



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Mario Šafárik

**NÁVRH A VERIFIKACE METOD HODNOCENÍ
PILOTNÍCH SCHOPNOSTÍ A DOVEDNOSTÍ V EBT**

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Bc. Vladimír Socha, Ph.D.
Ing. Lenka Hanáková

2019



K621..... Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Mario Šafárik

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Návrh a verifikace metod hodnocení pilotních schopností a dovedností v EBT**

Název tématu (anglicky): Design and Verification of Methods for Pilot Skills Evaluation in EBT

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Přehled současného stavu v oblasti Evidence-based tréninku (EBT)
- Selekce nejjednodušeji měřitelných ukazatelů popisujících pilotní schopnosti a dovednosti
- Kolekce dat
- Návrh metod hodnocení
- Analýza získaných dat v prostředí Matlab



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucích diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Varney, M. (2012). Evidence based training. In AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference (p. 4497).
Syversen, J. L. (2017). The evidence-based approach to learning.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Bc. Vladimír Socha, Ph.D.**
Ing. Lenka Hanáková

Datum zadání diplomové práce: **27. července 2018**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **28. května 2019**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Mario Šafárik
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....27. července 2018

Poděkování

Na tomto místě bych ze srdce rád poděkoval oběma vedoucím své diplomové práce doc. Ing. Bc. Vladimíru Sochovi, Ph.D. a Ing. Lence Hanákové, a to zejména za jejich podporu, pozitivní přístup a veškerou pomoc při zpracování materiálů potřebných k dokončení mé práce. Také za to, že si na mě udělali čas, nešetřili úsměvy a byli mi oporou ve chvílích, kdy to bylo nejvíce potřeba.

Dále bych rád poděkoval svému otci, jehož mentální podpora a moudrost mě dovedla až k tomuto životnímu okamžiku.

V neposlední řadě děkuji svým nejbližším kolegům a přátelům, kteří byli ochotni si mě vyslechnout a projevíli nefalšovaný zájem o mé studium a byli mi morální oporou při vypracování této práce a v průběhu celého studia.

Nakonec bych rád poděkoval svým nadřízeným, kteří byli ochotni v průběhu mého studia vyhovět mým požadavkům a po celé dva roky mi vycházeli vstříc ve snaze skloubit mé školní a služební povinnosti.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Návrh a verifikace metod hodnocení pilotních schopností a dovedností v EBT“ vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

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

V Praze dne 28. května 2019

.....

Podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

NÁVRH A VERIFIKACE METOD HODNOCENÍ PILOTNÍCH SCHOPNOSTÍ A DOVEDNOSTÍ V EBT

Diplomová práce

Květen 2019

Bc. Mario Šafárik

Abstrakt

Předmětem diplomové práce s názvem „Návrh a verifikace metod hodnocení pilotních schopností a dovedností v EBT“ je přiblížení problematiky leteckého výcviku v civilním letectví a na základě získaných naměřených parametrů z výzkumného vzorku dobrovolně přihlášených třiceti uchazečů zvážení možného zavedení nových metod výcviku s důrazem kladeným na prvotní výcvik začínajících pilotů. Měřené parametry zahrnují data z průběhů absolvovaných letů na trenažéru a fyziologická data, ze kterých byla pro účely vyhodnocení zvolena konkrétně data z naměřené srdeční činnosti. Pro statistickou analýzu dat byl využit shlukovací algoritmus DBSCAN, jenž umožnil analyzovat všechny čtyři měřené manévry. Konkrétně jde o horizontální přímočarý let, horizontální zatáčku o 360° a stoupavou a klesavou zatáčku o 180°. Z výsledků vyplývá, že existuje určitý prostor pro využití data-driven výcviku, což by do budoucna při správném přístupu mohlo přinést změnu ve výcviku začínajících pilotů.

Klíčová slova

Data-driven výcvik, DBSCAN, pilotáž, pilotní výcvik, shlukovací analýza, variabilita srdečního rytmu, výcvik založený na důkazech

Abstract

This thesis titled „Design and Verification of Methods for Pilot Skills Evaluation in EBT“ is aimed towards introducing the problematics of pilot training in the civil aviation industry. The aim is to consider whether there is any room for improvement in general aviation training procedures, especially for newcomer future pilots. To aid this topic, data collected in the past were used. With the help from this data set which included flight performance recordings and physiological measurements of all thirty subjects who volunteered for this experiment, I was able to gather the necessary data to reach a conclusion. For data analysis a clustering algorithm called DBSCAN was used, which lead to separation of all the four maneuvers that had been flown on the flight simulation device. These four maneuvers consisted of straight and levelled flight, horizontal 360° turn and climbing and descending 180° turn. Achieved results lead to a conclusion, that there is room for improvement and also room for possible implementation of data-driven training, which could be the correct way to utilize for future beginner pilots.

Keywords

clustering analysis, Data-driven training, DBSCAN, Evidence Based Training, heart rate variability, pilot training

Obsah

Obsah.....	- 4 -
Seznam zkratek	- 6 -
Úvod	- 8 -
1. Analýza současného stavu	- 9 -
1.1. Vývoj a cesta k EBT.....	- 9 -
1.1.1. Koncept EBT	- 10 -
1.2. Průběh výcviku uchazečů o pilotní licenci	- 12 -
1.2.1. LAPL (A) – Light Aircraft Pilot Licence (Aeroplanes).....	- 13 -
1.2.2. PPL – Private Pilot Licence.....	- 14 -
1.2.3. VFR NIGHT - Kvalifikace pro lety v noci	- 15 -
1.2.4. IR - Přístrojová kvalifikace	- 15 -
1.2.5. MCC - Kvalifikace součinnosti vícečlenné posádky.....	- 15 -
1.2.6. MEP – Kvalifikace pro vícemotorové letouny	- 15 -
1.2.7. MPL – Multi-crew Pilot Licence	- 16 -
1.2.8. CPL – Commercial Pilot Licence.....	- 16 -
1.2.9. ATPL – Airline Transport Pilot Licence.....	- 17 -
1.3. Hodnocení pilotáže	- 17 -
1.4. Hodnocení soft skills / hard skills	- 18 -
1.5. Parciální závěr.....	- 19 -
2. Definování cílů a hypotéz.....	- 20 -
3. Metodika výzkumu	- 21 -
3.1. Výzkumný vzorek.....	- 21 -
3.2. Harmonogram výcviku	- 22 -
3.3. Prvotní zpracování naměřených dat	- 24 -
3.4. Zpracování tepové frekvence.....	- 25 -
3.4.1. Analýza variability srdečního rytmu.....	- 26 -
3.4.2. Časová analýza	- 27 -

3.4.3.	Spektrální analýza	- 27 -
3.5.	DBSCAN	- 29 -
3.6.	Naměřené parametry a aplikace algoritmu DBSCAN	- 31 -
3.7.	Analýza dat (popisná statistika)	- 33 -
3.7.1.	Aritmetický průměr	- 34 -
3.7.2.	Medián a modus	- 34 -
3.7.3.	Rozptyl a směrodatná odchylka	- 34 -
3.7.4.	Mezikvartilové rozpětí	- 35 -
3.8.	Rozdělení nasbíraných dat	- 35 -
3.8.1.	Normální rozdělení	- 36 -
3.8.2.	Test normality dat	- 37 -
3.8.3.	Jarqueho-Berův test	- 38 -
3.8.4.	Kolmogorovův-Smirnovův test	- 38 -
3.8.5.	Lillieforsův test	- 38 -
3.8.6.	Interpolace dat	- 39 -
3.8.7.	Zpracování a charakteristika dat	- 40 -
4.	Výsledky	- 44 -
4.1.	Porovnání dat instruktora se zapisovačem	- 44 -
4.2.	Náročnost manévrů	- 49 -
5.	Diskuze	- 55 -
6.	Závěr	- 57 -
	Seznam literatury	- 59 -
	Seznam obrázků	- 62 -
	Seznam tabulek	- 63 -
	Seznam příloh	- 64 -

Seznam zkratek

ANS	Autonomní nervová soustava
AQP	Advanced Qualification Program
ATO	Approved Training Organisation – Schválená organizace pro výcvik
ATPL	Airline Transport Pilot License – Průkaz způsobilosti dopravního pilota letounů
ATQP	Alternative Training Qualification Programme
BPM	Beats Per Minute – počet úderů za minutu
CPL	Commercial Pilot License – Průkaz způsobilosti obchodního pilota
CRM	Crew Resource Management
DBSCAN	Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise
EASA	European Aviation Safety Agency – Evropská agentura pro bezpečnost letectví
EBT	Evidence Based Training – Výcvik založený na důkazech
EIR	En-Route Instrument Rating – Přístrojová kvalifikace pro traťové lety
EKG	Elektrokardiograf
FAA	Federal Aviation Administration – Federální letecká správa
FCL	Flight Crew Licensing – Licencování leteckého personálu
FFS	Full Flight Sim – Úplný letový simulátor
FNPT	Flight Navigation and Procedures Trainer Trenažér letových a navigačních postupů
FTD	Fixed Training Device – Letové výcvikové zařízení
HRV	Heart Rate Variability – Variabilita srdečního rytmu
IATA	International Air Transport Association Mezinárodní asociace leteckých dopravců
ICAO	International Civil Aviation Organization Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IFR	Instrumental Flight Rules – Pravidla pro let podle přístrojů
IMC	Instrumental Meteorological Conditions – Meteorologické podmínky pro let podle přístrojů
IR	Instrument Rating – Přístrojová kvalifikace
LAPL	Light Aircraft Pilot License – Průkaz způsobilosti pilota lehkých letadel
LOSA	Line Operations Safety Audit
MCC	Multi-Crew Cooperation – Součinnost vícečlenné posádky

MEP	Multi-Engine Piston – Kvalifikace pro vícemotorové letouny
MPL	Multi-Crew Pilot License – Průkaz způsobilosti pilota ve vícečlenné posádce
PIC	Pilot in Command – pilot, velitel letadla
PICUS	Pilot in Command Under Supervision – pilot, velitel letadla pod dozorem
PNS	Periferní nervový systém
PPL	Private Pilot License – Průkaz způsobilosti soukromého pilota
SLF	Straight and levelled flight – Horizontální přímočarý let
TMA	Terminal Control Area – Koncová řízená oblast
ULL	Ultralehký letoun
ÚCL	Úřad pro civilní letectví
VFR	Visual Flight Rules – Pravidla pro let za viditelnosti
VMC	Visual Meteorological Conditions Meteorologické podmínky pro let za viditelnosti
VNS	Vegetativní nervová soustava

Úvod

Ať už se jedná o civilní obchodní přepravu, vojenské létání pro účely obrany státu, či některou z ostatních forem letectví, všechny mají společné jedno kritérium. Tím kritériem a nejvyšším cílem je dosažení co nejvyšší možné bezpečnosti zúčastněných osob. Obchodní letecká doprava je tu s námi již přes sto let a v průběhu tohoto stoletého vývoje došlo k mnoha leteckým katastrofám, ze kterých se letecké společnosti vždy poučily a dělali vše, co bylo v jejich silách, aby zabránily jejich opakování. Za posledních pár desítek let se díky mezinárodním smlouvám a úmluvám stalo letectví nejbezpečnějším způsobem přepravy a velké letecké společnosti jdou tomuto trendu vstříc s otevřenou myslí. Dobrovolně přijímají omezující opatření a neustále vylepšují své výcvikové programy, které mají za cíl vytvořit skvěle vycvičené piloty. Díky tomu je možné v co největší míře eliminovat možnost chyby a minimalizovat pravděpodobnost výskytu nehody.

Letectví však nejsou pouze všudypřítomné dopravní linky, které dennodenně vidáme a slyšíme nad našimi hlavami. Jedná se také o menší obchodní přepravce, společnosti podnikající v zážitkových a vyhlídkových letech, výcvikové společnosti a v neposlední řadě také všeobecné letectví, kam řadíme držitelé soukromých pilotních průkazů či piloty ultralehkých letounů. Jejich výcvik zajisté není tak náročný jako výcvik pilotů linkové přepravy, přesto je všeobecnou snahou vycvičit pilota, který bude schopen efektivně ovládat svěřené letadlo. Pokud existuje možnost, jak přispět ke zdokonalení výcviku a jak zpříjemnit instruktorům i pilotům letové hodiny potřebné k odlétání základních leteckých licencí, byla by škoda takové příležitosti nevyužít.

1. Analýza současného stavu

Letecká doprava si dlouhodobě udržuje vysoký standart a pokud se jedná o bezpečnost, neustále si drží přední příčku. Rok 2017 byl dokonce nejbezpečnějším rokem v historii letectví vůbec. [1] Největší podíl na tomto faktu nesou zejména neustále se vyvíjející technologie, které se do letadel implementují. V moderním prostředí se tak na jednu stranu setkáváme s komplexními a vysoce spolehlivými systémy, díky tomu se však zároveň dostáváme do fáze, kdy nehodu může způsobit jev naprosto nečekaný. S neustálým pokrokem technologií se tedy logicky pozornost obrací na další článek, kterým je lidský faktor a do popředí se dostává snaha o zdokonalení výcvikových programů pro letecký personál. Jedním z nejmodernějších trendů je výcvik vedený podle konceptu Evidence-Based Training, tedy výcvik založený na důkazech.

1.1. Vývoj a cesta k EBT

Výcvikové postupy pro piloty zainteresované v obchodní letecké dopravě se od dob jejího největšího rozmachu v šedesátých letech o moc nezměnily. Významnější snaha systém výcviku změnit přišla na přelomu osmdesátých a devadesátých let. Po dvou relativně úspěšných desetiletích, ve kterých měla nehodovost sestupný trend, došlo k opětovnému nárůstu leteckých nehod, a to téměř na dvojnásobek. Navíc se ukázalo, že společným jmenovatelem u většiny leteckých nehod od počátku šedesátých let je pilotní chyba. Statistika ukazuje, že chybou pilota bylo způsobeno 55–60 % všech leteckých nehod. [2] V důsledku těchto faktů se začala významněji projevovat snaha vytvořit nové výcvikové programy. Jako jeden z prvních kroků, které FAA (Federal Aviation Administration) ve snaze zlepšit situaci podnikla, bylo umožnění leteckým společnostem využívat flexibilního výcviku po vzoru vojenských výcvikových programů. Vznikl tak výcvikový přístup známý jako Advanced Qualification Program (AQP), který využívá simulací různorodých situací, se kterými se pilot může setkat. Mezi hlavní hodnocené prvky patří nejen schopnost posádky zvládnout situaci a prokázat schopnost ovládat veškeré systémy, ale zejména je kladen důraz na Crew Resource Management, tedy znalost postupů a zlepšení komunikace celé posádky. [3] Evropská odpověď na tento americký trend přišla o několik let později v roce 2006 ve formě Alternative Training Qualification Programme (ATQP). V obou případech se jedná o dobrovolnou alternativu tradičního výcviku, a to nejen pilotů, ale i leteckého personálu a instruktorů. Tyto programy může letecká společnost kdykoliv opustit, nebo je vůbec nevyužívat a pokračovat v tradičním pojetí výcviku. Pokud však dopravce k tomuto programu přistoupí, získává možnost flexibilně utvářet svůj výcvikový program přesně podle svých potřeb. Veškerá data, nasbíraná během výcviku posádek, se zpětně analyzují a využívají se

k opětovnému zlepšení této formy výcviku, a navíc se i sdílí s FAA, která poskytuje zpětnou vazbu.

Zkušenost ukázala, že letecké společnosti mají zájem na výcviku svého personálu, a pokud mohou využít kvalitnější metody, využívají této nabídky, ba co víc, dokonce i dobrovolně překračují stanovené minimální požadavky. [4]

Pokrok je na dohled a od standartního výcviku, který je typický hodnocením splnění procedur popsaných v check-listech, přes flexibilní výcvikový plán, ve kterém personál prokazuje znalosti a schopnosti v nejrůznějších simulovaných situacích, se dostáváme až k nejmodernějšímu typu výcviku, který si dává za cíl zajistit vytvoření nového výcvikového prostředí. V tomto prostředí nebude snahou hodnotit pouhé provedení jednotlivých manévrů nebo splnění daných procedur. Naopak bude snahou od sebe rozlišit a utvořit souhrn schopností, které by každý pilot měl ovládat a využít data nasbíraná za poslední desítky let k tvorbě efektivního výcvikového plánu, navíc s benefitem jeho úpravy na míru podle potřeb daného pilota potažmo letecké společnosti. Tento systém je známý jako Competence-Based Training (od anglického slova competence – schopnost) nebo Evidence-Based Training, což lze do češtiny přeložit jako výcvik založený na důkazech.

1.1.1. Koncept EBT

Když se v roce 2007 uskutečnilo setkání IATA (International Air Transport Association, projevil se jednotný názor přezkoumat možnosti výcviku pilotů obchodních leteckých společností. Výsledkem se stalo vytvoření mezinárodní skupiny odborníků, v čele s představiteli z řad leteckých úřadů, výrobců letecké techniky, leteckých společností, akademických pracovníků a výcvikových organizací. Tato skupina vyvinula novou metodologii pro vývoj a vedení obnovovacího výcviku, kterou nazvala Evidence-Based Training. Cílem tohoto programu je identifikovat a popsat několik základních schopností, které si pilot musí osvojit, aby mohl bezpečně a efektivně operovat v prostředí neustále se rozvíjející letecké obchodní přepravy. K dosažení těchto cílů se využijí data získaná ze záznamů o leteckých nehodách, předpokladech leteckých nehod, z výcvikového prostředí i samotných leteckých operací (ke sbírání těchto dat napomáhá např. LOSA – Line Operations Safety Audit), kterých se za posledních 20 let nasbíralo nepřehledné množství.

Celý koncept je zaměřen na piloty obchodních leteckých společností, konkrétně na fázi obnovovacího výcviku, odehrávající se na simulátorech. Z letadel použitelných pro účely této formy výcviku se jedná o proudová letadla s kapacitou 50 a více cestujících a turbovrtulová letadla s kapacitou 30 a více cestujících. Tato letadla jsou rozdělena do čtyř jednotlivých

generací, které odrážejí stáří a tím pádem i vybavenost a specifika ovládání těchto typů letadel. Na základě tohoto rozdělení byl vytvořen ucelený rámec hrozeb a možných chyb, které se u jednotlivých generací letadel mohou vyskytnout. Ty jsou pak rozděleny do kategorií podle fází letu, ve kterých se mohou projevit.

Dále je vytvořen seznam jednotlivě hodnocených schopností. Jedná se o úplný rámec schopností, jejich popis a s nimi spojené indikátory chování, zahrnující jak technické, tak netechnické znalosti a dovednosti potřebné k bezpečnému a efektivnímu provedení letu. Základní žádoucí schopnosti jsou popsány v Manuálu EBT, vydaným ICAO [5], letecké společnosti si však mohou vyvinout i vlastní strom schopností a hodnotící systém, který bude vyhovovat požadavkům dané společnosti.

Nedílnou součástí je také přehled kritických částí výcviku (training criticality survey), který zohledňuje hrozby a možné chyby, které mohou nastat a rozděluje je do osmi fází letu (předletová příprava a pojiždění, fáze vzletu, fáze stoupání, fáze letu v cestovní hladině, fáze klesání, fáze přiblížení, fáze přistání, fáze pojiždění a ukončení letu). Všechny jsou pak charakterizovány podle třech aspektů – pravděpodobnost jevu, závažnost jevu a přínos výcviku. Všechny tři aspekty jsou pak rozděleny do pěti stupňů (u pravděpodobnosti jde o jevy vzácné až téměř jisté, u závažnosti o jevy zanedbatelné až katastrofální, a u hodnocení přínosu výcviku o jevy nedůležité až kritické), na jejichž základě lze určit, jak velkou váhu je potřeba jednotlivým jevům přiřadit.

Důležitým prvkem EBT je sběr a analýza nasbíraných dat. Jedině na jejich základě lze rozvíjet a nadále vylepšovat osnovy výcviku. Všechna data se pak musí pravidelně obnovovat a znovu procházet. Na základě dat získaných od leteckých provozovatelů, výrobců letecké techniky, úřadů pro vyšetřování leteckých nehod, mezinárodních leteckých organizací a leteckých úřadů byl vytvořen základní koncept výcviku EBT. Je však na provozovatelích samotných, aby sbírali data ze svého výcviku a reálného provozu, podrobně je analyzovali a implementovali zpět do výcvikových postupů. Následkem toho si mohou výcvik uzpůsobit přesně na míru svým reálným požadavkům.

Samotný výcvik se skládá z modulů. Každý modul by se měl odehrávat na způsobilém simulátoru a zahrnuje tři fáze. Důraz je kladen na snahu získat potřebné schopnosti, namísto pouhého hodnocení. Přesto však do konce obnovovacího výcviku musí být pilot schopen prokázat osvojení si všech potřebných schopností. První přichází na řadu fáze vyhodnocení, ve které se pilot setkává se situacemi a scénáři, které odpovídají běžnému prostředí, ve kterém pilot běžně působí. Ve druhé fázi se pilot setkává s komplexními manévry, typickými pro danou generaci letadel. V poslední fázi pilot čelí předem neznámým scénářům

a situacím. Tato poslední fáze je nejobsáhlejší fází celého EBT programu a jejím cílem je osvojení si všech potřebných schopností. Pilot se musí vypořádat s náročnými hrozbami, ať už systémového či environmentálního charakteru a zároveň se naučit efektivně komunikovat se zbytkem posádky a společně identifikovat a napravit možné chyby. Nejedná se o pouhé odškrtnutí kolonek splnil/nesplnil, ale o prostředek seberealizace, na jejímž základě pilot získá dostatečné vědomosti, osvojí si dovednosti a vybuduje si správný postoj k řešení problémů. Výstupní formou se tak stává člen posádky, který si je jistý svými schopnostmi řešit nejen známé události, ale také situace, se kterými se předtím nesetkal.

1.2. Průběh výcviku uchazečů o pilotní licenci

V předchozím textu bylo vysvětleno, jak se k leteckému výcviku v dnešní době staví letecké úřady a velké letecké společnosti, které mají zájem na jeho zefektivnění. Nejde totiž o pouhou snahu získat co nejkvalitněji vycvičené piloty, ale vzhledem k inovacím v celém výcvikovém procesu je pravděpodobné, že by se zároveň mohly snížit i celkové náklady na výcvik. Doposud se ale pojednává o metodách využívaných pouze některými velkými dopravci a pouze pro obnovovací výcvik obchodních pilotů. Cesta pilota však ale začíná mnohem dříve a než se uchazeč dostane k této nejvyšší licenci, čeká jej dlouhá cesta, při které stráví mnoho hodin letu v různých typech letadel. Za tuto dobu může pilot při kvalitním výcviku své dovednosti téměř vyšperkovat, ale na druhou stranu si také může do své budoucí kariéry odnést spoustu nežádoucích návyků. Nebude se rozhodně jednat o nějaké fatálně nebezpečné návyky, takové totiž budou pravděpodobně odstraněny a odhaleny instruktorem zavčasu, ale pokud by se už při prvotních licencích přistoupilo k výcviku založeném na důkazech a existoval by způsob, jak tyto drobné nedostatky či nedokonalosti odhalit a následně odstranit hned v zárodku, rozhodně by došlo k vycvičení kvalitnějšího leteckého personálu. Kariéra letce však neláká pouze zájemce o práci v několikačlenné posádce největších dopravních letounů současnosti. Mezi letci je velké zastoupení pilotů, kteří létají ve svém volném čase a létání je pro ně koníčkem nebo létají pro malé či soukromé letecké společnosti. Na základě licence, o kterou žádají podstupují více či méně časově a finančně náročný výcvik. Snaha optimalizovat poměr ceny ku vynaloženému úsilí ku celkové kvalitě výcviku je přítomná i u těchto případů a prostředek, který by tuto snahu podpořil by mohl být žádaným artiklem a přínosem pro výcvikové letecké společnosti.

Každého uchazeče a zájemce o získání pilotní licence, ať už soukromé či obchodní, jejíž získání mu umožní pracovat pro velké letecké společnosti, čeká časově a finančně náročný výcvik, podléhající platné legislativě. V prostředí evropské legislativy je pro českou

jazykovou mutací průběh výběru uchazečů a jejich následný výcvik ustanoven v NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1178-2011 [6]. Kromě částí tohoto nařízení, které se věnují vydávání a manipulaci s průkazy způsobilosti a požadavky pro získání zdravotní způsobilosti nalezneme v Příloze I tohoto dokumentu podmínky průběhu výcviku. Příloha I, tedy část FCL (Flight Crew Licensing) – Licencování leteckého personálu zahrnuje kromě obecných požadavků i konkrétní požadavky pro každou jednu licenci, kterou zájemce o pilotní výcvik může získat.

Pilotní výcvik musí být prováděn kvalifikovanými pracovníky a osnovy výcviku musí být schváleny příslušným leteckým úřadem, který v našich podmínkách představuje ÚCL, tedy Úřad civilního letectví. V České republice je takto registrováno 44 schválených výcvikových organizací [7], jinak známých pod anglickou zkratkou ATO (Approved Training Organization). Každá tato organizace si vytváří vlastní osnovy a postupy výcviku a následného přezkoušení, vše však musí být v souladu s minimálními požadavky stanovenými v části FCL. Nehledě na zvolený typ licence probíhá výcvik vždy jak v teoretické, tak praktické rovině a dohromady se skládá ze čtyř ucelených a vzájemně propojených celků. První fáze výcviku je věnována výuce teorie a je v gesci schválené výcvikové organizace. Ta pak na základě absolvování teoretického výcviku uchazeči uděluje doporučení, což jej opravňuje k přihlášení se ke zkoušce teoretických znalostí, kterou absolvuje pod ÚCL. Co se praktické části týče, uchazeč zahájí výcvik v létání a sbírá praktické zkušenosti nejprve společně s instruktorem, posléze už samostatně jen pod instruktorovým dozorem. Nabyté zkušenosti a dovednosti uchazeč prokazuje složením zkoušky pilotních dovedností.

Jednotlivé licence, které je možné získat lze rozdělit na základě jejich účelu. Zájemce o licenci se musí rozhodnout, zda se létáním chce živit (a do jaké míry) nebo jej provozovat pouze pro zábavu jako volnočasovou aktivitu a v obou případech si rozmyslet, s jakými typy letadel by rád přicházel do styku. Kromě pěti základních licencí (LAPL, PPL, CPL, ATPL, MPL) je možné získat také čtyři rozšiřující kvalifikace (pro lety v noci, vícemotorová, přístrojová IR, EIR) a absolvovat mnoho leteckých kurzů. Pro účely této práce se budu věnovat pouze licencím a kvalifikacím, týkajících se letounů. Další typy letadel, jako jsou balóny a vrtulníky, mají podobnou strukturu výcviku a výcvikové sylaby jsou pouze upraveny dle specifických požadavků daných typů.

1.2.1. LAPL (A) – Light Aircraft Pilot Licence (Aeroplanes)

Nejzákladnější licencí, sloužící k bezúplatnému výkonu funkce velitele letadla v neobchodním provozu je licence pilota lehkých letadel (z anglického Light Aircraft Pilot Licence). Pilot je po jejím získání oprávněn pilotovat jednomotorové letouny s maximální vzletovou hmotností

do 2000 kg, maximálně 4 osobami na palubě, a to vše pouze za podmínek VMC. Pilot smí přepravovat cestující až poté, co po vydání průkazu způsobilosti absolvuje minimálně deset hodin letu ve funkci velitele letadla (PIC – Pilot in command). Licenci je možné rozšířit o kvalifikaci VFR NIGHT, která pilotovi umožní létat za podmínek VMC i v noci.

V teoretické části musí uchazeč absolvovat teoretickou přípravu, která je rozdělena na dvě úrovně – všeobecnou a specifickou. Všeobecné předměty jsou stejné pro všechny žadatele a zahrnují znalost leteckých právních předpisů, lidské výkonnosti, meteorologie a komunikace. Specifické předměty jsou vztaheny ke konkrétní kategorii letadla a zahrnují znalost letových zásad, provozních postupů, provedení a plánování letu, obecných znalostí o letadlech a navigace.

V praktické části je výcvik završen zkouškou dovednosti a pilot musí ve výcviku odlétat alespoň 30 hodin v letounech nebo TMG (tréninkový motorový kluzák), kde z toho alespoň 15 hodin absolvuje ve dvojím řízení a pod dozorem absolvuje šest hodin samostatného letu, ve kterém je zahrnuta doba samostatného navigačního letu o minimálně třech hodinách a alespoň jeden z navigačních letů bude proveden v délce 80 NM (150 km) a je během něj provedeno jedno plné přistání na jiném letišti než je letiště odletu.

1.2.2. PPL – Private Pilot Licence

Druhým stupněm, který už je možno považovat za plnohodnotný vstup do světa letectví je licence soukromého pilota. Tato licence je vhodná pro všechny, kteří chtějí létat s většími stroji, ať už pro zábavu nebo za účelem cestování. Zároveň se jedná o základní licenci při cestě za kariérou profesionálního pilota. Její držitel smí pilotovat jednomotorové letouny a bezúplatně vykonávat funkci velitele letadla nebo druhého pilota za podmínek VMC ve dne. Možnost rozšíření je bohatější než u licence LAPL a žadatel může navíc rozšířit své oprávnění o vícemotorovou (MEP) nebo přístrojovou kvalifikaci (IR), případně navázat kurzem CPL.

Obsahem teoretické zkoušky jsou témata totožná s licencí LAPL. Před zkouškou dovednosti je ve výcviku pilot povinen absolvovat alespoň 45 hodin letu, ze kterých smí být až 5 hodin vykonáno na FSTD. Minimálně 25 hodin musí být absolvováno ve dvojím řízení a 10 hodin pod dozorem, těchto deset hodin zahrnuje pět hodin samostatného navigačního letu a alespoň jeden z těchto letů musí být uskutečněn v délce alespoň 150 NM (270 km) a také dvě plná přistání na letištích jiných, než je letiště odletu.

1.2.3. VFR NIGHT - Kvalifikace pro lety v noci

Jedna z dodatečných kvalifikací, která umožňuje držitelům provádět lety VFR i v noci. Pro získání této kvalifikace je potřeba absolvovat teoretickou výuku a odlétat alespoň pět hodin, ze kterých budou alespoň tři hodiny probíhat ve dvojím řízení, jednu hodinu bude tvořit navigační let a alespoň jeden navigační let ve dvojím řízení proběhne v délce alespoň 27 NM (50 km). V průběhu výcviku uchazeč musí provést pět samostatných vzletů a přistání s plným zastavením.

1.2.4. IR - Přístrojová kvalifikace

Další z kvalifikací, která umožní pilotovi létat i za podmínek IMC, tedy podmínek neumožňující provedení letu VFR. Létat IFR lety mohou pouze držitelé licencí PPL, CPL, MPL nebo ATPL. Pokud tedy uchazeč splňuje podmínku získání dané licence, absolvuje teoretický výcvik a v praktické části výcviku musí provést navigační lety o délce alespoň 50 hodin ve funkci velitele letadla.

1.2.5. MCC - Kvalifikace součinnosti vícečlenné posádky

Jedná se o kvalifikaci potřebnou pro držitele licence PPL či CPL, pokud chtějí létat pro aerolinky a obsluhovat vícepilotní letouny. Cílem kurzu MCC (Multi Crew Coordination) je naučit studenta specifika práce ve vícečlenné posádce. Vzhledem ke své podstatě (zaměřeno na lidský faktor a z většiny na měkké dovednosti) není potřeba provádět výcvik v reálném provozu. Po 25 hodinách teoretické výuky tedy probíhá praktický výcvik na simulátorech v dotaci 20 hodin, případně 15 hodin u uchazečů navštěvujících integrovaný kurz ATPL.

1.2.6. MEP – Kvalifikace pro vícemotorové letouny

Kvalifikace pro vícemotorové letouny MEP (Multi-Engine Piston) je určena pro ty z pilotů, kteří chtějí pilotovat vícemotorové stroje. Samotná kvalifikace MEP je vázána na letouny s pístovými motory, přesto se jedná o nezbytnou kvalifikaci pro pokračovací výcvik pilota dopravního letadla. Uchazeč musí mít alespoň 200 hodin praxe v létání, z čehož 70 hodin musí být ve funkci velitele letadla. V rámci teoretického výcviku pilot absolvuje alespoň sedm hodin výcviku a v praktické části absolvuje šest hodin výuky v provozu ve vícemotorovém letounu.

1.2.7. MPL – Multi-crew Pilot Licence

Jednou ze tří profesionálních licencí, které lze v letectví získat je licence pilota ve vícečlenné posádce. Pokud by pilot rád létal v letecké dopravě s letouny s vícečlennou posádkou jako druhý pilot, tato licence mu to umožňuje. Výcvik probíhá formou integrovaného kurzu, do kterého se přijímají pouze začínající žadatelé. V teoretické části uchazeči absolvují 750 hodin výuky na úrovni teorie pro získání průkazu ATPL. Praktický výcvik je rozdělen do čtyř fází, může být z části odlétán na simulátoru a celkem zahrnuje 240 hodin ve funkci pilota řídicího i neřídicího.

1.2.8. CPL – Commercial Pilot Licence

Pokud se budoucí pilot chce létáním živit, licence obchodního pilota letounů mu toto umožňuje. S průkazem CPL může pilot vykonávat všechna práva držitele průkazu LAPL a PPL, fungovat jako velitel letadla nebo druhý pilot ve všech letadlech mimo obchodní leteckou dopravu a také s jistými omezeními (požadavky na nedávnou praxi) v obchodní letecké dopravě. Výcvik pro získání této licence může probíhat buď integrovanou či modulovou formou. Jinými slovy se jedná o možnost absolvovat celý výcvik buď v jednom uceleném kurzu, což je výhodné pro uchazeče, kteří prozatím nemají zkušenosti s motorovým létáním a prozatím nezískali žádnou pilotní licenci, nebo je výcvik rozdělen do jednotlivých modulů, které uchazeč plní jednotlivě na základě svých časových a finančních možností.

V případě integrovaného výcviku kurz zahrnuje výuku teoretických znalostí v dotaci alespoň 500 hodin a výcvik v letu za viditelnosti a podle přístrojů. Praktický výcvik létání nezahrnuje výcvik pro získání typové kvalifikace a uchazeč musí absolvovat alespoň 180 hodin, ze kterých připadá 80 hodin na výcvik ve dvojím řízení a 70 hodin na lety absolvované ve funkci velitele letadla.

V případě modulového výcviku kurz počítá s uchazečem, který je držitelem licence PPL. Ten před zahájením výcviku musí mít odlétáno alespoň 150 hodin a splňovat předpoklady pro získání třídní nebo typové kvalifikace pro vícemotorové letouny. Kurz pak zahrnuje 250 hodin teoretické výuky a výcvik v letu za viditelnosti a podle přístrojů. Praktický výcvik se dále odvíjí podle dosažených kvalifikací. Piloti bez přístrojové kvalifikace musí absolvovat 25 hodin výcviku ve dvojím řízení včetně deseti hodin výcviku v letu podle přístrojů. Piloti s platnou přístrojovou kvalifikací absolvují 15 hodin výcviku v letu za viditelnosti ve dvojím řízení. Pokud pilot nemá kvalifikaci pro let letounem v noci, absolvuje pět hodin výcviku letu v noci včetně tří hodin ve dvojím řízení a jednoho navigačního letu s pěti samostatnými vzlety

a přistáními s úplným zastavením. Celkem musí žadatel absolvovat alespoň 200 hodin letu, z toho 100 hodin ve funkci velitele letadla.

1.2.9. ATPL – Airline Transport Pilot Licence

Hlavní metou pro všechny piloty, kteří chtějí pracovat jako profesionální piloti u leteckých společností v obchodní letecké dopravě, a to zejména v linkové dopravě. Držitel průkazu ATPL smí vykonávat všechna práva držitele průkazu LAPL, PPL a CPL a vykonávat funkci velitele letadla v obchodní letecké dopravě. Opět lze tuto licenci získat buď formou integrovaného nebo modulového výcviku. V teoretické zkoušce musí žadatel prokázat znalosti z víc než deseti odvětví. Jedná se o právní předpisy v oblasti letectví, obecné znalosti o letadle, hmotnost a vyvážení, výkonnost, plánování a sledování letu, lidská výkonnost, meteorologie, obecná a radiová navigace, provozní postupy, letové zásady, komunikace pro lety VFR a IFR. Pokud by byl výcvik prováděn formou modulového kurzu, časová dotace teoretického výcviku se upravuje pro držitele licence PPL na 650 hodin, pro držitele licence CPL na 400 hodin, pro držitele přístrojové kvalifikace IR na 500 hodin a pro držitele licence CPL i s kvalifikací IR na 250 hodin. V rámci praxe musí pilot absolvovat nejméně 1 500 hodin v letounech.

1.3. Hodnocení pilotáže

Vzhledem k tomu, že jednotliví dopravci a letecké školy mají volnou působnost ve tvorbě svých osnov, jejich forma a metody hodnocení nejsou nikde povinně zveřejňovány. Pokud se jednotlivé společnosti změnou výcvikových pomůcek zabývají, rozhodně se nejedná o nějakou globální spolupráci. I přesto, že se toto téma mimo uzavřené kruhy moc nerozebírá, problematika leteckého výcviku se řeší alespoň na akademické úrovni.

V rámci studií ohledně výcviku je možné setkat se základním typem zkoumání a měření hodnot souvisejících s pilotní zátěží. Převažují výzkumy založené na monitorování fyziologických reakcí pilotů, a to jak při simulačních cvičeních, tak i v reálném provozu. Mezi nejčastěji měřené tělesné projevy patří frekvence srdeční činnosti (EKG), dechová frekvence, svalové napětí (tzv. myopotenciál), tělesná teplota, mozková aktivita (EEG), galvanická kožní reakce a krevní tlak. Pokud se jedná o studie zaměřující se na adaptaci nových či budoucích pilotů na nejnovější technologie implementované do moderních letadel, lze jmenovat studii zaměřenou

na přechod studentů z klasických navigačních přístrojů na trend tzv. Glass cockpit [8] či studii zaměřenou na využívání simulačních pomůcek a trenažerů při výcviku pilotů [9].

