Univerzita Hradec Králové
Přírodovědná fakulta
Katedra fyziky

Sledování polohy pacienta na lůžku a jeho aplikace

Bakalářská práce

Autor: Lucie Lomská
Studijní program: B-1701 Fyzika
Studijní obor: Fyzikálně-technická měření a výpočetní technika
Vedoucí práce: Mgr. Filip Studnička, Ph.D.

Hradec Králové 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala (pod vedením vedoucího bakalářské práce) samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedla všechny použité prameny a literaturu.

V Hradci Králové dne

Lucie Lomská

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce panu Mgr. Filipu Studničkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které měl v průběhu psaní bakalářské práce.

Lucie Lomská

Anotace

LOMSKÁ, L. *Sledování polohy pacienta na lůžku a jeho aplikace.* Hradec Králové, 2016. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové. Vedoucí bakalářské práce Mgr. Filip Studnička, Ph.D.. 53 s.

Práce se zabývá analýzou dat získaných z tenzometrických čidel, která jsou součástí nemocničního lůžka. Úkolem práce je určit z naměřených dat polohu těžiště člověka na lůžku a sledovat jeho časový vývoj.

Zároveň má být navržen algoritmus, který bude daná data a polohu těžiště zobrazovat. V algoritmu má být obsažen i alarm, který upozorní na opuštění lůžka pacientem. Součástí práce je také porovnání výsledků s ohledem na použité metody a úvaha nad dalšími možnostmi aplikace získaných výsledků.

Klíčová slova:

tenzometrická čidla, nemocniční lůžko, těžiště, alarm

Annotation

LOMSKÁ, L. *Position monitoring of patient on the bed and its application.* Hradec Králové, 2016. Bachelor Thesis at Faculty of Science University of Hradec Králové. Thesis Supervisor Mgr. Filip Studnička, Ph.D.. 53 p.

Thesis is deal with analysis of data from the strain gauge sensors that are part of the intensive care bed. Task of the thesis is to determine centroid of man in the bed from the measurement data and monitor its time development.

Concurrently it should be designed an algorithm which will display data and location of the centroid. Algorithm should also include an alarm which alerts when the patient leaves the bed. The comparison of the results considering used methods and possibilities for the application of the results are part of the thesis.

Keywords:

strain gauge sensors, care bed, centroid, alarm.

Obsah

Úvod 6
1. Teoretický úvod do problematiky 7
1.1. Nemocniční lůžko Eleganza 3XC 7
1.1.1. Umístění tenzometrických snímačů 7
1.2. Tenzometry 8
1.2.1. Vlastnosti tenzometrů a rušivé vlivy 8
1.2.2. Dělení tenzometrů 10
1.2.3. Zapojení tenzometrů 14
1.3. MATLAB 15
2. Praktická část 17
2.1. Zpracování původních dat 17
2.1.1. Časové zpracování signálů 18
2.1.2. Zpracování signálů v amplitudové a frekvenční oblasti 23
2.2. Zpracování kontrolních dat 31
2.2.1. Časové zpracování signálů 32
2.2.2. Zpracování signálů v amplitudové a frekvenční oblasti 33
2.3. Program vyhodnocující polohu těžiště 37
2.3.1. Popis jednotlivých částí programu 37
2.3.2. Funkčnost programu 40
Závěr 43
Seznam použité literatury 45
Seznam použitých obrázků 47
Přílohy 49
Příloha A 49
Příloha B 49
Příloha C 50

Úvod

Otázka, jak nemocničnímu personálu především na specializovaných odděleních usnadnit práci a navíc zkvalitnit poskytovanou péči, je v současné době velmi aktuální. Počty pacientů, připadajících na jednoho ošetřujícího zdravotníka, se stále navyšují v důsledku nedostatečného množství nemocničního personálu a nastává tudíž doba, kdy je stále více třeba automatizovaných systémů.

