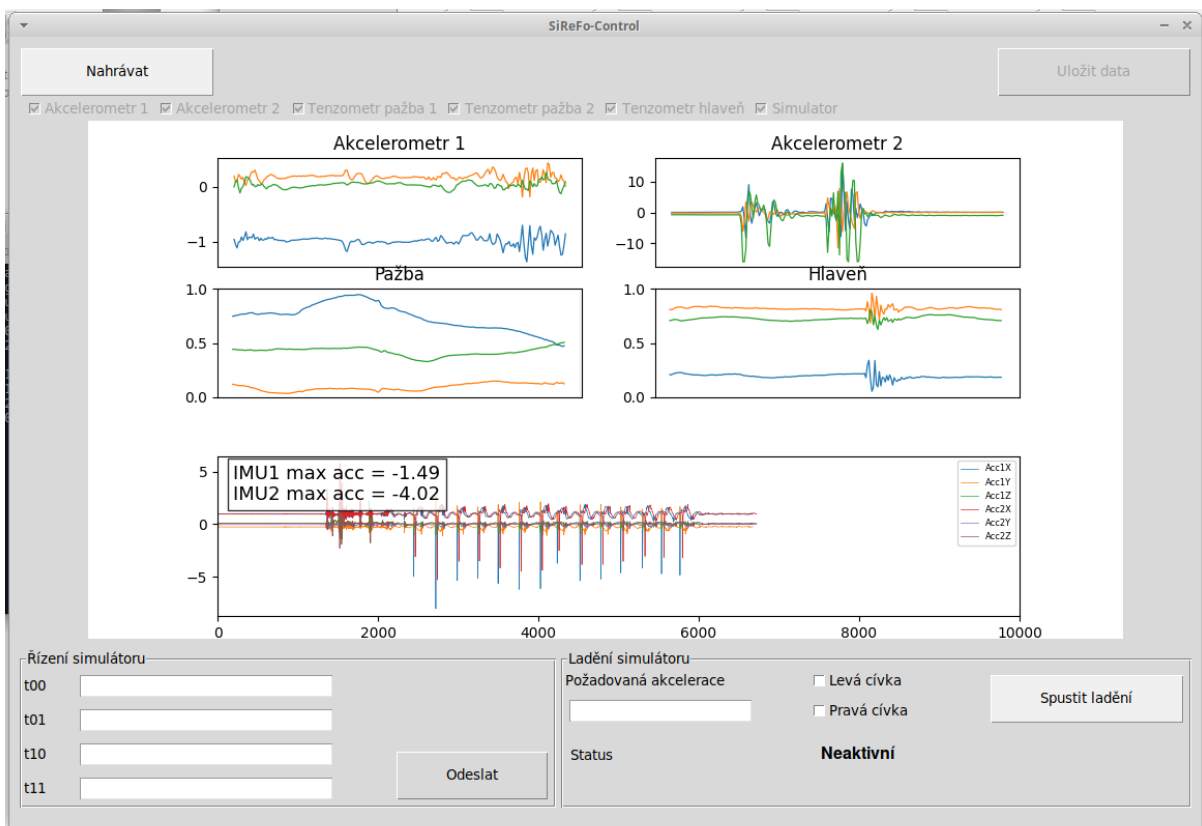
SSH: `git@github.com:biomechlab-cz/SiReFoFire-Control.git`

HTTPS: <https://github.com/biomechlab-cz/SiReFoFire-Control.git>

Druhý způsob je pomocí komprimovaného balíčku repozitáře, který slouží i jako záloha aplikace nainstalované v PC. Přímý přístup do repozitáře má výhodu v dostupnosti posledních aktualizací a zákaznické podpory pomocí rozhraní GitHub.

Aplikace se spouští pomocí konzolového příkazu `python3 run.py` z domovského adresáře aplikace `SiReFoFire-Control-main`. Pro otevření konzolového příkazu je zapotřebí kliknout pravým tlačítkem na ikonku `run.py`, a následně na `Open terminal here`. Pokud je v OS nastaveno spouštění souborů typu `.py` jako spustitelný typ souborů, bude stačit poklepání na ikonu aplikace s názvem `run.py`. Aplikace je testována v OS s linuxovým jádrem 5.13 a na Windows 10.

Pro správný chod aplikace musí PC splňovat minimální strojové požadavky uvedené v kap. 1.3 CHARAKTERISTIKY POUŽITÉHO PC dokumentu Prototyp příložného PID generátoru zpětného rázu pro osobní palné zbraně.

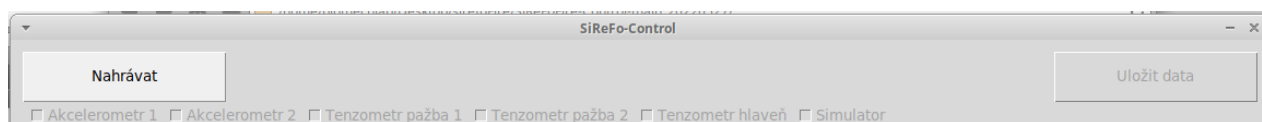


Obr. 2. Hlavní okno aplikace SiReFo-Control, které se vykreslí po spuštění aplikace. Data se vykreslí do grafů po ukončení ladění zpětného rázu nebo po ukončení nahrávání.

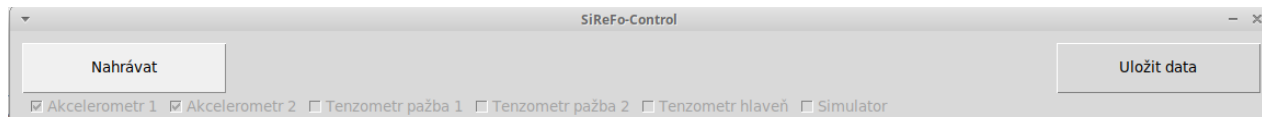
Hlavní okno aplikace, které se vykreslí po spuštění aplikace, je v Obr. 2. Po spuštění aplikace budou grafy a všechna editovatelná textová pole prázdná. V aplikaci je možné používat ve 3 režimech. Režim pro záznam dat, režim pro ladění zpětného rázu a režim pro ovládání jednotlivých výstřelů.

1.1. REŽIM PRO ZÁZNAM DAT

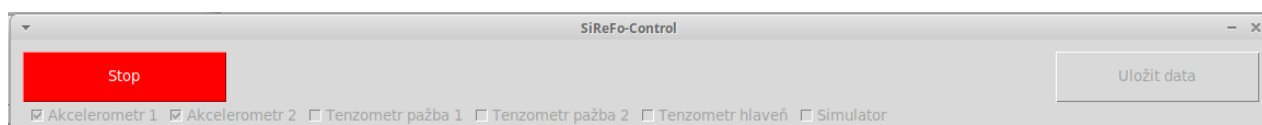
Režim je využíván pro zaznamenávání dat ze senzorů např. při použití Režimu pro přímé řízení nebo při záznamu dat při střelbě skutečnou zbraní. Záznam dat se spouští tlačítkem Nahrávat (Obr. 3) a ukládání nahraných dat tlačítkem Uložit data (Obr. 4). Probíhající záznam je možné předčasně ukončit pomocí tlačítka Stop (Obr. 5.). Ukázka rozhraní aplikace během nahrávání dat je v Obr. 6. a po ukončení nahrávání v Obr. 7. Dialogové okno pro export nahraných dat je v Obr. 8. Stejný export je využit i při ukládání výsledků ladění zpětného rázu. Záznam dat je proveden o max. délce 10 sec a jsou zaznamenána data ze všech připojených senzorů. Kvůli úspoře systémových prostředků je zobrazení aktuálních hodnot v okně aplikace v průběhu záznamu pozastaveno.