1.4. Hodnocení soft skills / hard skills

Každý z uchazečů o kteroukoliv z daných licencí si na základě jejich časového rozpočtu dokáže udělat představu o časové dotaci jeho budoucího výcviku na základě pevně daných podmínek. Bez splnění podmínek praktické části nebude připuštěn k vykonání zkoušky dovedností. Cílem každé letecké školy je maximalizovat efektivitu výcviku a stihnout v daném časovém intervale žáka naučit vše potřebné. Tato zodpovědnost je kladena do rukou instruktorů, kteří svojí zkušeností a svým specifickým osobním přístupem předávají žákům maximum a snaží se nestranně a objektivně hodnotit dosažené výsledky a poukazovat na nedostatky, které je potřeba v průběhu výcviku odstranit. Ačkoliv je zřejmá snaha o hodnocení jednotlivých schopností a dovedností objektivním způsobem, neubráníme se faktu, že každý jeden instruktor je také jen člověk, který už ze samotné podstaty nemůže být úplně objektivní. Může se nekvalitně vyspat, mít nějaké starosti anebo z jakéhokoliv jiného důvodu polevit v pozornosti. A i kdyby byl perfektně soustředěný, rozhodně nemůže stíhat kontrolovat úplně vše a všechny odchylky registrovat. Tento fakt však není na škodu, je potřeba s ním ale počítat a uvažovat nad možnostmi, jak instruktorovi ve výkonu jeho práce pomoci. Právě proto je jednou z možností, jak letecký výcvik vést, snaha vytvořit softwarové rozhraní, které by sbíralo letecká data, ke kterým by se instruktor mohl kdykoliv vrátit, odvolat se na ně a na jejich základě se rozhodovat, jakým směrem dále výcvik povede, na co se u žáka zaměří atd.

Při snaze vytvořit takový software, který je v podstatě v souladu s myšlenkou EBT, je důležité rozhodnout, jakým směrem by měl být orientován. Pokud chceme žákovy schopnosti nějak hodnotit, musíme vědět, na co se zaměřit.

Lidské dovednosti lze dělit do mnoha kategorií, pro naše účely je ale důležité rozdělení používané v psychologii a manažerském odvětví. Jedná se o rozdělení na takzvaně měkké dovednosti (soft skills) a tvrdé dovednosti (hard skills). Mezi měkké dovednosti řadíme takové kompetence z oblasti lidského chování, které se vztahují k sociální inteligenci. Jde o různou úroveň schopnosti jednotlivce tvořivě myslet, komunikovat s ostatními lidmi nebo například řešit různé nečekané situace. Mezi žádoucí měkké kompetence u pilotů patří např. schopnost efektivní komunikace, spolupráce v kolektivu, samostatnost, plánování a organizování práce, schopnost řešit problémy nebo zvládat zátěž. [10] Vzhledem k tomu, že se nejedná o konkrétní odbornosti, ale o komplexní schopnosti člověka, nelze je jednoznačně objektivně změřit.

Oproti tomu tvrdé dovednosti jsou jednoznačně měřitelné, potažmo je lze rozdělit na jednotlivé měřitelné složky, které lze následně ověřit testem nebo praktickou zkouškou. V letectví se jedná o naučitelné dovednosti jako zvládnutí letecké frazeologie, pochopení meteorologických jevů nebo manuální ovládání letadla. Vzhledem k dobré měřitelnosti těchto schopností je možné právě s jejich posuzováním instruktorovi vypomoci.

Pokud by cílem snažení měl být vývoj nějakého softwaru, který by umožnil analyzovat a případně i vyhodnocovat výkonnost pilota, nejreálnější možností se jeví vyvinutí programu, který dovede znázornit průběh letu a vizualizovat jednotlivé parametry letu tak, aby k nim měl instruktor jednoduchý přístup. Instruktor by se pak mohl k této pomůcce vracet a veškerá data by měl jako na dlani. Mohl by pak jednoduše zjistit, se kterými úkony má student těžkosti a ve kterých naopak exceluje. Na základě těchto údajů pak instruktor může využít svých zkušeností a uzpůsobit tempo výcviku tak, aby byla výuka co nejefektivnější. Snahou by pak bylo tyto metody uplatňovat v nejranějších stádiích výcviku, aby si pilot budoval ty nejlepší návyky od samotného počátku.

1.5. Parciální závěr

Koncept EBT (Evidence Based Training), tedy výcvik založený na důkazech se v moderní letecké dopravě rozvíjí a velké letecké společnosti mají snahu tento systém a další koncepty z něj odvozené ve svých výcvikových programech využívat. Důvod je prostý, jedná se o prostředky, které zdokonalují letecký výcvik, a i přes jistou obecnou náročnost (začlenění nových postupů je dobrovolné, veškeré vyčlenění lidských a finančních zdrojů musí vzejít z vůle dané společnosti) se ukazuje, že dopravcům záleží na zkvalitnění výcviku a že potenciál snížení leteckých nehod, a tím pádem i zabránění škodám na majetku či ztrátám životů, je dostatečně přesvědčivým důvodem pro využití moderních postupů. Typ výcviku, o kterém je řeč se však využívá pouze pro obnovovací výcvik a pouze u největších leteckých společností. Pro menší společnosti by vynaložené prostředky nemusely být rentabilní. Ve všeobecném letectví se pak s podobným systémem výcviku prozatím vůbec neseťkáme. Pokud by se však ukázalo, že existuje finančně dostupný způsob, jak založit letecký výcvik na důkazech i ve všeobecném letectví, mohlo by jít o další krok k zefektivnění výcviku, jehož výsledkem by byl lépe připravený a vycvičený pilot.

2. Definování cílů a hypotéz

Zavádění výcviku založeném na důkazech hraje v civilním letectví významnou roli, a to nejen z hlediska optimalizace výcviku, ale také v souvislosti s bezpečností v letovém provozu. Součástí EBT je tzv. data-driven výcvik, tedy výcvik založený na sesbíraných datech. Mimo obchodní leteckou přepravu nemá tento přístup obdobu, a proto ve všeobecném letectví neexistují koncepty, které by udaly směr potenciálnímu výcviku založeném na sesbíraných datech. Otázkou také je, zda je vůbec podobný styl výcviku potřebný. Cílem práce je tedy vzhledem k výše uvedenému přiblížit tuto tematiku a zvážit možnost zavedení podobného stylu výcviku do praxe. Daná problematika je obširná a lze ji uchopit z mnoha úhlů, práce se tedy zaměří na zodpovězení pouze základních dvou otázek:

- 1) Je hodnocení základní techniky pilotáže instruktorem dostatečné nebo existuje prostor pro zdokonalení?
- 2) Které ze základních manévru jsou pro začínající piloty nejnáročnější případně nejvíce stresující?

Na základě uvedených výzkumných otázek byly formulovány následující hypotézy:

Hypotéza 1: Hodnocení základní techniky pilotáže instruktorem bude vykazovat stejné výsledky jako hodnocení na základě exaktních dat.

Hypotéza 2: Jednotlivé sledované manévry budou vzájemně odlišitelné na základě sledovaných parametrů letu a parametrů analýzy variability srdečního rytmu.

Hypotéza 3: Jednotlivé sledované manévry budou mít narůstající úroveň obtížnosti, která se projeví na snížené přesnosti pilotáže.

3. Metodika výzkumu

Splnění hlavních cílů a otázek diplomové práce spočívá v rozdělení na jednotlivé menší cíle, které budou řešeny v jednotlivých fázích. Stěžejní a prvotní částí pro celou práci je získání naměřených dat z výzkumného vzorku pilotů začátečníků, kteří byli v průběhu výcviku několikrát měřeni. Tato data je potřeba v dalších fázích sesumarizovat, postupně zpracovat a za pomoci vhodného softwaru také vyhodnotit. Na základě takto vyhodnocených dat bude ve výsledku možné zjistit, zda byly uvažované hypotézy naplněny. Pro úspěšné dosažení cílů bude využito empirických, logických a matematicko-statistických metod.

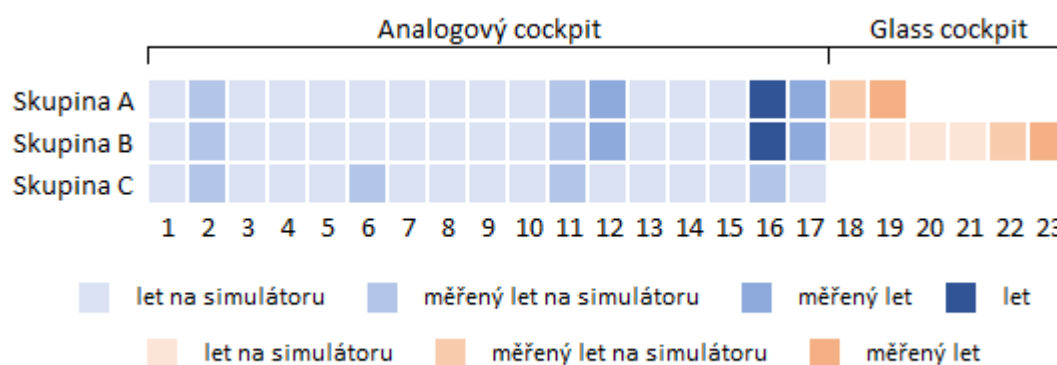
3.1. Výzkumný vzorek

Pro účely výzkumu došlo k výběru uchazečů o výcvik z řad studentů prezenčního bakalářského studia, konkrétně šlo o studenty leteckých studijních oborů. Aby mohli být uchazeči zařazeni do studie, museli splnit stejné požadavky, jaké jsou kladeny na žadatele o pilotní licenci soukromého pilota PPL (Private Pilot Licence). Jedná se o požadavky na způsobilost pilota letounu uvedené v Nařízení komise (EU) č. 1178/2011. Ohled byl brán zejména na přílohu I (Část FCL) a zdravotní způsobilost definovanou v příloze IV (Část MED). Uchazeči, kteří vyhověli podmínkám, museli také prokázat osvojení si základních vědomostí, konkrétně znalostí z teorie základů letu a navigace. Pro účely výzkumu bylo potřeba zajistit, aby skupiny byly co nejvíce uniformní a nedocházelo ke zkreslení výsledků, z tohoto důvodu byli vybráni pouze uchazeči, kteří neměli žádné předchozí zkušenosti s létáním.

Výše zmíněná kritéria vedla ke konečnému výběru 30 uchazečů, kteří byli následně rozděleni do tří výcvikových skupin. První výcviková skupina (Skupina A) sestávala z osmi mužů a dvou žen s věkovým průměrem 22 ± 5 let. Druhá výcviková skupina (Skupina B) byla tvořena devíti muži a jednou ženou. Průměrný věk této skupiny činil 23 ± 3 roky. Třetí výcvikovou skupinu (Skupina C) utvářelo 7 mužů a 3 ženy s průměrným věkem 21 ± 4 roky. Na základě rozdělení na tři skupiny byl vypracován výcvikový plán, který spočíval v osvojení si techniky pilotáže za použití analogového cockpitu a jeho následné výměně za glass cockpit. Pro obě skupiny byla první část výcviku a hodnocení totožná, avšak po ukončení této části a přechodu na glass cockpit se u první skupiny přistoupilo rovnou k měření hodnot, kdežto druhá skupina podstoupila dodatečný výcvik.

3.2. Harmonogram výcviku

V průběhu experimentálních měření byl největší ohled věnován na zvládnutí jednoduché techniky pilotáže. Pro dosažení žádoucích výsledků absolvovali uchazeči nejprve společnou teoretickou přípravu v rozsahu dvou hodin, ve kterých se seznamovali s ergonomií pilotní kabiny. Obeznamenali se tedy se základním rozdělením jednotlivých ovládacích prvků a základních navigačních přístrojů, kdy byl důraz kladen na pochopení jejich významu pro pilota a jak s nimi zacházet. Teoretická příprava však úmyslně nezahrnovala informace o parametrech a funkci jednotlivých prvků v systému glass cockpit a veškeré prvky byly vysvětleny pouze na kabině s analogovými navigačními přístroji a mechanickými ukazateli. Díky této teoretické části došlo k ujednocení potřebných základních znalostí uchazečů, nutných pro úspěšné absolvování výzkumu. V další fázi následovala praktická část výcviku, a to pod vedením zkušeného instruktora. Pro tuto část výcviku byla vypracována metodika, která je graficky znázorněna na obr. 3-1.



Obr. 3-1 – Harmonogram výcviku zkoumaných skupin

Jak už bylo naznačeno, realizace praktické části výcviku byla pro účely výzkumu pro každou skupinu z části odlišná. Skupina A v prvním bloku absolvovala celkem 11 hodin na leteckém trenažéru plně osazeném analogovými a mechanickými ukazateli a přístroji. V tomto jedenáctihodinovém bloku bylo u každého účastníka dvakrát provedeno měření jak psychofyziologických parametrů, tak přesnosti pilotních manévrů. Měření se provádělo u druhé a jedenácté, tedy poslední hodiny. Po odlétání úvodních jedenácti hodin na trenažéru byl výcvik na jednu hodinu přesunut do reálného provozu, ve kterém taktéž došlo k měření výkonu všech účastníků. Po této zkušenosti se účastníci vrátili zpět k výcviku na trenažéru o délce tří hodin a následně na dvě hodiny zpět do reálného provozu. Poslední let byl opět měřen. Po završení celkem 17 výcvikových hodin v pilotní kabině vybavené pouze analogovými ukazateli byl účastníkům představen trenažér letounu vybaveného systémem glass cockpit, na kterém odlétali jednu výcvikovou hodinu, při které byli měřeni a celý výcvik byl završen

provedením měření v reálném provozu v letounu, který je také vybaven systémem glass cockpit.

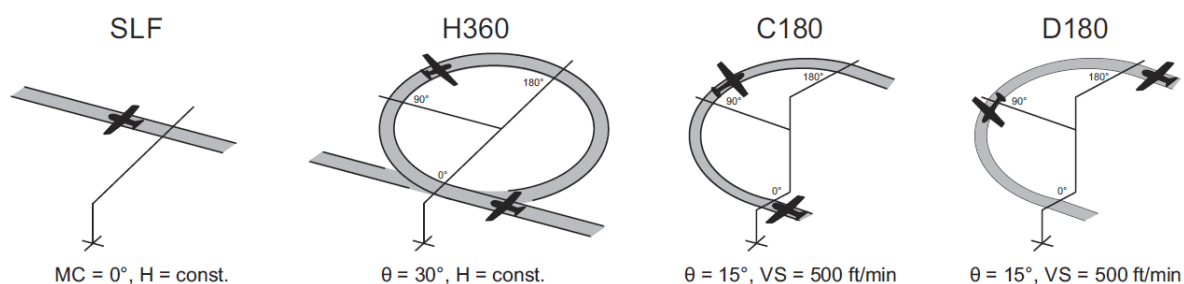
Studenti ze skupiny B měli prvních 17 hodin totožných se skupinou A. Absolvovali tedy 11 letových hodin na trenažéru letounu s analogovou pilotní kabinou, u kterých byly při druhé a jedenácté hodině měřeny jejich výkony. Poté absolvovali jednu hodinu letu v letadle, následovanou třemi hodinami na trenažéru a opět dvě hodiny v letadle, kdy se měřila druhá tedy poslední hodina s analogovou pilotní kabinou. Na řadu přišla druhá fáze a s ní i rozdílný přístup k výcviku oproti skupině A. V druhé části výzkumu byl celý výcvik situován do kabiny se zobrazením typu glass cockpit a druhá skupina na rozdíl od první absolvovala pět hodin navíc na trenažéru letadla s tímto typem zobrazení. Měřená byla poslední tréninková hodina a na úplný závěr výzkumu proběhlo měření v letadle vybaveným systémem glass cockpit.

Rozdílem pro skupinu C byla absence výcviku v reálném provozu, tudíž účastníci absolvovali pouze 16 letů simulovaných letů na trenažérech. Výcvik byl totožný se skupinami A a B pouze s rozdílem, že měření probíhala navíc v šesté hodině a šestnáctá hodina byla měřena na simulátoru na rozdíl od reálného provozu. Přes tento fakt svou účastí skupina pomohla rozšířit výzkumný vzorek a zajistit objektivnější průřez naměřenými parametry.

Veškerý výcvik na simulátorech probíhal na leteckém trenažéru typu TRD40 a praktický výcvik v reálném provozu probíhal na letounu Diamond DA40. Pro potřeby výcviku se systémem glass cockpit byl ve druhé fázi využíván navigační přístroj Garmin G1000. Pro všechny lety bylo stanoveno, že let bude probíhat za meteorologických podmínek pro let za viditelnosti (VMC – visual meteorological conditions) a to proto, aby bylo umožněno létat podle pravidel létání za viditelnosti (VFR – visual flight rules). Jak simulované, tak reálné lety uchazeči prováděli uvnitř koncové řízené oblasti (TMA – Terminal control area) mezinárodního letiště Košice international airport (ICAO zkratka LZKZ).

Pro účely hodnocení a měření výkonů a psychofyziologických parametrů byly vytvořeny a přesně definovány jednotlivé typy manévřů, které museli účastníci výzkumu při každém letu vykonat (viz obr. 3-2). Cílem bylo udržet požadované parametry letu u čtyř základních manévřů. Prvním manévrem byl horizontální přímočarý let (SLF – Straight and Level Flight), druhým měřeným manévrem byla horizontální zatáčka o 360° (H360) s parametrem dodržení náklonu 30° a třetí a čtvrtý manévr spočíval v stoupavé a klesavé zatáčce o 180° (C/D180) při dodržení náklonu 15° a vertikální rychlosti stoupání (klesání) 500 ft/min. Pořadí manévřů v takto vytvořené sérii bylo pevně dané a neměnné a celá série se v průběhu jednoho letu třikrát zopakovala. Výsledkem jednoho letu tak bylo provedení celkem tří sérií manévřů v pořadí SLF, H360, C180 a D180. Vzhledem k povaze a náročnosti úkonů přistání a vzletu

byly tyto fáze letu zajištěny kvalifikovaným pilotem. Navzdory pevnému schématu provedení manévru se nejednalo o spojitý řetězec všech těchto manévru jdoucích za sebou, u většiny uchazečů totiž bylo pro zachování bezpečnosti letu nutné po provedení jednotlivých úkonů korigovat letovou výšku, kurz a případně další parametry letu. Takto vytvořený systém umožnil dodržet pro všechny účastníky jednotný výcvik a podmínky ve všech jeho fázích a stejně tak i při jednotlivých měřeních, zároveň umožnil zpracovat dostatečnou analýzu, a to jak uvnitř skupiny, tak mezi oběma skupinami jakožto dvěma celky.



Obr. 3-2 – Manévry měřené během výcviku

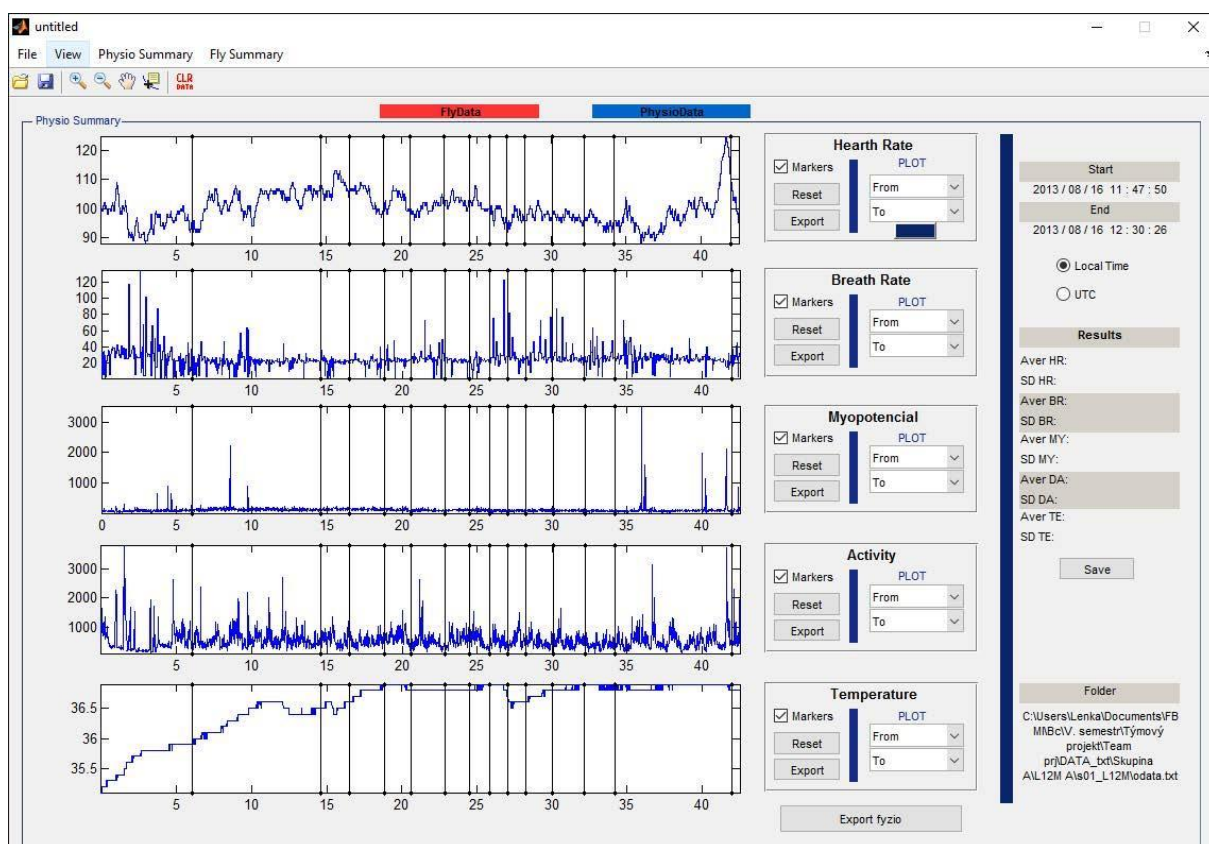
Pro potřeby výzkumu se v průběhu měřených letů zaznamenávaly parametry přesnosti pilotáže a měřila variabilita srdečního rytmu, díky které lze odvodit a zhodnotit psychofyzilogická kondice jednotlivců, tedy zejména indikace přítomného stresu.

3.3. Prvotní zpracování naměřených dat

Data, která byla v průběhu letů naměřena jsou na výstupu zpracována do jednoduchého textového souboru. Každý tento soubor obsahuje naměřený záznam celého letu a pro každého účastníka a každý jeden let je vytvořen jeden unikátní soubor. V daném textovém souboru lze nalézt informace o datu a čase, kdy bylo provedeno měření, zejména pak ale výstupy z měřících zařízení. Kódy v souboru udávají informace o použitém měřícím zařízení, výstupových hodnotách naměřené tepové frekvence, jednotlivé markery označující začátek a konec manévru a ostatní parametry, které z důvodu nespolehlivosti naměřených dat nebudou v této práci využity. Jedná se konkrétně o hodnoty naměřené tělesné teploty, hodnoty naměřené dechové frekvence a hodnoty naměřeného myopotenciálu.

Takovýto jednoduchý textový soubor je však pro další zpracování naměřených dat nevhodný, a proto je potřeba je prvotně zpracovat a převést do vhodnějšího formátu. Pro tento účel byl využit program Matlab a v něm vyvinut software, který textová data zpracovává a jednotlivé parametry od sebe odlišuje. Výsledkem je vykreslení dat do grafů s možností exportu ve formátu xls, což je formát podporovaný programem Excel z řady produktů MS Office. Nasbíraná fyziologická data jsou pro názornost vykreslena v časové ose do jednotlivých grafů

s viditelnými markery, které představují důležité momenty v měření, v našem případě se jedná o zahájení a ukončení manévru (viz obr. 3-3). Kromě toho je možné data také graficky převést do grafického znázornění v podobě boxplotů a lze do programu také načíst data z trenejru.



Obr. 3-3 – Prvotní zpracování naměřených dat v programu Matlab

3.4. Zpracování tepové frekvence

Srdeční tepová frekvence je ukazatelem srdeční činnosti, ze které lze vyčíst momentální fyziologický stav a také s její pomocí můžeme analyzovat funkčnost kardiovaskulárního systému u měřeného jedince. Rychlost tepu neboli srdeční puls je důsledkem srdeční činnosti, při které se ze srdce cévním systémem přivádí okysličená krev do svalů, což pomáhá zajistit jejich správnou činnost. V klidovém režimu je pro dospělého člověka normální rychlost tepu mezi 60 a 90 úderů za minutu (BPM – Beats Per Minute) s průměrem kolem 70 BPM u mužů a 75 BPM u žen. Přesto se však tep u jednotlivců může měnit, a to vlivem zejména věku, genetiky a životosprávy. U sportovců je například běžné, že se klidový tep pohybuje pod hranicí 50 tepů za minutu. Mezi způsoby měření tepové frekvence kromě základního nahmatání pulzu patří také přesnější a běžně v lékařství používaná metoda poslechu stetoskopem či za pomoci EKG.

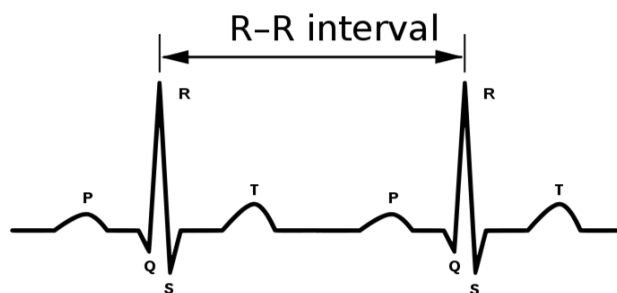
Kromě fyzické aktivity má na srdeční rytmus velký vliv i psychická aktivita, konkrétně psychická zátěž. Mezi hlavní reprezentanty psychické zátěže řadíme stres. Vystavení stresu ovlivňuje srdeční činnost a projeví se zejména na změně tepové frekvence, což je důsledek projevu sympatického a parasympatického systému autonomní nervové soustavy (ANS). Účelem autonomní nervové soustavy nebo též vegetativního nervového systému (VNS) je zajistit správnou funkci vnitřních orgánů a krevního oběhu a podle potřeby regulovat vnitřní prostředí organismu. Motoneurony sympatikus a parasympatikus jsou součástí periferního nervového systému a jednou z jejich funkcí je také regulovat činnost srdce. Jedná se neurony s opačným účinkem na organismus. Sympatikus srdeční aktivitu zvyšuje, což je potřeba například při výkonu očekávané fyzické aktivity, projev jeho aktivace lze ale pozorovat také při zvýšeném stresu či při vystavení silně emotivnímu zážitku. Naopak parasympatikus tepovou frekvenci snižuje a zařizuje celkové zklidnění organismu.

Srdeční činnost se neustále mění a stejně tak tepová frekvence. Je to způsobenou změnou intervalů mezi srdečními stahy, což je proces, který se nazývá variabilita srdečního rytmu (HRV – Heart Rate Variability). Tento proces poukazuje na to, jak se měřený jedinec dokáže vyrovnat se zátěžovými situacemi, tedy jak zvládá stres a jak je schopen přizpůsobit se kladeným nárokům. Prokázalo se, že není žádoucí ani velký stupeň nestability, avšak stejně tak není vhodné, pokud dochází pouze k malým změnám ve variabilitě. [11,12]

3.4.1. Analýza variability srdečního rytmu

Analýza variability srdečního rytmu představuje významnou neinvazivní metodu, na jejíž základě můžeme zkoumat projevy nervového systému a jeho parasympatické a sympatické složky. [13]

Mezi základní charakteristiky tepové frekvence, které pomáhají s analýzou srdeční činnosti patří R-R interval (viz obr. 3-4), což je interval mezi dvěma po sobě jdoucími komorovými komplexy (takzvané QRS komplexy). Tento interval se při zrychlení tepové frekvence zkracuje a při zpomalení prodlužuje. Metody hodnocení HRV signálu jsou různé a mezi nejčastěji používanými patří časová analýza a frekvenční (spektrální) analýza.



Obr. 3-4 – QRS komplex a znázorněný R-R interval

3.4.2. Časová analýza

V rámci časové analýzy byl využit surový záznam R-R intervalů. Jako základní prvek analýzy posloužil výpočet pro hodnotu tepové frekvence (HR, udává se v bpm), která se z R-R intervalu (udávaném v ms) určí na základě vztahu:

$$HR = \frac{60000}{RR} \quad (3.1)$$

Tepovou frekvenci lze pak dále hodnotit na základě dalších parametrů:

- SDNN (ms) – směrodatná odchylka, která určuje celkovou variaci zaznamenaných R-R intervalů. Pokud je hodnota SDNN nízká, variabilita srdečního rytmu bude také nízká. Vzhledem k tomu, že délka záznamu ovlivňuje naměřenou odchylku, je nutné při porovnávání dodržet přibližně stejnou délku záznamu.
- RMSSD (ms) – druhá odmocnina sumy druhých mocnin rozdílů mezi na sebe navazujícími R-R intervaly
- mean HR (bpm) – průměrná hodnota tepové frekvence
- mean R-R (ms) – průměrná délka R-R intervalů
- min R-R (ms) – minimální časový rozdíl mezi po sobě následujícími R-R intervaly. Jedná se o hodnotu, kdy je tepová frekvence maximální.
- max R-R (ms) – maximální časový rozdíl mezi po sobě následujícími R-R intervaly. Jedná se o hodnotu, kdy je tepová frekvence minimální.

3.4.3. Spektrální analýza

Druhou metodou použitou pro hodnocení variability srdečního rytmu je výkonová spektrální analýza, díky které jsme schopni odlišit data vycházející z projevu sympatiku od dat, která jsou

projevem parasympatiku [14] [15]. Spektrální analýza je někdy také nazývána jako frekvenční analýza, jelikož hodnotí míru oscilací v různých částech frekvenčního spektra. Pro hodnocení lze využít Fourierovy transformace (FT), případně diskrétní Fourierovy transformace (DFT) nebo rychlé Fourierovy transformace (FFT). Jedná se o funkci, která převádí signál mezi časovým a frekvenčním vyjádřením, a to za pomoci harmonických oscilujících signálů, tedy funkcí sinus a cosinus. Pro spojitě signály je využívána normální Fourierova transformace, pokud se analyzují časové R-R intervaly, využívá se diskrétní Fourierovy transformace [16]. Je také možné proces do jisté míry zkrátit s použitím rychlé Fourierovy transformace, pouze však u případů, kdy je počet časových vzorků roven mocnině čísla 2. [17]

Další metodou, kterou lze využít je Lombův periodogram, který je jinak také známý pod názvem spektrální analýza nejmenších čtverců. Jedná se o upravenou formu Fourierovy transformace a výhodou na rozdíl od ostatních metod je, že umožňuje pracovat s daty v nepřevzorkované formě. Srdeční frekvence je totiž v surové formě vzorkovaná nepravidelně a v případě Fourierovy transformace je potřebné převádět data na rovnoměrně rozložený signál. Periodogram vychází ze zadaného počtu bodů, ze kterého je spočtena průměrná hodnota a odchylka, na jejichž základě se vypočte pravděpodobná periodičita a časový posun, který je funkcí úhlové frekvence. Jedná se o relativně zdlouhavý a komplikovaný výpočet, jehož plné znění lze nalézt v materiálu [18].

Srdeční rytmus je tedy rozdělen do několika frekvenčních pásem:

- VLF (ms^2) – pásmo ukazující spektrální sílu v oblasti velmi nízkých frekvencí (0.01 – 0.04 Hz). Tato oblast odráží činnost sympatické nervové soustavy.
- LF (ms^2) – pásmo ukazující spektrální sílu v nízkých frekvencích (0.04 – 0.15 Hz). Jedná se o oblast, ve které jsou charakterizovány oba systémy, tedy jak sympatický tak parasympatický. Při běžném zatížení však převládá aktivita sympatické nervové soustavy.
- HF (ms^2) – pásmo ukazující spektrální sílu ve vysokých frekvencích (0.15 – 0.4 Hz). Oblast odrážející činnost parasympatické nervové soustavy, ovlivněná zejména dýcháním.

Pro charakterizaci frekvenční analýzy jsou určovány i následující ukazatele a parametry:

- TP (ms^2) – celková spektrální síla či celkový výkon (z anglického Total Power). Jedná se o odhad celkového výkonu napříč všemi frekvenčními pásmy (0.01 – 0.4 Hz).

- $nLF (nu)^*$ – spektrální síla nízkých frekvencí vyjádřená v normalizovaných jednotkách. Jedná se o poměr hodnoty LF a rozdílem mezi TP a VLF vytvořeným za účelem minimalizace vlivu nízkofrekvenčního pásma:

$$nLF = \frac{LF}{TP - VLF} \quad (3.2)$$

- $nHF (nu)^*$ – spektrální síla vysokých frekvencí vyjádřená v normalizovaných jednotkách. Jedná se o stejnou myšlenku jako u nLF se snahou lépe poukázat na změny vyvolané parasymptikovou aktivitou:

$$nHF = \frac{HF}{TP - VLF} \quad (3.3)$$

- LF/HF – poměr nízkofrekvenční a vysokofrekvenční spektrální síly. Popisuje rovnováhu mezi projevy sympatikového a parasympatikového nervového systému. V případě nízké hodnoty se jedná o převahu vysokofrekvenčního pásma, dominující složkou je tedy parasympatikus, a naopak při vyšší hodnotě převažuje nízkofrekvenční pásmo a dominující složkou je sympatikus.

V rámci vypracování práce nebudou využity parametry v normalizovaných jednotkách, jelikož pro splnění účelu postačí naměřené hodnoty HF a LF a jejich poměr bez dalších přepočtů.

3.5. DBSCAN

Pro vytvoření softwaru, který by umožnil vyhodnocovat a sbírat potřebné parametry a data je potřeba využít statistických technik. Jednou z několika technik, která se využívá při strojovém učení (machine learning) je metoda učení bez učitele (unsupervised learning), při které vycházíme ze vstupních dat, ke kterým neznáme výstup, resp. nehledáme konkrétní cíl nebo výsledek, namísto toho shlukujeme data na základě podobnosti v pozorování. Základní technikou pro zpracování dat je u této metody shlukování (clustering). Ke zpracování dat a nalezení vzorců je zapotřebí využít shlukové analýzy dat. Jinými slovy data roztřídit do jednotlivých skupin na základě podobnosti vlastností jednotlivých prvků.

Jedním z algoritmů, které tuto práci dokáží zastat je algoritmus DBSCAN (zkratka pro Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), což je dobře známý algoritmus pro shlukovou analýzu, využívaný v data mining a machine learning. Jak už název napovídá, tato shlukovací metoda umožní oddělit shluky s vysokou hustotou od shluků s nízkou hustotou

(noise). Princip funkce je relativně jednoduchý. Na začátku musíme pro DBSCAN nastavit dva parametry:

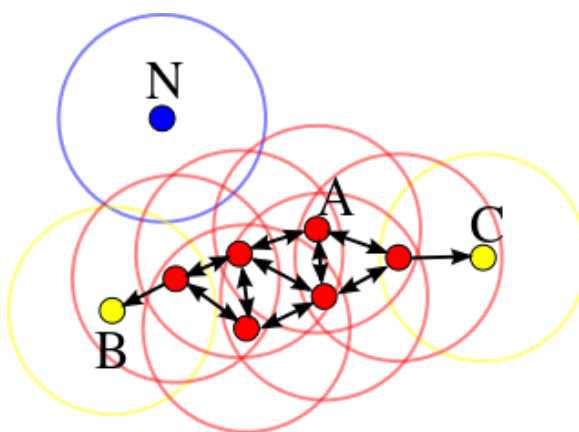
- Minimální počet bodů, potřebných k vytvoření jednoho shluku
- Maximální vzdálenost mezi body, tvořícími totožný shluk (epsilon)

Na základě těchto parametrů DBSCAN využívá rozdělení bodů do tří skupin:

- Středový bod – počet bodů v poloměru je vyšší než vstupní parametr k
- Okrajový bod – počet bodů v poloměru je totožný s parametrem k – okraj shluku
- Šumový bod – počet bodů v poloměru je menší než parametr k – odlehlý bod

Algoritmus si pak data rozdělí do n dimenzí, poté začne v náhodném bodě a spočítá, kolik se v jeho okolí nachází dalších bodů. V tomto procesu pokračuje, dokud se kolem nenachází žádné body, a pak začne hledat dál, aby mohl vytvořit podle stejného principu další shluk. To se opakuje až do té doby, dokud nejsou navštíveny všechny body a nejsou zařazeny do třídy nebo vyhodnoceny jako šum.

Na obr. 3-5 lze vidět příklad všech bodů. Pro minimální počet 4 bodů v poloměru epsilon považujeme bod A a všechny ostatní červené body za středové (oblast daná poloměrem obsahuje včetně bodu samotného 4 body). Žluté body B a C jsou body okrajové, jelikož neobsahují v daném poloměru alespoň čtyři body, ale jelikož jsou v dosahu středových bodů u daného shluku, jsou také součástí tohoto shluku. Modrý bod N není ani středovým bodem, ani není v dosahu žádného středového bodu, tudíž se jedná o odlehlý bod neboli šum.