Součástí těchto systémů by, kromě jiného, mělo být také sledování pohybu pacienta na nemocničním lůžku spolu s včasným varováním v případě hrozícího pádu či úmyslného opuštění lůžka pacientem. Konkrétně tomuto problému by se dále měla věnovat tato bakalářská práce. Podobný systém pohybu pacienta na lůžku, avšak v souvislosti se vznikem dekubitů, čili proleženin, se zabývá diplomová práce pana Stanislava Moravce na téma „Inteligentní pacientské lůžko – návrh zařízení pro snímání pohybové aktivity“. Pan Moravec v ní mimo jiné uvádí a srovnává některé již patentované systémy, včetně systémů konkurenčních.

Stejně jako u pana Moravce bylo k měření použito nemocniční lůžko od společnosti Linet s.r.o., která se zabývá výrobou lůžek, matrací a dalšího vybavení pro nemocniční i pečovatelská zařízení. Konkrétně bylo k experimentálnímu měření použito lůžko Eleganza 3XC. Tento typ lůžka patří do vyšší cenové kategorie nemocničních lůžek a byl vybrán především díky jeho tenzometrickému váhovému systému, z něhož měření vycházejí.

Výchozí část dat byla včetně videozáznamů a kalibračních konstant poskytnuta panem Mgr. Filipem Studničkou, PhD., vedoucím této bakalářské práce, který je doplnil mnohými radami ohledně jejich zpracování. Kontrolní část dat pak byla naměřena za asistence pana doktora Studničky na tomtéž lůžku v průběhu psaní této práce.

Teoretická část práce se bude věnovat problematice tenzometrů a měřícího systému lůžka Eleganza 3XC a matematickému softwaru, který byl použit ke zpracování naměřených dat. Praktická část práce bude dále zaměřena přímo na zpracování naměřených dat a na navrhovaný program, který má být spolu s alternativním řešením daného problému, výstupním produktem bakalářské práce.

1. Teoretický úvod do problematiky

1.1. Nemocniční lůžko Eleganza 3XC

Lůžko Eleganza 3XC od společnosti Linet patří mezi specializovaná lůžka vysoké kvality. Informace k danému lůžku, obsažené v této podkapitole, byly čerpány ze zdrojů [1], [2] a [3]. Lůžko je určeno především pro oddělení intenzivní péče, jelikož jeho technické parametry splňují veškeré nároky tohoto oddělení v oblasti péče o pacienta. Kromě základního vybavení lůžko obsahuje např. integrovaný držák na RTG kazety v oblasti hrudníku, který v kombinaci s transparentní ložnou plochou umožňuje okamžitou diagnostiku bez nutnosti přemisťování pacienta. Mezi přednosti tohoto lůžka se pak dále řadí také systém prevence pádů či systém prevence vzniku dekubitů.

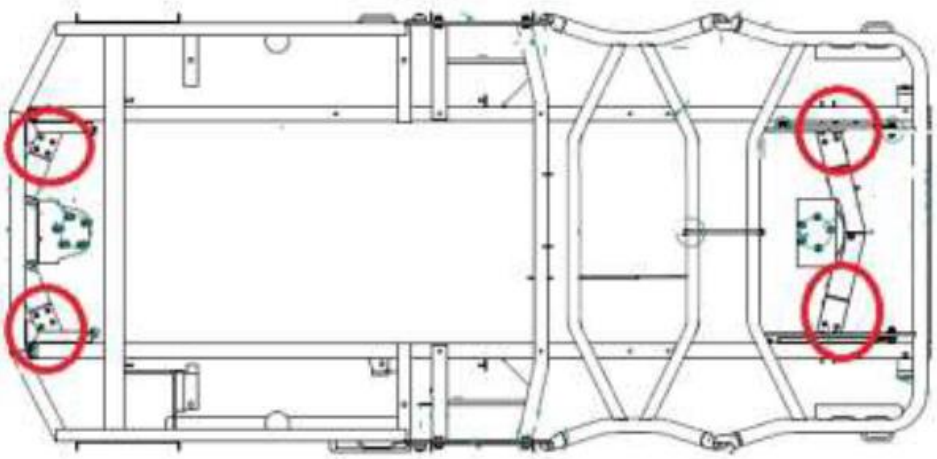
Obr. 1: *Lůžko Eleganza 3XC. (převzato ze zdroje [2]).*

Pro naše potřeby je však důležitý především integrovaný systém vah, který je primárně určen k měření hmotnosti pacienta bez nutnosti jeho přemisťování. Systém tedy informuje nemocniční personál o aktuální hmotnosti pacienta a o změně jeho hmotnosti v průběhu hospitalizace. Zahrnuje přitom také režim pro přidávání či odebírání příslušenství, tudíž nedochází ke zkreslování výstupních dat. Základ váhového systému pak představují senzory v podobě tenzometrů.