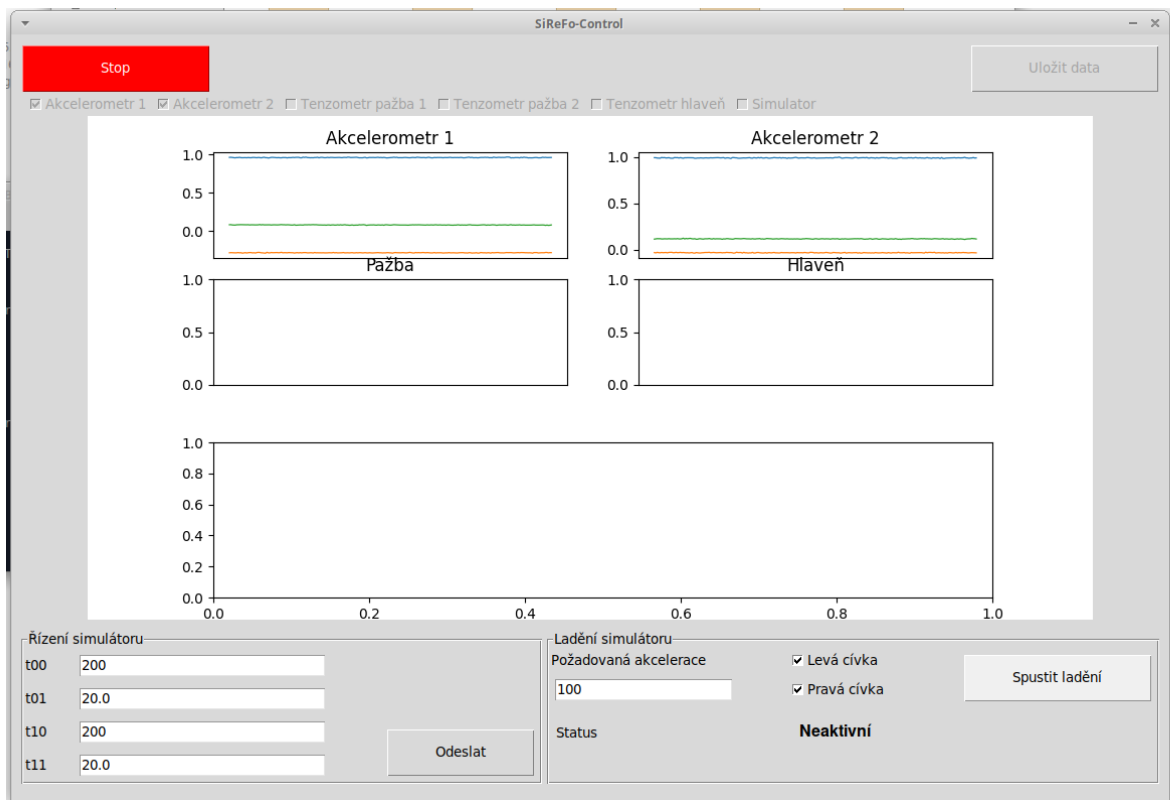
Obr. 3. Stavové okno aplikace SiReFo-Control, bez připojených zařízení.



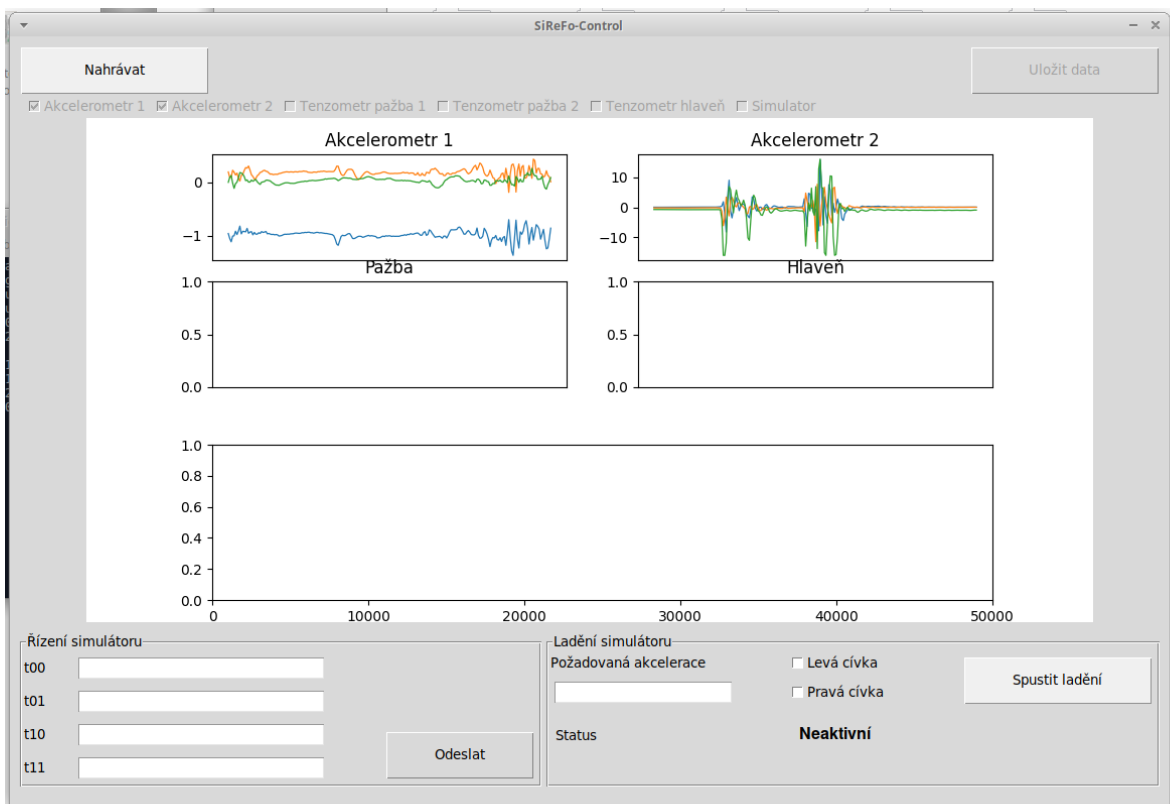
Obr. 4. Stavové okno aplikace SiReFo-Control, s potvrzeným zaškrtnutím pole potvrzující připojení senzorů Akcelerometr1 a Akcelerometr2.



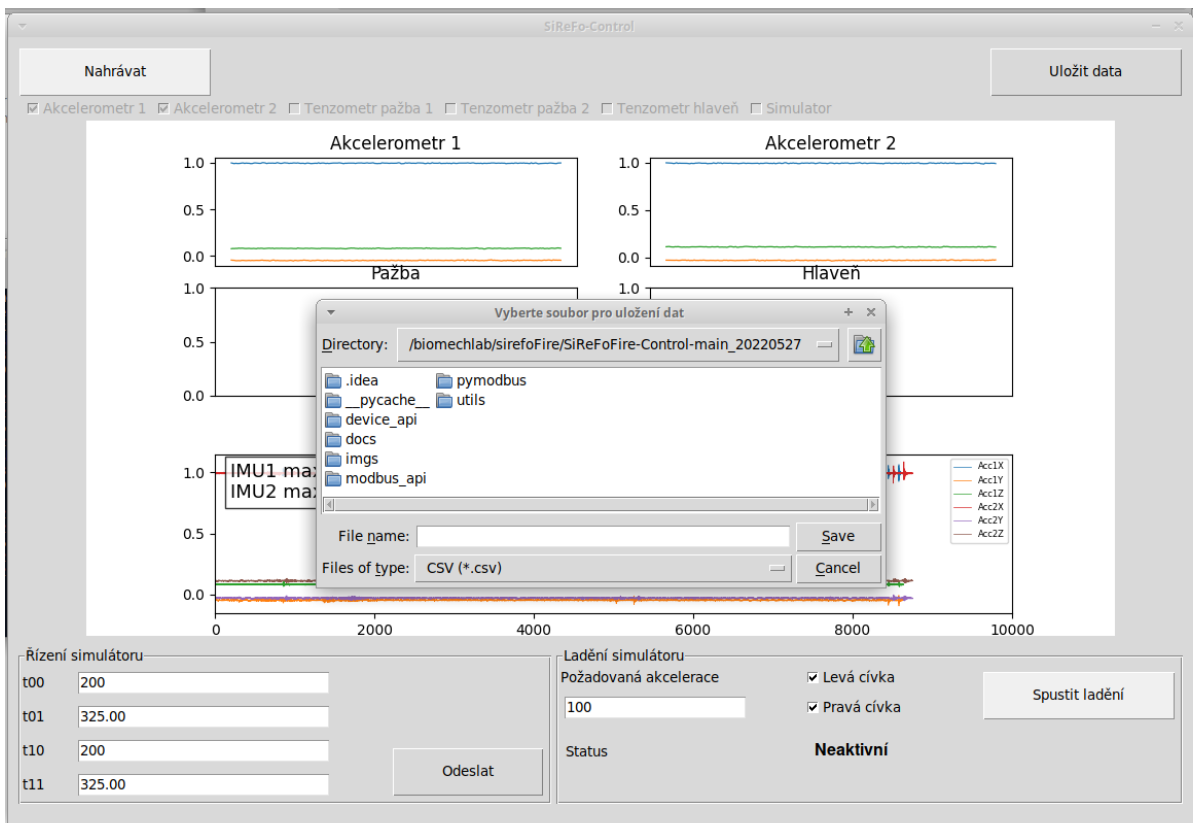
Obr. 5. Stavové okno aplikace SiReFo-Control, s aktivním Stop tlačítkem, které umožňuje zastavit nahrávání dat ze snímačů, nebo ladění zpětného rázu.