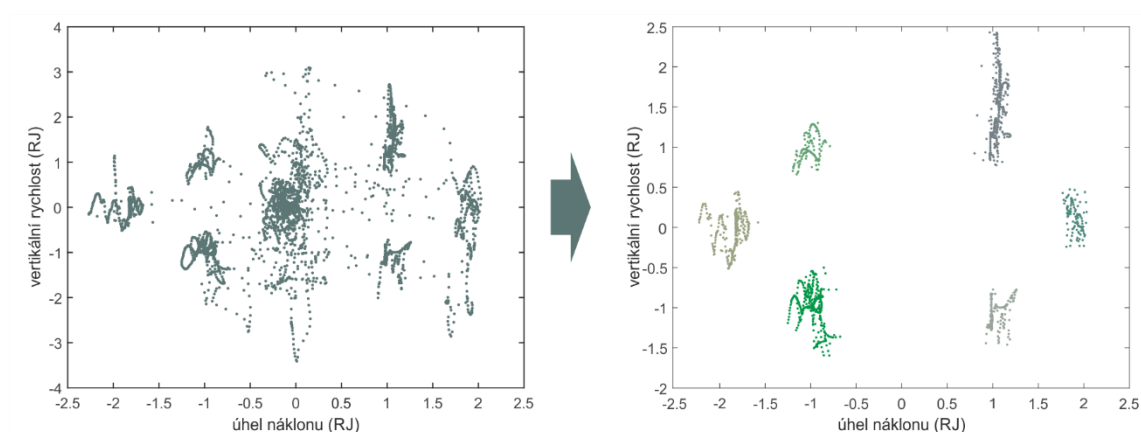


Obr. 3-5 – Schéma funkce algoritmu DBSCAN

Mezi výhody metody DBSCAN patří schopnost separovat shluky s vysokou hustotou od těch s nízkou hustotou, díky čemuž dobře pracují s odlehlými body v daném souboru dat. Mezi nevýhody ale řadíme chybovost při nerovnoměrné hustotě dat a také vysokou výpočetní náročnost.

3.6. Naměřené parametry a aplikace algoritmu DBSCAN

V dané situaci z hlediska přesnosti pilotáže považujeme u vybraných jednotlivců za nejdůležitější následující parametry – magnetický kurz neboli heading, vertikální rychlost, náklon a barometrickou výšku. Dané parametry letu byly vybrány tak, aby co nejlépe reprezentovaly dané manévry a odchylky, které při jejich provádění mohou vzniknout. Naměřená data byla opět zpracována v programu Matlab a za pomoci shlukové analýzy DBSCAN došlo k rozdělení dat a jejich přidělení k jednotlivým manévrum (viz obr. 3-6). Pro získání konkrétních shluků daných manévřů se z výše zmíněných parametrů využila vertikální rychlost a náklon letadla a jako kritérium pro vytvoření shluku bylo stanoveno alespoň 30 bodů v daném vzorku, a to vzhledem k pravidelnosti zápisu zapisovače letových údajů. Díky těmto dvěma parametrům bylo možné oddělit letecké manévry od šumových hodnot (tento šum tvoří fáze letu mezi jednotlivými manévry).



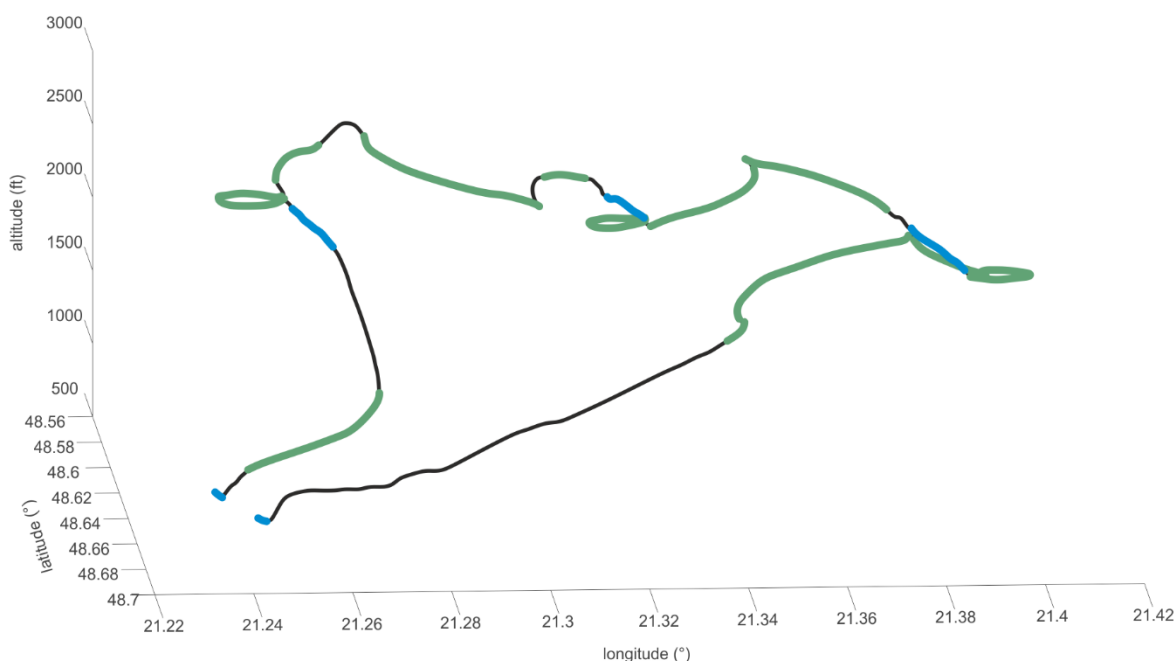
Obr. 3-6 – Aplikace DBSCAN za účelem separace jednotlivých manévřů

Vzhledem k tomu, že se každý z manévřů v průběhu letu třikrát opakoval, vytvořené shluky sice rozdělily data správně do jednotlivých manévřů, ale každý shluk obsahoval data ze všech tří provedení daného manévru. Z tohoto důvodu byl algoritmus DBSCAN aplikován podruhé, a to na základě časové rozdílnosti, čímž došlo ke konečnému rozdělení všech jednotlivých provedení manévřů. Při následné interpolaci byla data doplněna o hodnoty, nacházející se mezi okrajovými body daných shluků.

Pro zpracování horizontálního přímočarého letu bylo potřeba nalézt data, která vyhovovala následujícím kritériím. U náklonu se hledala data, která ležela v intervalu $<-5;5>^{\circ}$ a u vertikální rychlosti se hledala data v intervalu $<-100;100>$ ft/min. Pro rozdělení dat se využila matice, ve které byla datům ležícím v těchto intervalech přidělena hodnota 1 a datům ležícím mimo dané intervaly hodnota 0. Při následném násobení hodnot sloupců s náklonem a vertikální rychlostí mohlo dojít ke dvěma případům. V případě výsledku s hodnotou 1 byl manévr vyhodnocen

jako horizontální přímočarý let a v případě výsledku s hodnotou 0 byl manévr vyhodnocen jako manévr jiný než horizontální přímočarý let. Vzhledem k využití hodnot, které svou povahou vyhovují i pro pohyb na zemi (při pojiždění letadlo neklesá, nestoupá a náklon je nulový), musely být parametry na základě výšky rozděleny na dvě části, a to pohyb po letišti (pojiždění) a samotný vzdušný manévr (přímočarý horizontální let). Data vyhodnocená jako pojiždění nebyla nadále brána v úvahu. [19]

Drobnou úpravu si vyžádala i data zaznamenávající magnetický kurz letu, ve kterých je problematický přechod při zatáčce přes hodnotu 360°, resp. 0° (tedy magnetický sever). Data musela být upravena tak, aby znázornila odpovídající plynulý manévr a nedocházelo k nežádoucím skokům v hodnotách. V případě rozlišení manévrů obsahujících zatáčku vstoupily do úvahy další parametry kromě magnetického kurzu, konkrétně náklon, výška a vertikální rychlost. Na základě průměrných hodnot daných parametrů, jejich směrodatné odchylky a znalosti o časové délce provádění manévru bylo možné vypočítat velikost konkrétní zatáčky. Díky průměrné vertikální rychlosti došlo k rozdělení zatáček na zatáčku horizontální a na zatáčku klesavou, potažmo stoupavou. Díky hodnotám náklonu nebyl také problém rozlišit, zda se jednalo o zatáčku prováděnou doleva či doprava. Celý profil letu pak lze vidět na obr. 3-7, kde jsou přehledně vykresleny všechny provedené manévry.



Obr. 3-7 – Příklad vyhodnoceného profilu letu

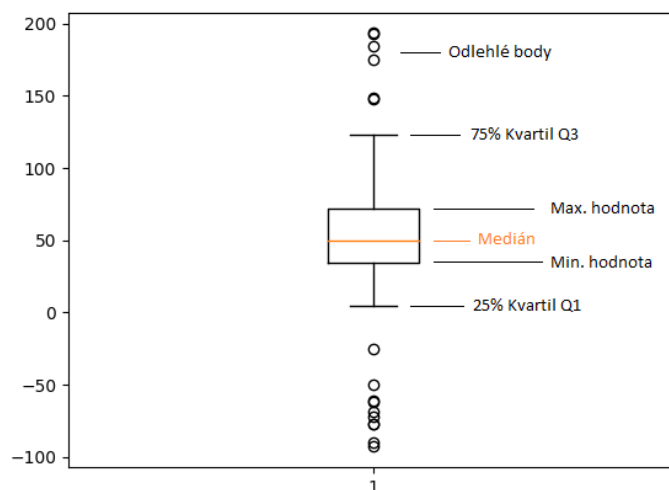
3.7. Analýza dat (popisná statistika)

Pro analýzu nasbíraných dat je potřeba tato data nejdříve zpracovat a následně i vyhodnotit. K tomuto účelu dobře poslouží nástroje popisné statistiky, což je jedna ze statistických rovin, která se zabývá zpracováním naměřených dat. Jejím cílem je naměřená data zpřehlednit, a navíc definovat jednotlivé statistické charakteristiky, v surové podobě totiž získaná data zdánlivě nejsou ničím jiným než hromadou chaotických a neuspořádaných údajů. Mezi základní statistické charakteristiky patří charakteristiky polohy, variability a koncentrace.

U charakteristik polohy narážíme na průměr, což je nejznámější a nejčastější charakteristika polohy, dále pak medián, který je na rozdíl od průměru méně náchylný k extrémním či chybným hodnotám. Společně s mediánem využíváme také modus, který definuje hodnotu s nejvyšší četností v daném datovém souboru. Tyto poslední dva prvky počítáme mezi takzvaně robustní charakteristiky, jelikož jejich hodnotu neovlivňují odlehlé hodnoty. [20]

Mezi další důležité charakteristiky patří charakteristiky variability, které nám pomáhají objevit rozptyl se směrodatnou odchylkou a mezikvartilové rozpětí.

Méně používané, ale přesto důležité jsou charakteristiky koncentrace, kam řadíme šikmost a špičatost, což jsou parametry, se kterými se budeme setkávat při testování normality naměřených dat.



Obr. 3-8 - Příklad box plotu

Zkoumané charakteristiky navíc po zpracování můžeme převést do názorných grafů. Pro naše účely se nejvhodnějším grafickým znázorněním jeví graf krabicový (takzvaný box plot), který znázorňuje význačné a extrémní hodnoty souboru dat a můžeme z něj vyčíst některé prvky jako je např. symetrie datových souborů, variabilita dat nebo přítomnost extrémních či odlehlých hodnot. Pro ještě větší názornost se využívá i tzv. vousů, které přehledně vyjádří

maximální a minimální hodnoty daného souboru. V případě výskytu odlehlých hodnot (tzv. outliers) se tyto vykreslí jako jednotlivé body (viz obr. 3-8).

3.7.1. Aritmetický průměr

Jednou ze základních statistických veličin, které se využívají při zpracování dat je aritmetický průměr. Dle definice se jedná o součet všech hodnot vydělený jejich počtem. Jedná se o charakteristiku polohy, která určuje hladinu hodnot v daném statistickém souboru a jde o nejčastěji používaný statistický pojem.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.4)$$

3.7.2. Medián a modus

Medián a modus jsou spolu s průměrem charakteristikami střední hodnoty. Medián a modus najdou uplatnění tam, kde průměr není možné využít. Modus je hodnota s největší relativní četností v daném souboru neboli zjednodušeně řečeno hodnota, která se v souboru vyskytuje nejčastěji. Medián vyjadřuje hodnotu, která rozděluje datový soubor přesně na dvě poloviny, to znamená, že v souboru se nachází nejméně 50 % hodnot vyšších nebo rovných a stejně tak nejméně 50 % hodnot nižších nebo rovných mediánu. Medián je statisticky nejpoužívanější kvantil (viz níže). V případě lichého počtu hodnot nalezneme medián pomocí jejich seřazení podle velikosti a výběru hodnoty, která se nalézá uprostřed:

$$\tilde{x} = \frac{x_{n+1}}{2} \quad (3.5)$$

V případě sudého počtu hodnot medián odpovídá aritmetickému průměru hodnot pro $n/2$ a $n/2+1$:

$$\tilde{x} = \frac{x_{n/2} + x_{n/2+1}}{2} \quad (3.6)$$

3.7.3. Rozptyl a směrodatná odchylka

Rozptyl (σ^2) udává variabilitu rozdělení souboru kolem jeho střední hodnoty a je definován vzorcem:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.7)$$

Směrodatná odchylka (σ) udává míru statistické variability a umožňuje zjistit, do jaké míry se od sebe liší hodnoty ve zkoumaném souboru dat. Pokud je směrodatná odchylka malá, hodnoty jsou si navzájem podobné, naopak při velké směrodatné odchylce můžeme očekávat výrazné odlišnosti dat. Vyjádřena je jako druhá odmocnina z rozptylu náhodné veličiny, tzn.:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.8)$$

3.7.4. Mezikvartilové rozpětí

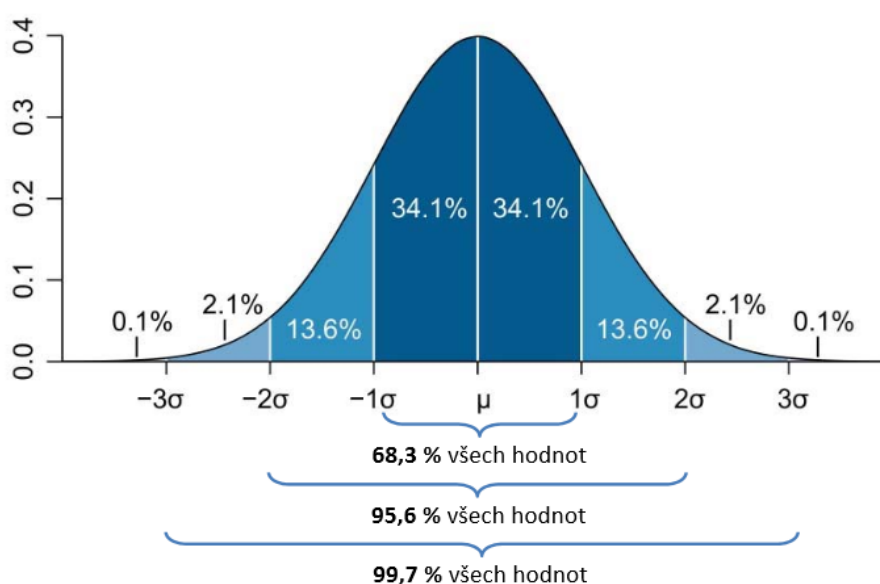
Pokud chceme podrobněji popsat rozdělení hodnot datového souboru, využíváme kvantilů. Kvantily rozdělují hodnoty v souboru na dvě části – část, která se nachází pod tímto kvantilem a část nacházející se nad kvantilem. Jedním z typů kvantilu, které budeme u krabicového grafu využívat je rozdělení na kvartily. Tři kvartily nám umožní rozdělit statistický soubor na čtvrtiny, kde nejdůležitějšími jsou první a třetí kvartil, někdy také označované jako Q_1 a Q_3 . Po rozdělení na kvartily pro soubor dat platí, že 25 % prvků množiny má hodnoty nižší než Q_1 a 75 % prvků má hodnoty nižší než Q_3 . Mezi těmito kvartily se nachází kvartil Q_2 , který vymezuje soubor na dvě stejně početné množiny a nazýváme ho medián.

3.8. Rozdělení nasbíraných dat

Při využívání statistických metod většinou předpokládáme, že základní soubor dat má normální rozdělení. Toto rozdělení, mnohdy nazývané také Gaussovo rozdělení (podle svého autora Carla Friedricha Gausse) popisuje chyby měření a jedná se o jedno z nejdůležitějších rozdělení pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny. Většina dějů, které se v přírodě odehrávají, lze vymodelovat za pomoci normálního rozdělení. S daty, která naplňují podmínku normality se dobře pracuje, řada jiných rozdělení lze do normálního rozdělení transformovat a také se mu mnoho jiných rozdělení blíží. Předpoklad normality dat však není samozřejmostí, v případě zpracování dat některou ze statistických metod, které předpokládají normální rozdělení dat, při souboru dat s nenormálním rozdělením by docházelo k chybné analýze a interpretaci těchto dat. Proto je nutné data nejprve otestovat, zda mají normální rozdělení. Pokud data podmínku normality nesplňují, některé statistické metody pro jejich analýzu nelze využít. [21]

3.8.1. Normální rozdělení

Normální rozdělení je charakterizováno dvěma konstantami – střední hodnotou μ a rozptylem σ^2 . Normální rozdělení s parametry μ a σ označujeme $N(\mu, \sigma)$. Pokud bychom chtěli graficky znázornit hustotu pravděpodobnosti normálního rozdělení, dostaneme tzv. Gaussovu křivku, která má maximum v bodě μ a nabývá hodnoty $(f(\mu) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}})$. Jedná se o symetrickou křivku, hodnota jejíž funkce udává, ve kterých oblastech je výsledek náhodného pokusu nejvíce pravděpodobný (středová část) a v jakých oblastech pravděpodobnost klesá (okrajové části grafu). Pro graf normálního rozdělení platí pravidlo tří sigma (σ – sigma je symbol udávající směrodatnou odchylku), které říká, že u normálně rozděleného statistického souboru se bude většina hodnot soustřeďovat kolem aritmetického průměru a téměř všechny relevantní hodnoty se od něj budou odchylovat ve vzdálenosti do tří směrodatných odchylek. Navíc ve vzdálenosti jedné směrodatné odchylky od průměru nalezneme přibližně 68 % dat z výběru. Ve vzdálenosti dvou směrodatných odchylek nalezneme přibližně 95 % dat z výběru a ve vzdálenosti tří směrodatných odchylek se už bude nacházet cca 99.7 % dat z výběru (viz obr. 3-9). Bohužel v praxi naměřená data nemusí nutně pocházet z normálního rozdělení, čímž se může dramaticky lišit pravděpodobnost výskytu extrémních hodnot.



Obr. 3-9 – Gaussova křivka a pravidlo tří sigma

3.8.2. Test normality dat

Abychom mohli rozhodnout, jakou ze statistických metod na daný základní soubor dat můžeme použít, musíme nejprve zjistit, jestli data pocházejí z normálního rozdělení. K tomuto účelu slouží takzvané testy normality. Pokud by nám stačilo odhadnout normalitu pouze takřkajíc „na oko“, stačí porovnat aritmetický průměr s mediánem a zkontrolovat jejich vzájemnou odchylku. Pokud se neliší o více než 5 % (poměr mezi aritmetickým průměrem a mediánem je v rozmezí 0.95 – 1.05), lze data považovat za vyhovující testu normality.

Dalším způsobem, jak lze posoudit, zda datový soubor pochází z normálního rozložení je grafické ověření normality. Mezi grafické metody řadíme například vizualizaci pomocí histogramu, grafu Q-Q (kvantil-kvantilový graf) nebo grafu P-P (pravděpodobnostně-pravděpodobnostní graf). Histogram je graf, ve kterém na vodorovnou osu vynášíme hodnoty sledované veličiny a na svislou osu vynášíme četnost, se kterou se v daném souboru veličina vyskytuje. U normálního rozdělení bude histogram velice podobný Gaussově křivce. U Q-Q grafu na jednu z os vyneseme kvantily normálního rozdělení a na druhou osu vyneseme kvantily souboru, který zkoumáme. Pokud soubory splňují test normality, vykreslí body grafu přímku. P-P graf se využívá ke stejným účelům jako Q-Q graf, konstruuje se ale trochu odlišným způsobem. Na jednu osu vyneseme hodnotu kumulativní distribuce hypotetického normálního rozdělení a na druhou osu hodnotu vyneseme kumulativní distribuce zkoumaného souboru. Pokud dojde ke splnění testu normality, body grafu vykreslí opět přímku.

Nejpřesnějším způsobem zhodnocení normality dat je test výpočtem. Testů pro ověření normality existuje celá řada a lze testovat jednorozměrnou či vícerozměrnou normalitu. Mezi základní testy řadíme testy založené na šikmosti a špičatosti a dále testy pojmenované podle svých tvůrců, jako např. Andersonův-Darlingův test [22,23], Shapirův-Wilkův test [24], Kolmogorovův-Smirnovův test [25], Lillieforsův test nebo Jarqueho-Berův test [26], které z nich ve velké míře vycházejí. Pro účely této práce rozhodně nebude potřeba využít všech, proto podrobněji rozeberu pouze některé z nich, ze kterých bude následně vybrán ten nejvhodnější. Součástí každého z testů je určení statistické hypotézy, kterou se následně pokusíme potvrdit, případně vyvrátit. Při testování pak porovnááme vždy dvě hypotézy. První hypotézu nazýváme nulová hypotéza a je to ta, kterou chceme otestovat a která odráží žádaný efekt, kterého chceme dosáhnout. Označuje se jako H_0 . Druhou hypotézu nazýváme alternativní hypotéza a značíme ji H_1 . Obě dvě hypotézy jsou vybrány tak, aby mohla platit buď jedna, nebo druhá. V našem případě tedy testujeme nulovou hypotézu, že data v základním souboru podléhají normálnímu rozdělení. Pokud test prokáže, že platí alternativní hypotéza, naše data nebudou podléhat normálnímu rozdělení.

3.8.3. Jarqueho-Berův test

Jarqueho-Berův test zjišťuje, zda data pochází z normálního rozdělení. K vyhodnocení kritických hodnot u velkých množin dat využívá Pearsonovo rozdělení (χ^2 rozdělení), pro menší množiny dat se využívá Lillieforsův test. Pro množiny dat o méně než 2000 vzorcích a hladině významnosti 0.001 až 0.5 využívá tabulku kritických hodnot vypočítanou s pomocí simulace Monte Carlo [27].

Pro test se využívá výběrová šikmost a špičatost, kterou definujeme matematickým zápisem následovně:

$$JB = \frac{n}{6} \left(s^2 + \frac{(k-3)^2}{4} \right) \quad (3.9)$$

V daném vzorci představuje n hodnoty v datovém souboru, s představuje výběrovou šikmost a k výběrovou špičatost [28].

3.8.4. Kolmogorovův-Smirnovův test

Kolmogorovův-Smirnovův test umožňuje otestovat, zda dané dvě proměnné pocházejí ze stejného rozdělení pravděpodobnosti. Využívá se test pro jeden výběr a pro dva výběry. Pro naše účely vyhovuje jednovýběrový test, který se využívá pro ověření nulové hypotézy, zda rozdělení náhodné veličiny odpovídá teoretickému rozdělení, v našem případě mluvíme o normálním rozdělení. Využíváme vztahu:

$$D_n = \max(|F(x) - G(x)|) \quad (3.10)$$

kde $F(x)$ je výběrová distribuční funkce a $G(x)$ je distribuční funkce normálního rozložení. Pro účely vyhodnocení určíme kritickou hodnotu $D_n(\alpha)$. Pro výběry $n \geq 30$ můžeme aproximovat, že

$$D_n(\alpha) \approx \sqrt{\frac{1}{2n} \ln \frac{2}{\alpha}} \quad (3.11)$$

Nulovou hypotézu zamítneme pro hladinu významnosti α v případě, že $D_n \geq D_n(\alpha)$ [29].

3.8.5. Lillieforsův test

Kolmogorovův-Smirnovův test vyžaduje, aby bylo známo teoretické rozdělení, z něž má výběr vycházet. Varianta zvaná Lillieforsův test je modifikací Kolmogorovova-Smirnovova testu,

kteřá se využívá v případě, že parametry nulové distribuční funkce nejsou známé a musí se odhadnout. V případě teoretického rozdělení $N(\bar{x}, s^2)$, kde \bar{x} představuje průměr výběru a s^2 rozptyl výběru využijeme vztahu:

$$D = \max |F(x) - S_N(x)|, \quad (3.12)$$

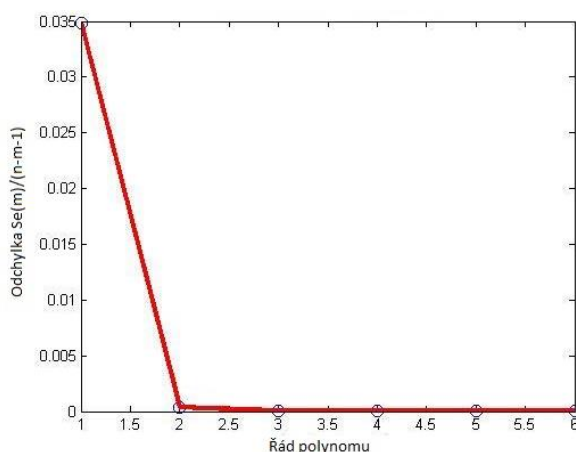
kde $S_N(x)$ představuje empirickou distribuční funkci výběru a $F(x)$ distribuční funkci $N(\bar{x}, s^2)$. V případě, že D překročí tabelovanou kritickou hodnotu, dochází k zamítnutí hypotézy o normalitě námi daného výběru [30].

3.8.6. Interpolace dat

V případě měření získáváme data z určitého intervalu, ale jejich hodnoty známe pouze v určitých bodech. Pro získání alespoň přibližných hodnot dané funkce u bodů ležících v daném intervalu využíváme metodu výpočtu zvanou interpolace. Pokud máme funkci $f(x)$, jejíž hodnotu známe v bodech $f(x_0), f(x_1), \dots, f(x_n)$, hledáme funkční hodnoty $f(x)$ pro hodnoty x_0 až x_n a to za předpokladu, že jsou navzájem různé. Pro tyto účely můžeme využít Lagrangeův interpolační polynom daný vztahem:

$$L_n(x) = \sum_{i=0}^n f(x_i) l_i(x) \quad (3.13)$$

Využijeme kvadratickou interpolaci. Důvodem pro výběr kvadratické interpolace dat je ten, že je přesnější než interpolace lineární, za podmínky, že funkce f není lineární [31].



Obr. 3-10 – Vztah odchylky a řádu polynomu

Dále v rámci regresní analýzy musíme určit řád polynomu, který můžeme použít. Zvolíme ho na základě výpočtu, kdy využijeme reziduálního součtu čtverců a hledáme takový řád,

pro který je odchylka minimální nebo již při zvyšování řádu polynomu nedochází k významnému snížení odchylky. Odchylku vypočteme na základě vztahu:

$$\frac{S_e(m)}{n-m-1}, \quad (3.14)$$

kde $S_e(m)$ je suma reziduálního součtu čtverců pro m -tý řád polynomu, n je počet datových bodů a m je řád polynomu ($m+1$ je počet konstant v daném modelu). Výsledný ilustrační graf, na jehož základě lze vyčíst potřebný řád polynomu (v ilustračním případě by výsledkem byl třetí řád, jelikož s dalším zvyšováním řádu nedochází k dalšímu významnému snížení odchylky) bude vypadat přibližně tak, jak je znázorněno na obr. 3-10.

3.8.7. Zpracování a charakteristika dat

Data využitá v práci měla charakter, který je v krátkém příkladu uveden v tab. 3-1. V prvním sloupci se nacházela informace o čísle subjektu. Celkový počet subjektů byl 30, tedy:

$$n_s = \langle 1; 30 \rangle, n_s \in \mathbb{Z} \quad (3.15)$$

kde n_s je číslo subjektu a \mathbb{Z} je množina celých čísel. Druhý sloupec obsahoval informaci o čísle měření. Celkem proběhly 4 měřené lety, tj. celková sada dat obsahovala 120 měření. Měření byla označena dle hodiny výcviku, tedy:

$$n_m = \{2; 6; 11; 16\} \quad (3.16)$$

kde n_m je číslo měření. V jednotlivých měřeních byly sledovány 3 série po 4 manévrech, viz. kapitolu 3.2. Celkem tedy bylo získáno 1440 záznamů, které byly dále analyzovány. Číslo manévru (n_{man}) nabývalo následujících hodnot:

$$n_{man} = \langle 1; 4 \rangle, n_{man} \in \mathbb{Z}, \quad (3.17)$$

kde jako manévr 1 je označen SLF, jako manévr 2 je označen H360, jako manévr 3 je označen C180 a manévr 4 D180.

V každém z měření byla získána data od instruktora a také exaktní data, tj. data ze zapisovače letového simulátoru. Instruktor zapisoval chybu ve sledovaných parametrech, tj. v magnetickém kurzu (H), vertikální rychlosti (Vv), úhlu náklonu (B) a v barometrické výšce (Alt). S ohledem na exaktní data byly získány přesné údaje o zmíněných parametrech a dále informace o jiných letových údajích. Zároveň byla získána fyziologická data, tj. záznamy srdeční aktivity, resp. informace o jednotlivých R-R intervalech, jelikož využitá měřicí zařízení automaticky na pozadí detekuje jednotlivé R vlny z křivky EKG a jako výstupní data do centrální jednotky zasílá již samotné RR intervaly [32], z nichž byly následně získány jednotlivé parametry dle kapitoly 3.4.

Tab 3.1 Příklad datového souboru využitého pro hodnocení sledovaných manévrů

Subjekt	Měření	Manévr	Instruktor - pilotáž				Exakt. pilotáž			Fyzio		
			H	Alt	B	Vv	H	Vv	...	mRR	stdRR	...
1	2	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1	2	2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1	2	3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1	2	4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1	2	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...
21	6	3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
21	6	4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
21	6	4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...
...
n_s	n_m	n_{man}										...

n_s – číslo subjektu, n_m – číslo měření, n_{man} – číslo manévru

V rámci přípravy dat za účelem jejich zpracování bylo za potřebí mimo jiné vzít v úvahu intervariabilitu a intravariabilitu měření. To znamená, že každý ze subjektů mohl v rámci jednotlivých měření vykazovat jinou úroveň chybovosti a zejména hodnot zpracovaných fyziologických parametrů (v případě této práce jsou tím myšleny parametry charakterizující variabilitu srdečního rytmu). Dalším důvodem, proč je potřeba věnovat pozornost problematice intervariability a intravariability je fakt, že pro účely vyjádření závislosti mezi konkrétním fyziologickým parametrem a chybovostí je potřeba brát v úvahu i kumulativní chybovost pro daný manévr. Původní charakter dat do značné míry tuto snahu limituje, protože každý z manévrů lze popsat minimálně dvěma různými proměnnými, tyto proměnné ale nemají stejné jednotky. Jako příklad lze uvést horizontální přímočarý let, kde lze chybovost manévru charakterizovat například pomocí výšky a magnetického kurzu (potažmo pak náklonem nebo vertikální rychlostí).

Vzhledem k výše uvedenému bylo potřeba vytvořit jednoduchý, ale zároveň účinný prostředek, který by dokázal uvedené problémy do značné míry eliminovat. Elegantním řešením se jeví určitá forma normalizace [33] nebo standardizace dat [34]. Oba tyto přístupy umožní sjednotit škálování dat napříč jednotlivými subjekty.

Aby nedocházelo k významné míře intervariability při dalším hodnocení, je nutné využít jeden z navrhovaných postupů. Normalizace případně standardizace dat by pak mohla vypadat takto:

$$D'_{si} = D_{si}, \quad D_{si} \in \forall M_m, \quad i = 1 \dots n, \quad (3.18)$$

kde D představuje původní datový soubor pro daný subjekt si a zahrnuje všechny realizované manévry v průběhu letu napříč celou množinou M_m vykonaných měření a D' představuje transformovaná data. Jinými slovy to znamená, že daný úkon je potřeba vykonat pro všechna vykonaná měření daného subjektu zvlášť.

V případě vykonání normalizace, tedy za použití vztahu:

$$D' = \frac{\bar{x} - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}, \quad (3.19)$$

by byla data naškálována na numerický rozsah od 0 do 1. Z dané rovnice vychází, že je pro získání transformovaných dat D' potřeba od průměrné hodnoty daného datového sloupce (což je například chyba v náklonu u všech vykonaných měření) odečíst minimální hodnotu a vydělit ji rozdílem maximální a minimální hodnoty parametru, který se v datech nachází.

Tento přístup má ale značnou nevýhodu v případě, že data obsahují extrémní hodnoty. V takovém případě je možné, že jistá část dat bude v intervalu $\langle 0;1 \rangle$ posunuta k jednomu z okrajů intervalu. Výše uvedený fakt je značnou limitací pro využití dané metody, a to zejména z důvodu vysokého množství dat, které by bylo potřeba precizně zkontrolovat na výskyt odlehlé hodnoty. Vzhledem k tomuto faktu se jeví jako vhodnější přístup využití standardizace dat. Jako reprezentativní metoda poslouží Z-skóre [34], které datům určí nový numerický rozsah s ohledem na jejich průměr a rozptyl. Průměrná hodnota u všech dat by byla rovná 0 a ostatní hodnoty by odpovídaly směrodatné odchylce. Výpočet Z-skóre vychází z rovnice:

$$Zi = \frac{x_i - \bar{x}}{S}, \quad (3.20)$$

kde \bar{x} je průměrná hodnota datového souboru, x_i je konkrétní hodnota parametru v datovém souboru a S je směrodatná odchylka sledovaného souboru dat. Jinými slovy za pomoci tohoto přístupu transformovaný bod odpovídá jeho pozici v daném rozdělení, které je charakterizováno směrodatnou odchylkou. Tato metoda je od pohledu robustnější vůči odlehlým hodnotám, které se v datech mohou vyskytovat, a proto bude pro další zpracování dat využito právě Z-skóre.

Tento přístup zároveň také dále umožní vytvoření kumulativní chyby v přesnosti pilotáže. Jak bylo zmíněno výše, každý manévr je v rámci práce popsán pomocí nejméně dvou letových

parametrů. Tyto transformované parametry lze v tomto případě zprůměrovat. Uvedu příklad, pokud bereme v úvahu transformovanou chybu v náklonu a ve výšce, hodnoty obou parametrů budou rozloženy rovnoměrně kolem 0, což je průměrná hodnota. Při zprůměrování dvou kladných transformovaných chyb (kladné hodnoty poukazují na zvýšení chybovosti od průměrné hodnoty) by byla vysoká i výsledná chyba. To by znamenalo, že daný subjekt vykazoval komplexně vysokou chybu v pilotáži. To stejné by platilo pro opačný případ, tedy pro případ, kdy by hodnoty byly v záporných číslech. V tomto případě by však šlo o opačnou interpretaci, tedy o snížení chybovosti. Pokud by nastalo, že jeden z parametrů při konkrétním manévru vykazoval jednu chybu s vysokou hodnotou a druhou s nízkou hodnotou, výsledná chybovost by se přiblížila k průměru. Tímto způsobem lze tedy vytvořit agregovanou chybovost s vlastní distribucí pro každý manévr.

4. Výsledky

4.1. Porovnání dat instruktora se zapisovačem

Pro účely porovnání mezi zápisky instruktora a exaktně naměřenými daty (tj. daty ze zapisovače leteckého simulátoru, resp. směrodatnými odchylkami získanými z těchto dat) bylo využito Spearmanova korelačního koeficientu. Za účelem hodnocení přesnosti byly porovnávány 4 parametry, které byly pro dané manévry přepsány a které měly účastníci výzkumu hlídat. Mezi tyto parametry patřily vertikální rychlost, magnetický kurz, výška letu a úhel náklonu. Vzájemné porovnání hodnot získaných ze zapisovače letového simulátoru a zápisků instruktora je pro jednotlivé parametry zobrazeno v grafech na obr. 4-1 až 4-4. V grafech je dále také zobrazena lineární regrese (červená přímka) pro dané datové soubory.

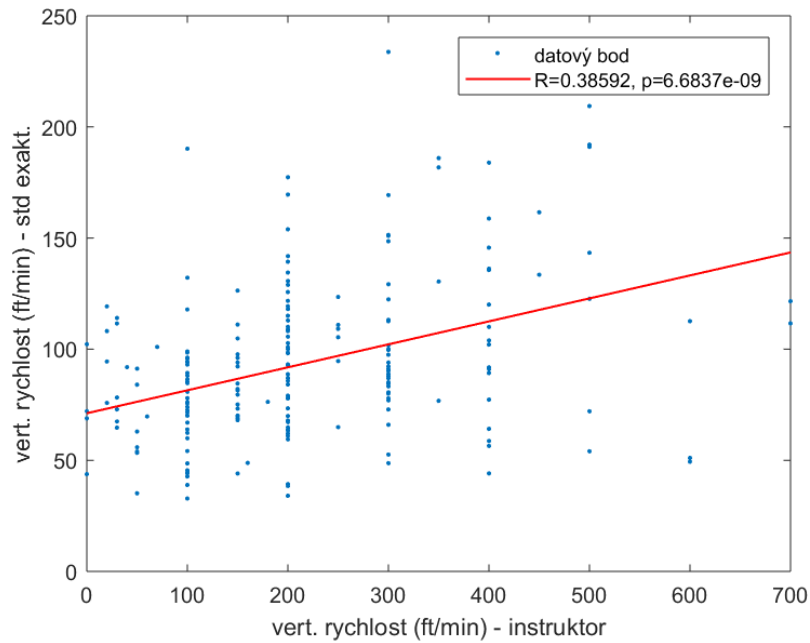
Z grafu na obr. 4-1 je zřejmé, že mezi oběma skupinami dat existuje slabá korelace ($R = 0,386$). S ohledem na prezentovanou p -hodnotu ($p < 0,05$) lze konstatovat, že tento vztah je statisticky významný. Z grafu je dále zjevná značná odchylka dat od přímky lineární regrese.

V případě magnetického kurzu jsou výsledky obdobné, jako v předchozím případě. Z grafu na obr. 4-2 je opět patrná značná odchylka hodnot od přímky lineární regrese. Mezi oběma skupinami dat existuje slabá korelace ($R=0,436$), která je s ohledem na prezentovanou p -hodnotu ($p < 0,05$) statisticky signifikantní.