1.1.1. Umístění tenzometrických snímačů

Váhový systém lůžka Eleganza 3XC se skládá celkem ze čtyř tenzometrických snímačů. Ty jsou umístěné v rozích lůžka tak, aby bylo možné oddělit váženou část lůžka od nevážené a nedocházelo tak k ovlivňování měření. Nevážená část je vyhrazena personálu a umožňuje zavěšování a uchycování různých důležitých komponent k lůžku.

Díky relativně symetrickému umístění snímačů přitom lze kromě hmotnosti sledovat také pohyb těžiště pacienta na lůžku. Přibližné umístění tenzometrů na ložné ploše lůžka je zobrazeno na Obr. 2. Tenzometry jsou zde označeny červenými kroužky.



Obr. 2: *Umístění snímačů v ložné části lůžka (převzato ze zdroje [3]).*

1.2. Tenzometry

Vzhledem k tomu, že je tenzometr základním prvkem, potřebným k měření zatěžování lůžka, je potřeba jej náležitě popsat. K tomu bylo v celé této podkapitole využito zdrojů [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13] a [14].

Tenzometr, v angličtině označován jako „strain-gage“ či „strain-gauge“, obecně představuje elektrické měřící čidlo, které slouží k měření neelektrických veličin. Původně šlo o označení jednoho typu mechanického průtahoměru od firmy Huggenberger. Dnes tímto termínem označujeme i jiné typy průtahoměrů, jako jsou extenzometry a měřiče deformace, případně měřiče napjatosti. Podle Malé Československé encyklopedie je tenzometrem „čidlo, kterým se měří přetvoření v malé části zatěžovaného tělesa“[4], kde se přetvořením rozumí velmi malá délková změna. Z pohledu elektroniky je pak tenzometr pasivní elektronickou součástkou, která slouží k nepřímému měření mechanického napětí na základě její deformace.

Tenzometry mohou být součástí deformačních článků různých tvarů, které dokáží snímat nejen statické, ale i dynamické síly a rovnou je i zaznamenávat. U těchto snímačů velmi záleží na rozměrech deformačních členů, jelikož právě na nich závisí velikost snímaných sil a přesnost měření. Je tedy vhodné před instalací snímačů stanovit kalibrační křivku pro vhodnou tuhost i rozsah snímané síly.

1.2.1. Vlastnosti tenzometrů a rušivé vlivy

Při výběru vhodného typu tenzometru pro danou aplikaci zohledňujeme vlastnosti, jako jsou rozsah a přesnost měřené veličiny, citlivost, relativní deformace, velikost čidla, způsob a orientace uchycení, pracovní podmínky (především teplota, vlhkost, elektromagnetické pole), odolnost proti poškození, životnost a cena.

Relativní deformace (přetvoření, prodloužení, zkrácení) je veličina, která u

tenzometrů udává poměr změny aktivní délky k její původní aktivní délce. Značíme ji ε a definujeme ji pomocí Hookova zákona.

Hystereze představuje rozdíl v naměřených hodnotách při stejné hodnotě relativní deformace, pokud daný snímač střídavě zatěžujeme a odlehčujeme.

Deformační citlivost tenzometru je údaj, který je v případě necejchovaného čidla dán přesností součinitele deformační citlivosti a činí asi 2 %. V případě cejchovaného čidla lze relativní chybu snížit až na 0,05 %. Podílí se na ní mnoho parazitních vlivů včetně příčné citlivosti.

Příčná citlivost je nepříznivý parametr tenzometru a udává citlivost tenzometru na deformaci ve směru příčném k aktivní délce tenzometru. Její vliv lze eliminovat zesílením na koncích jednotlivých smyček měřící mřížky, čímž se docílí koncentrace příčné citlivosti na malé ploše a nedochází tak v takové míře k ovlivnění měření v aktivní části mřížky. Další možností, jak ji zmenšit, je zúžit daný snímač.