Obr. 6. Aplikace SiReFo-Control připravená pro záznam dat.



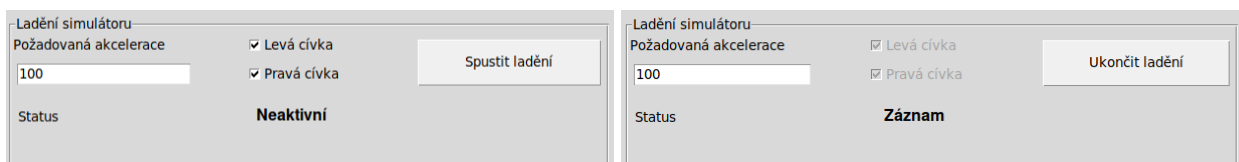
Obr. 7. Aplikace SiReFo-Control po ukončení záznamu ze senzorů měření posturální stability.



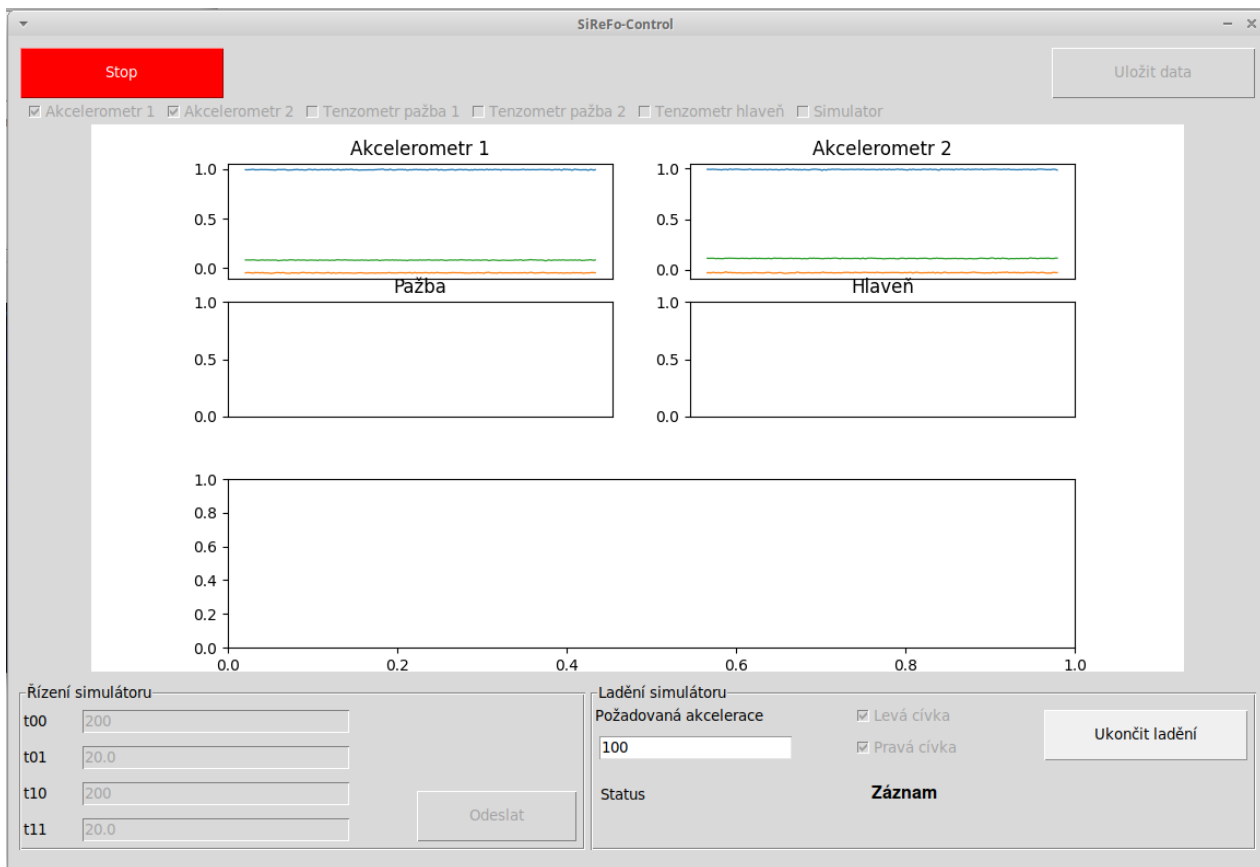
Obr. 8. Dialogové okno aplikace SiReFo-Control pro export dat ladění zpětného rázu nebo záznamu ze senzorů.

1.2. REŽIM LADĚNÍ ZPĚTNÉHO RÁZU

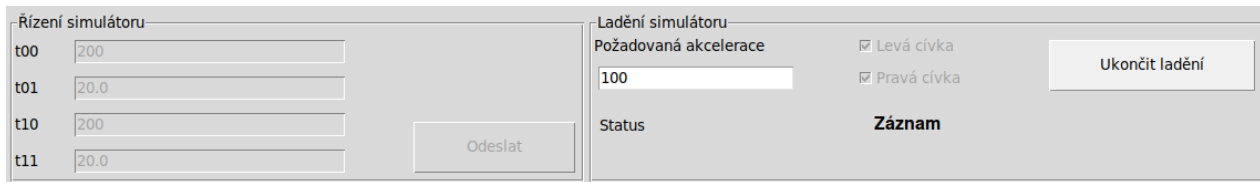
Režim ladění zpětného rázu je aktivován tlačítkem Spustit ladění v detailu v Obr. 7. v rámeček aplikace s ovládacími prvky Ladění simulátoru. V rámci Ladění simulátoru je nutné vybrat režim ladění zpětného rázu popsany v kap. ZÁKLADNÍ PRINCIP GENEROVÁNÍ ZPĚTNÉHO RÁZU v dokumentu Prototyp příložného PID generátoru zpětného rázu pro osobní palné zbraně. Políčko Status bude změněno z Neaktivní (Obr. 7. vlevo) na text Záznam (Obr. 7. vpravo) a aplikace bude sama hledat vhodné nastavení akcelerací tak, aby výsledná měřená hodnota odpovídala uživatelem nastavené hodnotě v editovatelném poli Požadovaná akcelerace. Princip hledání shody pomocí PID regulátoru byl popsán výše.



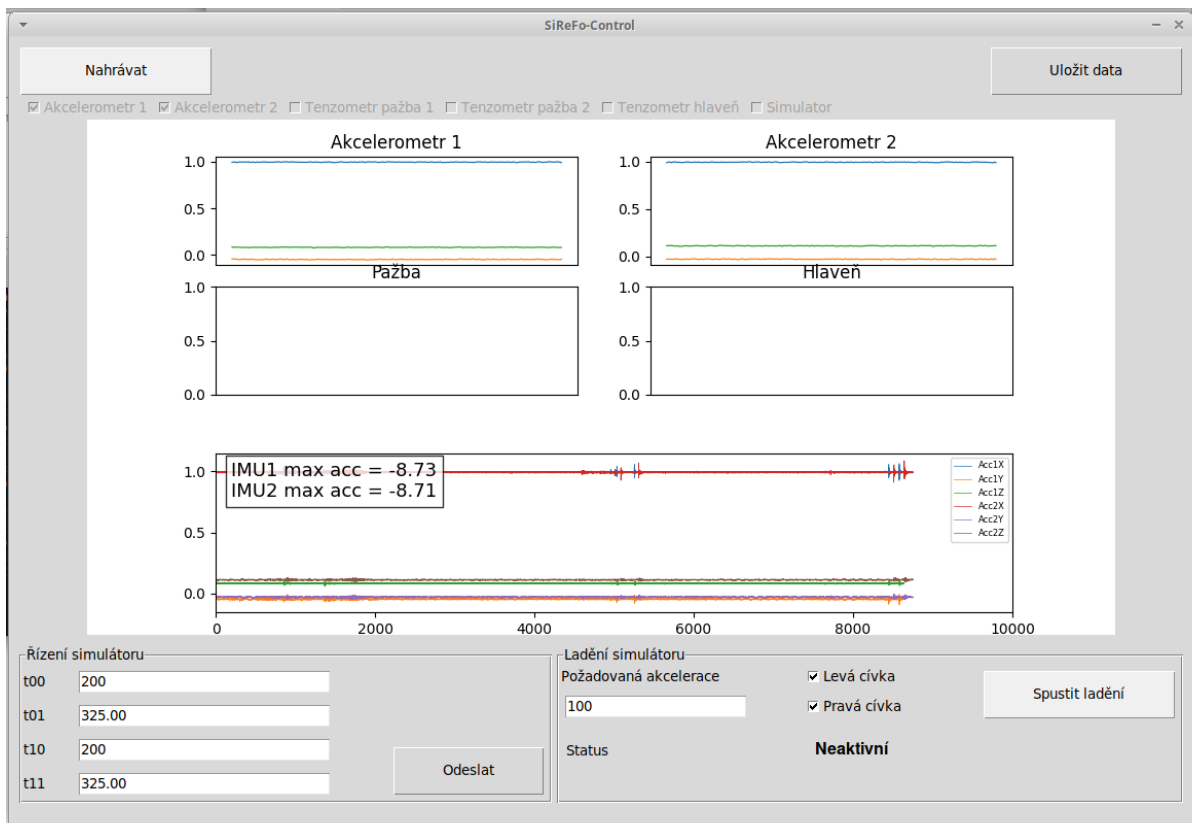
Obr. 9. Rámeček aplikace SiReFo-Control s ovládacími prvky Ladění simulátoru vlevo v neaktivním stavu a vpravo v aktivním stavu.