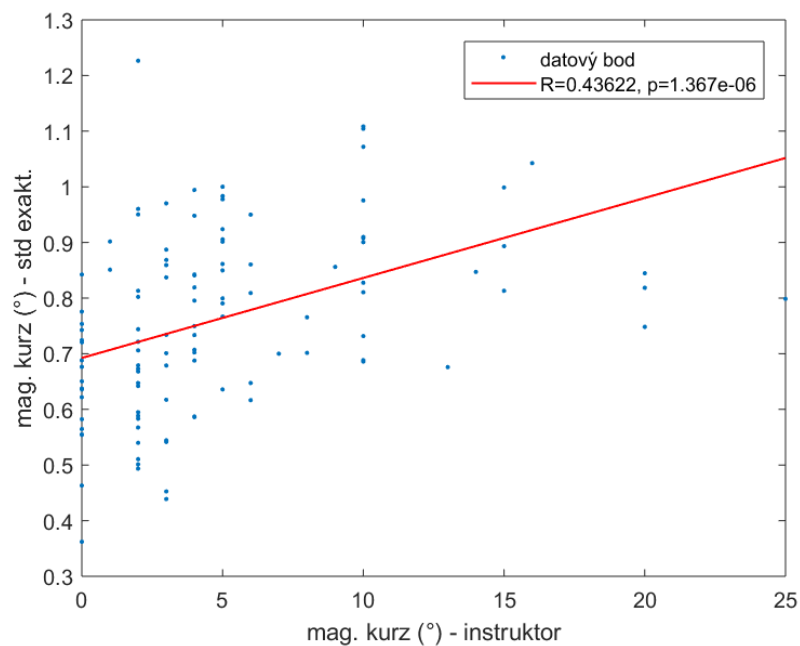
V případě barometrické výšky je opět zřejmá značná odchylka hodnot od přímky lineární regrese. Stejně jako v předchozích případech existuje mezi oběma typy dat slabá korelace ($R=0,353$), která je na základě prezentované p -hodnoty ($p < 0,05$) statisticky signifikantní (viz obr. 4-3).

V případě úhlu náklonu lze pozorovat obdobnou charakteristiku, jako v případě předchozích parametrů. Mezi oběma typy dat tedy existuje slabá korelace ($R=0,262$), která je s ohledem na prezentovanou p -hodnotu ($p < 0,05$) statisticky signifikantní, viz obr. 4-4.

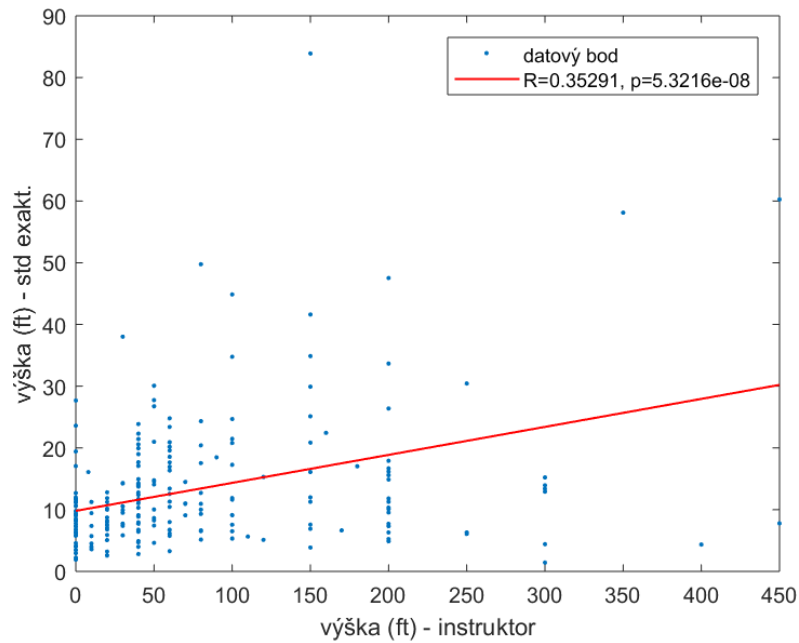
Hodnocení správnosti vykonání manévru, resp. porovnání dat od instruktora a exaktních dat z leteckého simulátoru, proběhlo obdobným způsobem jako hodnocení přesnosti, tj. s využitím Spearmanova korelačního koeficientu. Pro účely hodnocení správnosti byla nezbytná znalost referenční hodnoty, tj. předepsané hodnoty daného parametru, již měly subjekty dodržovat. Z dat letového simulátoru byly tedy nejprve získány průměrné hodnoty daných parametrů pro každý manévr a ty dále odečteny od referenční hodnoty konkrétního parametru. Takto získané odchylky, resp. jejich absolutní hodnoty, byly poté využity pro porovnání s daty získanými od instruktora. Jednotlivá data jsou vůči sobě vykreslena v grafech na obr. 4-5 až 4-7.



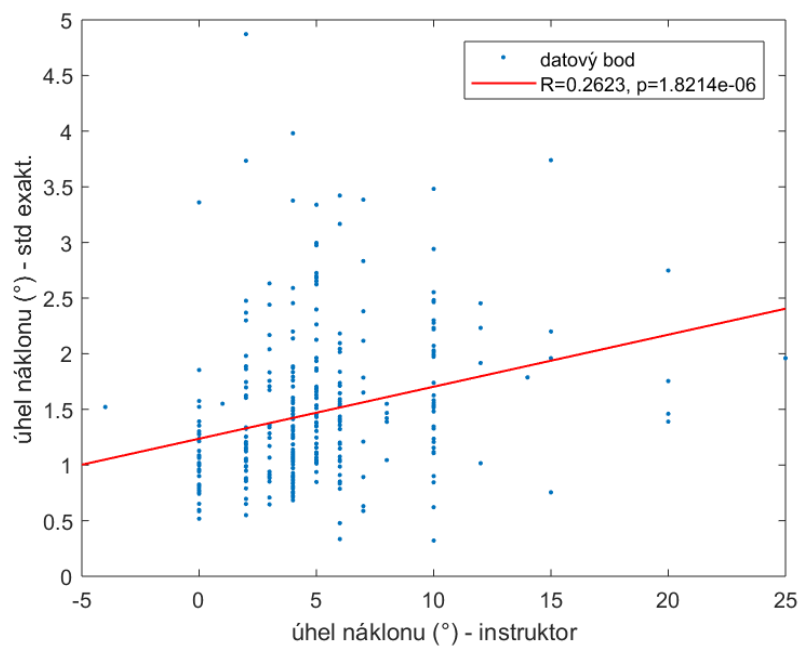
Obrázek 4-1: Grafické znázornění korelace mezi instruktorem zapsanými odchylkami od vertikální rychlosti a exaktními daty prezentovanými směrodatnou odchylkou pro účely hodnocení přesnosti letu s prezentovaným korelačním koeficientem (R) a p-hodnotou



Obrázek 4-2: Grafické znázornění korelace mezi instruktorem zapsanými odchylkami od magnetického kurzu a exaktními daty prezentovanými směrodatnou odchylkou pro účely hodnocení přesnosti letu s prezentovaným korelačním koeficientem (R) a p-hodnotou



Obrázek 4-3: Grafické znázornění korelace mezi instruktorem zapsanými odchylkami od barometrické výšky a exaktními daty prezentovanými směrodatnou odchylkou pro účely hodnocení přesnosti letu s prezentovaným korelačním koeficientem (R) a p-hodnotou



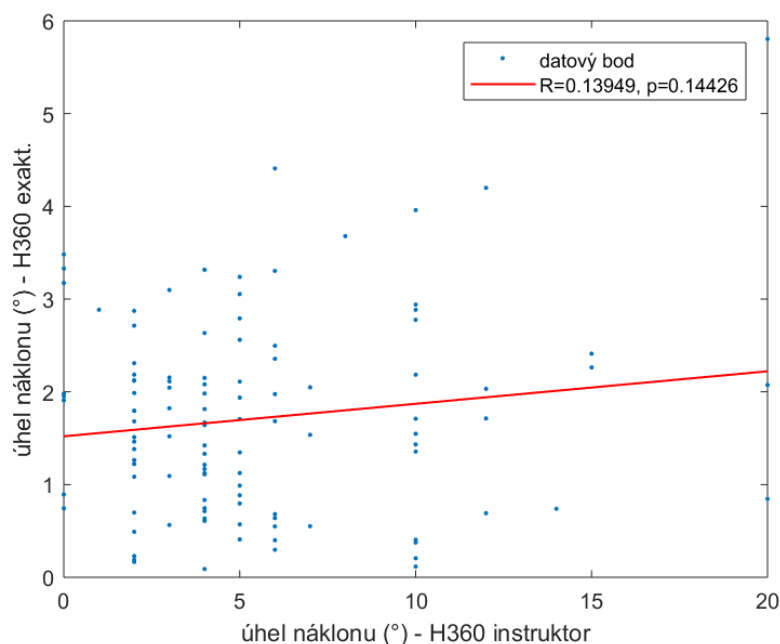
Obrázek 4-4: Grafické znázornění korelace mezi instruktorem zapsanými odchylkami od úhlu náklonu a exaktními daty prezentovanými směrodatnou odchylkou pro účely hodnocení přesnosti letu s prezentovaným korelačním koeficientem (R) a p-hodnotou

V případě horizontálního přímočarého letu nebyly definovány referenční hodnoty, tj. subjekty měly držet konstantní barometrickou výšku a magnetický kurz (heading), ale konkrétní hodnota těchto parametrů nebyla předepsána, a proto nelze tento manévr uvedeným způsobem hodnotit.

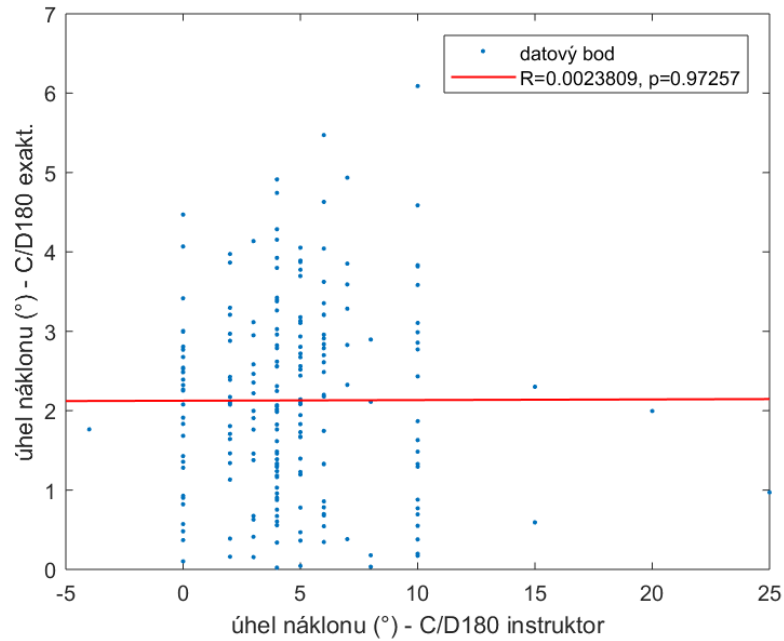
V případě horizontální zatáčky o 360° opět nebyla předepsána konkrétní hodnota barometrické výšky, v níž se měl subjekt držet, a proto ani tento parametr nelze výše uvedeným způsobem hodnotit. Co se týká úhlu náklonu, subjekty měly po celou dobu vykonávání manévru držet konstantní náklon 30°. Grafické znázornění porovnání obou skupin dat je znázorněno na obr. 4-5.

Z grafu na obr. 4-5 je zřejmé, že data navzájem téměř nekorelují, čemuž také odpovídá prezentovaná lineární regrese. Mezi daty byla nalezena velice slabá korelace ($R=0,139$), která s ohledem na prezentovanou p-hodnotu ($p>0,05$) není statisticky signifikantní.

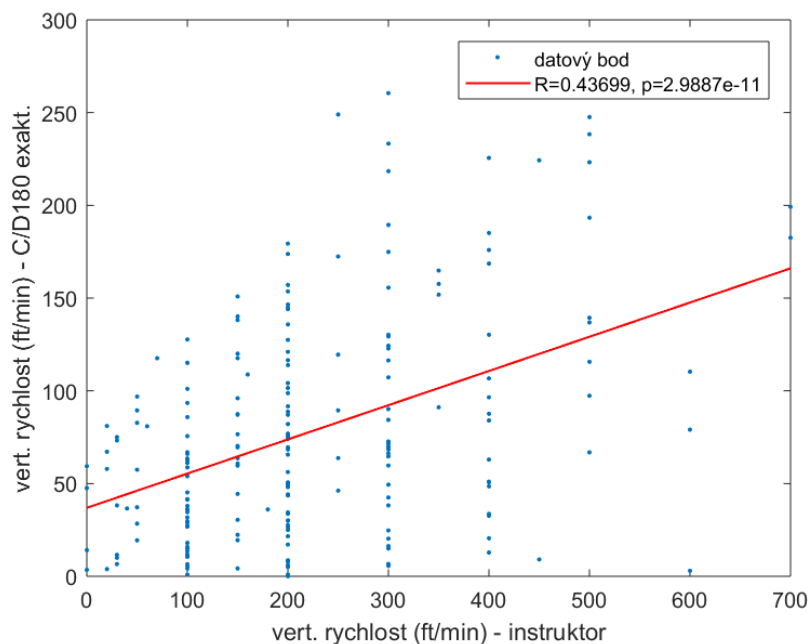
V případě stoupavé/klesavé zatáčky o 180° byly předepsány hodnoty 2 parametrů, a to úhlu náklonu ($B=15^\circ$) a vertikální rychlosti ($V_v=500$ ft/min). Grafické znázornění porovnání obou skupin dat pro tyto parametry je znázorněno na obr. 4-6 a 4-7.



Obrázek 4-5: Grafické znázornění korelace mezi instruktorem zapsanými odchylkami od úhlu náklonu a exaktními daty prezentovanými odchylkou od referenční hodnoty při horizontální zatáčce o 360° pro účely hodnocení správnosti letu s prezentovaným korelačním koeficientem (R) a p-hodnotou



Obrázek 4-6: Grafické znázornění korelace mezi instruktorem zapsanými odchylkami od úhlu náklonu a exaktními daty prezentovanými odchylkou od referenční hodnoty při stoupavé/klesavé zatáčce o 180° pro účely hodnocení správnosti letu s prezentovaným korelačním koeficientem (R) a p-hodnotou



Obrázek 4-7: Grafické znázornění korelace mezi instruktorem zapsanými odchylkami od úhlu náklonu a exaktními daty prezentovanými odchylkou od referenční hodnoty při stoupavé/klesavé zatáčce o 180° pro účely hodnocení správnosti letu s prezentovaným korelačním koeficientem (R) a p-hodnotou

Z grafu uvedeného na obr. 4-6 je zřejmé, že v případě úhlu náklonu ve C/D180 je mezi oběma skupinami dat téměř nulová korelace ($R=0,002$), což je dále podloženo také prezentovanou p-hodnotou ($p>0,05$) a znázorněnou lineární regresí.

Z grafu na obr. 4-7 je zřejmé, že v případě C/D180 existuje mezi jednotlivými typy dat slabá korelace ($R=0,437$), která je na základě prezentované p-hodnoty statisticky signifikantní ($p<0,05$). S ohledem na přímku lineární regrese je pak zřejmá značná odchylka jednotlivých datových bodů od této přímky.

4.2. Náročnost manévrů

Pro účely hodnocení náročnosti manévrů bylo zvoleno hodnocení na základě chyby pilotáže a na základě hodnocení HRV. Z hlediska hodnocení HRV bylo využito 10 standardních parametrů využívaných pro hodnocení psychofyziologického stavu, a to 5 parametrů časové a 5 parametrů frekvenční analýzy. Jednotlivé parametry byly vždy vykresleny vůči celkové chybě (viz obr. 4-8 až 4-11), a to pro specifické manévry, tedy SLF (1), H360 (2) a C/D180 (3). S ohledem na charakter dat, kdy na základě testu rozložení byla prokázána normalita hodnocených dat, byly pro účely znázornění distribuce jednotlivých parametrů zvoleny Gaussovy křivky namísto dříve uvedených boxplotů.

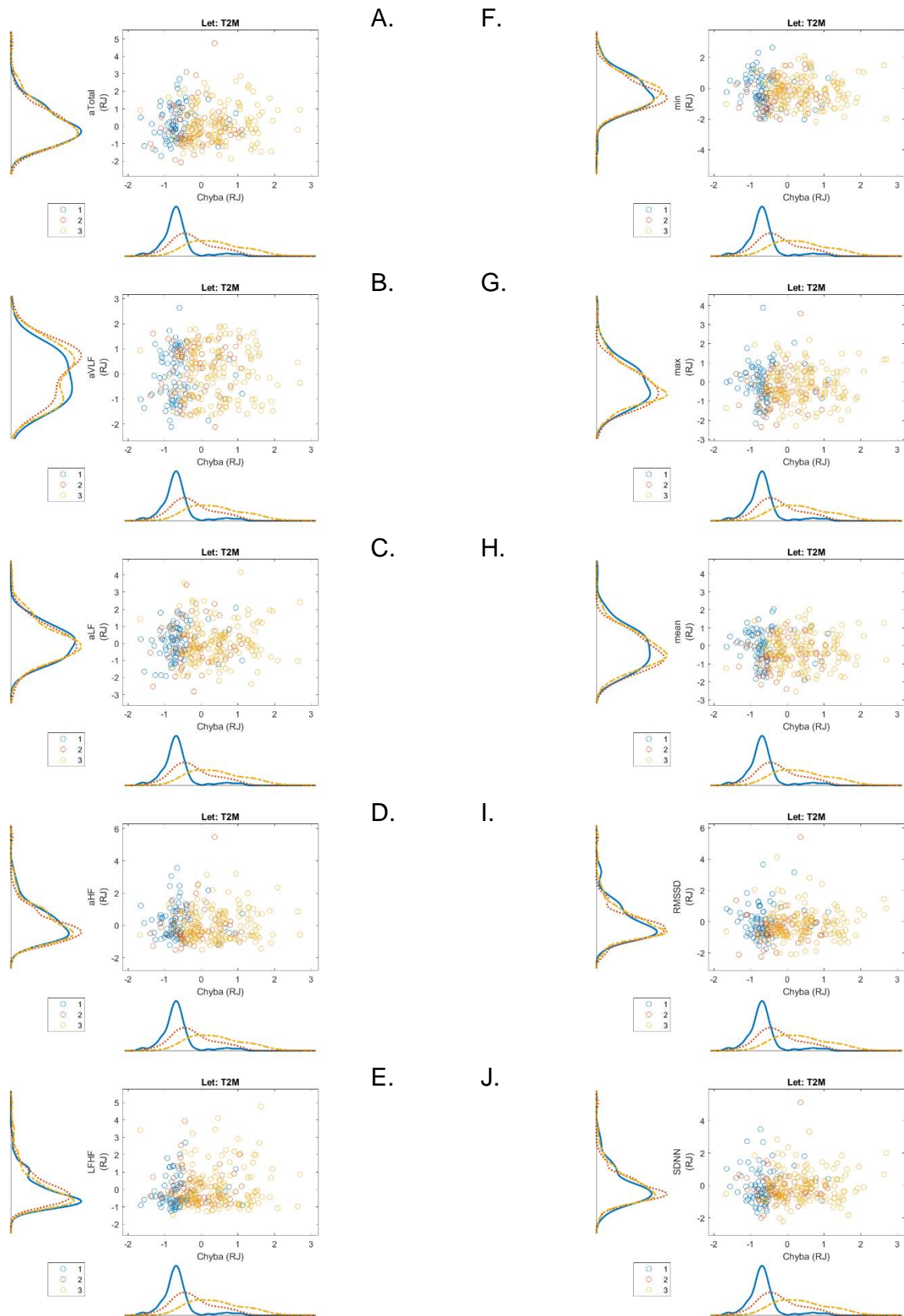
Z grafů na obr. 4-8 je patrné, že v případě měření T2M je možné vzájemně odlišit manévry 1 a 3 (SLF a C/D180), a to na základě chybovosti. Uvedené pozorování je patrné v případě všech prezentovaných parametrů. Průběh jednotlivých fyziologických parametrů je pak pro všechny manévry téměř shodný. S ohledem na distribuci jednotlivých dat chyby je zřejmé, že hodnoty se, zejména v případě manévrů 2 a 3 (H360 a C/D180), pohybují v širokém intervalu hodnot.

V případě měření T6M je patrný posun hodnot po ose x směrem k nižším hodnotám (viz obr. 4-9), tj. dochází ke snižování chybovosti. Stejně jako v předchozím případě jsou vzájemně odlišitelné manévry 1 a 3 (SLF a C/D180), a to na základě celkové chyby. Obdobně jako u osy x, tak i u osy y je pozorovatelný posun k nižším, resp. vyšším (s ohledem na daný parametr) hodnotám. Průběh parametrů HRV je opět pro všechny manévry téměř shodný, a to v případě všech prezentovaných parametrů.

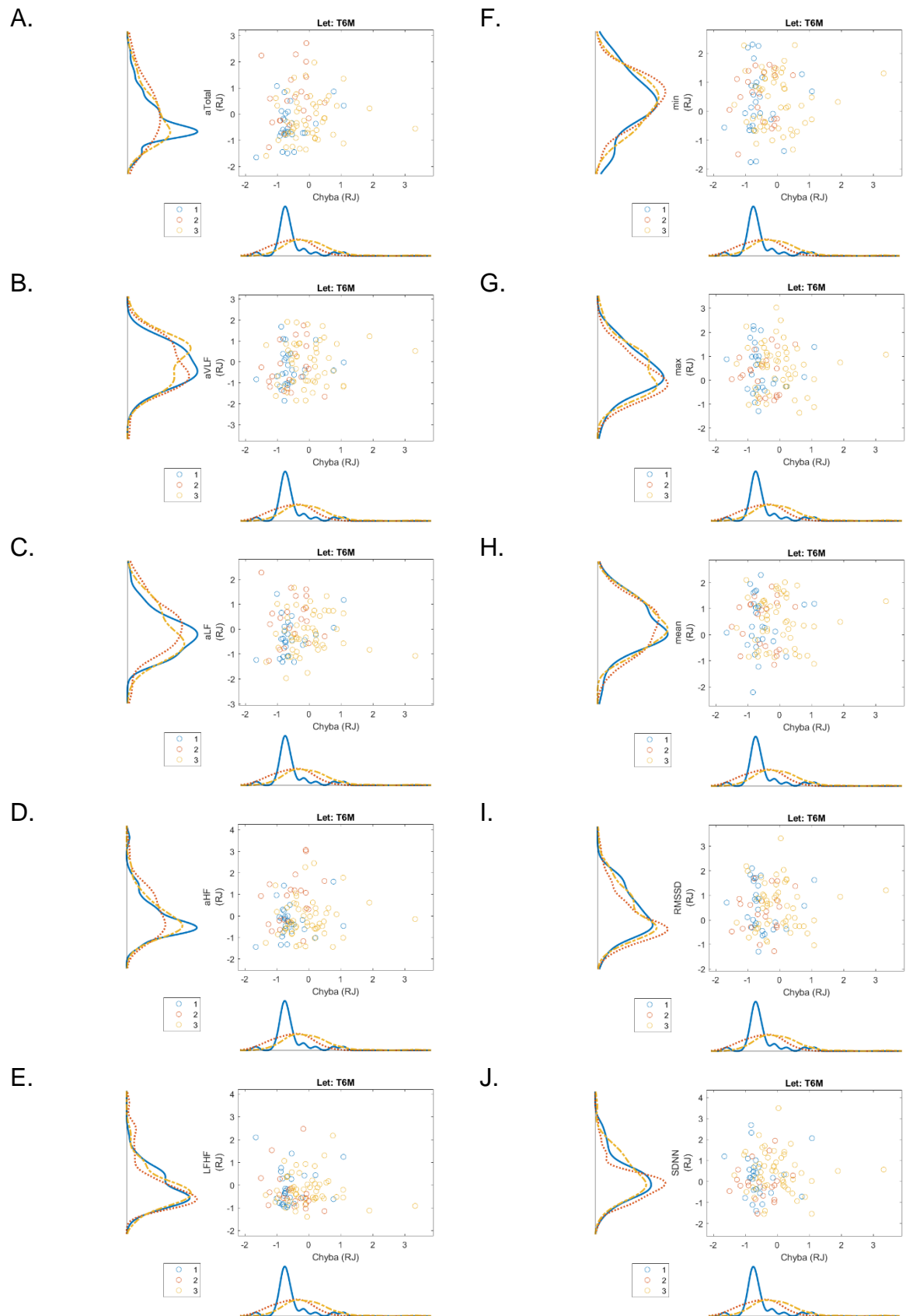
V případě měření T11M je patrný další posun hodnot chybovosti k nižším hodnotám, tj. dochází k dalšímu nárůstu přesnosti pilotáže, viz obr. 4-10. Jednotlivé manévry jsou hůře odlišitelné, ačkoli je stále zřejmé, že manévr 1 (SLF) je zatížen nejnižší chybou. Opět je patrný také posun jednotlivých parametrů HRV k nižším, resp. vyšším hodnotám.

V případě posledního měření je rozlišení jednotlivých manévrů téměř nemožné. Většina hodnot celkové chyby se nachází pod hodnotou 0, tj. pod průměrem chyby za všechna měření. Je také zřejmé, že rozsah hodnot na ose x je zúžen oproti předcházejícím měřením. Hodnoty parametrů HRV opět opisují obdobný průběh pro všechny hodnocené manévry, viz obr. 4-11.

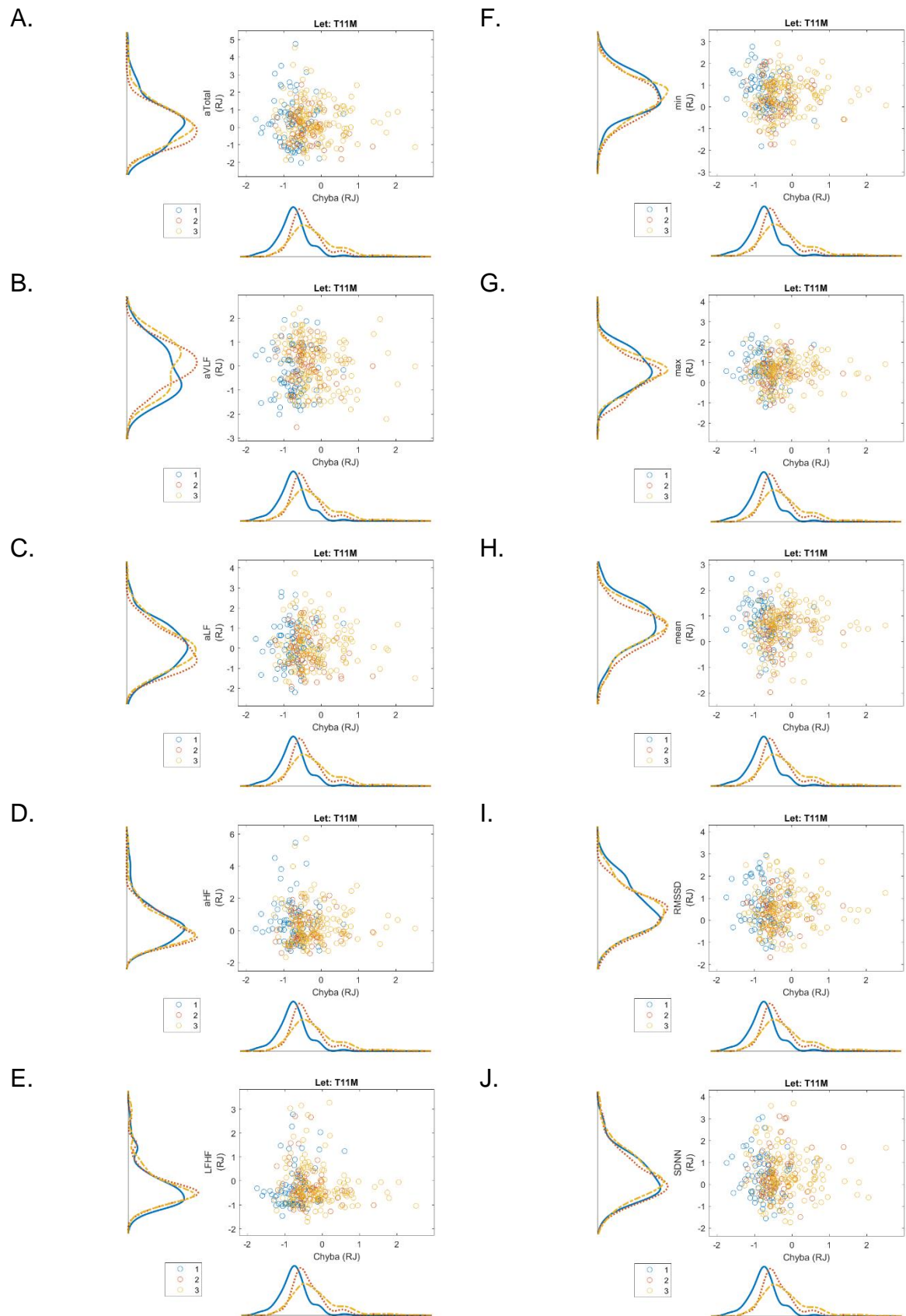
Veškeré obrázky výsledných grafů jsou k dispozici ve větším rozlišení v přílohové části diplomové práce.



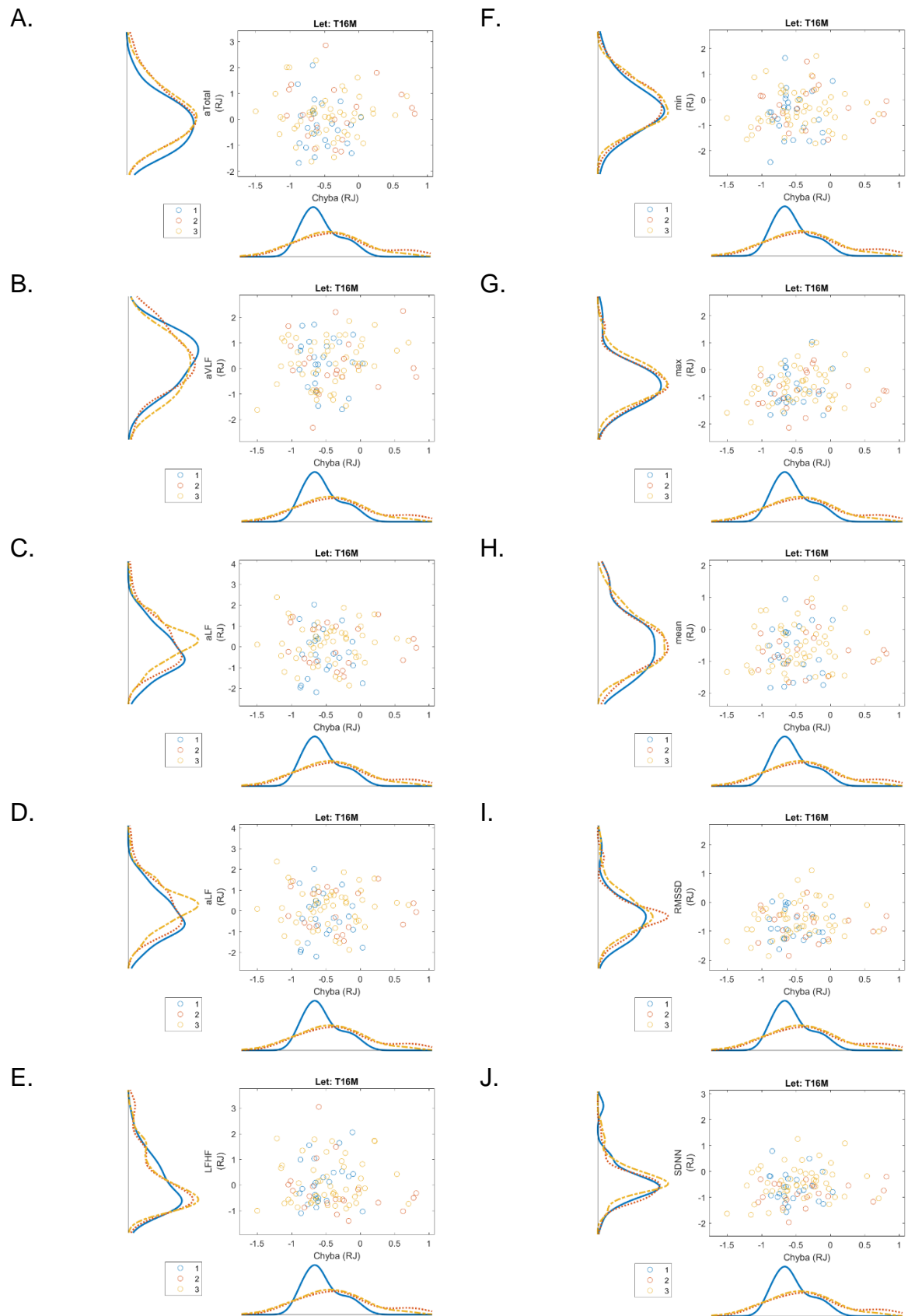
Obrázek 4-8: Distribuce Z-skóre celkové chyby vůči parametrům frekvenční (A - E) a časové (F - J) analýzy HRV pro sledované manévry, tj. SLF (1), H360 (2) a C/D180 (3) pro měření T2M



Obrázek 4-9: Distribuce Z-skóre celkové chyby vůči parametrům frekvenční (A - E) a časové (F - J) analýzy HRV pro sledované manévry, tj. SLF (1), H360 (2) a C/D180 (3) pro měření T6M



Obrázek 4-10: Distribuce Z-skóre celkové chyby vůči parametrům frekvenční (A - E) a časové (F - J) analýzy HRV pro sledované manévry, tj. SLF (1), H360 (2) a C/D180 (3) pro měření T11M



Obrázek 4-11: Distribuce Z-skóre celkové chyby vůči parametrům frekvenční (A - E) a časové (F - J) analýzy HRV pro sledované manévry, tj. SLF (1), H360 (2) a C/D180 (3) pro měření T16M

5. Diskuze

Na základě samotných dat z instruktorských zápisků nelze určit, zda instruktor hodnotí spíše správnost nebo přesnost prováděných letových úkonů. Na základě prezentovaných výsledků však lze předpokládat, že instruktor hodnotí spíše přesnost, a to s ohledem na nalezené statisticky signifikantní korelace mezi oběma typy dat. V případě hodnocení správnosti byla takováto korelace nalezena pouze v případě vertikální rychlosti u C/D180, což může být způsobeno větší variabilitou v tomto parametru.

Ačkoli v případě přesnosti existují statisticky signifikantní korelace mezi oběma typy dat, je na první pohled zřejmé, že jsou tyto korelace slabé. Korelace tedy existují pravděpodobně z důvodu, že při reálném zvýšení odchylky od předepsané hodnoty parametru instruktor také zaznamenal jeho zvýšení, ale ne natolik exaktně, jako data z letového simulátoru. Tuto domněnku podporuje taktéž fakt, že data z instruktorských zápisků jsou značně diskrétní oproti datům získaným z letového simulátoru. Ačkoli tedy výsledky ukazují na statisticky signifikantní korelaci mezi jednotlivými daty, korelace je nízká a z prezentovaných grafů je zřejmé, že zápisky instruktora se nejeví jako dostatečné.

S ohledem na jednotlivé sledované manévry lze konstatovat, že v případě prvního a druhého měření je možné vzájemně rozeznat manévry SLF a C/D180, přičemž u manévru C/D180 je prokazatelná vyšší náročnost projevující se zvýšenou chybovostí. Dále lze vysledovat posun hodnot chybovosti k nižším hodnotám v průběhu výcviku. To tedy znamená, že v průběhu výcviku docházelo k nárůstu přesnosti měření, a tedy celková chyba klesala pod průměrnou hodnotu. V případě posledního měření se pak již většina hodnot nacházela právě pod tímto průměrem. V souvislosti se snižováním chybovosti docházelo také ke snižování rozsahu hodnot, tj. ke snižování variability chybovosti v rámci manévru. V posledních dvou měřeních již tedy nelze jednoduše oddělit jednotlivé manévry, což může způsobeno právě faktem, že chybovost je při všech manévrech již tak nízká, že není odlišitelná. Zároveň je však pozorovatelný výrazný pík u manévru SLF, který se ve všech měřeních nachází v hodnotách nižších oproti H360 a C/D180. Ačkoli manévr H360 není od ostatních vzájemně odlišitelný, je z jeho distribuce zřejmé, že maximum chybovosti leží právě mezi SLF a C/D180. Uvedené tedy naznačuje, že u větší části subjektů je pozorována narůstající náročnost jednotlivých manévru na základě chyby tak, jak bylo předpokládáno.

V případě sledovaných parametrů analýzy HRV nebylo v případě žádného parametru ani měření možno vzájemně odlišit jednotlivé manévry, pozorované distribuce byly pro jednotlivé manévry vždy obdobné. Lze tedy předpokládat, že subjekty udržovaly v průběhu letu nějakou konstantní hladinu stresu, a tedy nedocházelo k významným změnám v průběhu

manévrů. Uvedené podporuje také fakt, že se jednalo o začínající piloty, kteří absolvovali poměrně malou část svého výcviku, a tedy lze předpokládat, že je pro ně celý let stále značně stresující. Samotný stres je pak velmi obtížně hodnotitelný a v podstatě jej nelze odlišit od zátěže, tj. odlišení jednotlivých manévrů, resp. hodnocení subjektivního vnímání jejich náročnosti, se u uvedených subjektů ukázala jako nemožná. Zároveň je však pozorovatelný obdobný posun hodnot jako v případě chybovosti, resp. přesnosti pilotáže, což naznačuje změnu psychofyzilogického stavu směrem k nižšímu stresu/zátěži. Tento posun však není tak výrazný jako v předchozím případě a lze předpokládat, že by bylo třeba delšího sledovaného období k potvrzení uvedeného tvrzení.