Tečení, čili creep, je efekt, který je způsoben různými materiálovými vlastnostmi jednotlivých vrstev, přes které se deformace přenáší až na samotnou měřící mřížku. Projevuje se zkrácením aktivní měřící délky mřížky v důsledku konstantního statického zatížení upevněného tenzometru. Na jeho velikost má největší vliv použité lepidlo a tloušťka jeho vrstvy. Kompenzace creepu probíhá dvěma způsoby. Prvním je specifické konstrukční uspořádání tenzometru a druhým je využití „elastického „after“ efektu, který má stejný průběh jako creep, ale je přesně opačný“[7]. Druhá metoda kompenzace je velmi obtížná, tudíž se v praxi příliš nevyužívá.

Teplotní závislost tenzometru je velmi výrazná především u odporových tenzometrů. Tato závislost se může projevovat zdánlivou deformací materiálu nebo teplotním driftem. **Zdánlivá deformace** je jev, ke kterému dochází v důsledku kolísání teplot po připevnění tenzometru k měřenému objektu. Výrazná je především u teplot, které se výrazně liší od vztažné teploty tenzometru, kterou většinou bývá pokojová teplota. Podílí se na ní kromě teplotní roztažnosti materiálu zkoušeného materiálu a mřížky také teplotní závislost elektrického odporu mřížky. Někdy výrobce uvádí u daného tenzometru polynomický vztah pro závislost zdánlivé deformace na teplotě, čímž usnadní její korekci při měřeních.

Oproti tomu **teplotní drift** je jev, který nastává v důsledku změn v mikrostruktuře materiálu mřížky. Změny vznikají vlivem oxidace nebo koroze či relaxace napětí materiálu mřížky či lepidla v důsledku teplotních změn. Drift lze ovlivnit druhem materiálu, použitého na výrobu mřížky, a jeho mechanickou úpravou, manipulací s tenzometrem, způsobem napájení či použitým lepidlem. Jde o nevratný jev, který je závislý na teplotě i čase, avšak chyby jím způsobené lze kompenzovat vhodným zapojením.

Metody kompenzace teplotní závislosti daného tenzometru lze shrnout do čtyř metod. První je zajištění změn teploty v určitém teplotním rozsahu, kdy nedochází ke změnám

v materiálu objektu či v odporu tenzometru. Druhou metodou je vhodná volba zapojení tenzometru, většinou v podobě plného nebo poloviční Wheatstoneova můstku. Třetí metodou je využití vhodného chemického složení materiálu měřící mřížky, jako tomu je u samokompenzovaných tenzometrů. A poslední metodou je početní korekce naměřených údajů.

Vliv vlhkosti se u tenzometrů projevuje ztrátou pevnosti lepidla či objemovou změnou podložky a lepidla, což tenzometr indikuje jako zdánlivou deformaci, kterou od skutečné nelze odlišit. Vliv vlhkosti na měření tenzometru se většinou kompenzuje nanesením ochranné vrstvy na tenzometr. Tato vrstva bývá např. z vosku, čisté vazelíny či ochranného laku. Izolace tenzometru však může být realizována i jeho hermetickým uzavřením, jak tomu často je u komerčních snímačů. Jako měřítko vlhkosti u tenzometru pak slouží tzv. izolační odpor, jehož hodnoty bývají většinou v rozsahu 50-1000 MΩ. Vliv izolačního odporu lze však zanedbat, pokud jeho hodnota nebude menší než 1 MΩ.

1.2.2. Dělení tenzometrů

První dělení tenzometrů je založeno na druhu jejich aplikace a to na snímače tlaku, síly, zrychlení, posunu, sklonu a náklonu, napětí, krouticího momentu, momentu síly apod. K měření předcházejících veličin se v případě trvale upevněných tenzometrů využívá tenzometrických pásků, které jsou pasivními odporovými snímači, v případě odnímatelných pak tzv. extenzometrů.

Další možnost dělení tenzometrů je podle principů, na nichž je jejich činnost založena. Dělí se pak na:

a) mechanické,

b) akustické,

c) optické,

d) pneumatické,

e) odporové kovové a odporové polovodičové.