Obr. 10. Aplikace SiReFo-Control v režimu aktivovaného ladění zpětného rázu.



Obr. 11. Detail rámce Řízení simulátoru a Ladění simulátoru Aplikace SiReFo-Control v režimu aktivovaného ladění zpětného rázu.

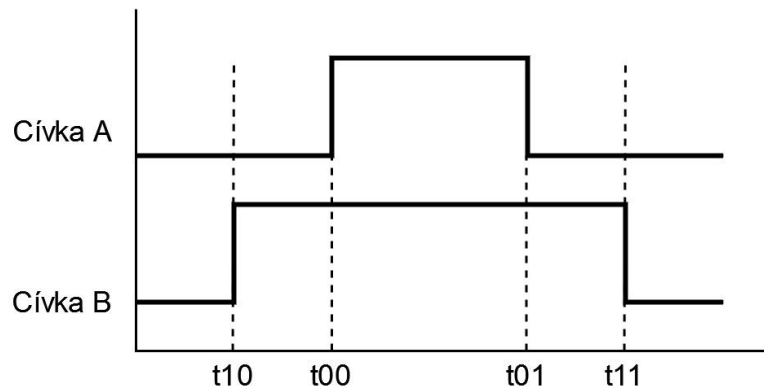


Obr. 12. Aplikace SiReFo-Control po ukončení ladění zpětného rázu.

1.3. REŽIM PRO PŘÍMÉ ŘÍZENÍ

Režim pro přímé řízení Řídicí jednotky generátoru zpětného rázu, detailně popsán v kap. 3. PODSYSTÉM PRO REGULACI ZPĚTNÉHO RÁZU v dokumentu Prototyp příložného PID generátoru zpětného rázu pro osobní palné zbraně. V Obr. 11 je detail rámce Řízení simulátoru s vyplněnými editovatelnými textovými poli pro nastavení času sepnutí a vypnutí cívky A a cívky B. Časy jsou udávány v ms. Čas t00 je doba zpoždění cívky A, čas t01 je doba sepnutí cívky A, čas t10 je doba zpoždění cívky B, čas t11 je doba sepnutí cívky B, graficky popsány v Obr. 12.

Obr. 13. Detail rámce Řízení simulátoru Aplikace SiReFo-Control s vyplněnými editovatelnými textovými poli pro nastavení času sepnutí a vypnutí cívky A a cívky B.



Obr. 14. Vztah časů sepnutí a rozepnutí cívek vzhledem k nastavení časových parametrů t_{00} , t_{10} , t_{01} , t_{11} .

Stavové okno aplikace SiReFo-Control (detail v Obr. 2 a 3) umožňuje kromě Nahrávání a Uložení dat sledovat stav připojených komponent/subsystémů. Potvrzená zaškrtnutá pole Akcelerometr 1 a Akcelerometr 2 potvrzují připojení Senzorů měření posturální stability A a B. Potvrzená zaškrtnutá pole Tenzometr pažba 1, Tenzometr pažba 2, Tenzometr hlaveň potvrzují připojení Podsystemu měření zpětného rázu. Potvrzené zaškrtnutá pole Simulator potvrzuje připojení Řídící jednotky generátoru zpětného rázu.

1.4. NASTAVENÍ APLIKACE

Nastavení aplikace se provádí pomocí konfiguračního souboru config.ini, jehož obsah je zobrazen v (Obr. 15.). Soubor parametrů se znovu načte při každém spuštění aplikace. Soubor parametrů je rozdělen do 4 kategorií s detailním popisem v (Tab. 1.).

```

~/Desktop/sirefoFire/SiReFoFire-Control-main_20220527/config.ini - Mousepad
File Edit Search View Document Help
[General]
simulate_imu = False

[DeviceMapping]
imu1_id = 005e003f3038511437353433
imu2_id = 001b003b3138511836323738
strain_gauge_butt1_id = 003200413138510632303530
strain_gauge_butt2_id = 003c005b3138510c32303530
strain_gauge_barrel_id = 003700263138511836323738
gun_id = 192.168.43.49

[Pid]
kp = 1
ki = 0.01
kd = 0.1
x0 = 20

[Gun]
t0 = 200
acceptable_error = 0.9

```

Obr. 15. Ukázka konfiguračního souboru config.ini.

Tab. 1. Popis konfiguračních parametrů v konfiguračním souboru config.ini.

Kategorie	Položka	Hodnota	Popis
[General]	simulate_imu	True/False	zapne nebo vypne zobrazení simulovaných záznamů
[DeviceMapping]	imu1_id	005e003f3038511437353433	ID číslo Senzoru měření posturální stability A
	imu2_id	001b003b3138511836323738	ID číslo Senzoru měření posturální stability B
	strain_gauge_butt1_id	003200413138510632303530	ID číslo senzoru pro měření síly v úchytu předpažbí ve směru X Y
	strain_gauge_butt2_id	003c005b3138510c32303530	ID číslo senzoru pro měření síly v úchytu pažby ve směru X Y
	strain_gauge_barel_id	003700263138511836323738	ID číslo senzoru pro měření síly v úchytu pažby ve směru Z
	gun_id	192.168.0.22	IP adresa řídicí jednotky generátoru zpětného rázu
[Pid]	kp	1	Proporcionální konstanta PID regulátoru
	ki	0.01	Integrační konstanta PID regulátoru.
	kd	0.1	Derivační konstanta PID regulátoru.
	x0	20	Výchozí hodnota regulované veličiny v první iteraci
[Gun]	t0	200	Časová konstanta, která nastavuje doby zpoždění cívky A (t00) a cívky B (t10).
	acceptable_error	0.9	Nejvyšší povolená chyba, na které může PID regulátor ukončit regulaci.

2. SOFTWARE ZPRACOVÁNÍ DAT ZPĚTNÉHO RÁZU

Aplikační SW pro zpracování dat zpětného rázu využívá data exportovaná do *.csv souboru aplikačním SW záznamu a regulace zpětného rázu. Jedná se o 1. ze 2 aplikačních SW pro zpracování a hodnocení dat které jsou součástí SW uživatelského rozhraní příložného PID generátoru zpětného rázu pro osobní palné zbraně.

2.1. VSTUPNÍ DATA

Vstupními daty jsou záznamy akcelerace, rotace a silové účinků naměřených pomocí Zařízení pro měření zpětného rázu. Aplikační software umožňuje hodnotit kinematická data pohybu (akcelerace a úhlová rychlost) a dynamická data reprezentovaná silovými účinky.

Aplikace umí importovat data ve formátu *.csv. V Tab. 2 a 3 je zobrazen formát vstupních dat gyroakcelerometrů, které jsou součástí systému pod označením Senzor měření posturální stability A a Senzor měření posturální stability B.