S ohledem na výše uvedené je tedy možné tvrdit, že lze sledovat jistý posun v přesnosti pilotáže a zároveň, že na základě přesnosti/chybovosti pilotáže lze hodnotit náročnost jednotlivých manévrů. Limitací pro takovéto hodnocení je pak snížení chybovosti ve všech manévrech na takovou úroveň, kdy je pro všechny z nich minimální, a tedy jednotlivé manévry již nejsou odlišitelné, k čemuž prokazatelně v průběhu výcviku dochází.

6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo přiblížit problematiku leteckého výcviku v civilním letectví a zvážit na základě dostupných naměřených parametrů možnost zavedení nových metod výcviku do praxe, a to se zaměřením na prvotní výcvik začínajících pilotů. V rámci práce byly položeny dvě základní otázky, kolem kterých byl vytvořen výzkum z nasbíraných dat.

První otázkou bylo, zda je hodnocení základní techniky pilotáže instruktorem dostatečné nebo jestli existuje prostor pro zdokonalení, kterého by se dalo dosáhnout začleněním pravidelného měření dat při vykonávání leteckých manévřů v průběhu výcviku.

Druhá otázka spočívala v hodnocení manévřů a fyziologických reakcí vybraných uchazečů. Cílem bylo zjistit, které ze základních manévřů jsou pro začínající piloty nejnáročnější na pilotáž a které z nich jsou pro ně nejvíce stresující.

V rámci výzkumu byla využita data nasbíraná Laboratoří lidského faktoru a automatizace v letectví. Konkrétně šlo o vzorek tří skupin uchazečů po deseti lidech (tedy celkem 30 lidí) s důrazem na nulové předchozí zkušenosti s létáním. Každý z účastníků výzkumu odlétal minimálně 16 hodin na leteckém тренаžeru a v průběhu těchto cvičení byl u každého celkem čtyřikrát změřen průběh letu a fyziologické parametry daného jednotlivce. Na základě takto získaných dat bylo možné provést potřebnou analýzu.

Po vyhodnocení výsledných parametrů, které lze v grafické podobě přehledně seřazené nalézt v příloze je možné odpovědět na obě hlavní otázky, které jsou byly položeny na začátku práce. V případě otázky, zda je instruktor schopen dostatečně přesně zaznamenat a účelně vyhodnotit chyby, které u žáka v průběhu provádění jednotlivých manévřů nastanou lze konstatovat, že instruktor nebyl tohoto schopen. Instruktor měl za úkol zaznamenat odchylky a tato zaznamenaná data byla porovnána se záznamy sesbíranými ze zapisovače letových dat. Pokud by instruktor v tomto úkolu obstál, jeho záznamy by přibližně korespondovaly s chybou uvedenou počítačovým měřením. Na základě přiložených grafů lze vyčíst, že instruktor chyby v pilotáži vyhodnotil v rozporu s naměřenými hodnotami. Vzhledem k jisté korelaci dat lze vyčíst, že se zvyšující se chybou instruktor zvyšuje hodnotu zaznamenané chyby, přesto však instruktorem zapsané odchylky nekorespondují s hodnotami naměřenými zapisovačem.

Předpokládaným důvodem takové odchylky je pravděpodobný fakt, že instruktor není schopen v rámci sledování veškerých parametrů rozložit pozornost na všechny parametry letu a pokud se zaměřuje na chybu u jednoho z parametrů, může mu uniknout chyba u některého z dalších parametrů. Pokud má navíc instruktor zaznamenávat chybu, je zjevná jeho tendence

zaznamenat hraniční či alespoň nejvýraznější hodnoty, případně zaokrouhlovat na pro člověka příjemná čísla. Navíc při dlouhodobém měření (pokud let trvá třeba hodinu), není v silách instruktora objektivně vyhodnotit chybovost v průběhu celého letu. Počítačem naměřená a následně zpracovaná data těmito nedostatky netrpí a je možné zpracovat celý průběh letu a chybovost ve všech fázích. Prostor ke zdokonalení leteckého výcviku tedy rozhodně existuje. Data-driven výcvik by tak mohl být cestou do budoucna, jelikož by umožnil okamžitou či dodatečnou kontrolu a bylo by možné sledovat postup pilotů a zaměřit se na situace, které jim v letadle dělají problém.

Na základě výše zmíněného je tedy první hypotéza zamítnuta.

V případě druhé otázky, zda je možné určit manévry, které pilotům budou dělat největší problémy a zda lze vyhodnotit nejvíce stresující manévry, nelze bohužel jednoznačně odpovědět. Naměřené parametry v přesnosti pilotáže jasně ukazují, že třetí hypotéza ohledně náročnosti manévru je přijata. Nejjednodušším manévrem a také manévrem, který vykazoval již od počátku měření nejmenší chybovost je prokazatelně horizontální přímočarý let. Vyšší náročnost poté vykazovala horizontální zatáčka o 360° a nejtěžším manévrem s největší chybovostí byly stoupavé a klesavé zatáčky. Viditelným výsledkem je také zlepšení přesnosti pilotáže v průběhu výcviku. Chybovost s přibývajícimi zkušenostmi klesá do míry, kdy téměř není znát rozdíl mezi jednotlivými manévry.

S ohledem na psychofyzilogický stav subjektů však musela být druhá hypotéza zamítnuta. Variabilita srdečního rytmu byla u všech subjektů v průběhu různých manévrů natolik navzájem nerozlišitelná, že nelze bezpečně určit, který z manévrů je pro začínající piloty z fyziologické stránky nejnáročnější. Dle výsledků lze předpokládat, že stres u začínajících pilotů je na takové úrovni, že než aby je zatěžovaly jednotlivé manévry, je pro ně stresující celý samotný let. Stejně jako u výsledků přesnosti pilotáže je navíc možné sledovat snižující se stresovou tendenci. Tento fakt může být způsoben narůstajícími zkušenostmi a vnitřním vyrovnáním se s již známým průběhem letu.

Z výsledků tedy vyplývá, že uvedený koncept využití dat v průběhu výcviku může rozšířit informace o výcviku samotném, a tedy sloužit jako podklad pro instruktora. Lze tedy tvrdit, že koncept data-driven se jeví jako vhodný pro zavádění do výcviku pilotů, a to zejména jakožto datová opora pro instruktora.

Seznam literatury

- [1] *Aviation Safety Network*. Copyright © 1996-2019 Aviation Safety Network. Dostupné z: <https://aviation-safety.net/>
- [2] *Causes of Fatal Accidents by Decade*. Copyright © PlaneCrashInfo.com 1997-2019. Dostupné z: <http://planecrashinfo.com/cause.htm>
- [3] AC 120-54A - Advanced Qualification Program. *Federal Aviation Administration*. 2006. Dostupné z: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/23190
- [4] Standards Document 80: Alternative Training and Qualification Programme (ATQP). 2013. Dostupné z: <http://publicapps.caa.co.uk/modalapplication.aspx?catid=1&pagetype=65&appid=11&mode=detail&id=5634>
- [5] International Civil Aviation Organization. Doc 9995, Manual of Evidence-based Training. 2013. ISBN 978-92-9249-242-7.
- [6] Nařízení komise (EU) č. 1178/2011 ze dne 3. listopadu 2011.
- [7] Schválené organizace pro výcvik ATO, Úřad pro civilní letectví. Copyright © 2001. Dostupné z: <http://www.caa.cz/file/6874/>
- [8] SOCHA, Vladimír, Jakub SCHLENKER, Peter KAL'AVKSY, Patrik KUTILEK, Lubos SOCHA, Stanislav SZABO a Pavel SMRCKA. Effect of the change of flight, navigation and motor data visualization on psychophysiological state of pilots. In: *2015 IEEE 13th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*. IEEE, 2015, 2015, s. 339-344. DOI: 10.1109/SAMI.2015.7061900. ISBN 978-1-4799-8221-9
- [9] KALAVSKY, Peter, Robert ROZENBERG, Luboš SOCHA, Vladimír SOCHA, Jindrich GAZDA a Monika KIMLICKOVA. Methodology of Pilot Performance Measurements. *MAD - Magazine of Aviation Development*. 2017, **5**(2), 25-30. DOI: 10.14311/MAD.2017.02.04. ISSN 1805-7578.
- [10] Národní soustava povolání. *Národní soustava povolání*. Copyright © 2017 Ministerstvo práce a sociálních věcí. Dostupné z: <https://www.nsp.cz/>
- [11] REGULA, Marek, Vladimír SOCHA, Patrik KUTILEK, Lubos SOCHA, Karel HANA, Lenka HANAKOVA a Stanislav SZABO. Study of heart rate as the main stress indicator in aircraft pilots. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Mechatronics - Mechatronika 2014*. IEEE, 2014, 2014, s. 639-643. DOI: 10.1109/MECHATRONIKA.2014.7018334. ISBN 978-80-214-4816-2.
- [12] THAYER, Julian F., Anita L. HANSEN, Evelyn SAUS-ROSE a Bjorn Helge JOHNSEN. Heart Rate Variability, Prefrontal Neural Function, and Cognitive Performance: The Neurovisceral Integration Perspective on Self-regulation, Adaptation, and

- Health. *Annals of Behavioral Medicine*. 2009, **37**(2), 141-153. DOI: 10.1007/s12160-009-9101-z. ISSN 0883-6612.
- [13] HÁKOVÁ, Anna. Hodnocení psychofyziologického stavu u pilotů ve výcviku. Praha, 2016. Magisterská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství.
- [14] BERGER, Ronald D., Solange AKSELROD, David GORDON a Richard J. COHEN. An Efficient Algorithm for Spectral Analysis of Heart Rate Variability. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 1986, **BME-33**(9), 900-904. DOI: 10.1109/TBME.1986.325789. ISSN 0018-9294.
- [15] POMERANZ, B., R. J. MACAULAY, M. A. CAUDILL, et al. Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 1985, **248**(1), H151-H153. DOI: 10.1152/ajpheart.1985.248.1.H151. ISSN 0363-6135.
- [16] KESELBRENER, L. a S. AKSELROD. Selective discrete Fourier transform algorithm for time-frequency analysis: method and application on simulated and cardiovascular signals. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. **43**(8), 789-802. DOI: 10.1109/10.508542. ISSN 00189294.
- [17] PICHON, Aurélien, Manuel ROULAUD, Sophie ANTOINE-JONVILLE, Claire DE BISSCHOP a André DENJEAN. Spectral analysis of heart rate variability: interchangeability between autoregressive analysis and fast Fourier transform. *Journal of Electrocardiology*. 2006, **39**(1), 31-37. DOI: 10.1016/j.jelectrocard.2005.08.001. ISSN 00220736
- [18] PRESS, William H. a George B. RYBICKI. Fast algorithm for spectral analysis of unevenly sampled data. *The Astrophysical Journal*. 1989, **338**. DOI: 10.1086/167197. ISSN 0004-637X.
- [19] VAN DEN BERGH, Sarah. Hodnocení výkonnosti pilotů v leteckém výcviku. Praha, 2018. Magisterská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní.
- [20] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Statistická analýza experimentálních dat*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1254-0.
- [21] ANDĚL, Jiří. *Základy matematické statistiky*. 2., opr. vyd. Praha: Matfyzpress, 2007. 358 s. ISBN 978-80-7378-001-2.
- [22] SINCLAIR, C.D., B.D. SPURR a M.I. AHMAD. Modified anderson darling test. *Communications in Statistics - Theory and Methods*. 1990, **19**(10), 3677-3686. DOI: 10.1080/03610929008830405. ISSN 0361-0926.

- [23] SINCLAIR, C. D. a B. D. SPURR. Approximations to the Distribution Function of the Anderson—Darling Test Statistic. *Journal of the American Statistical Association*. 1988, **83**(404), 1190-1191. DOI: 10.1080/01621459.1988.10478720. ISSN 0162-1459.
- [24] ROYSTON, Patrick. Approximating the Shapiro-Wilk W-test for non-normality. *Statistics and Computing*. 1992, **2**(3), 117-119. DOI: 10.1007/BF01891203. ISSN 0960-3174.
- [25] MASSEY, F. J., The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 46, No. 253, 1951, pp. 68–78
- [26] THADEWALD, Thorsten a Herbert BÜNING. Jarque–Bera Test and its Competitors for Testing Normality – A Power Comparison. *Journal of Applied Statistics*. 2007, **34**(1), 87-105 DOI: 10.1080/02664760600994539. ISSN 0266-4763
- [27] CONOVER, W. J. *Practical nonparametric statistics*. 3rd ed. New York: Wiley, c1999. Wiley series in probability and statistics. ISBN 978-0-471-16068-7.
- [28] DEB, Partha a Martin SEFTON. The distribution of a Lagrange multiplier test of normality. *Economics Letters*. 1996, **51**(2), 123-130. DOI: 10.1016/0165-1765(95)00784-9. ISSN 01651765.
- [29] JARQUE, Carlos M. a Anil K. BERA. Normality of Observations and Regression Residuals. *International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique*. 1987, **55**(2), 163-172.
- [30] LILLIEFORS, H. W., On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association* vol. 62, 1967, s.399-402.
- [31] PŘÍKRYL, Petr. Numerické metody analýzy. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988. MATEMATIKA PRO VYSOKÉ ŠKOLY TECHNICKÉ, sešit XXIV
- [32] SCHLENKER, Jakub, Vladimír SOCHA, Pavel SMRČKA, et al. FlexiGuard: Modular biotelemetry system for military applications. In: International Conference on Military Technologies (ICMT) 2015[online]. IEEE, 2015, 2015, s. 1-6 [cit. 2019-05-28]. DOI: 10.1109/MILTECHS.2015.7153712. ISBN 978-8-0723-1977-0.
- [33] JAYALAKSHMI, T. a A. SANTHAKUMARAN. Statistical Normalization and Back Propagation for Classification. *International Journal of Computer Theory and Engineering*. 2011, **3**(1), 1793-8201. ISSN 2040-7467.
- [34] MOHAMAD, Ismail B. a Dauda USMAN. Standardization and Its Effects on K-Means Clustering Algorithm. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 2013, **6**(17), 3299-3303. ISSN 2040-7467.

Seznam obrázků

Obr. 3-1 – Harmonogram výcviku zkoumaných skupin

Obr. 3-2 – Manévry měřené během výcviku

Obr. 3-3 – Prvotní zpracování naměřených dat v programu Matlab

Obr. 3-4 – QRS komplex a znázorněný R-R interval

Obr. 3-5 – Schéma funkce algoritmu DBSCAN

Obr. 3-6 – Aplikace DBSCAN za účelem separace jednotlivých manévrů

Obr. 3-7 – Příklad vyhodnoceného profilu letu

Obr. 3-8 - Příklad box plotu

Obr. 3-9 – Gaussova křivka a pravidlo tří sigma

Obr. 3-10 – Vztah odchylky a řádu polynomu

Obrázek 4-1: Grafické znázornění korelace mezi instruktorem zapsanými odchylkami od vertikální rychlosti a exaktními daty prezentovanými směrodatnou odchylkou pro účely hodnocení přesnosti letu s prezentovaným korelačním koeficientem (R) a p-hodnotou

Obrázek 4-2: Grafické znázornění korelace mezi instruktorem zapsanými odchylkami od magnetického kurzu a exaktními daty prezentovanými směrodatnou odchylkou pro účely hodnocení přesnosti letu s prezentovaným korelačním koeficientem (R) a p-hodnotou

Obrázek 4-3: Grafické znázornění korelace mezi instruktorem zapsanými odchylkami od barometrické výšky a exaktními daty prezentovanými směrodatnou odchylkou pro účely hodnocení přesnosti letu s prezentovaným korelačním koeficientem (R) a p-hodnotou

Obrázek 4-4: Grafické znázornění korelace mezi instruktorem zapsanými odchylkami od úhlu náklonu a exaktními daty prezentovanými směrodatnou odchylkou pro účely hodnocení přesnosti letu s prezentovaným korelačním koeficientem (R) a p-hodnotou

Obrázek 4-5: Grafické znázornění korelace mezi instruktorem zapsanými odchylkami od úhlu náklonu a exaktními daty prezentovanými odchylkou od referenční hodnoty při horizontální zatáčce o 360° pro účely hodnocení správnosti letu s prezentovaným korelačním koeficientem (R) a p-hodnotou

Obrázek 4-6: Grafické znázornění korelace mezi instruktorem zapsanými odchylkami od úhlu náklonu a exaktními daty prezentovanými odchylkou od referenční hodnoty při stoupavé/klesavé zatáčce o 180° pro účely hodnocení správnosti letu s prezentovaným korelačním koeficientem (R) a p-hodnotou

Obrázek 4-7: Grafické znázornění korelace mezi instruktorem zapsanými odchylkami od úhlu náklonu a exaktními daty prezentovanými odchylkou od referenční hodnoty při stoupavé/klesavé zatáčce o 180° pro účely hodnocení správnosti letu s prezentovaným korelačním koeficientem (R) a p-hodnotou

Obrázek 4-8: Distribuce Z-skóre celkové chyby vůči parametrům frekvenční (A - E) a časové (F - J) analýzy HRV pro sledované manévry, tj. SLF (1), H360 (2) a C/D180 (3) pro měření T2M

Obrázek 4-9: Distribuce Z-skóre celkové chyby vůči parametrům frekvenční (A - E) a časové (F - J) analýzy HRV pro sledované manévry, tj. SLF (1), H360 (2) a C/D180 (3) pro měření T6M

Obrázek 4-10: Distribuce Z-skóre celkové chyby vůči parametrům frekvenční (A - E) a časové (F - J) analýzy HRV pro sledované manévry, tj. SLF (1), H360 (2) a C/D180 (3) pro měření T11M

Obrázek 4-11: Distribuce Z-skóre celkové chyby vůči parametrům frekvenční (A - E) a časové (F - J) analýzy HRV pro sledované manévry, tj. SLF (1), H360 (2) a C/D180 (3) pro měření T16M

Seznam tabulek

Tab 3.1 Příklad datového souboru využitého pro hodnocení sledovaných manévru

Seznam příloh

Příloha A – CD

Příloha B – Zpracování a analýza dat v programovém prostředí Matlab

Příloha B

Rozdělení podle skupin	65
Rozdělení podle subjektu	65
Rozdělení podle hodiny	65
Rozdělení podle manévru v jednotlivých hodinách	66
Hodnocení instruktora vs. exaktní hodnocení	88

```
clear all;
close all;
clc;

[data,~,raw]=xlsread('resultsNew.xlsx');
label1=(raw(2,2:end));
label2=(raw(3,2:end));
```

Rozdělení podle skupin

```
gr1=data(data(:,2)<11,:);
gr2=data(data(:,2)>10 & data(:,2)<21,:);
gr3=data(data(:,2)>20);
```

Rozdělení podle subjektu

```
zscor_xnan = @(x) bsxfun(@rdivide, bsxfun(@minus, x, mean(x,'omitnan')),...
    std(x, 'omitnan'));
[rows, cols]=size(data);
zdata=nan(rows,cols);

for i=1:42
    subj=data(data(:,2)==i,8:end);
    idx=find(data(:,2)==i);
    zsubj=zscor_xnan(subj);
    zdata(idx,8:end)=zsubj;
end

zdata(:,1:3)=data(:,1:3);
```

Rozdělení podle hodiny

```
m2=zdata(zdata(:,1)==2,:);
m6=zdata(zdata(:,1)==6,:);
m11=zdata(zdata(:,1)==11,:);
m16=zdata(zdata(:,1)==16,:);
```

Rozdělení podle manévru v jednotlivých hodinách

```
% pro T2M - exakt data
% z-std. výška a z-std. mag. kurz
a21=(m2(m2(:,3)==1,10)+m2(m2(:,3)==1,16))/2;
% z-std. výška a z-std. náklon
a22=(m2(m2(:,3)==2,10)+m2(m2(:,3)==2,14))/2;
% z-std. vert. rychl. a z-std. náklon
a234=(m2(m2(:,3)==3 | m2(:,3)==4,12)+m2(m2(:,3)==3 | m2(:,3)==4,14))/2;

% pro T6M - exakt data
% z-std. výška a z-std. mag. kurz
a61=(m6(m6(:,3)==1,10)+m6(m6(:,3)==1,16))/2;
% z-std. výška a z-std. náklon
a62=(m6(m6(:,3)==2,10)+m6(m6(:,3)==2,14))/2;
% z-std. vert. rychl. a z-std. náklon
a634=(m6(m6(:,3)==3 | m6(:,3)==4,12)+m6(m6(:,3)==3 | m6(:,3)==4,14))/2;

% pro T11M - exakt data
% z-std. výška a z-std. mag. kurz
a111=(m11(m11(:,3)==1,10)+m11(m11(:,3)==1,16))/2;
% z-std. výška a z-std. náklon;
a112=(m11(m11(:,3)==2,10)+m11(m11(:,3)==2,14))/2;
% z-std. vert. rychl. a z-std. náklon
a1134=(m11(m11(:,3)==3 | m11(:,3)==4,12)+m11(m11(:,3)==3 ...
| m11(:,3)==4,14))/2;

% pro T16M - exakt data
% z-std. výška a z-std. mag. kurz
a161=(m16(m16(:,3)==1,10)+m16(m16(:,3)==1,16))/2;
% z-std. výška a z-std. náklon;
a162=(m16(m16(:,3)==2,10)+m16(m16(:,3)==2,14))/2;
% z-std. vert. rychl. a z-std. náklon
a1634=(m16(m16(:,3)==3 | m16(:,3)==4,12)+m16(m16(:,3)==3 ...
| m16(:,3)==4,14))/2;

ErrorM1=[a21;a22;a234];
ErrorM2=[a61;a62;a634];
ErrorM3=[a111;a112;a1134];
ErrorM4=[a161;a162;a1634];

M1Plot=[m2(m2(:,3)==1,:); m2(m2(:,3)==2,:); m2(m2(:,3)==3 | m2(:,3)==4,:)];
M2Plot=[m6(m6(:,3)==1,:); m6(m6(:,3)==2,:); m6(m6(:,3)==3 | m6(:,3)==4,:)];
M3Plot=[m11(m11(:,3)==1,:); m11(m11(:,3)==2,:); m11(m11(:,3)==3 ...
| m11(:,3)==4,:)];
M4Plot=[m16(m16(:,3)==1,:); m16(m16(:,3)==2,:); m16(m16(:,3)==3 ...
| m16(:,3)==4,:)];

maneuverIdx1=[ones(length(a21(:,1)),1); ...
ones(length(a22(:,1)),1)+1; ones(length(a234(:,1)),1)+2];
maneuverIdx2=[ones(length(a61(:,1)),1); ...
ones(length(a62(:,1)),1)+1; ones(length(a634(:,1)),1)+2];
```

```

maneuverIdx3=[ones(length(a111(:,1)),1);...
              ones(length(a112(:,1)),1)+1; ones(length(a1134(:,1)),1)+2];
maneuverIdx4=[ones(length(a161(:,1)),1);...
              ones(length(a162(:,1)),1)+1; ones(length(a1634(:,1)),1)+2];

fyzioidx=[19,20,21,22,23,51,52,53,54,60];

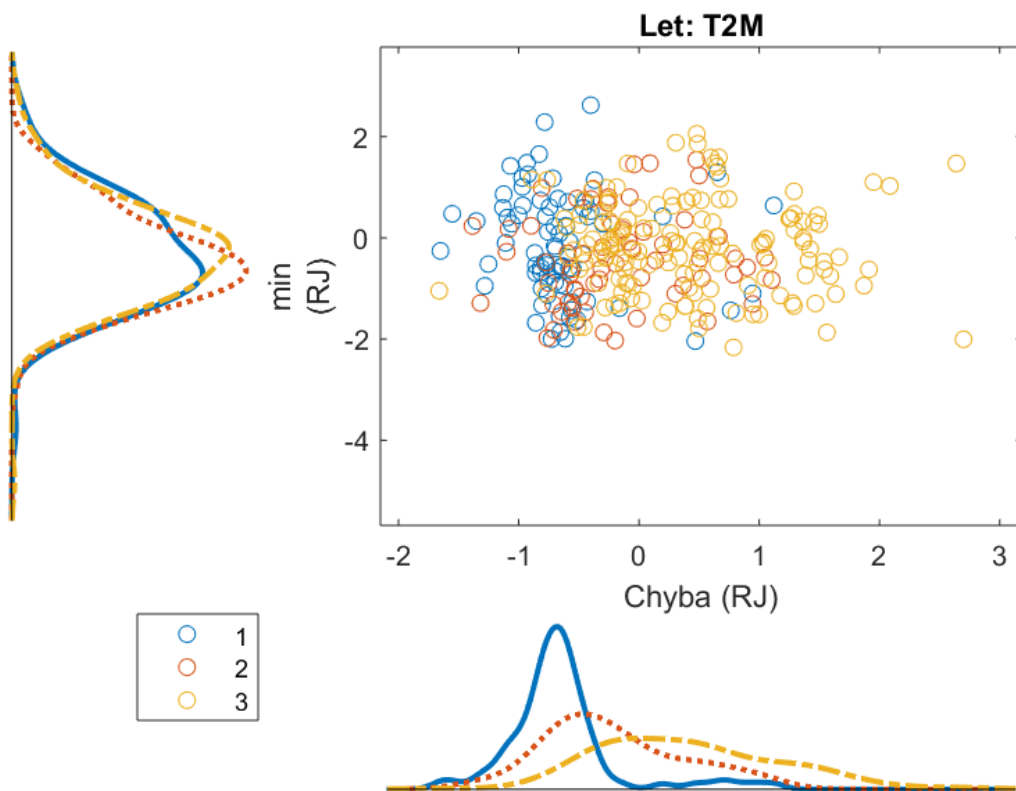
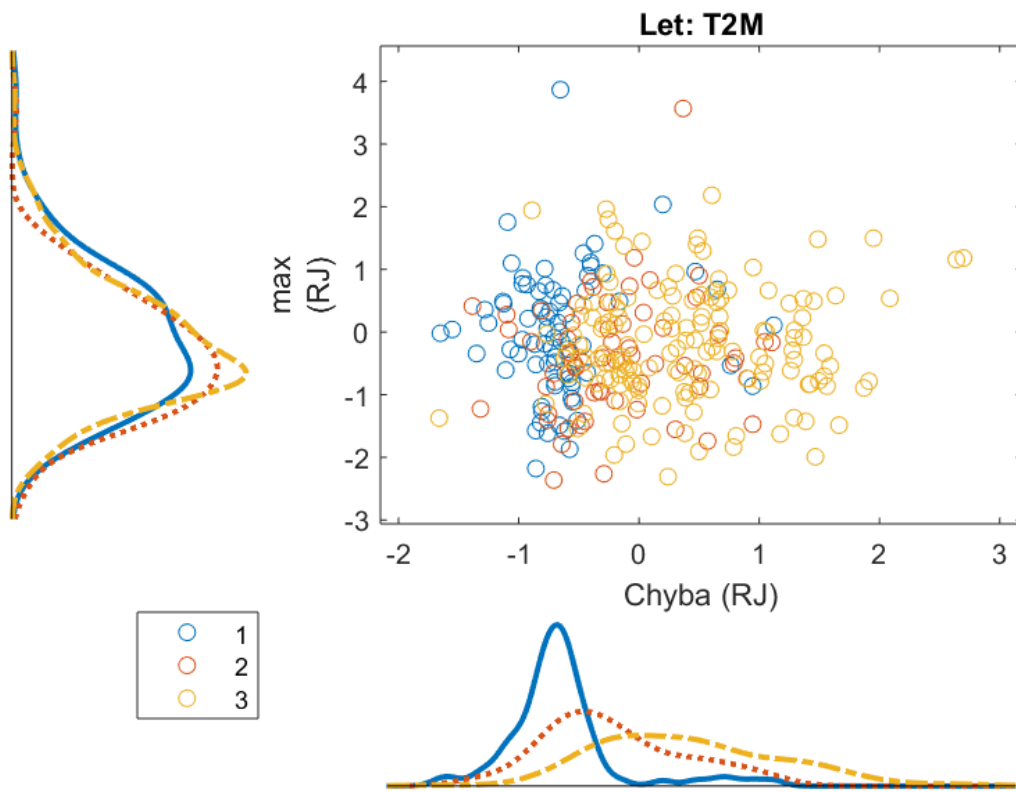
close all
for i=fyzioidx
    figure
    h=scatterhist(ErrorM1, M1Plot(:,i), 'Group',maneuverIdx1,'Kernel', 'on');
    colormap jet
    xlabel('Chyba (RJ)');
    ylabel([label2(i), '(RJ)']);
    title('Let: T2M');
    saveas(gcf,['T2M_',label2{i}], 'png');
end

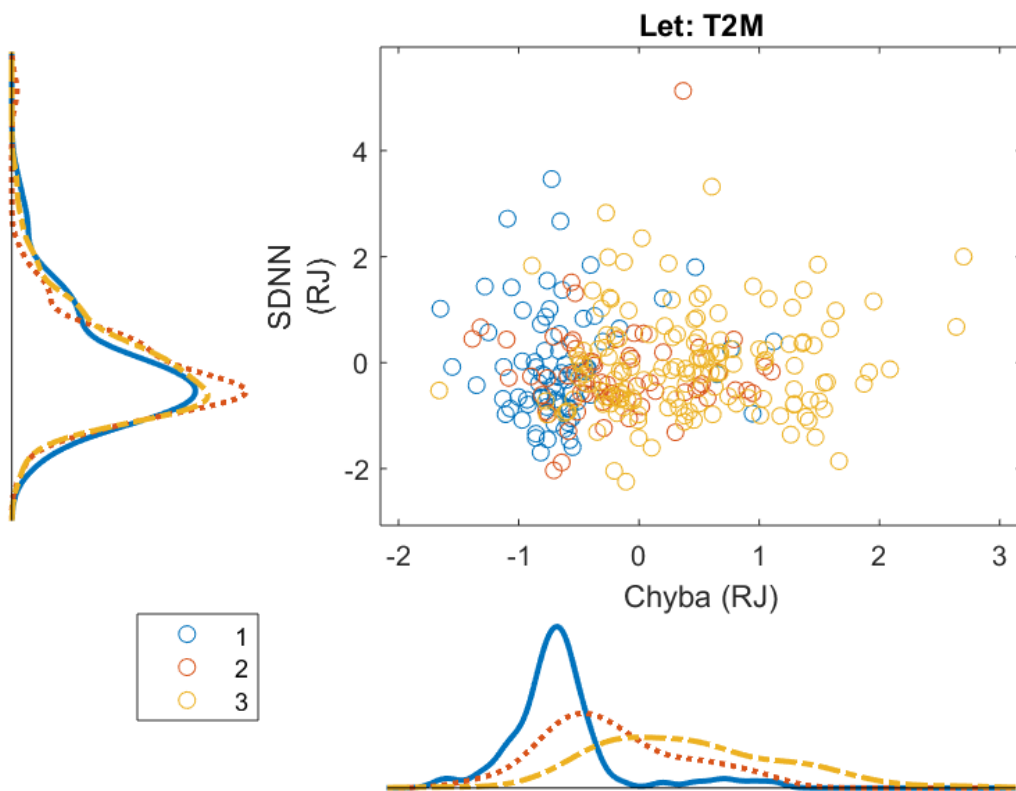
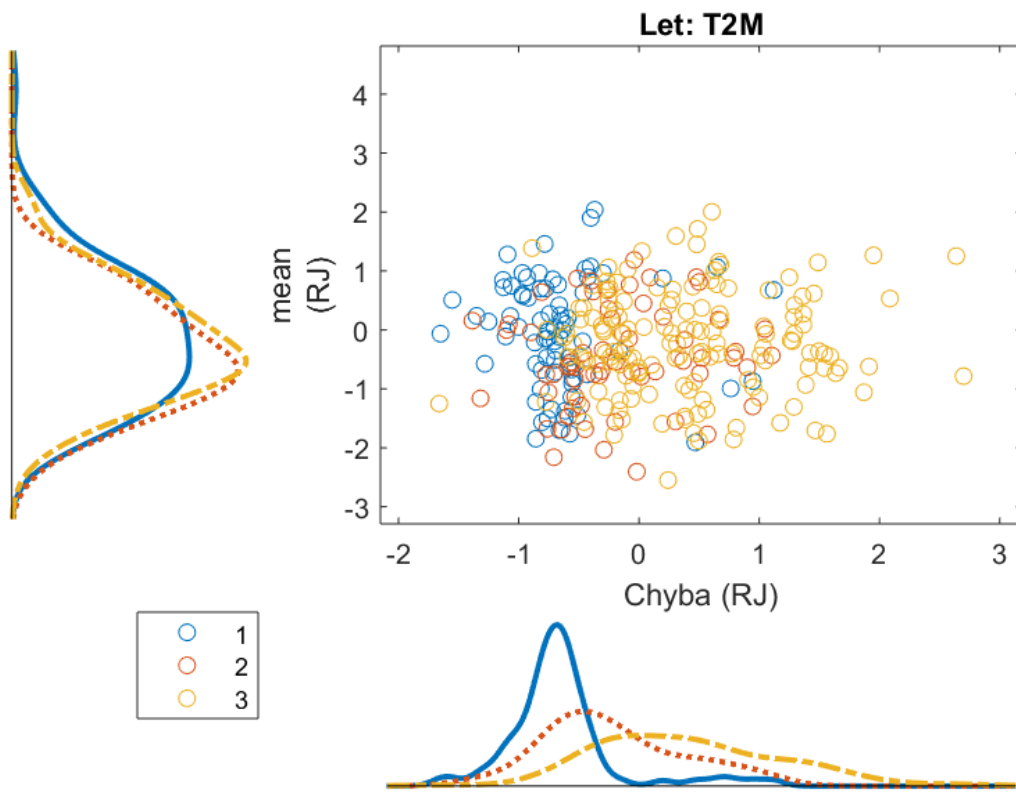
for i=fyzioidx
    figure
    h=scatterhist(ErrorM2, M2Plot(:,i), 'Group',maneuverIdx2,'Kernel', 'on');
    colormap jet
    xlabel('Chyba (RJ)');
    ylabel([label2(i), '(RJ)']);
    title('Let: T6M');
    saveas(gcf,['T6M_',label2{i}], 'png');
end

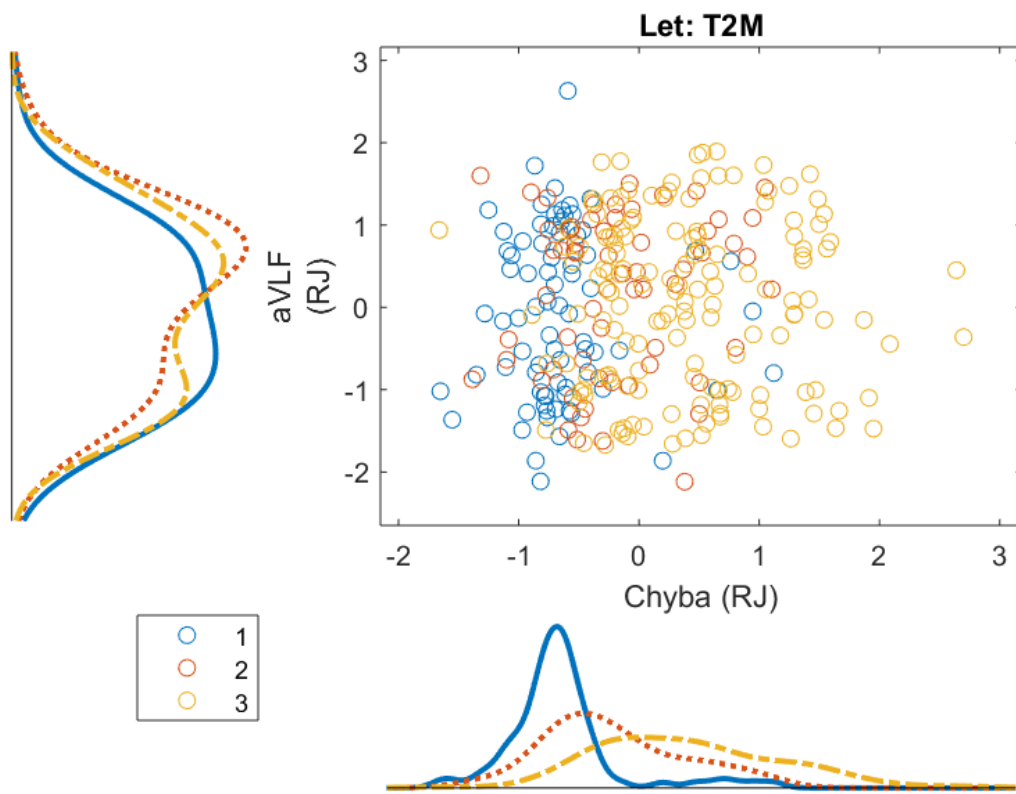
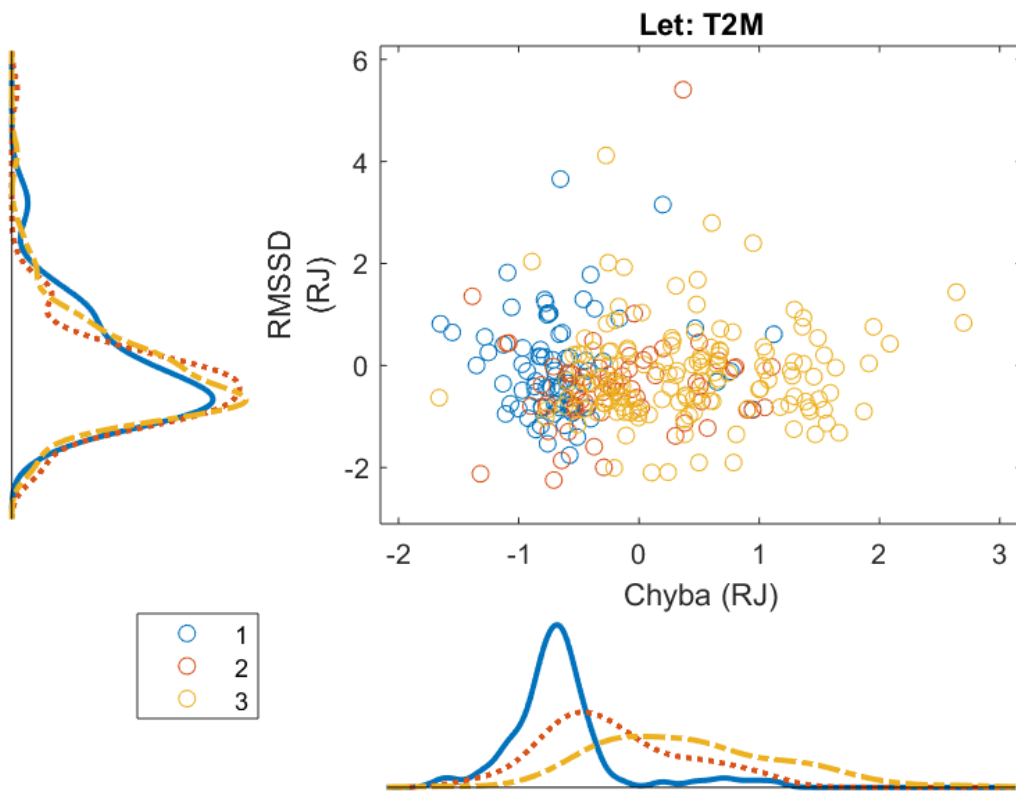
for i=fyzioidx
    figure
    h=scatterhist(ErrorM3, M3Plot(:,i), 'Group',maneuverIdx3,'Kernel', 'on');
    colormap jet
    xlabel('Chyba (RJ)');
    ylabel([label2(i), '(RJ)']);
    title('Let: T11M');
    saveas(gcf,['T11M_',label2{i}], 'png');
end

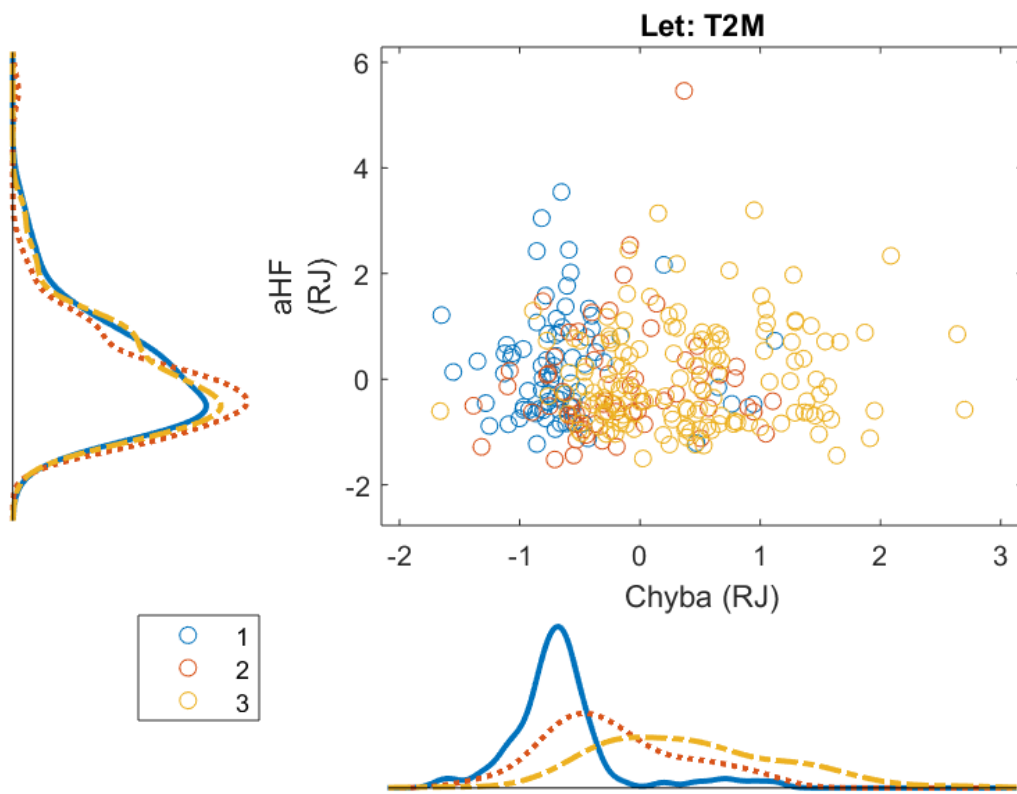
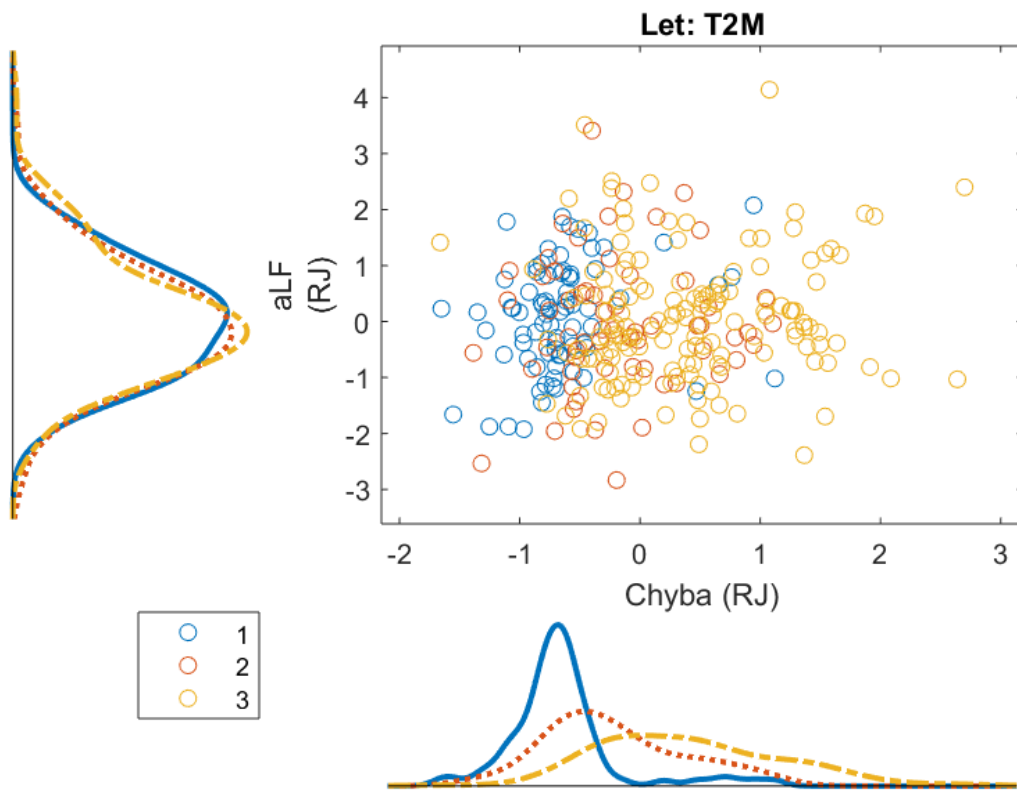
for i=fyzioidx
    figure
    h=scatterhist(ErrorM4, M4Plot(:,i), 'Group',maneuverIdx4,'Kernel', 'on');
    colormap jet
    xlabel('Chyba (RJ)');
    ylabel([label2(i), '(RJ)']);
    title('Let: T16M');
    saveas(gcf,['T16M_',label2{i}], 'png');
end

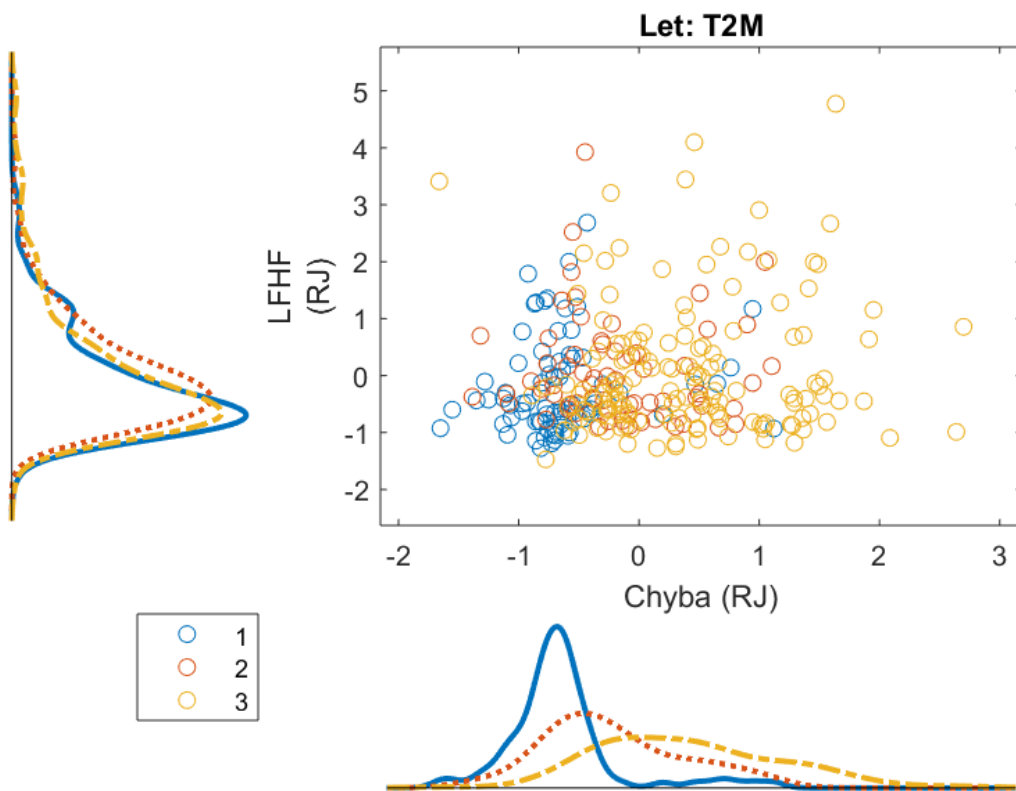
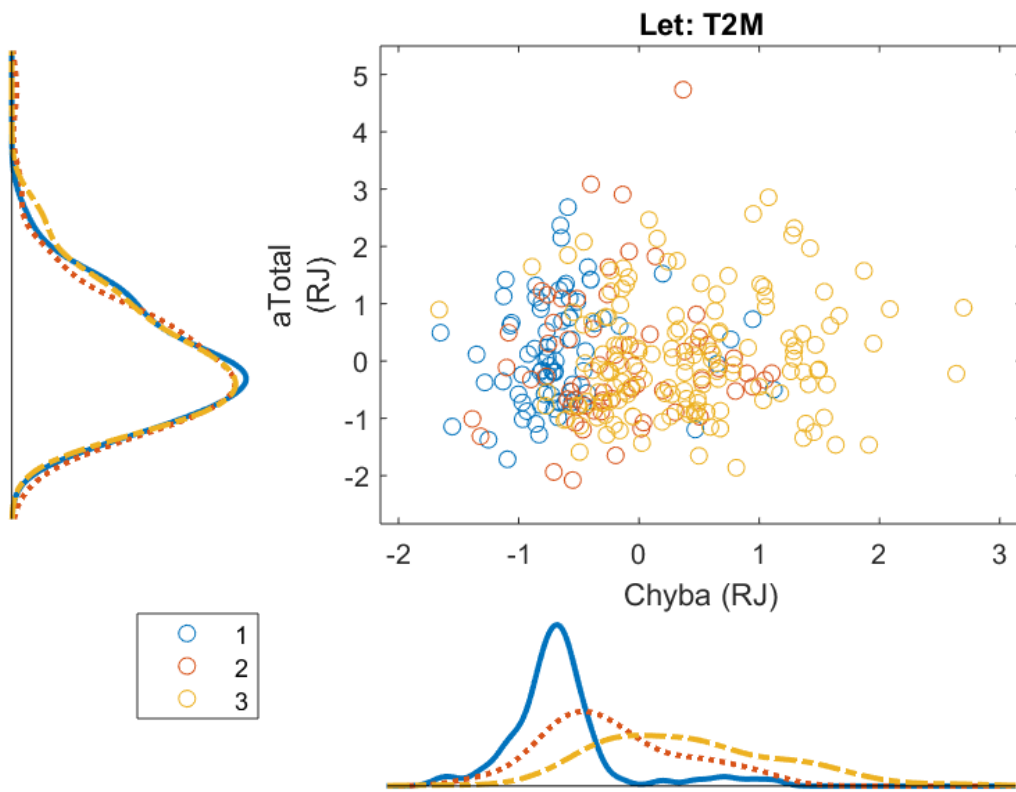
```