První čtyři uvedené druhy tenzometrů jsou již spíše historické a byly nahrazeny odporovými tenzometry. Ve specifických případech, kdy není možné použít odporové tenzometry kvůli velmi obtížným podmínkám, se však stále využívají.

- **Odporové tenzometry**

Obecně odporové tenzometry využívají „závislosti odporu elektrického vodiče na jeho prodloužení“[7]. Tuto závislost můžeme podle zdroje [7] vyjádřit pro oba typy odporových tenzometrů pomocí vztahu $R = \frac{\rho \cdot l}{S}$, kde R představuje odpor, ρ měrný elektrický odpor, l délku a S obsah průřezu. Kovové odporové tenzometry mají na rozdíl

od polovodičových měrný elektrický odpor materiálu ρ téměř konstantní, tudíž nezávislý na deformaci, a odpor vodiče tedy ovlivňuje pouze změna rozměrů vodiče tenzometru, připevněného k objektu, při jeho deformaci. Měrný elektrický odpor u polovodičových tenzometrů je naopak závislý na mechanické deformaci daného materiálu.

Dále se odporové tenzometry řídí Hookeovým zákonem, který má různou podobu pro různé druhy deformace. Vzorce, používané pro Hookův zákon, byly převzaty ze zdroje [8]. Pro tah a tlak Hookův zákon zapisujeme pomocí rovnice $\sigma = \frac{F_n}{S} = \varepsilon E$, kde σ je normálové napětí, F_n je vstupující síla, S je příčný řez tyče (v případě tenzometrů spíše aktivní délky), E je modul pružnosti v tahu a tlaku a ε je relativní deformace. Pro ohyb můžeme tento vztah také použít, avšak pro smyk má Hookův zákon jiný tvar, který představuje rovnice $\gamma = \frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{G} \cdot \frac{F_t}{S}$. Úhel γ bývá obvykle velmi malý a tudíž ho můžeme nahradit relativním prodloužením $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$. G zde představuje modul pružnosti ve smyku, F_t vstupující sílu a S opět příčný řez.

Odporové tenzometry se vzájemně liší délkou a tvarem měřící mřížky, uložením měřící mřížky a druhem pájecích kontaktů. Jejich velká rozmanitost je výsledkem požadavků na široké spektrum jejich aplikací. Nejčastěji se k jejich napájení používá zdroj střídavého napětí, jelikož při něm nedochází v takové míře ke korozi materiálu mřížky a tím pádem k nárůstu chyb měření.

Způsob využití daného odporového tenzometru nejvíce určuje délka měřící mřížky, která se běžně pohybuje od 0,6 mm do 150 mm a ovlivňuje homogenitu či nehomogenitu pole napětí v místě aplikace tenzometru. V případě homogenního pole napětí o délce tenzometru rozhoduje velikost měřeného objektu. U nehomogenního pole záleží na hodnotě, kterou chceme měřit. Pokud chceme měřit střední hodnotu napětí, jak tomu bývá u zrnitých materiálů, je třeba zvolit délku základny aspoň 5-krát větší než je největší zrno materiálu. U měření lokální špičky napětí je potřeba použít co nejkratší možný tenzometr.

- **Kovové odporové tenzometry**

Kovové odporové tenzometry jsou realizované odporovým vláknem, folií či vrstvou a jsou lepeny přímo či s podložkou k měřenému objektu. Materiál podložky bývá ze speciálního papíru, často rýžového, umělé hmoty, azbestu, tkaniny či jiného materiálu. Při lepení je nutné nanést rovnoměrnou a co nejtenčí vrstvu speciálního lepidla, aby v celém rozsahu měřených deformací nedošlo k utržení tenzometru. Druh lepidla se přitom odvíjí od teplot, kterým je tenzometr vystaven. Pro teploty do 50°C jde o lepidlo na bázi termoplastů. U teplot od 50°C do 200°C se používá lepidlo na bázi termosetů, např. fenolové pryskyřice. Pro vyšší teploty pak dvousložkové lepidlo. U teplot nad 300°C lze pak použít i keramické tmely, které se zároveň dají využít jako podložka.