Tab. 2 - Pořadí importovaných dat pro zrychlení a úhlovou rychlost

čas [ms]	úhlová rychlost v ose x [mdeg·s ⁻¹]	úhlová rychlost v ose y [mdeg·s ⁻¹]	úhlová rychlost v ose z [mdeg·s ⁻¹]	zrychlení v ose x [m·s ⁻²]	zrychlení v ose y [m·s ⁻²]	zrychlení v ose z [m·s ⁻²]
----------	---	---	---	--	--	--

Tab. 3 - pořadí exportovaných dat pro sílu v počtu 5 snímačů

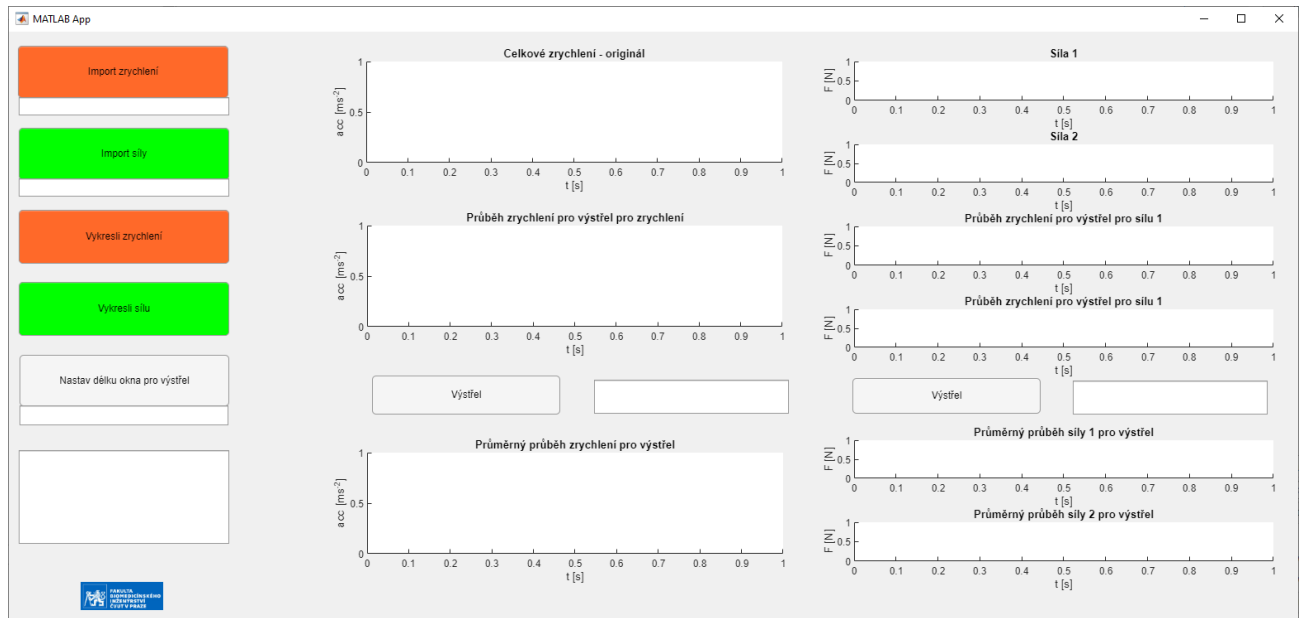
čas [ms]	kanál 1a [mV]	kanál 1b [mV]	kanál 2a [mV]	kanál 2b [mV]	kanál 3a [mV]
----------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Importovaná data jsou využita k výpočtu translačních a rotačních kinematických veličin a silových účinků. K výpočtu odvozených kinematických veličin pohybu jsou využity základní matematické metody jakými je numerická integrace implementovaných v prostředí MatLab.

Přepočet napětí měřených na podsystemu záznamu silových účinků na hodnoty sil jsou provedeny pomocí konstant, které jsou dány vlastností AFE obvodů a ADC převodníků. Konstanta je pro každý senzor jiná a udává vztah mezi mV a N. Kompenzace offsetu, který je způsobený zatížením snímače jeho vlastní vahou, nebo vahou držáků předpažbí a pažby zbraně, je řešen softwarově na vstupu Aplikačního SW pro zpracování dat zpětného rázu.

2.2. UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ APLIKACE

Aplikace poskytuje import, reprezentaci a výpočet průměrných hodnot naměřených dat v průběhu zpětného rázu při opakované střelbě.



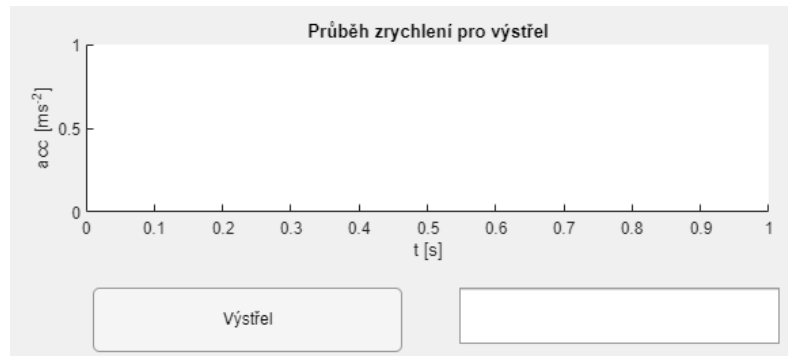
Obr. 16 Ukázka uživatelského rozhraní pro reprezentaci dat.

Uživatelské rozhraní poskytuje tyto komponenty:

- tlačítka **Import zrychlení** a **Import síly** pro import dat
- tlačítka **Vykreslí zrychlení**, **Vykreslí sílu**
- tlačítko **Nastav délku okna pro výstřel**
- grafy pro **Celkové zrychlení**, **Průběhu zrychlení pro výstřel**, **Průměrný průběh zrychlení pro výstřel**
- grafy pro **Celkovou sílu**, **Průběhu sil pro výstřel**, **Průměrný průběh síly pro výstřel**

Aplikace v prvním kroku zkontroluje zda importovaná data obsahují záznam zpětného rázu v podobě změn průběhů akcelerací a sil. V případě nalezení průběhu zpětného rázu v datech celkového zrychlení nebo síly jsou v grafu Průběh zrychlení/síly pro výstřel zobrazeny všechny průběhy přepínatelné tlačítkem Výstřel Obr. 17.

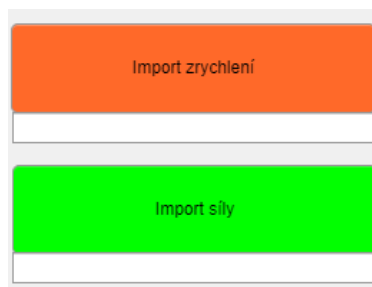
Pro segmentaci záznamu s velkým množstvím výstřelů na jednotlivé výstřely, které je možné analyzovat je potřeba import zrychlení. V případě, kdy data pro zrychlení nejsou importována, jsou pouze vykresleny originální průběhy bez segmentace průběhu sil.



Obr. 17. Ukázka části uživatelského rozhraní pro prezentaci dat jednoho výstřelu s grafem průběhu jednoho výstřelu, tlačítkem Výstřel pro přepínání výstřelů v grafu a text boxem pro počet nalezených výstřelů.

2.2.1. IMPORT DAT

Importovanými daty jsou *.csv soubory definované v kap 2.1. **POUŽITÁ DATA**. Aplikace poskytuje import dat zrychlení a síly pomocí tlačítek: **Import zrychlení**, **Import zbraň** (Obr. 18.).



Obr. 18 Tlačítka pro import dat.

Aplikace kontroluje vlastnosti souboru z pohledu počtu sloupců a v případě importu nevhodného formátu dat aplikace vrátí uživateli informaci o importu nevhodných dat **do Výstupní konzole**.

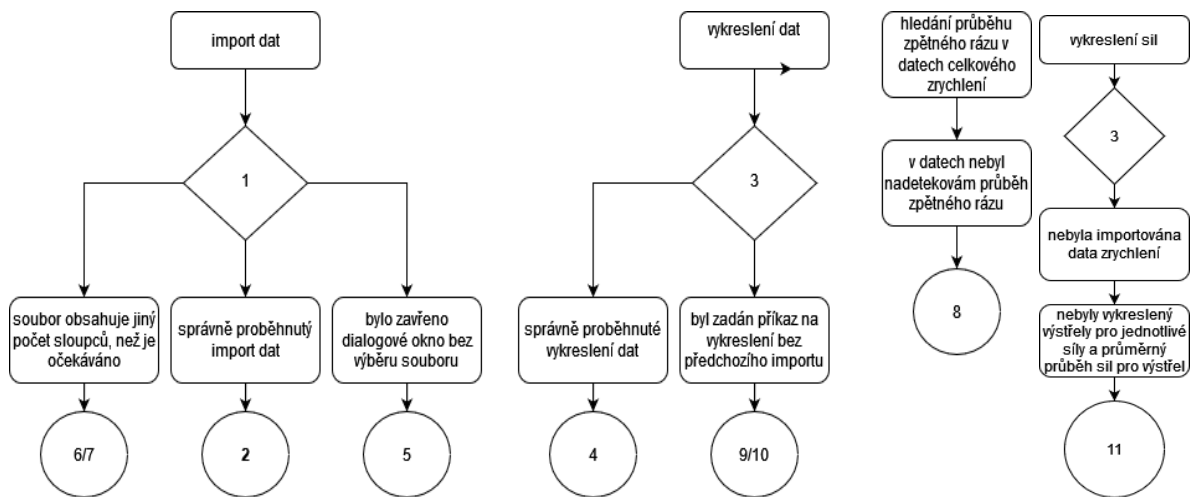
2.2.2. VÝSTUPNÍ KONZOLE PRO UŽIVATELE

Aplikace poskytuje uživateli zpětnou vazbu výpisem informací (Obr. 19) do konzole (Obr. 20) v rozhraní aplikace. V (Tab. 4) jsou vypsané jednotlivé stavy.