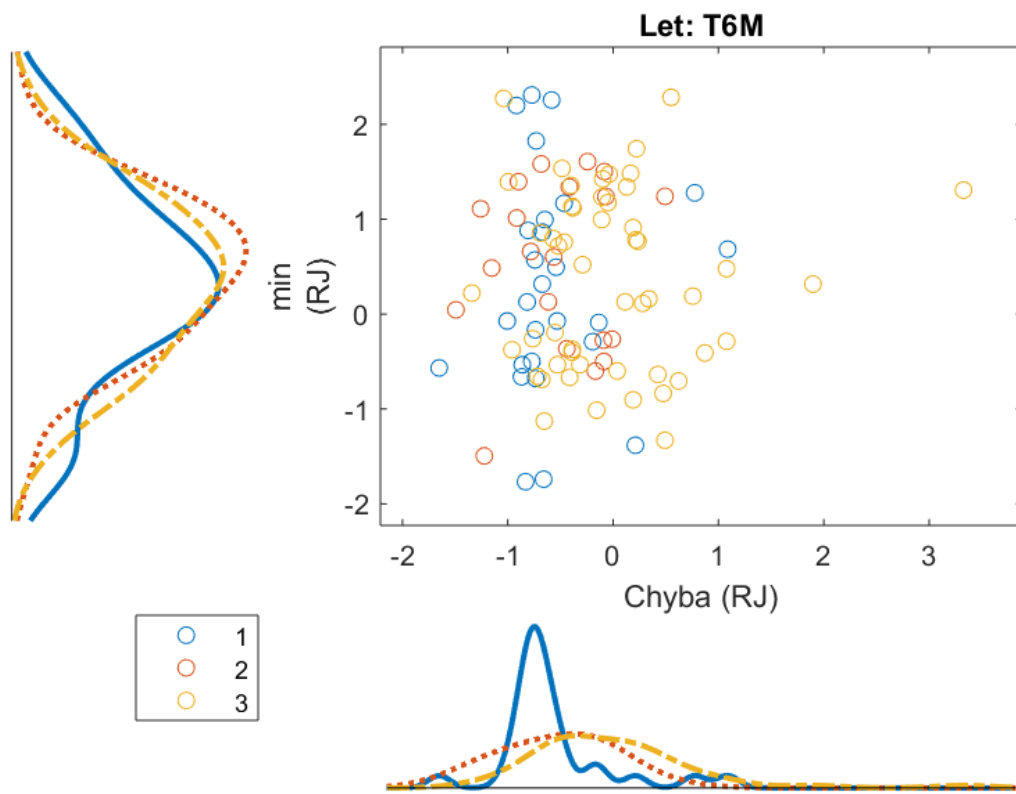
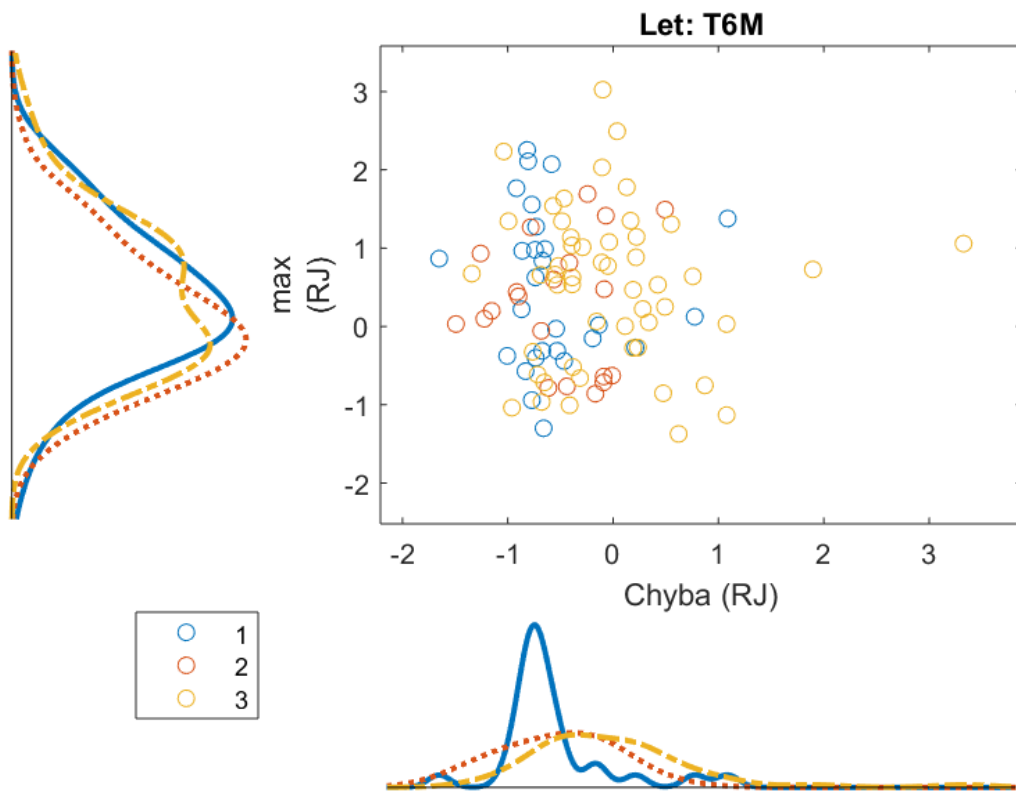


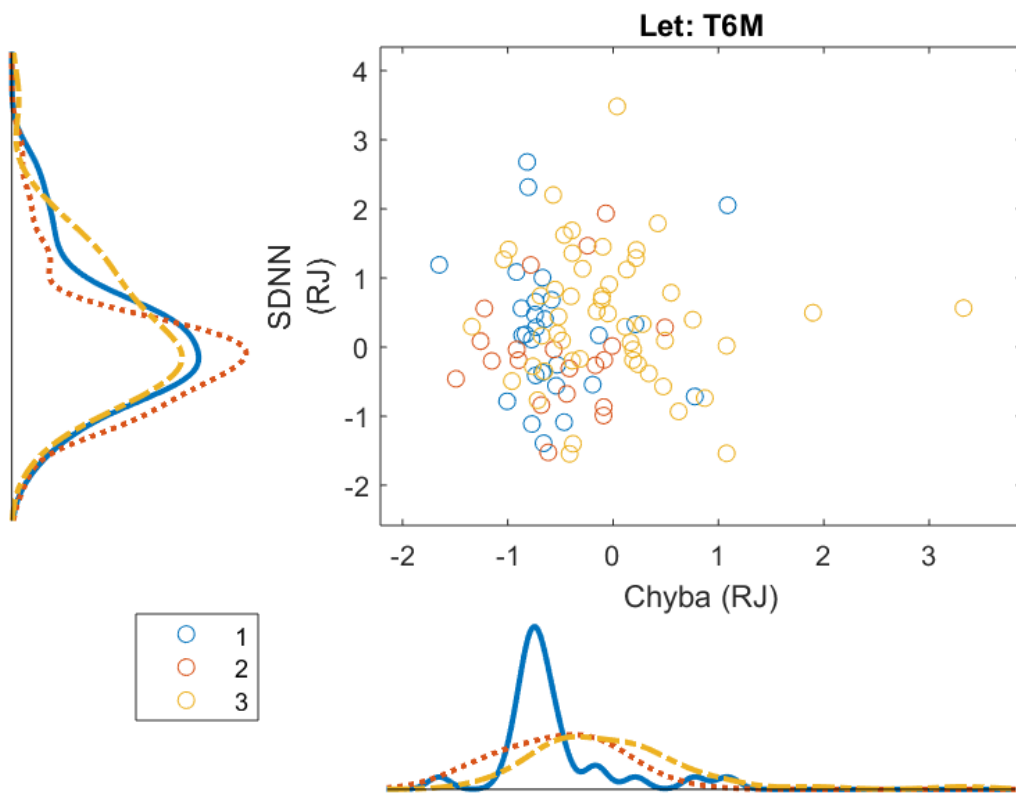
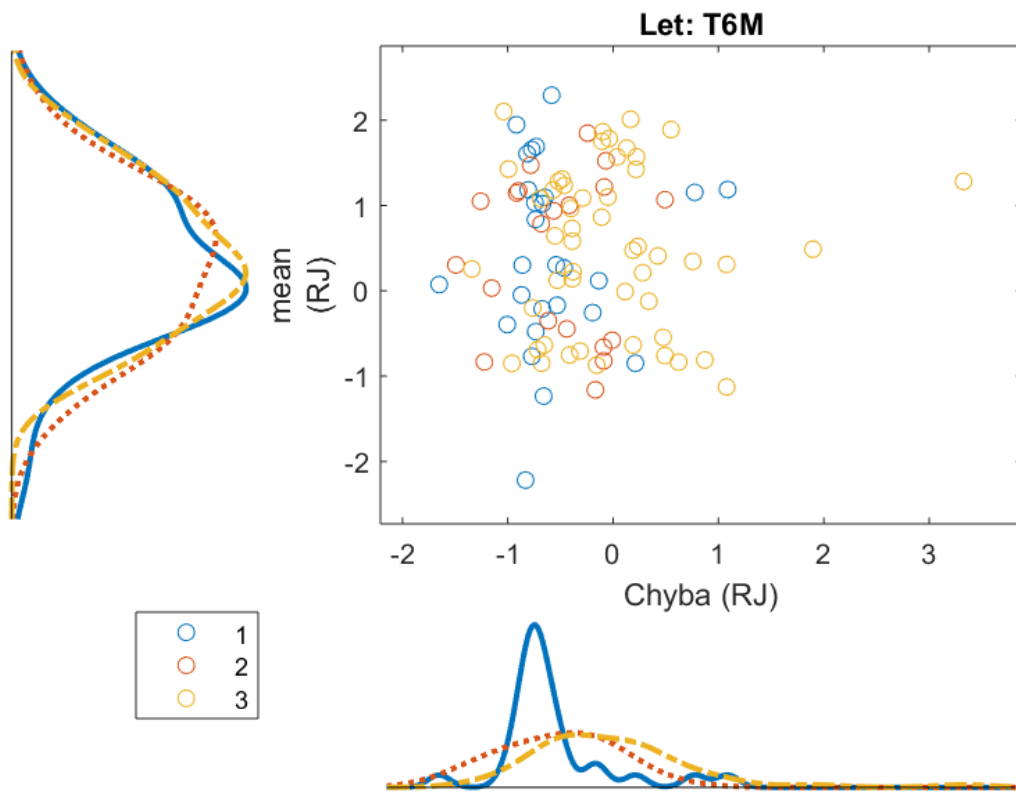


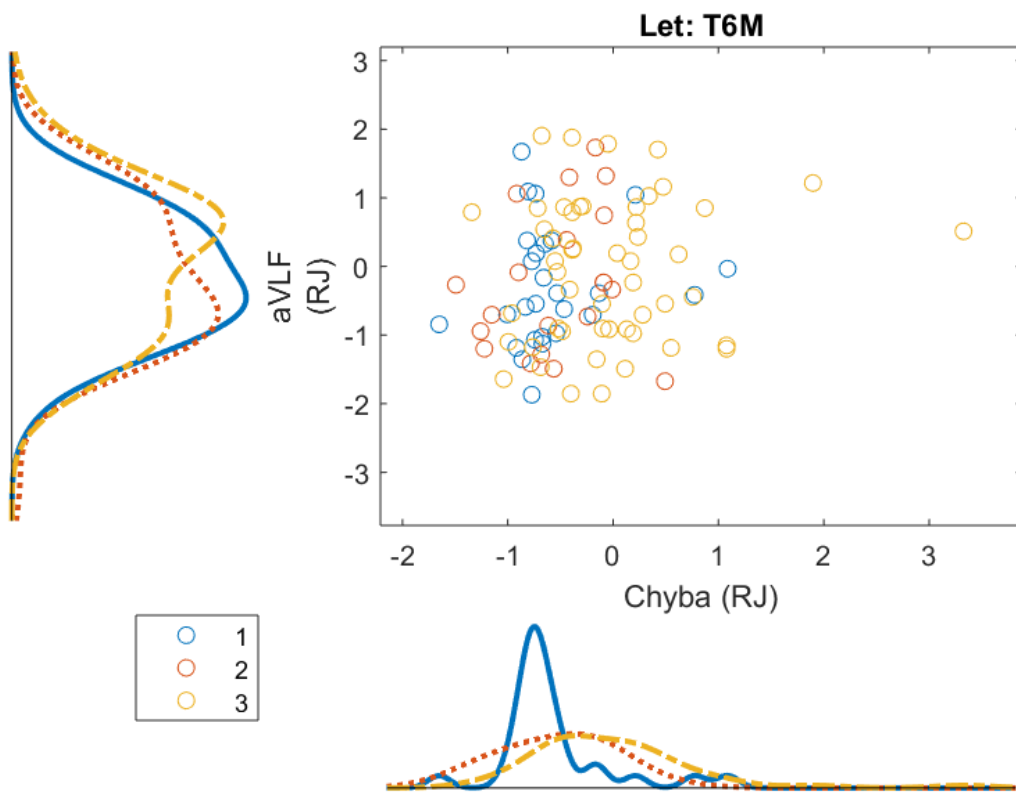
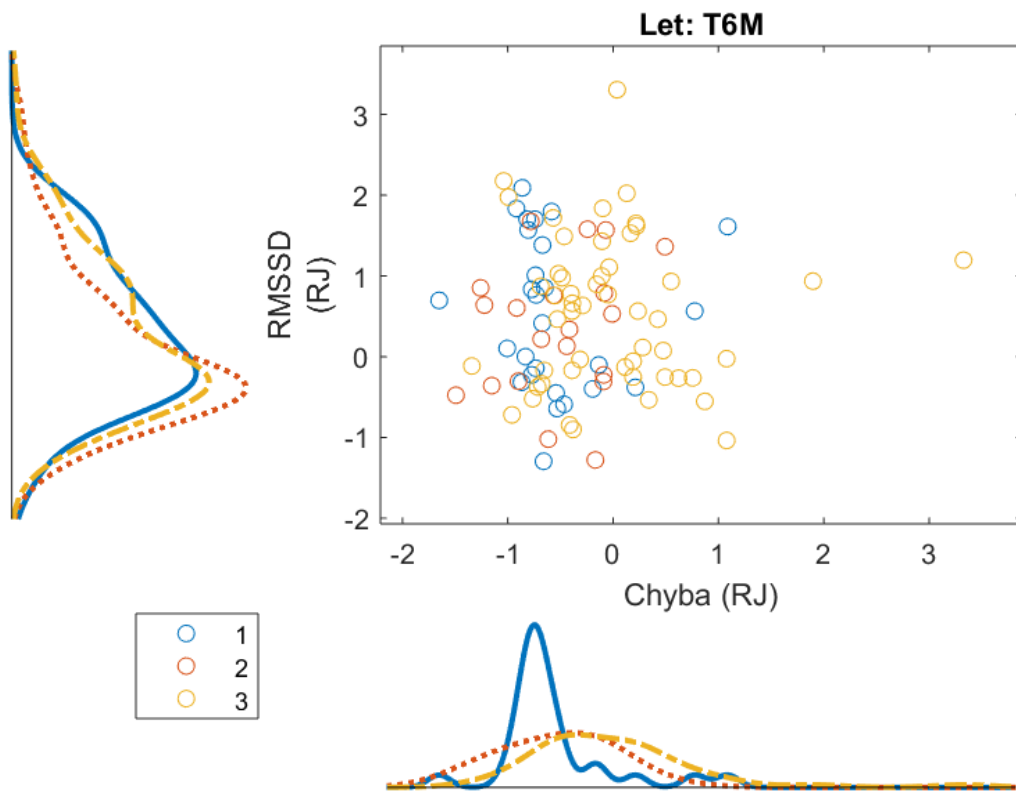


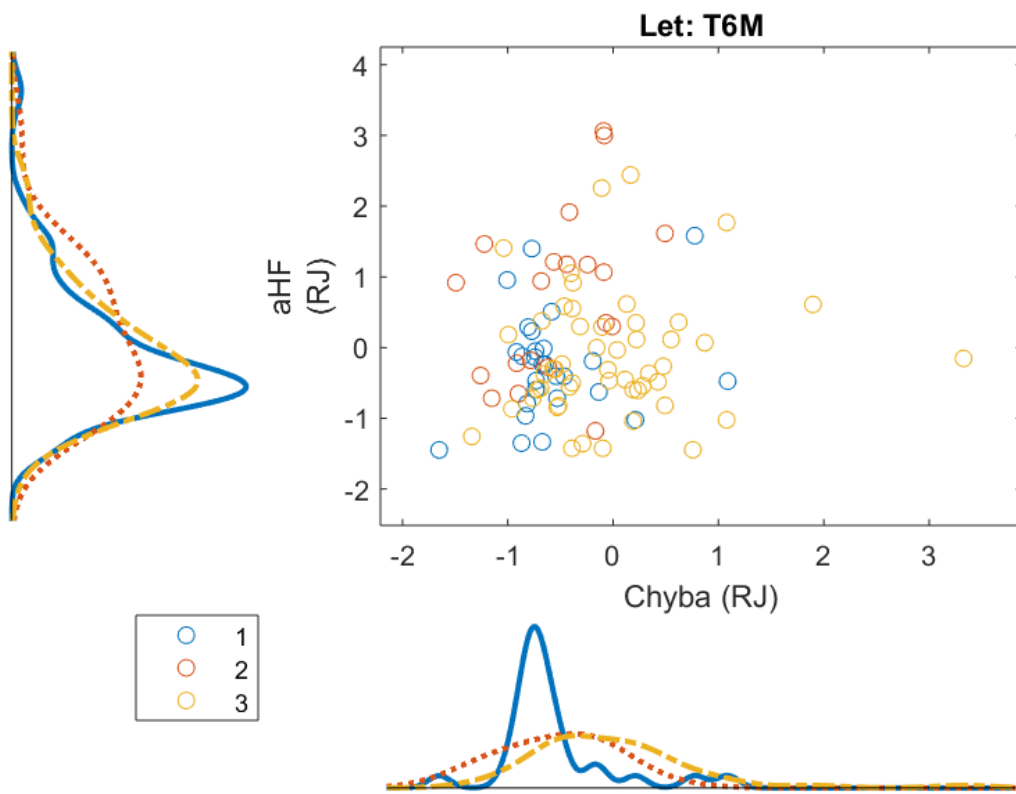
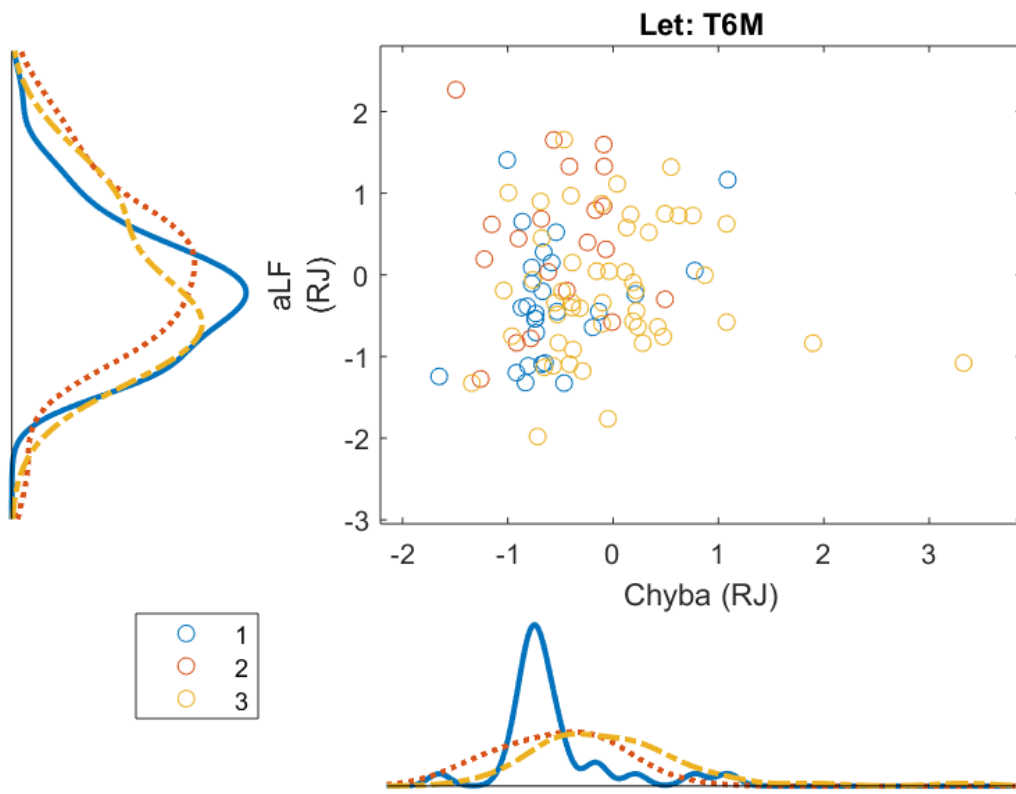


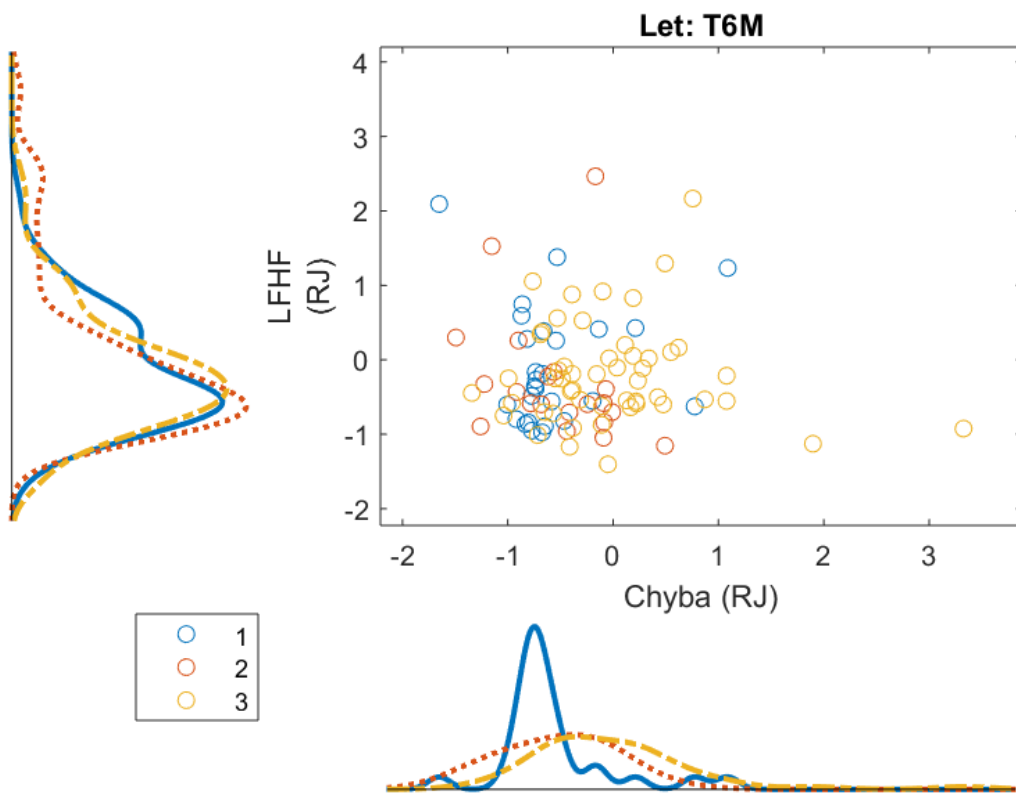
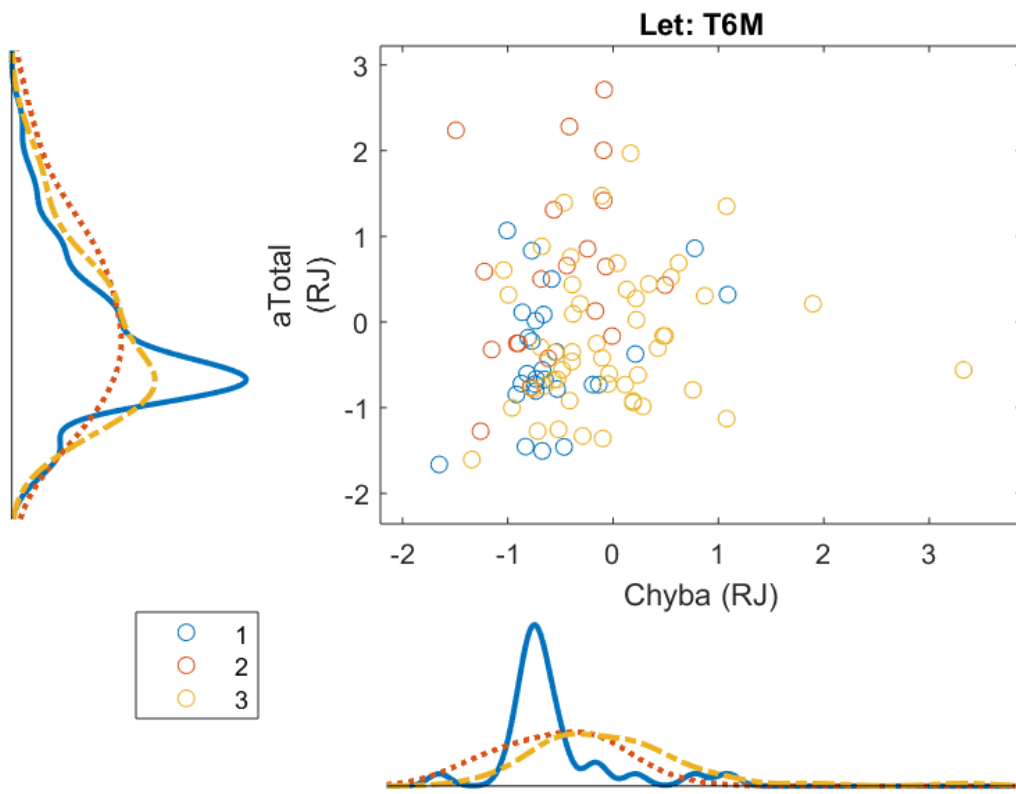


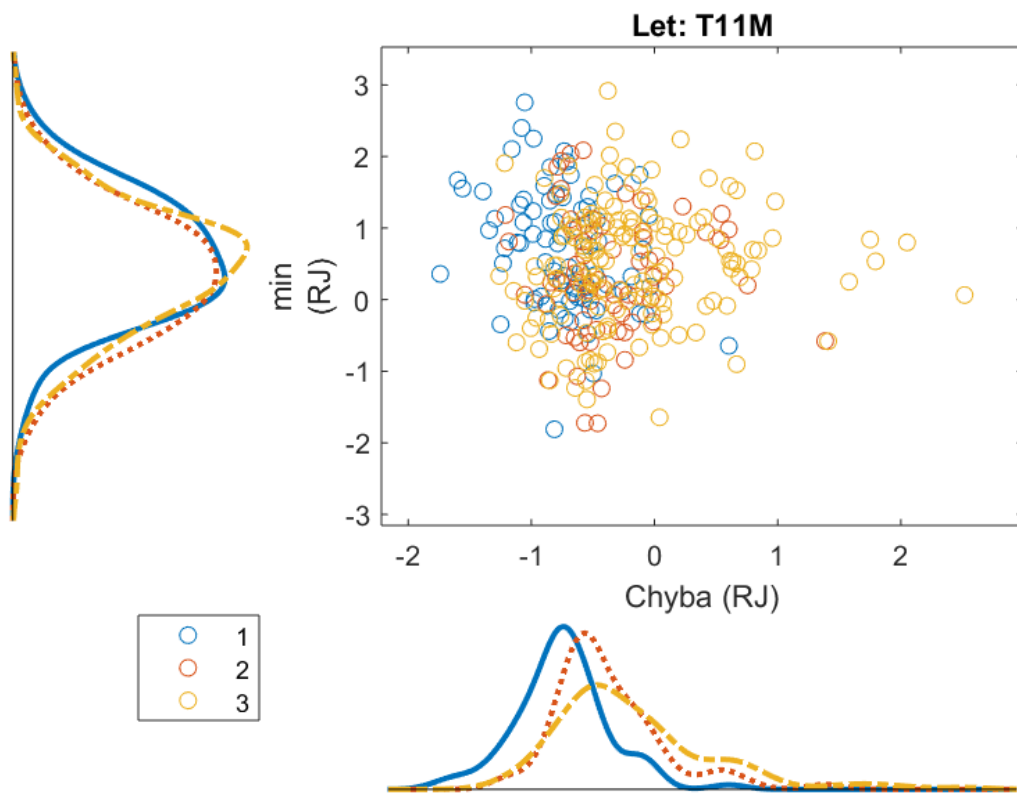
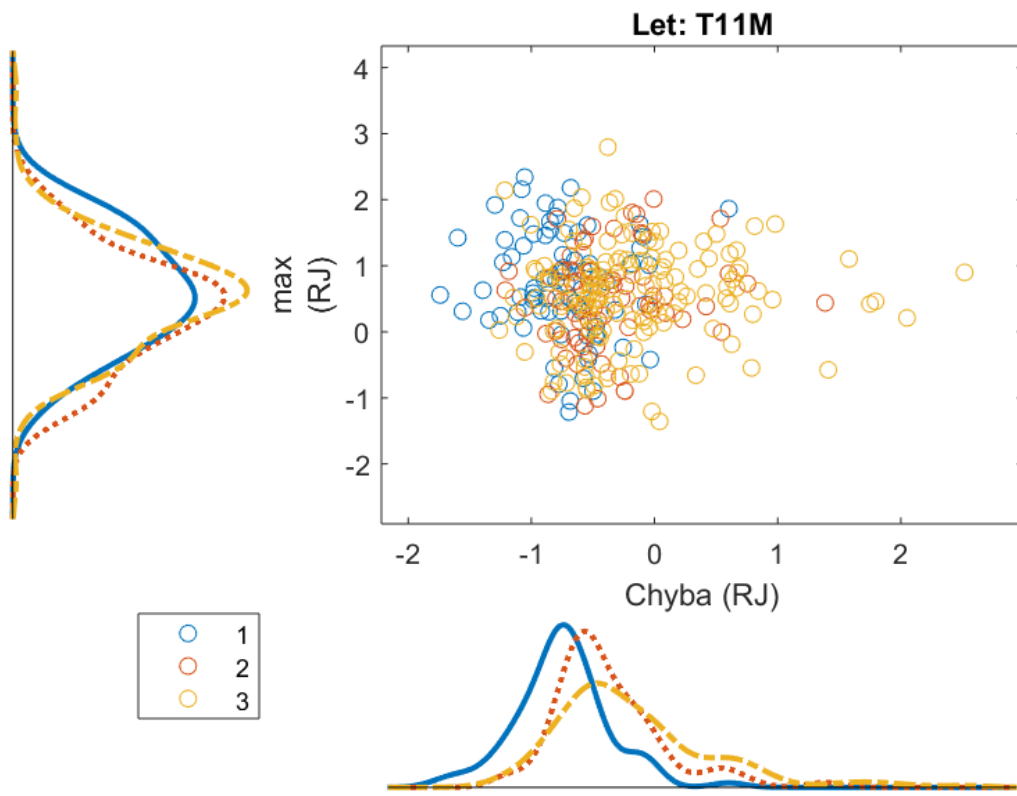


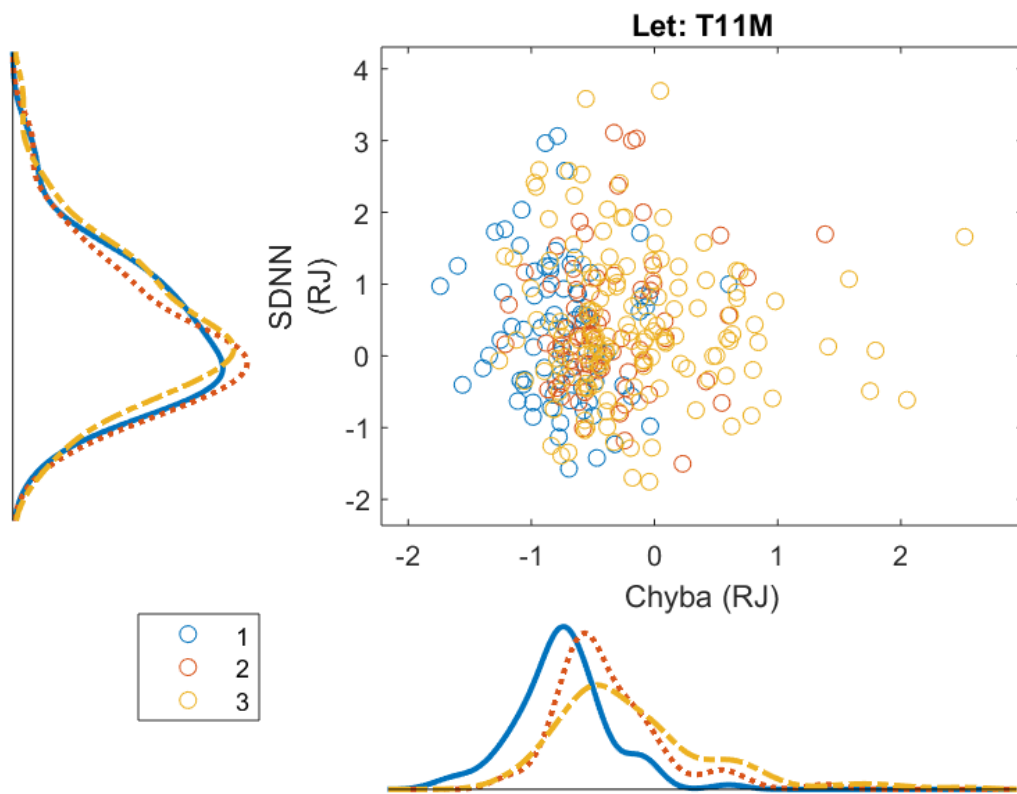
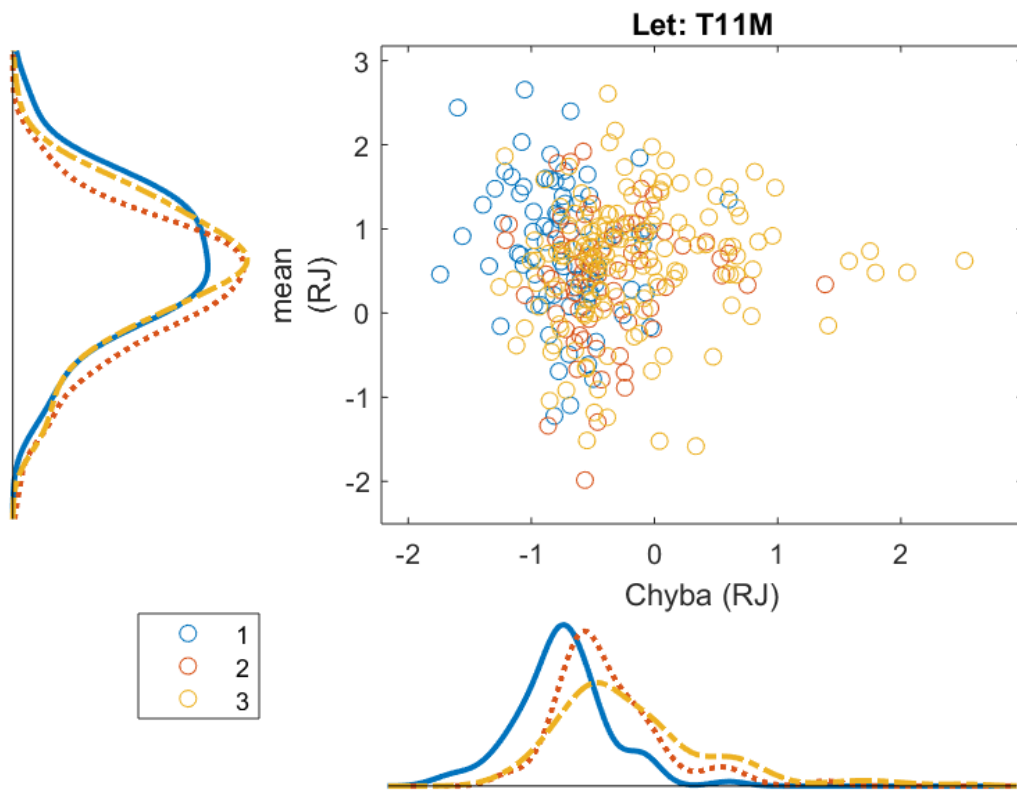


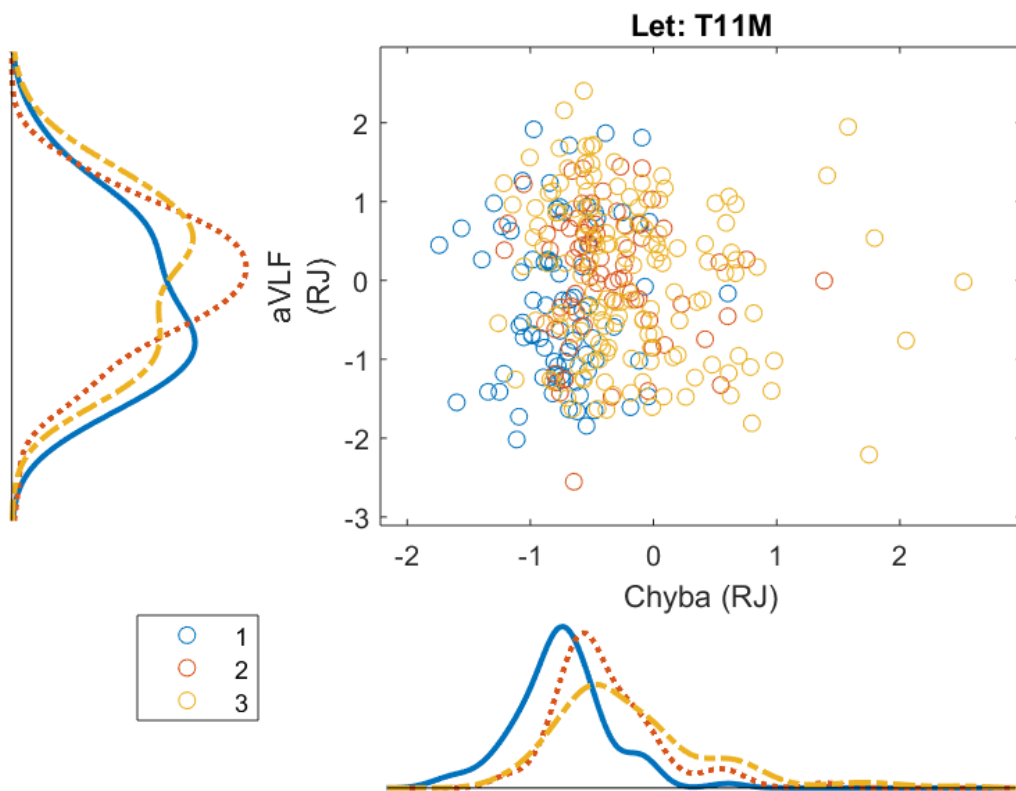
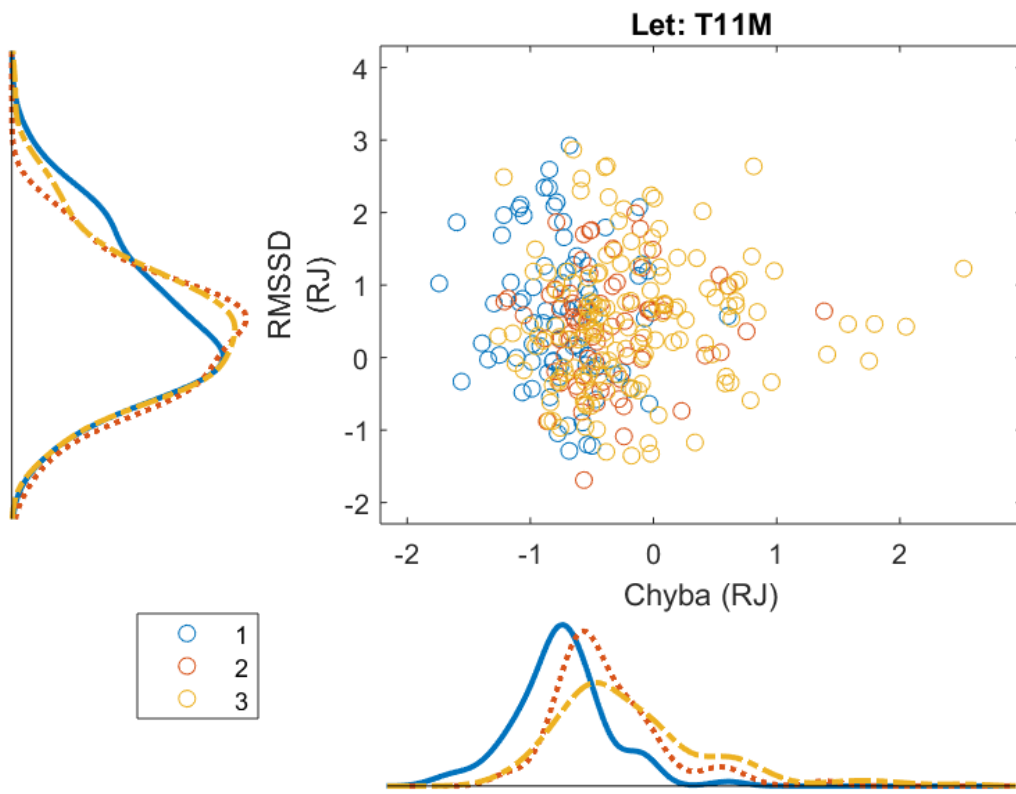


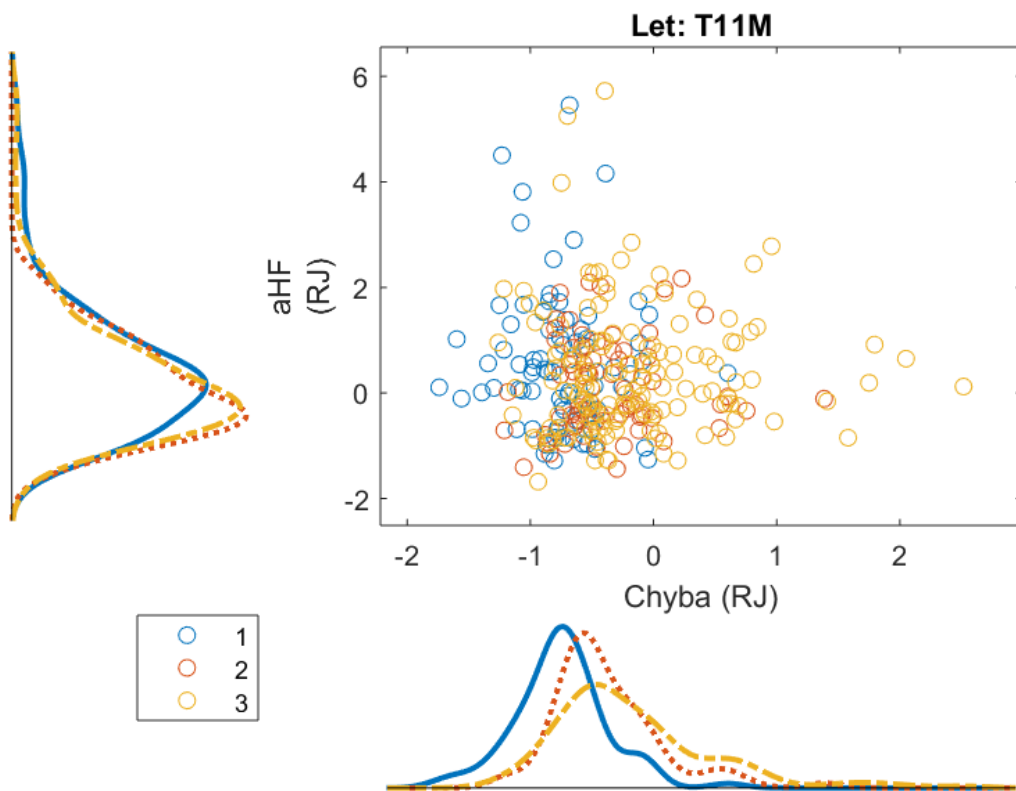
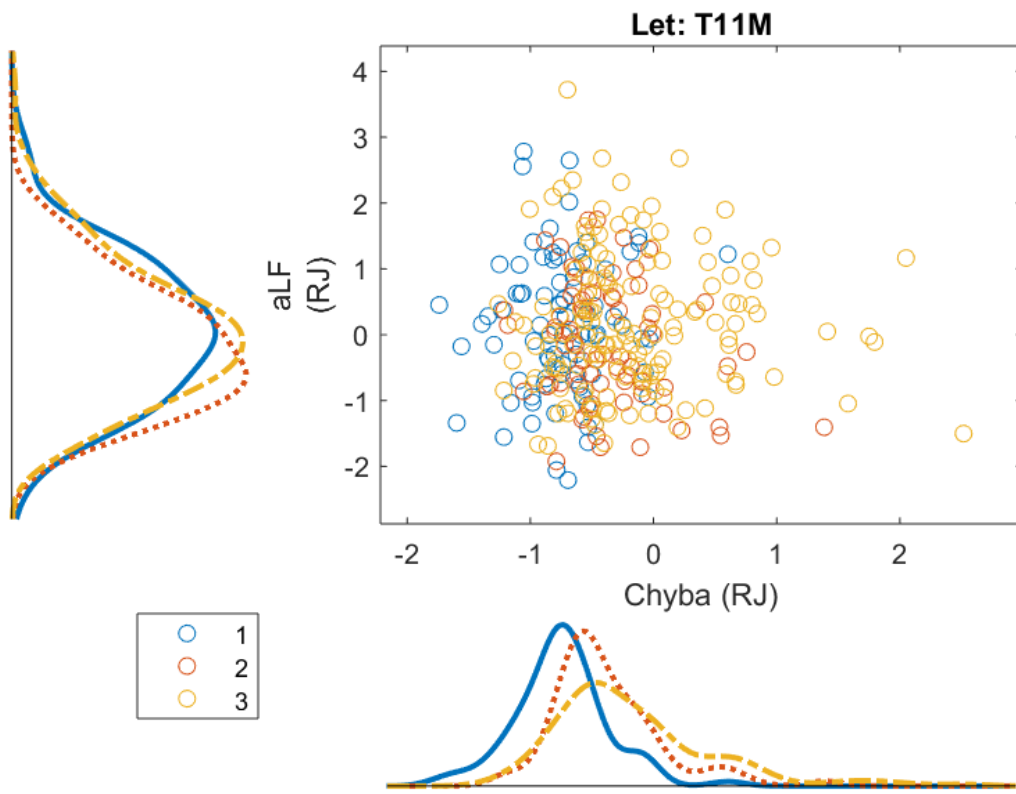


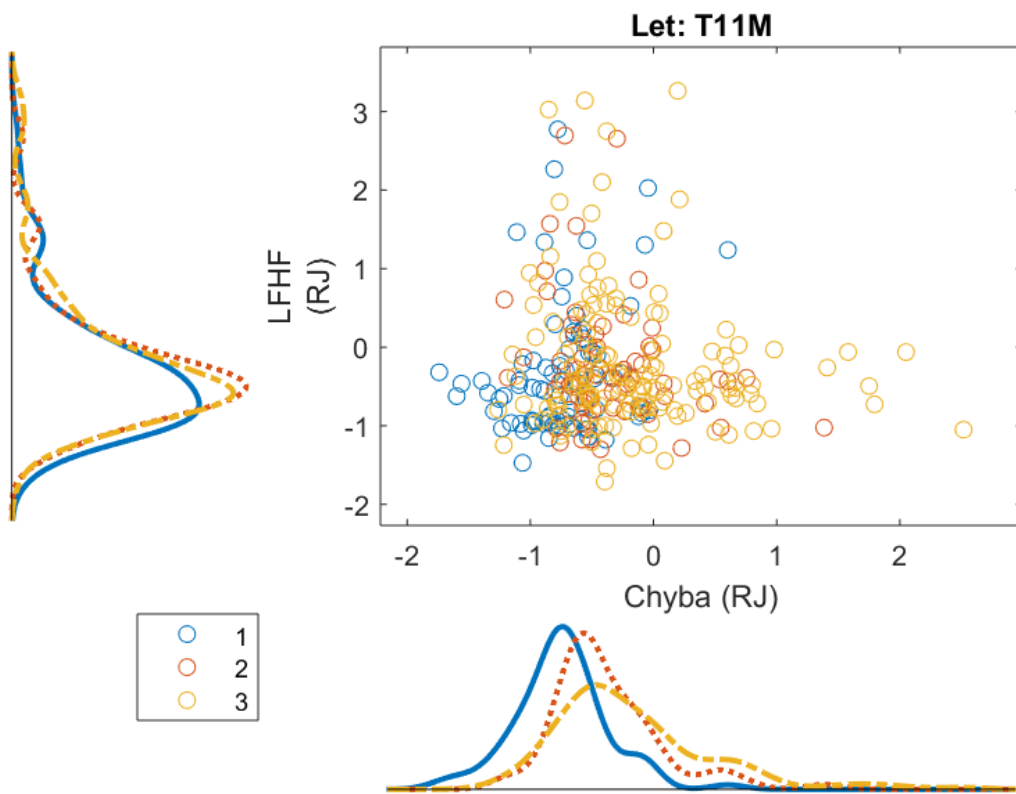
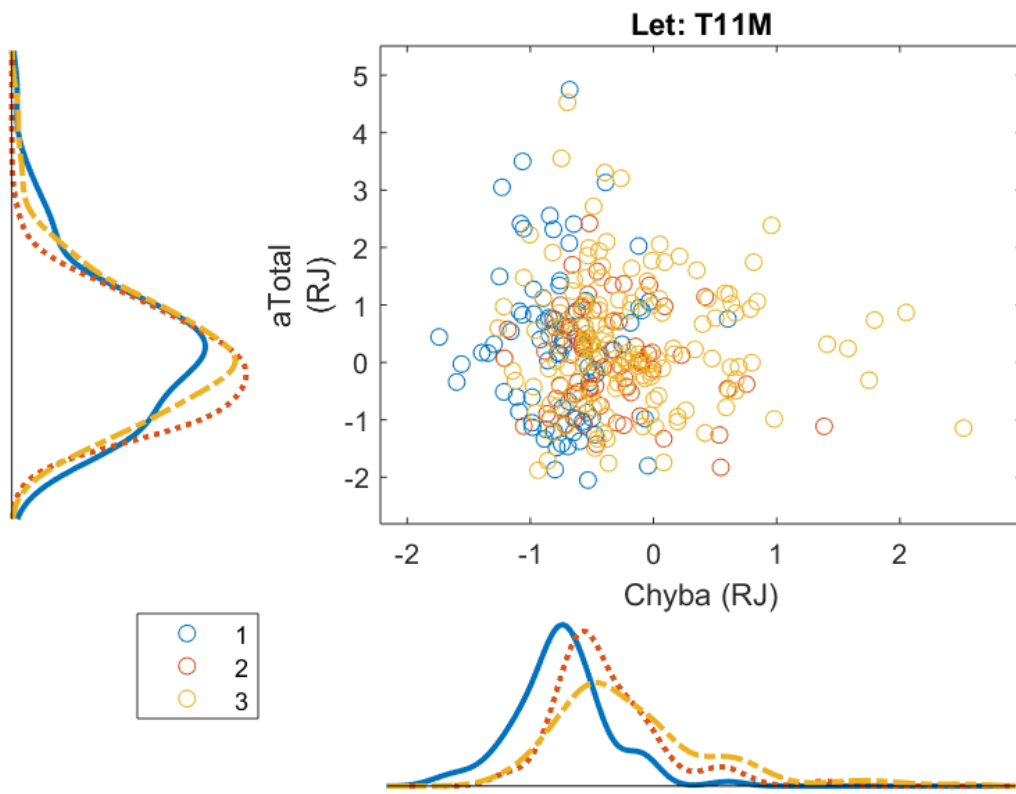


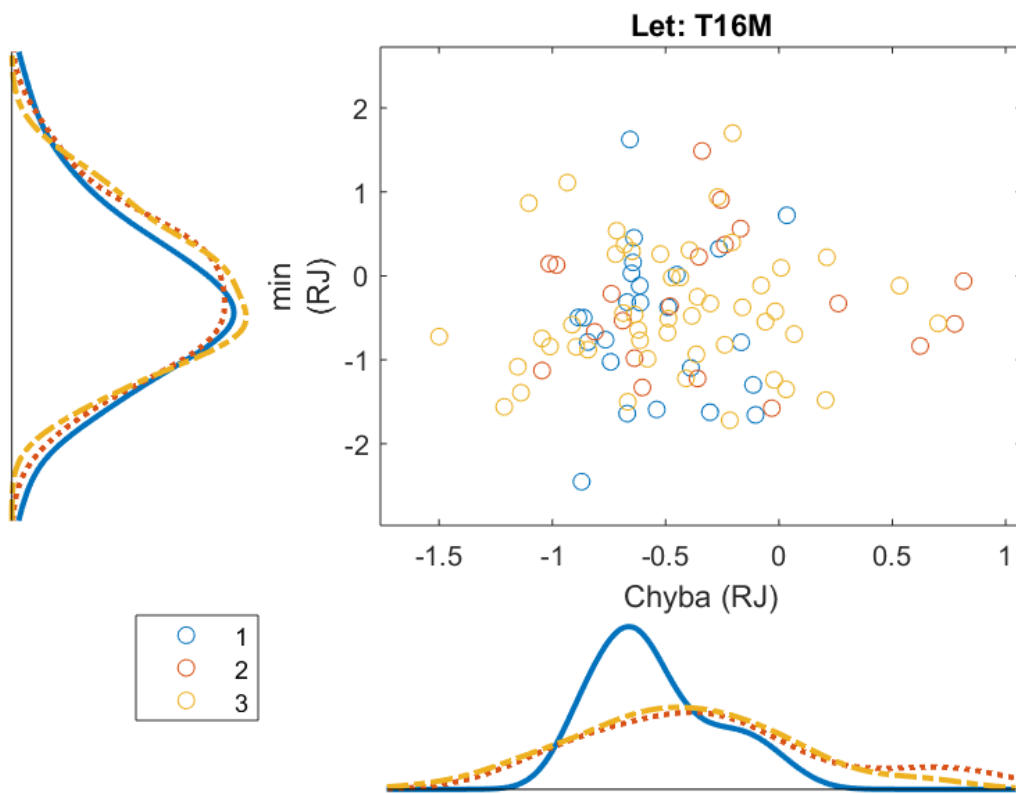
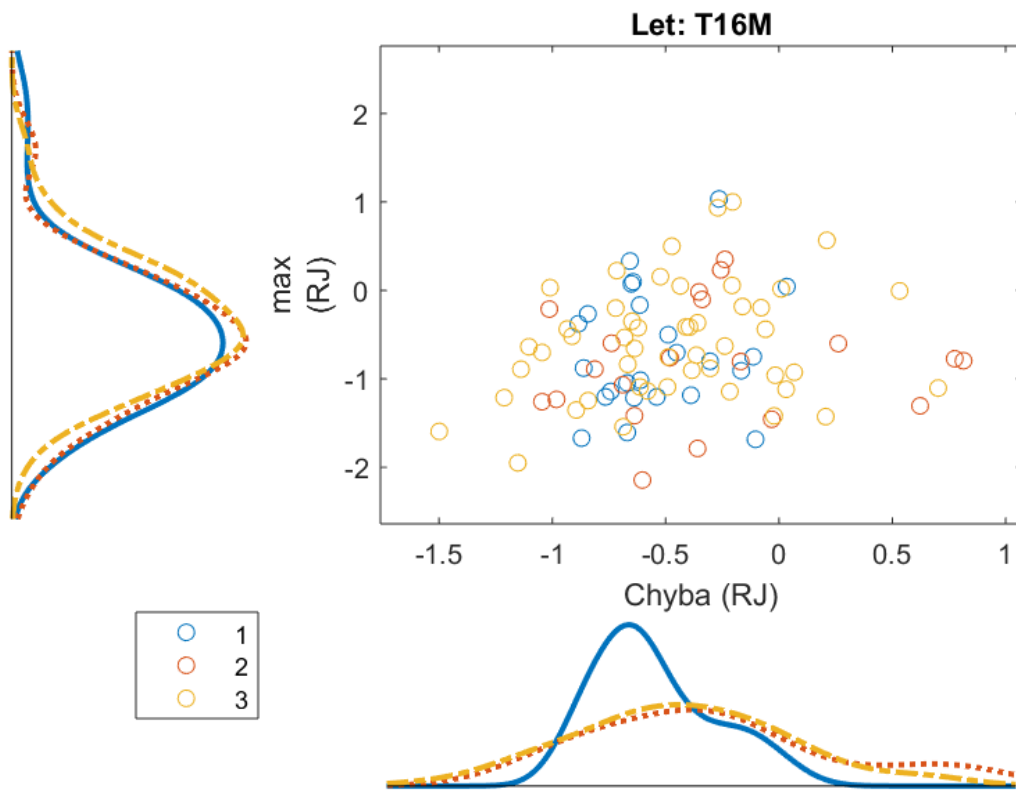


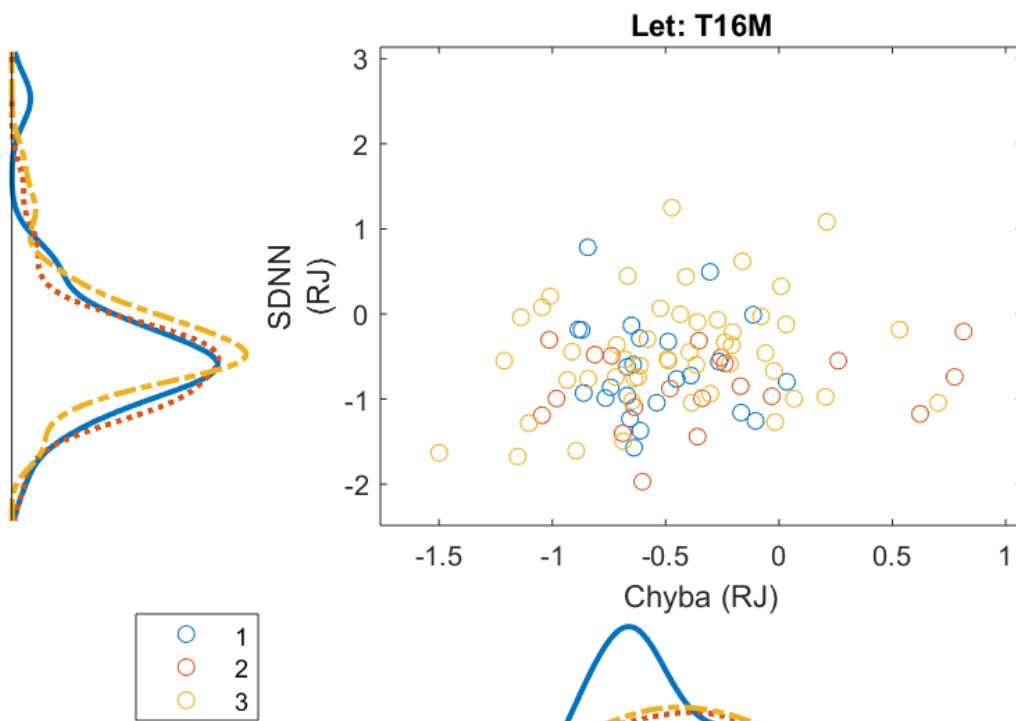
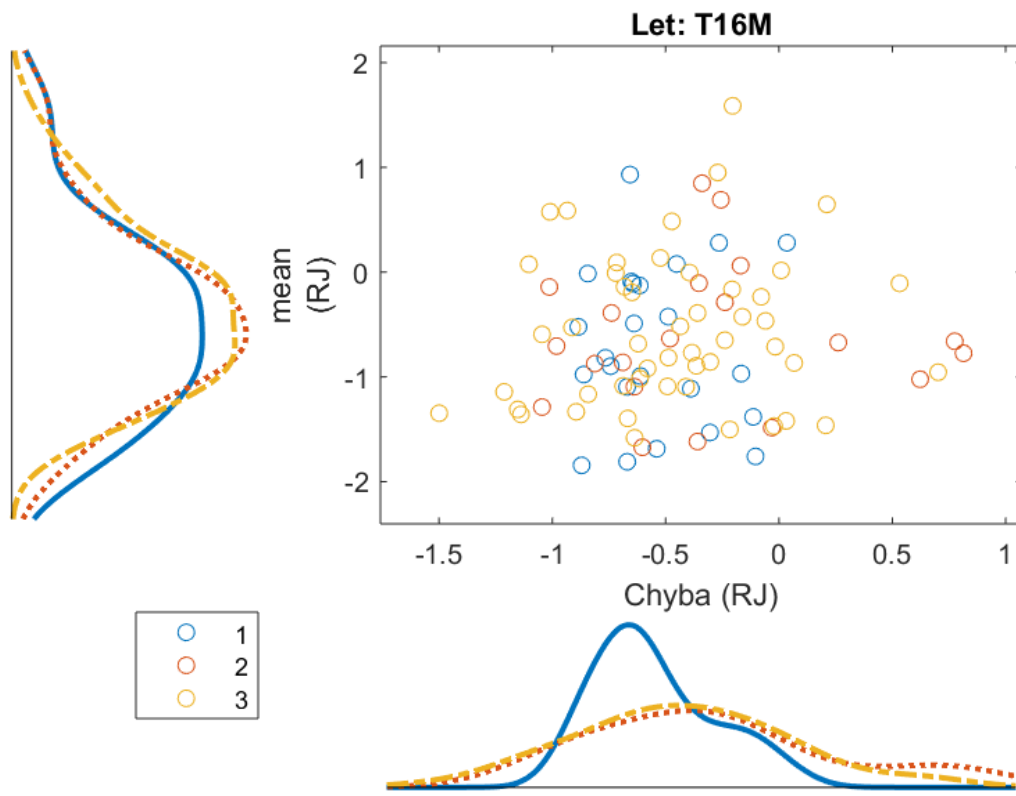