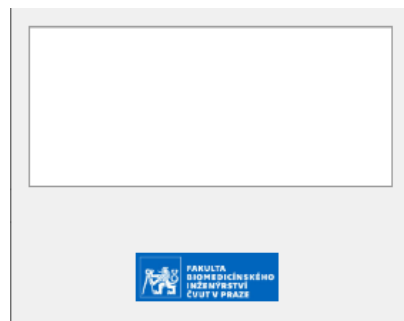
Tab. 4. Uživatelské výstupy do výstupní konzole.

1	Import...
2	Import dokončen.
3	Vykresluji....
4	Vykreslení dokončeno.
5	Data nebyla importována.
6	Není nahrán soubor z poskytnutého gyroakcelerometru
7	Není nahrán soubor z poskytnutého siloměru
8	Nebyl v datech nazelen výstřel.
9	Nebyla importována data zrychlení.
10	Nebyla importována data síly.
11	Nebyla importována data zrychlení, nejsou segmentovány průběhy sil z dat. Před dalším vykreslováním importujte, prosím, data.

- 1) data jsou importována do aplikace
- 2) import dat z bodu 1 byla importována do aplikace a byly vypočteny parametry
- 3) aplikace sestavuje grafy a zobrazuje je do příslušných oken
- 4) ukončení vykreslování z bodu 3
- 5) dialogové okno bylo zavřeno bez zvolení souboru
- 6) vstupní data obsahují jiný počet sloupců, než je předpokládáno, např. z důvodu importu dat, která nebyla naměřena poskytnutými gyroakcelerometry
- 7) vstupní data obsahují jiný počet sloupců, než je předpokládáno, např. z důvodu importu dat, která nebyla naměřena poskytnutými siloměry
- 8) aplikace v datech nenalezla výstřel
- 9) byl zadán příkaz k vykreslení dat z gyroakcelerometrů, avšak data nebyla importována
- 10) byl zadán příkaz k vykreslení dat ze siloměrů, avšak data nebyla importována
- 11) nebyla importována data pro zrychlení před vykreslením jednotlivých průběhu sil



Obr. 19 Diagramy ovládání vytvořeného software.



Obr. 20 Konzolové okno aplikace

3. SOFTWARE ZPRACOVÁNÍ DAT POSTURÁLNÍ STABILITY A POHYBU

Aplikace pro reprezentaci posturální stability poskytuje informaci o vlastnostech zrychlení a rotaci měřeného člověka v 3D systému. Součástí reprezentace je informace o vlastnostech zrychlení a rotace zbraně v 3D systému.

3.1. VSTUPNÍ DATA

Data jsou měřena pomocí gyroakcelerometrů měřících akcelerace a úhlové rychlosti v X-,Y- a Z-ové ose. **Senzor měření posturální stability A** je umístěn v bederní oblasti kolem obratle L5 (Obr. 21), a tedy umožňuje měřit přibližné pohyby těžiště těla, což nabízí možnost hodnotit pohybovou aktivitu a stabilitu standardními metodami pohybové analýzy.



Obr. 21. Umístění Senzoru měření posturální stability A na těle.

Senzor měření posturální stability a pohybu B je umístěn na zbrani (Obr. 22). Vzhledem k fixnímu uchycení tak snímač nabízí hodnotit pohyb zbraně jako celku standardními a v praxi používanými metodami pohybové analýzy.



Obr. 22. Umístění Senzoru měření posturální stability B na zbrani.

Měřená data jsou do aplikace importována ve formátu *.csv souborů SW v kap. 1, ve sloupcích v pořadí dle Tab. 5.

Tab. 5. Pořadí exportovaných dat ze Sensorů posturální stability.

čas [ms]	úhlová rychlost v ose x [mdeg·s ⁻¹]	úhlová rychlost v ose y [mdeg·s ⁻¹]	úhlová rychlost v ose z [mdeg·s ⁻¹]	zrychlení v ose x [m·s ⁻²]	zrychlení v ose y [m·s ⁻²]	zrychlení v ose z [m·s ⁻²]
-------------	---	--	--	--	--	--

Importovaná data jsou využita k výpočtu translačních a rotačních kinematických veličin a silových účinků. K výpočtu odvozených kinematických veličin pohybu jsou využity základní matematické metody jakými je numerická integrace implementovaných v prostředí MatLab.

Přepočet napětí měřených na podsystému záznamu silových účinků na hodnoty sil jsou provedeny pomocí konstant, které jsou dány vlastností AFE obvodů a ADC převodníků. Konstanta je pro každý senzor jiná a udává vztah mezi mV a N. Kompenzace offsetu, který je způsobený zatížením snímače jeho vlastní vahou, nebo vahou držáků předpažbí a pažby zbraně, je řešen softwarově na vstupu Aplikačního SW pro zpracování dat zpětného rázu.

3.2. PARAMETRY HODNOCENÍ POHYBOVÝCH AKTIVIT

Při návrhu se vycházelo ze standardizovaných metod hodnocení pohybových aktivit (Tab. 6). Reprezentuje parametry, které software poskytuje. Aplikace poskytuje vizuální reprezentaci záznamu zrychlení ve všech osách a celkové akcelerace, reprezentaci průběhu rotace v jednotlivých osách.

Minimální hodnota - nejmenší hodnota v naměřených datech, kde X značí celý záznam [1]

$$x_{min} = \min(x)$$

Maximální hodnota - největší hodnota v naměřených datech, kde X značí celý záznam [1]

$$x_{max} = \max(x)$$

Rozsah - parametr určující velikost škály hodnot, které se vyskytovaly v naměřeném záznamu počítaných z maxima $\max(X)$ a minima $\min(X)$, kde X je záznam dat [1]

$$range_x = \max(x) - \min(x)$$

Průměrná hodnota - součet všech naměřených hodnot v záznamu vydělený počtem zaznamenaných hodnot, kde x_i je jednotlivá hodnota, N je celkový počet naměřených hodnot [1]

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Tab. 6. Použité parametry pro reprezentaci posturální stability

	Akcelerace [ms ⁻²]				Úhlové zrychlení [degs ⁻²]		
	osa X	osa Y	osa Z	celková	v ose X	v ose Y	v ose Z
maximum	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
minimum	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
rozsah	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
průměr	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
medián	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
natočení konfidenční elipsy	✓	✓	✓				
frekvence v závislosti na nastavené hladině frekvenčního pásma	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Medián - prostřední hodnota seřazeného seznamu hodnot, kde X je vektor seřazených hodnot původního záznamu od nejmenší po největší hodnotu, N je délka vektoru X [1]

- pokud je délka vektoru dělitelná dvěma beze zbytku, medián je prostřední hodnota (a)

- pokud není délka vektoru dělitelná dvěma beze zbytku, medián je průměrem dvou prostředních hodnot (b)

$$a) \text{mod}(X, 2) \neq 0: \tilde{x} = X_{\frac{N+1}{2}} \quad b) \text{mod}(X, 2) = 0: \tilde{x} = \frac{X_{\frac{N}{2}} + X_{\frac{N}{2}+1}}{2}$$

Natočení konfidenční elipsy - natočení 95% oblasti plochy tvořené závislosti vzorků zrychlení ve dvou směrech, x a y značí dané záznamy.