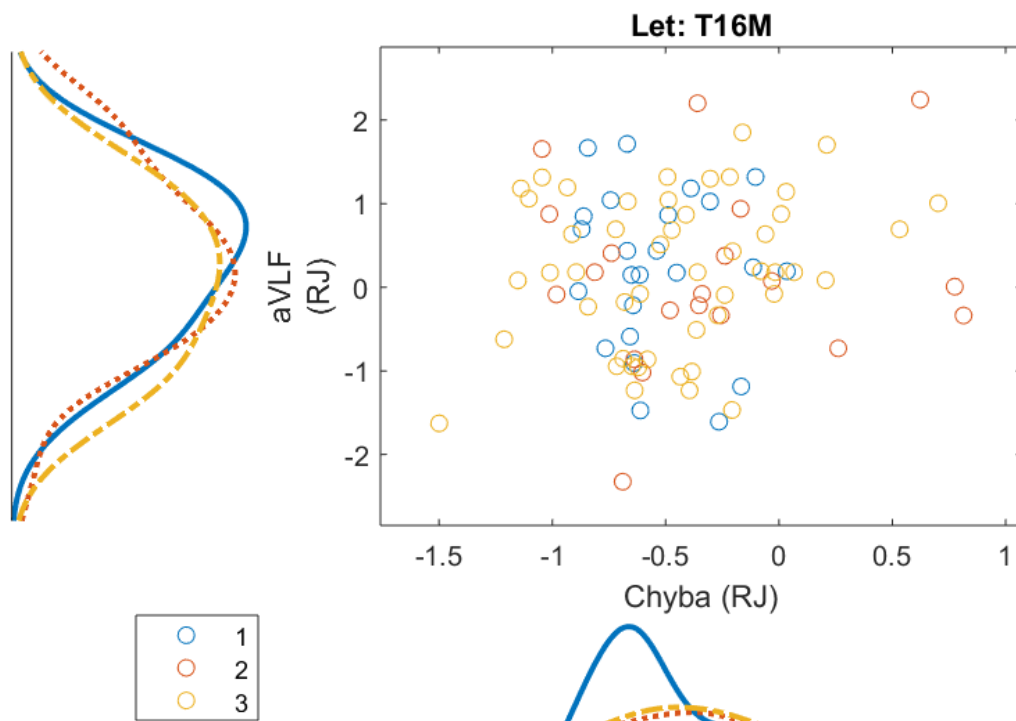
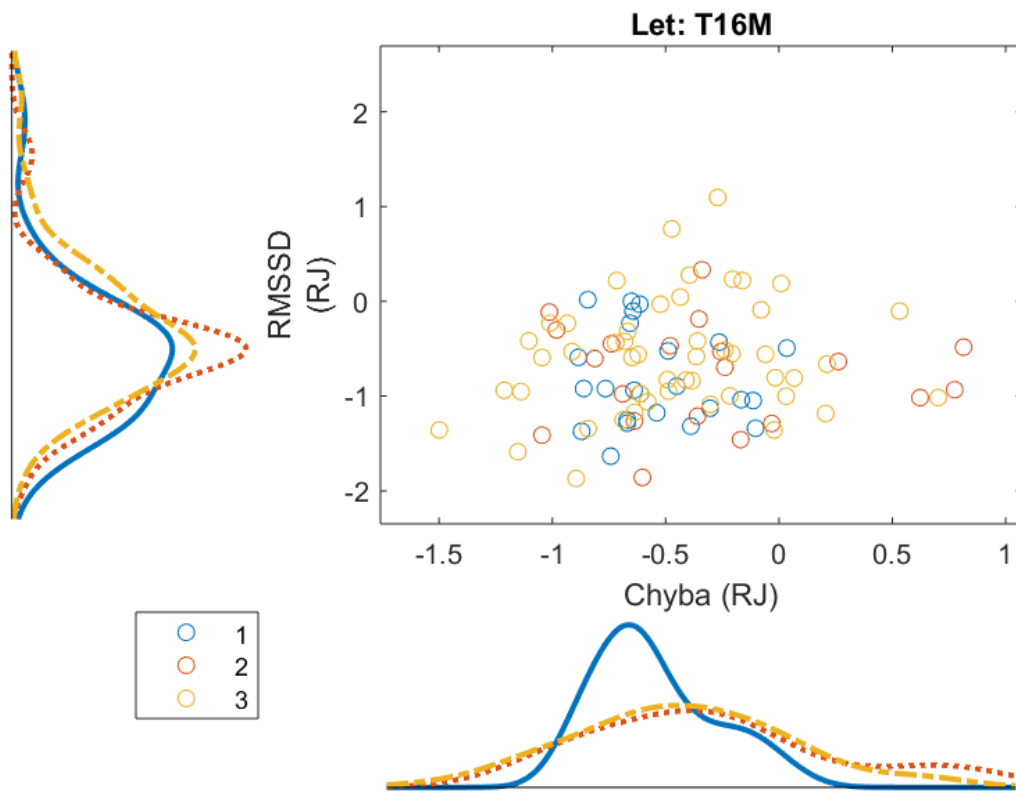


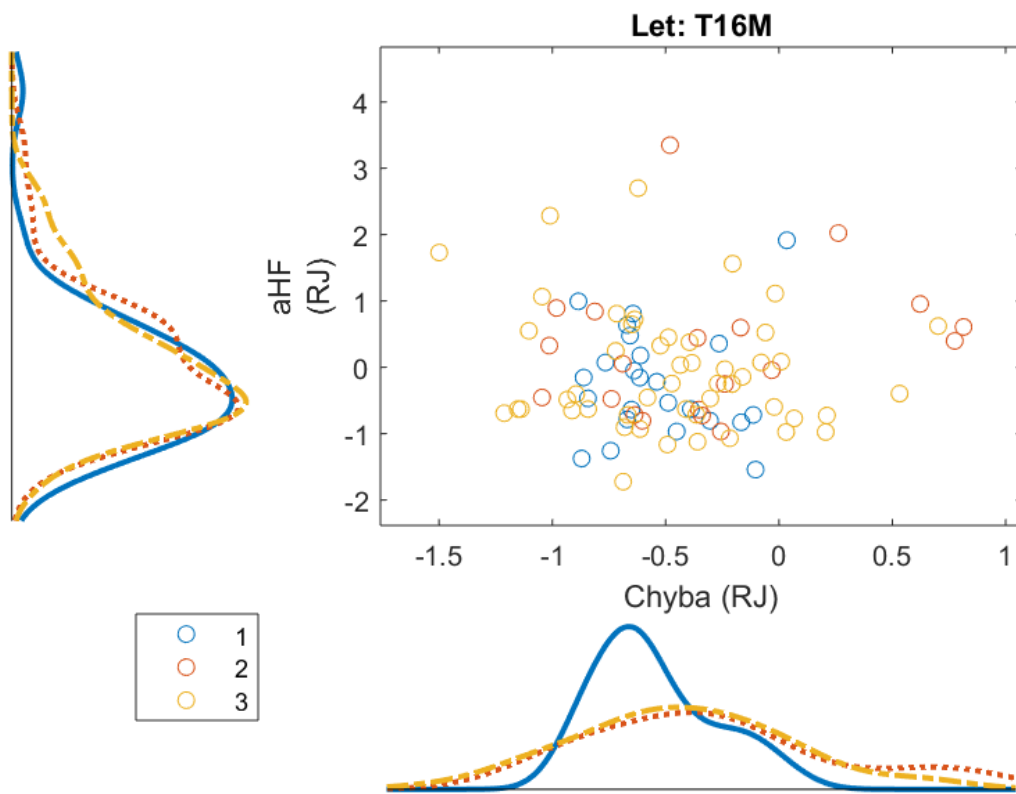
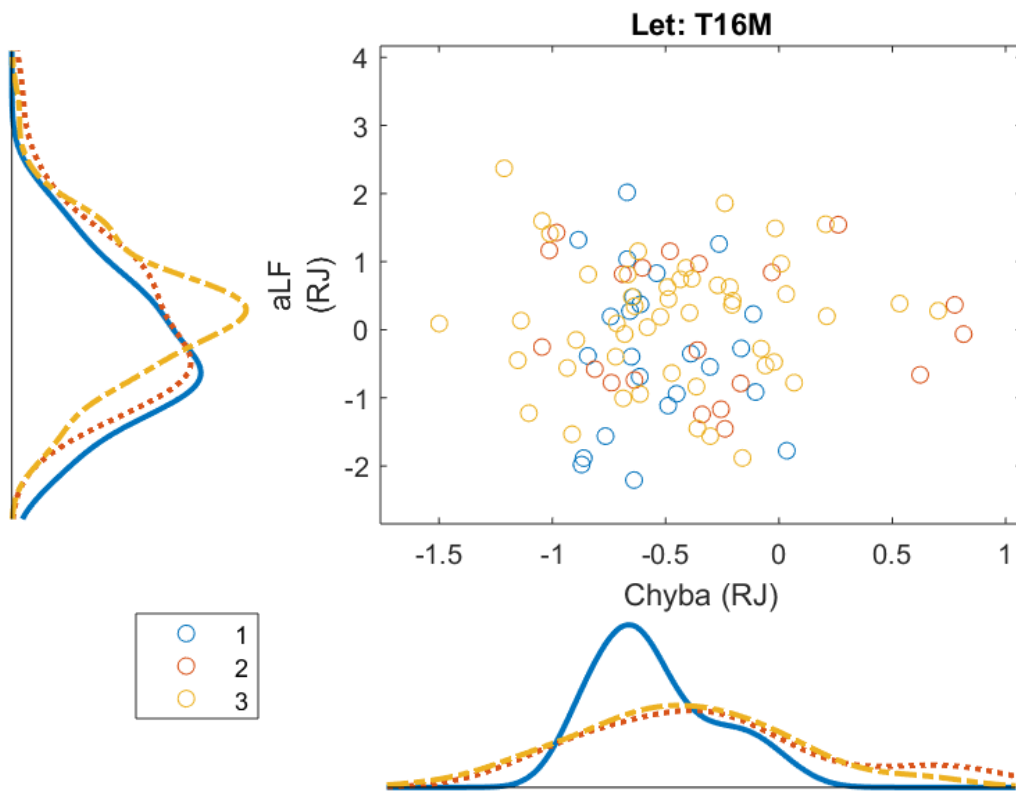


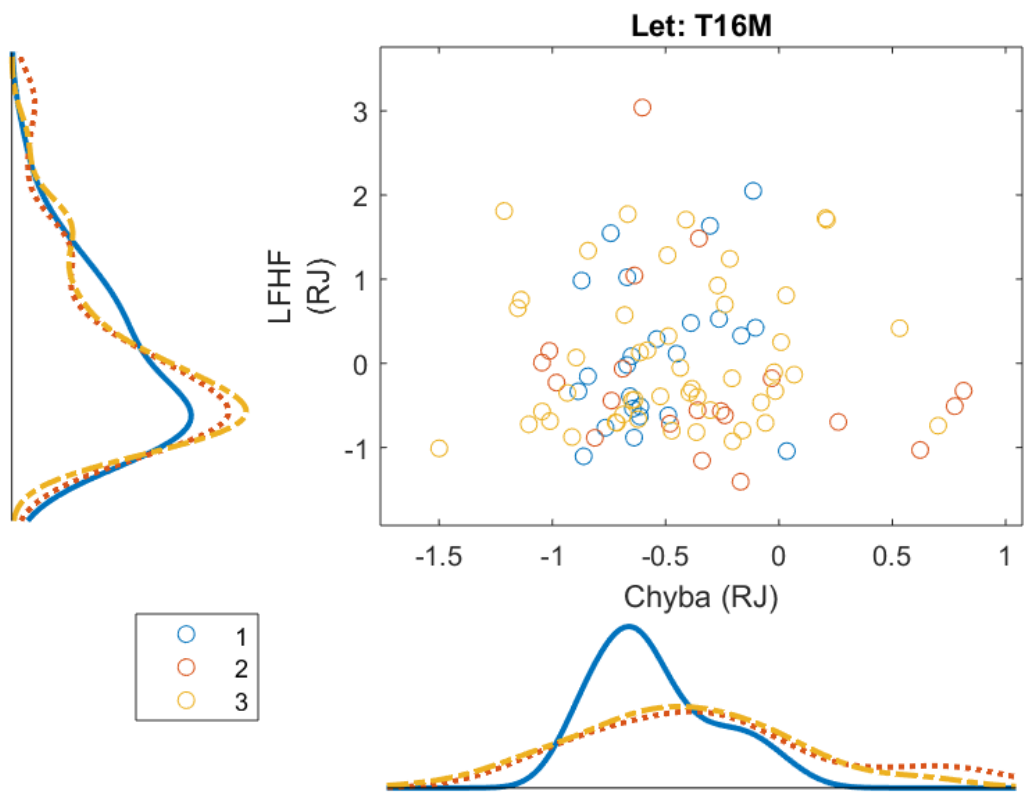
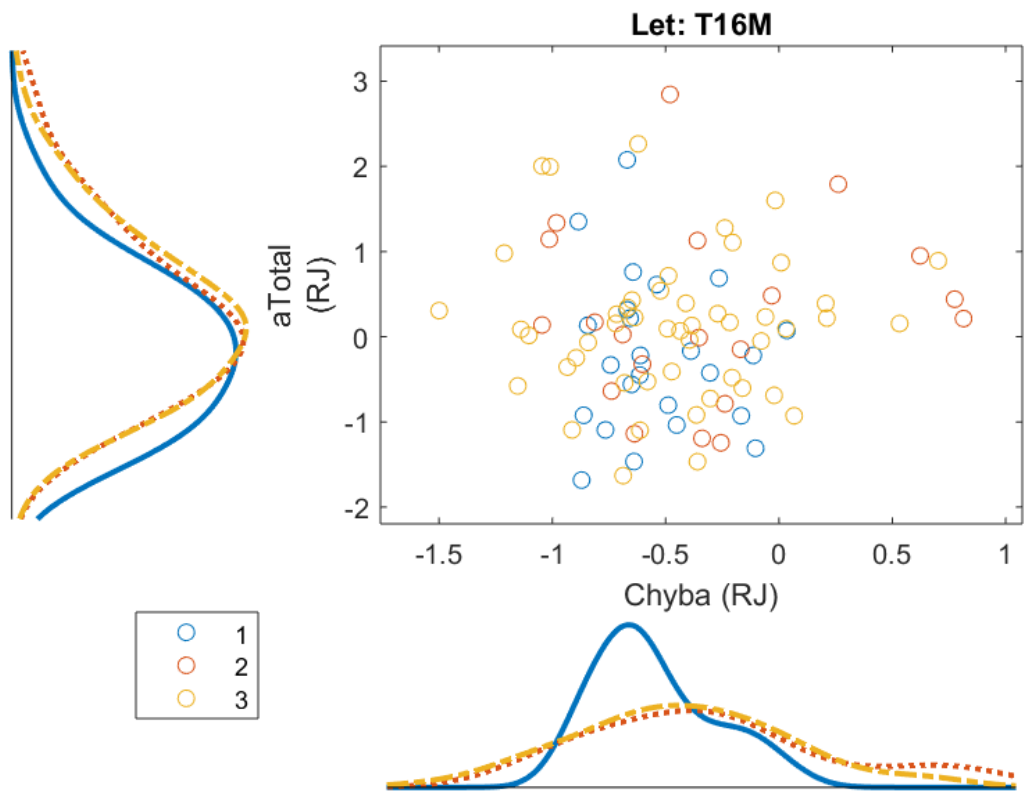












Hodnocení instruktora vs. exaktní hodnocení

```
m2=data(data(:,1)==2,:);
m6=data(data(:,1)==6,:);
m11=data(data(:,1)==11,:);
m16=data(data(:,1)==16,:);

mdata=[m2;m6;m11;m16];

ib=mdata(:,4);
ih=mdata(:,5);
im=mdata(:,6);
iv=mdata(:,7);

rmb=mdata(:,13);
rmh=mdata(:,9);
rmm=mdata(:,15);
rmv=mdata(:,11);

smb=mdata(:,14);
smh=mdata(:,10);
smm=mdata(:,16);
smv=mdata(:,12);

close all

% Přesnost
figure
[cor,pcor]=corrcoef(ib,smb,'rows','complete');
plot(ib,smb,'.');
xlabel('úhel náklonu (°) - instruktor');
ylabel('úhel náklonu (°) - std exakt.');
```

hold on

```
l = lsline ;
set(l,'Linewidth', 1, 'color', 'red');
legend('datový bod', ['R=', num2str(cor(1,2)), ', p=', num2str(pcor(1,2))]);
```

figure

```
[cor,pcor]=corrcoef(ih,smh,'rows','complete');
plot(ih,smh,'.');
```

xlabel('výška (ft) - instruktor');

ylabel('výška (ft) - std exakt.');

hold on

```
l = lsline ;
set(l,'Linewidth', 1, 'color', 'red');
```

legend('datový bod', ['R=', num2str(cor(1,2)), ', p=', num2str(pcor(1,2))]);

figure

```
[cor,pcor]=corrcoef(im,smm,'rows','complete');
```

plot(im,smm,'.');

xlabel('mag. kurz (°) - instruktor');

ylabel('mag. kurz (°) - std exakt.');

l = lsline ;

```
set(l,'Linewidth', 1, 'color', 'red');
```

legend('datový bod', ['R=', num2str(cor(1,2)), ', p=', num2str(pcor(1,2))]);

```

figure
[cor,pcor]=corrcoef(iv,smv,'rows','complete');
plot(iv,smv,'.');
xlabel('vert. rychlost (ft/min) - instruktor');
ylabel('vert. rychlost (ft/min) - std exakt.');
```

l = lsline ;

```

set(l,'Linewidth', 1, 'color', 'red');
legend('datový bod', ['R=', num2str(cor(1,2)), ', p=', num2str(pcor(1,2))]);
```

% Správnost

%H360

```

figure
[cor,pcor]=corrcoef(ib(mdata(:,3)==2),...
                    abs(30-abs(rmb(mdata(:,3)==2))), 'rows', 'complete');
plot(ib(mdata(:,3)==2),abs(30-abs(rmb(mdata(:,3)==2))),'.');
xlabel('úhel náklonu (°) - H360 instruktor');
ylabel('úhel náklonu (°) - H360 exakt.');
```

hold on

```

l = lsline ;
set(l,'Linewidth', 1, 'color', 'red');
legend('datový bod', ['R=', num2str(cor(1,2)), ', p=',...
                    num2str(pcor(1,2))]);
```

%C/D360 - náklon

```

figure
[cor,pcor]=corrcoef(ib(mdata(:,3)==3 | mdata(:,3)==4),...
                    abs(15-abs(rmb(mdata(:,3)==3 | mdata(:,3)==4))), 'rows', 'complete');
plot(ib(mdata(:,3)==3 | mdata(:,3)==4),...
                    abs(15-abs(rmb(mdata(:,3)==3 | mdata(:,3)==4))),'.');
```

xlabel('úhel náklonu (°) - C/D180 instruktor');

ylabel('úhel náklonu (°) - C/D180 exakt.');

hold on

```

l = lsline ;
set(l,'Linewidth', 1, 'color', 'red');
legend('datový bod', ['R=', num2str(cor(1,2)), ', p=', num2str(pcor(1,2))]);
```

%C/D360 - vs

```

figure
[cor,pcor]=corrcoef(iv(mdata(:,3)==3 | mdata(:,3)==4),...
                    abs(500-abs(rmv(mdata(:,3)==3 | mdata(:,3)==4))), 'rows', 'complete');
plot(iv(mdata(:,3)==3 | mdata(:,3)==4),...
                    abs(500-abs(rmv(mdata(:,3)==3 | mdata(:,3)==4))),'.');
```

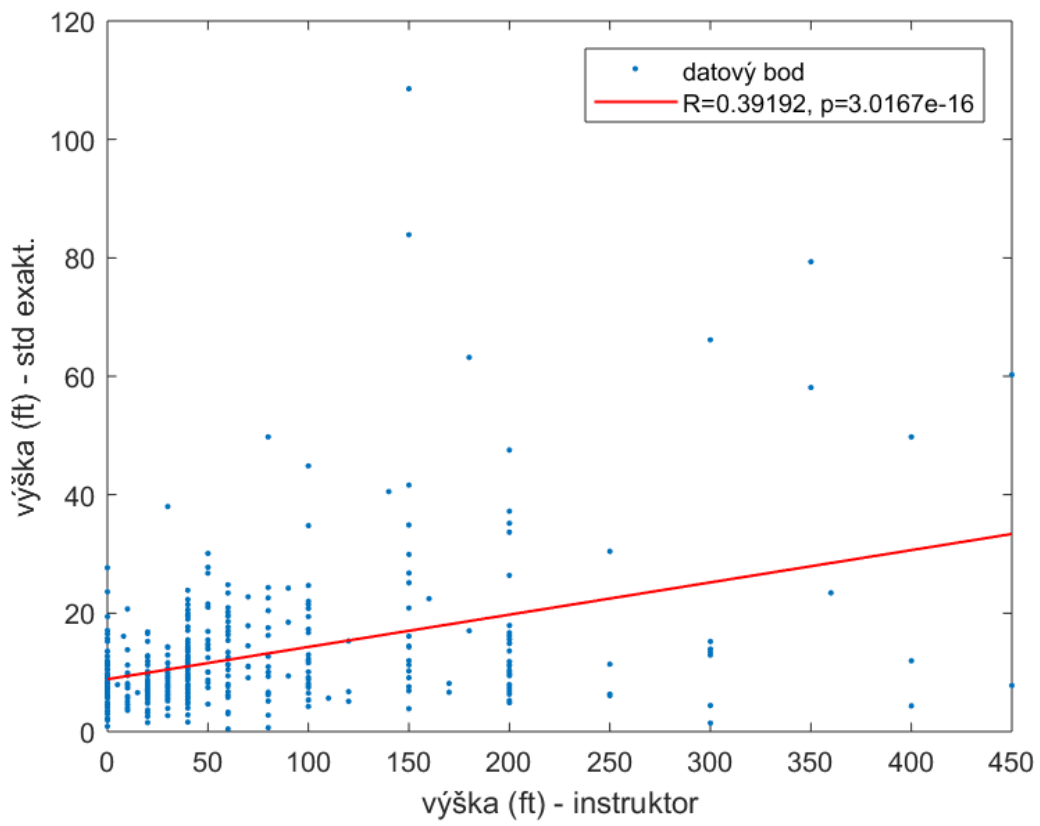
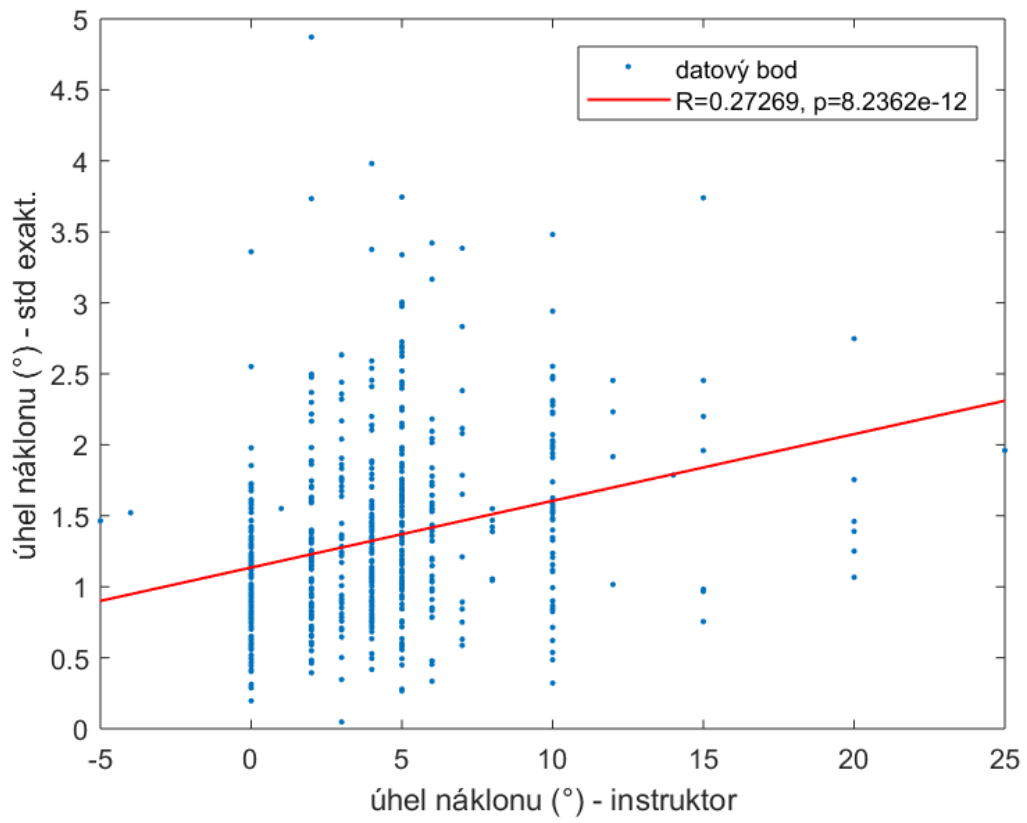
xlabel('vert. rychlost (ft/min) - instruktor');

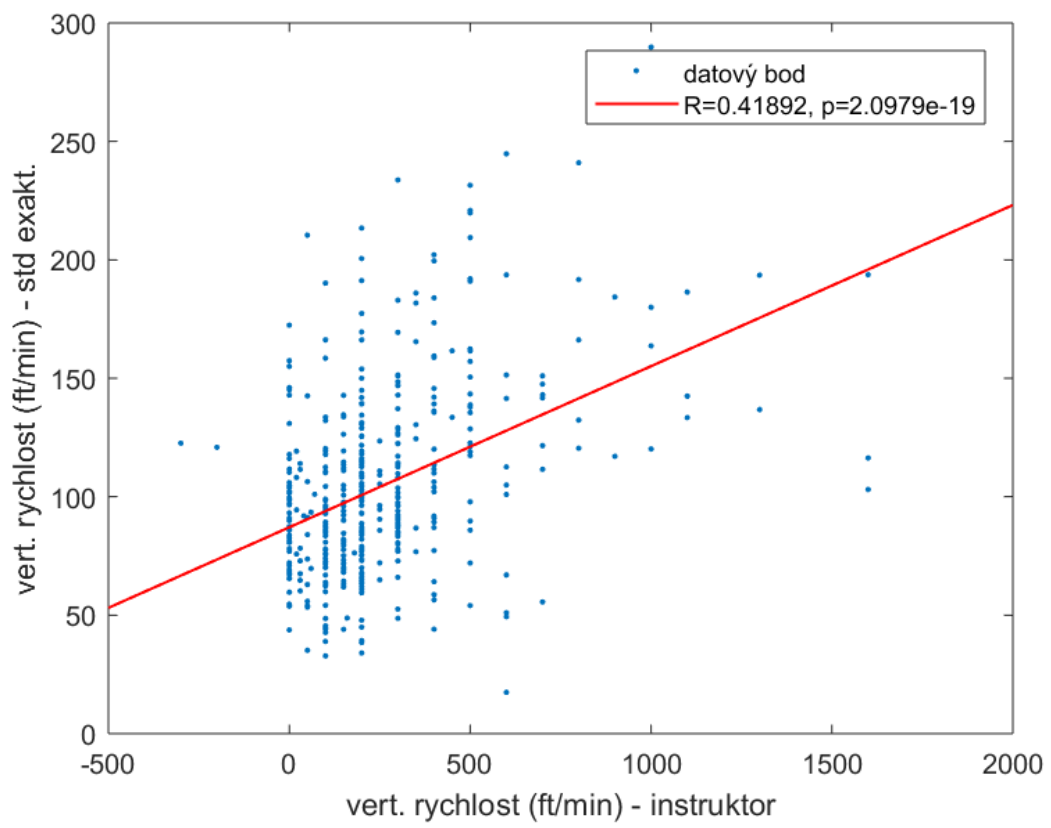
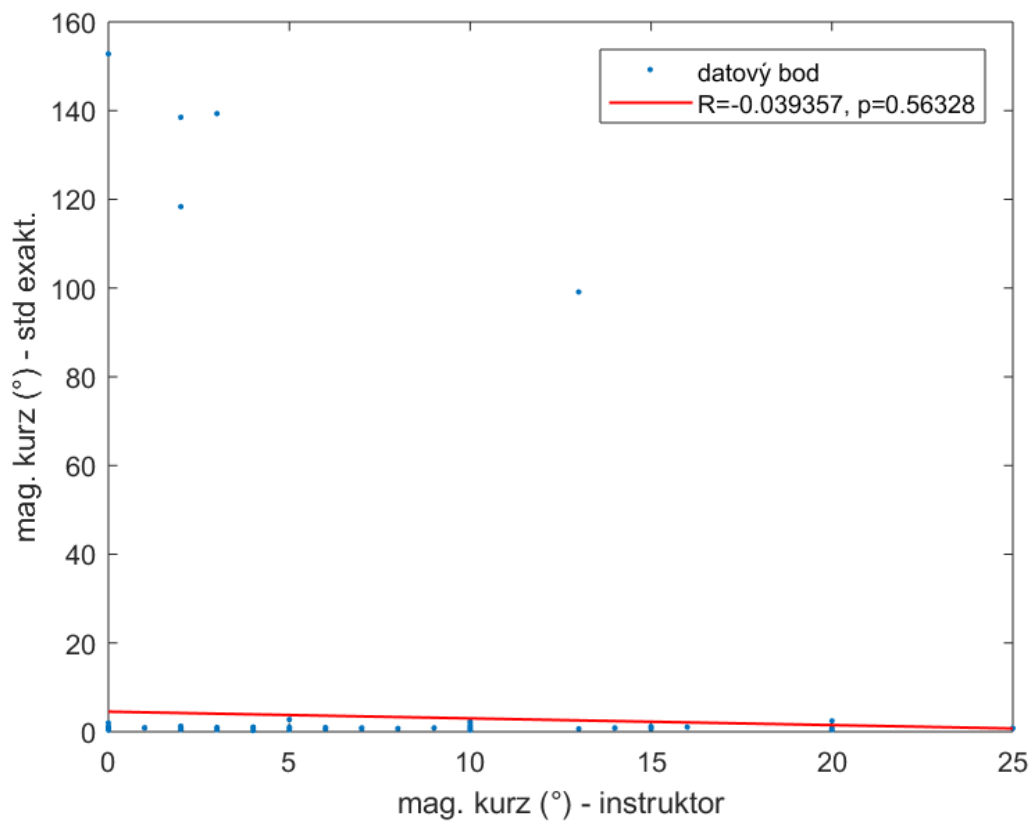
ylabel('vert. rychlost (ft/min) - C/D180 exakt.');

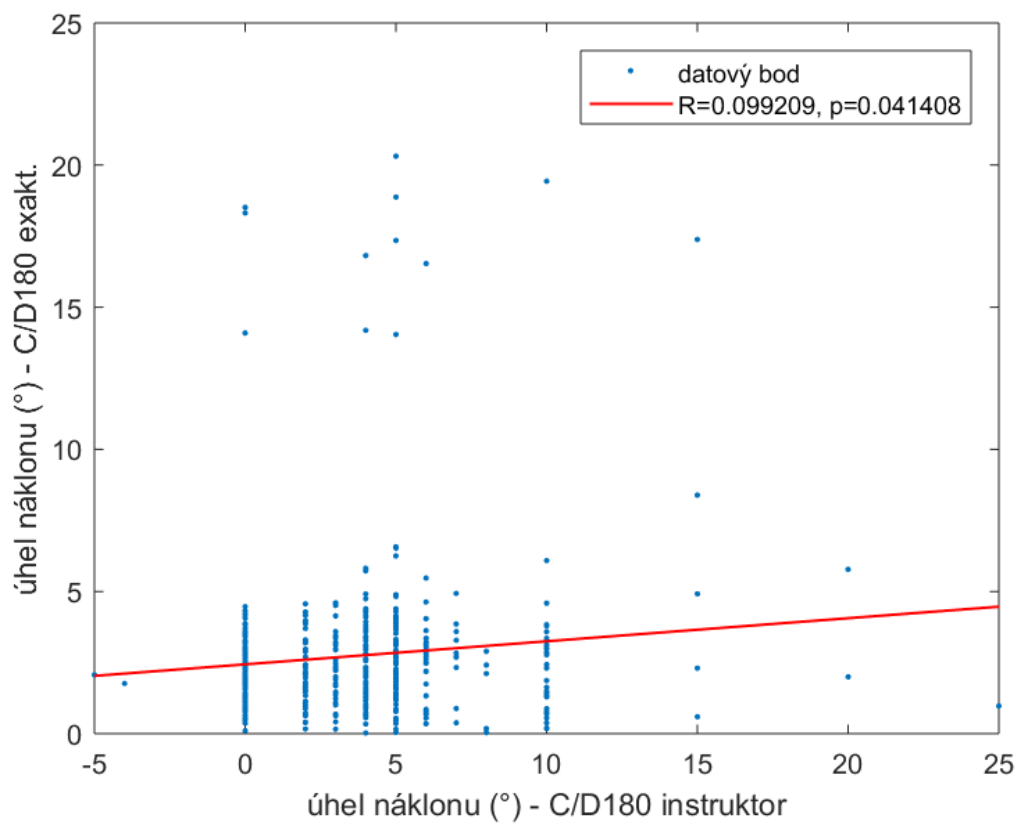
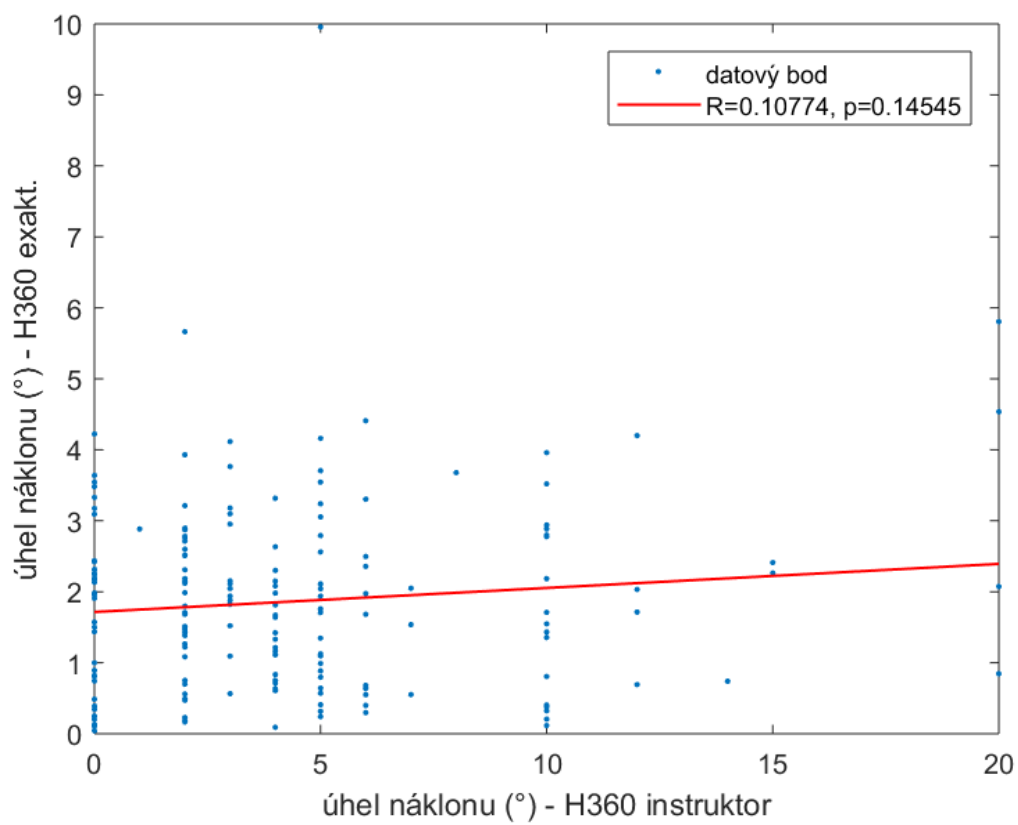
hold on

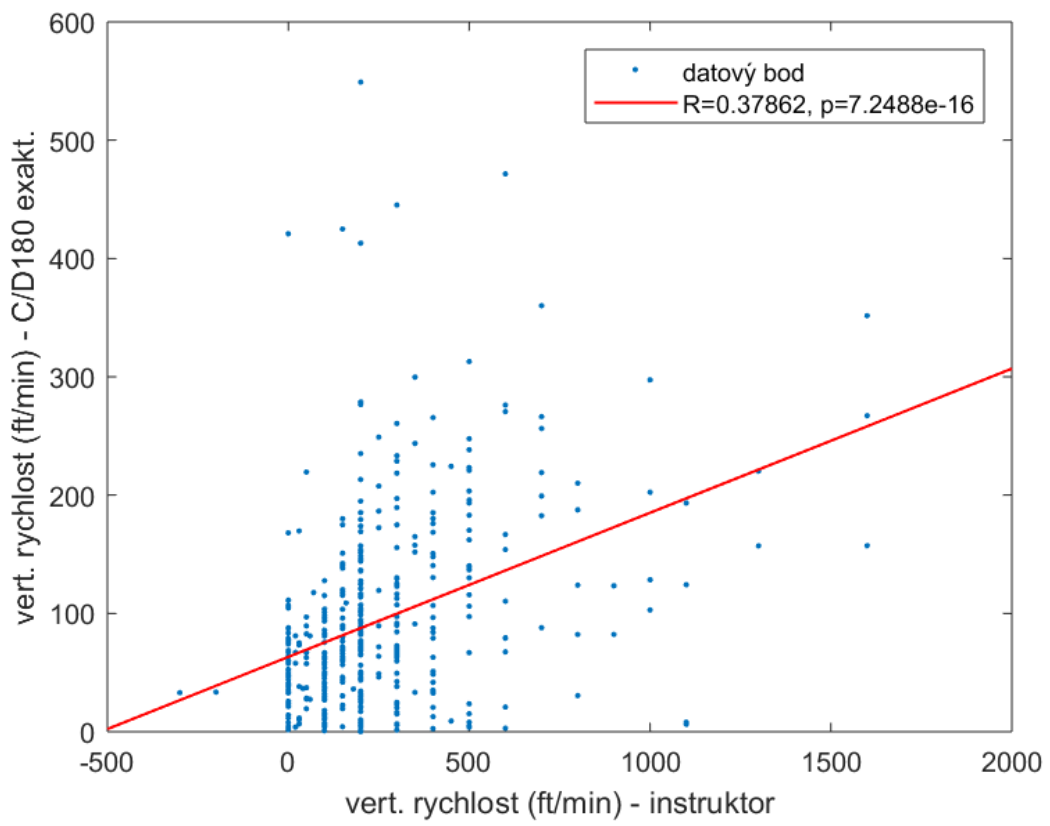
```

l = lsline ;
set(l,'Linewidth', 1, 'color', 'red');
legend('datový bod', ['R=', num2str(cor(1,2)),...
                    ', p=', num2str(pcor(1,2))]);
```









[Published with MATLAB® R2017a](#)