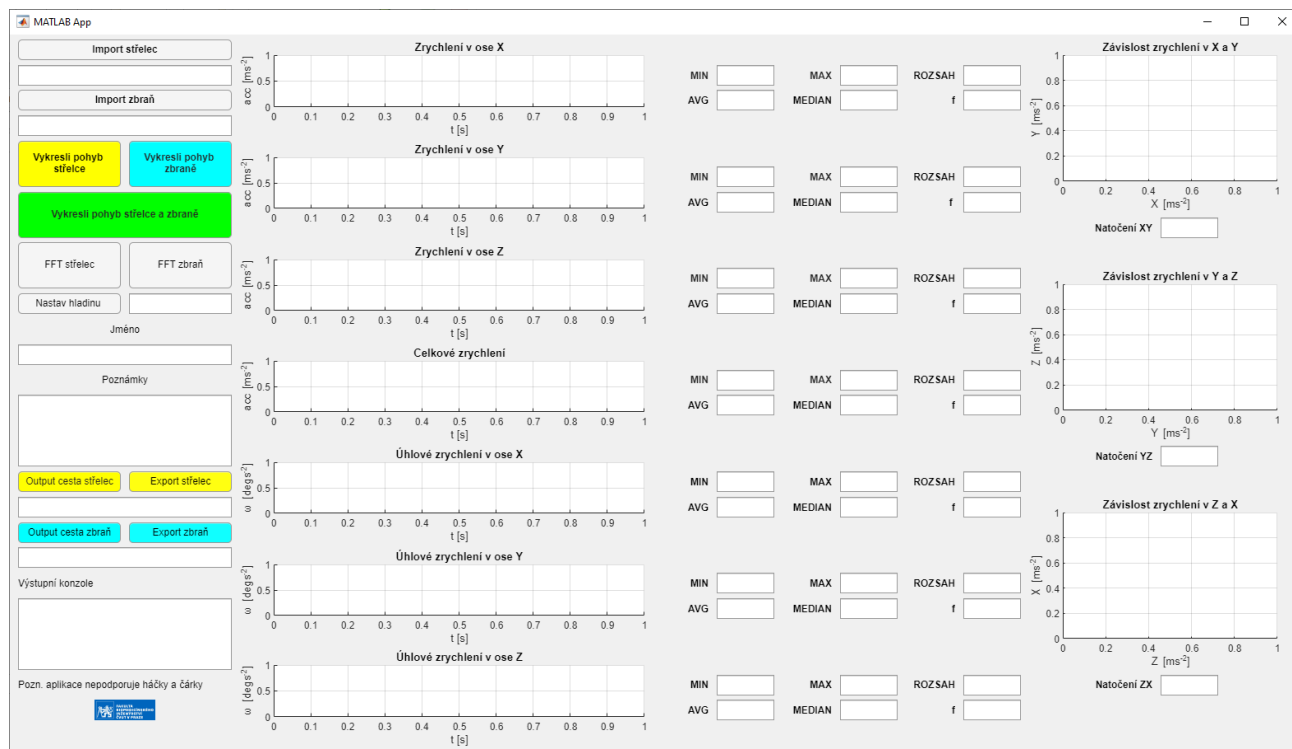
$$\left(\frac{x}{\sigma_x}\right)^2 + \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2 = 5,991$$

$$\text{úhel natočení} = \arctan \frac{\text{vektor vlastních čísel(kovarianční matice (y))}}{\text{vektor vlastních čísel(kovarianční matice (x))}}$$

Parametr f udává horní percentil a je vypočten jako mezipercentilové rozpětí Q100-Qn. Jedná se tedy o část distribuční funkce, která obsahuje nejčastěji se vyskytující frekvence tedy frekvence v horním N. percentilu spektra signálu. Hladina N je nastavitelná v editovatelném textovém poli viz. Obr. 23.

3.3. UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ APLIKACE

Aplikace poskytuje import, reprezentaci dat a export parametrů posturální stability i pohybu zbraně a střelce při střelbě.



Obr. 23. Ukázka rozhraní pro reprezentaci dat

Uživatelské rozhraní poskytuje tyto komponenty:

- tlačítka **Import střelec** a **Import zbraň** pro import dat
- tlačítka **Vykresli pohyb střelce**, **Vykresli pohyb zbraně**, **Vykresli pohyb střelce a zbraně**
- tlačítka **FFT střelec**, **FFT zbraň PR** pro reprezentaci závislosti frekvenční charakteristiky
- tlačítko **Nastav hladinu**
- grafy **Zrychlení v ose X**, **Zrychlení v ose Y** a **Zrychlení v ose Z** pro reprezentaci závislosti zrychlení na čase

*(pozn. při vykreslení frekvenční charakteristiky jsou grafy přejmenovány na **Amplitudové spektrum zrychlení v ose X**, **Amplitudové spektrum zrychlení v ose Y** a **Amplitudové zrychlení v ose Z**)*

- grafy **Rotace v ose X**, **Rotace v ose Y**, **Rotace v ose Z** pro reprezentaci úhlové rychlosti na čase

(pozn. při vykreslení frekvenční charakteristiky jsou grafy přejmenovány na **Amplitudové spektrum úhlového zrychlení v ose X**, **Amplitudové spektrum úhlového zrychlení v ose Y** a **Amplitudové úhlového zrychlení v ose Z**)

- grafy **Závislost zrychlení v X a Y**, **Závislost zrychlení v Y a Z** a **Závislost zrychlení v Z a X**
- grafy **Rotace v ose X**, **Rotace v ose Y**, **Rotace v ose Z** pro reprezentaci úhlové rychlosti na čase
- grafy **Rotace v ose X**, **Rotace v ose Y**, **Rotace v ose Z** pro reprezentaci úhlové rychlosti na čase
- okna grafy **Rotace v ose X**, **Rotace v ose Y**, **Rotace v ose Z** pro reprezentaci úhlové rychlosti na čase
- okna **MIN**, **MAX**, **ROZSAH**, **AVG**, **MEDIAN**, **f** pro numerickou reprezentaci minimální, maximální hodnoty, rozsahu hodnot, střední hodnoty, mediánu hodnot pro dané průběhy a frekvence při dané nastavené hladině
- tlačítka **Output cesta střelec** a **Output cesta zbraň** pro definici složky pro export dat pro parametry posturální stability a zbraně
- tlačítka **Export střelec**, **Export zbraň** pro export vypočtených parametrů
- okna s názvem **Jméno** a **Poznámky** pro možnost přidání uživatelských informací do exportu
- okno **Výstupní konzole** pro výstupy aplikace uživateli ohledně stavu aplikace

3.3.1. IMPORT DAT

Importovanými daty jsou *.csv soubory definované v kap 3.1. **POUŽITÁ DATA**. Aplikace poskytuje import dat pro posturální stabilitu a pohybu zbraně pomocí tlačítek: **Import střelec**, **Import zbraň** (Obr. 24.).



Obr. 24. Tlačítka pro import dat

Aplikace kontroluje vlastnosti souboru z pohledu počtu sloupců a v případě importu nevhodného formátu dat aplikace vrátí uživateli informaci o importu nevhodných dat do **Výstupní konzole**.

3.3.2. EXPORT DAT

Aplikace poskytuje export vypočtených parametrů posturální stability a střelby do souboru *.csv.



Obr. 25. Tlačítka pro definování cesty k souboru a export dat

Uživatel má možnost definování cílové složky pro export dat postury a zbraně. V případě definice stejné cesty pro oba exporty jsou výsledné exporty zapsány do stejného souboru.

Export data je proveden pomocí dvou tlačítek:

- Export střelec
- Export zbraň

Výsledné parametry jsou zapsány do složky **exportedData.csv**.

V případě, kdy v dané složce není exportovaný soubor, aplikace vytvoří nový s předepsanou hlavičkou podléhající seřazení dat z Tab. 7. V případě zachycení chyby o pokusu importu do otevřeného souboru je uživatel upozorněn do výstupní konzole dle chybových hlášek z (kap. 5.1.5 VÝSTUPNÍ KONZOLE PRO UŽIVATELE)

Data jsou exportována ve formátu (Tab. 7).

Tab. 7. Formát exportovaných dat

sloupec řádek	1	2	3	4	5	6,7,8,9	10,11,12	13,14,15	16,17,18,19,20,21,22
1	název souboru	typ importovaných dat postura/zbraň	jméno	poznámka	nastavená hladina	zrychlení X, zrychlení Y, zrychlení Z, celkové zrychlení	úhlové zrychlení v X, úhlové zrychlení v Y, úhlové zrychlení v Z	natočení konfidenční elipsy pro XY, natočení konfidenční elipsy pro YZ, natočení konfidenční elipsy pro ZX	frekvence pro danou hladinu pro: zrychlení v ose x, zrychlení v ose y, zrychlení v ose z, celkové zrychlení, natočení v ose x, natočení v ose y, natočení v ose z,
2						minimum, maximum, průměrná hodnota, medián, rozsah	minimum, maximum, průměrná hodnota, medián, rozsah		

3.3.3. ZPRACOVÁNÍ DAT

Aplikace zpracovává data a vrací tyto výstupu:

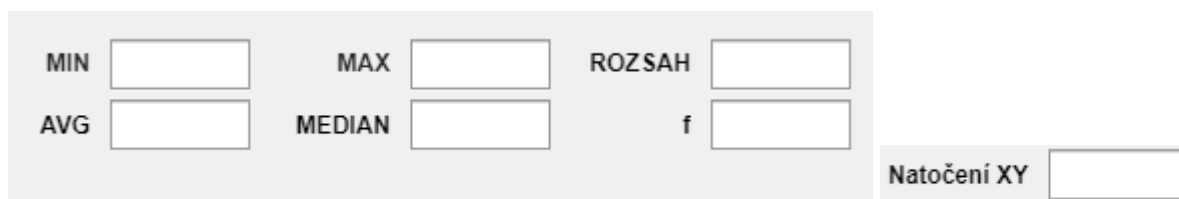
1. závislost zrychlení v každé ose 3D systému na čase
 - 1.1. zrychlení je reprezentováno v jednotkách [ms⁻²]
 - 1.2. čas je reprezentován v jednotkách [s]
 - 1.3. data jsou zaokrouhlena na dvě desetinná čísla
2. závislost celkového zrychlení na čase
 - 2.1. zrychlení je reprezentováno v jednotkách [ms⁻²]
 - 2.2. čas je reprezentován v jednotkách [s]
 - 2.3. data jsou zaokrouhlena na dvě desetinná čísla
3. závislost úhlového zrychlení na čase
 - 3.1. zrychlení je reprezentováno v jednotkách [rads⁻¹]
 - 3.2. čas je reprezentován v jednotkách [s]
 - 3.3. data jsou zaokrouhlena na dvě desetinná čísla
4. amplitudovou závislost zrychlení a úhlového zrychlení
5. konfidenční elipsa na mapách závislosti zrychlení ve 2D
6. numerické hodnoty minimální, maximální hodnoty, rozsahu hodnot, střední hodnoty, mediánu, natočení konfidenční elipsy a frekvence

3.3.4. REPREZENTACE DAT

Aplikace poskytuje 2 typy reprezentace dat:

1. numerická reprezentace
2. reprezentace pomocí grafu

Pomocí numerické reprezentace jsou zobrazeny parametry: **MIN**, **MAX**, **ROZSAH**, **AVG**, **MEDIAN**, **Natočení**, **f** dle (kap. 3.3. POČÍTANÉ PARAMETRY) viz. (Obr. 26.).



The image shows a light gray rectangular panel with several input fields. On the left side, there are two rows of labels and input boxes: 'MIN' and 'AVG' in the first row, and 'MAX' and 'MEDIAN' in the second row. To the right of these, there are three more labels with input boxes: 'ROZSAH', 'f', and 'Natočení XY'. The 'Natočení XY' label is positioned below the 'ROZSAH' and 'f' labels. All input boxes are empty and have a thin gray border.

Obr. 26. Ukázka reprezentace parametrů **MIN**, **MAX**, **ROZSAH**, **AVG**, **MEDIAN** (vlevo), což jsou statistické parametry pro zrychlení a úhlové zrychlení a **Natočení** (vpravo) pro konfidenční elipsu pracující s daty zrychlení.

Pomocí vizuální reprezentace jsou zobrazeny závislosti zrychlení a úhlového zrychlení na čase, závislosti zrychlení ve 2D a amplitudovou závislost zrychlení a úhlové rychlosti.

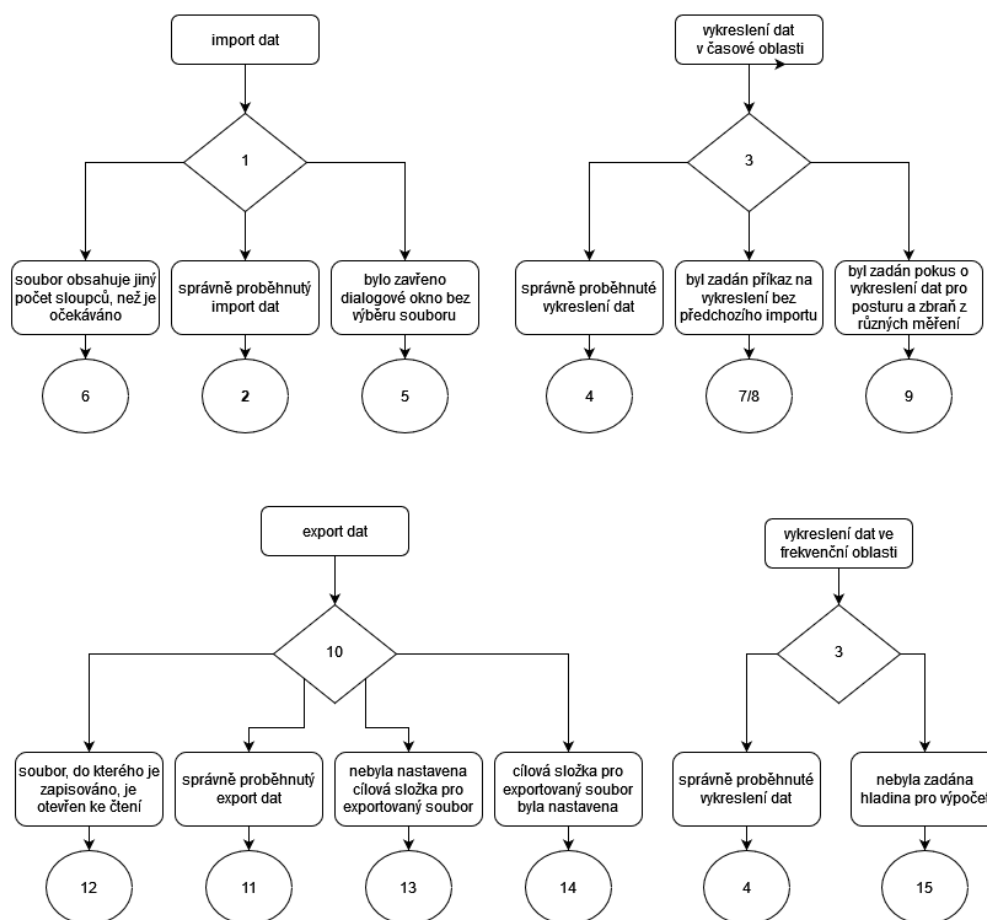
3.3.5. VÝSTUPNÍ KONZOLE PRO UŽIVATELE

Aplikace poskytuje uživateli zpětnou vazbu výpisem informací do konzole v rozhraní aplikace (Obr. 23). V (Tab. 8) jsou vypsány jednotlivé stavy.

Tab. 8. uživatelské výstupy do výstupní konzole

1	Import...
2	Import dokončen.
3	Vykresluji....
4	Vykreslení dokončeno.
5	Data nebyla importována.
6	Není nahrán soubor z poskytnutého gyroakcelerometru.
7	Není nahrán soubor s posturální stabilitou.
8	Není nahrán soubor s daty ze zbraně.
9	Různé délky záznamů.
10	Export zahájen.
11	Export ukončen.
12	Nelze zapsat do souboru. Zkontrolujte, prosím, zda není soubor otevřen a opakujte export.
13	Nebyla definována složka pro výstupní soubor.
14	Složka pro výstupní soubor byla nastavena.
15	Nebyla nastavena hladina.

- 1) data jsou importována do aplikace
- 2) import dat z bodu 1 byla importována do aplikace a byly vypočteny parametry
- 3) aplikace sestavuje grafy a zobrazuje je do příslušných oken
- 4) ukončení vykreslování z bodu 3
- 5) dialogové okno bylo zavřeno bez zvolení souboru
- 6) vstupní data obsahují jiný počet sloupců, než je předpokládáno, např. z důvodu importu dat, která nebyla naměřena poskytnutými senzory
- 7) byl zadán příkaz k vykreslení dat posturální stability, avšak data ještě nebyla importována
- 8) byl zadán příkaz k vykreslení dat střelby, avšak data ještě nebyla importována
- 9) byly zadán příkaz k vykreslení záznamů posturální stability a střelby pro různé měření
- 10) export dat v předepsaném formátu z kap. 5.1.2 EXPORT DAT
- 11) ukončení exportu z bodu 10
- 12) chybová hláška objevující se v případě, kdy jiná aplikace pracuje se souborem, do kterého se zapisuje, např. uživatel se podíval do souboru a zapomněl ho zavřít
- 13) nebyla nastavena složka, kde bude soubor s výsledky
- 14) byla nastavena složka, kde bude výstupní soubor
- 15) uživatel nenastavil hladinu



Obr. 28. Diagramy výstupů do konzole.

ZDROJE

- [1] CALDA, Emil; KALCOVSKÝ, Antonín; DUPAČ, Václav. *Matematika pro gymnázia: Kombinatorika, pravděpodobnost a statistika*. Jednota českých matematiků a fyziků, 1993.
- [2] How to draw an error ellipse representing the covariance matrix?. Computer vision for dummies - A blog about intelligent algorithms, machine learning, computer vision, datamining and more. [online]. Dostupné z: <https://www.visiondummy.com/2014/04/draw-error-ellipse-representing-covariance-matrix/>