U vláknového kovového tenzometru bývá odporové vlákno stočeno do určitého

klikatého tvaru, mřížky, a následně buď lepeno na podložku, nebo pouze přichyceno izolačními kolíčky k podložce. U lepených tenzometrů mohou být k mřížce z tenkého drátu přichyceny příčné drátky většího průřezu, které zmenšují příčnou citlivost tenzometru. V případě přichycení mřížky kolíčky se tenzometr stává aktivní elektronickou součástkou, což oproti lepení s sebou nese bezproblémový přenos deformace na celý povrch tenzometru. Tenzometry realizované vláknem jsou využívány především ve speciálních případech, kdy se měří velké deformace či kdy je měření doprovázeno vysokými teplotami.

Tenzometry s odporovou folií jsou dnes nejvyužívanějšími kovovými odporovými tenzometry hlavně díky jejich snadnému uzpůsobení se druhu namáhání i tvaru měřeného místa. Měřící mřížky jsou u nich vyleptány do folie včetně všech jejich propojení a kompenzačních odporů a dá se říci, že jde o obdobu plošného spoje v elektronice. Mohou být jednoprvkové až čtyř-prvkové, podle počtu os, ve kterých chceme měřit deformaci. Mezi jejich největší klady patří velká rozmanitost tvarů mřížky a možnost vyššího napájecího napětí. Naopak mezi zápory patří především velká hystereze a v případě velmi malých rozměrů tenzometru tečení.

Vrstvové kovové odporové tenzometry dělíme podle metody tvorby tenké vodivé vrstvy na vakuově nanesené a na rozprašované. Oba dva typy vynikají především velmi dobrými vlastnostmi. Kromě velké rozmanitosti tvarů mřížky jde o dlouhodobou stabilitu a reprodukovatelnost měření, dobrý přenos deformace a vysokou hodnotu odporu. Proto se používají především pro měření tlaků.

Velmi častým materiálem využívaným pro kovové tenzometry je konstantan, jehož odpor je málo závislý na teplotě. Mezi další často používané slitiny pak patří nichróm, isoelastic, karma či manganín.

- **Polovodičové odporové tenzometry**

Polovodičové tenzometry dělíme do několika skupin podle druhu použitého materiálu na:

1. „monokrystalické

a) články získané rozřezáním z monokrystalu,

b) uhlíkové krystaly získané růstem v plynné fázi,

c) epitaxní vrstvy a dentridy.“ [9]

2. Polykrystalické, tvořené umělou směsí, např. uhlík a bakelit, jsou spojeny pouze se začátky odporové tenzometrie.

Monokrystalické polovodičové odporové tenzometry jsou nejčastěji tvořeny difúzí nečistot do čistého monokrystalu, většinou křemíku či germania. Jejich činnost je založena je piezoodporovém jevu. Tento jev je definován účinkem tlaku, vyvíjeného na

monokrystal v určité krystalografické ose, jehož důsledkem je anizotropická změna ve vodivosti monokrystalu. Při deformaci takovýchto tenzometrů se výrazně mění pohyblivost nosičů elektrického náboje a tedy i měrný odpor a hodnota výstupního elektrického signálu.

Oproti kovovým odporovým tenzometrům je součinitel citlivosti polovodičových odporových tenzometrů až 100 krát větší. Dalším rozdílem oproti kovovým tenzometrům je fakt, že změna odporu polovodičových tenzometrů je ve velké míře funkcí mechanického napětí, nikoliv funkcí deformace.

Mezi hlavní negativa polovodičových odporových tenzometrů patří nelineární funkční závislost jejich citlivosti a teploty, křehkost materiálu, fotocitlivost a vysoká cena. Teplotní vliv se dá kompenzovat vhodným zapojením, avšak platí zde nepřímá úměra, ve které s rostoucí teplotou klesá jak deformační citlivost tenzometru, tak její nelinearita. Naopak k pozitivním stránkám těchto tenzometrů lze kromě velkého součinitele citlivosti přičíst i velký odpor, velkou únavovou životnost, vysokou pevnost a pružnost, zanedbatelnou hysterezi, velmi dobrou stabilitu a malé rozměry.

Polovodičové odporové tenzometry se díky své velké deformační citlivost uplatňují především v oblasti malých deformací, kde se nelinearita funkční závislosti citlivosti téměř neprojevuje.

Možnosti využití polovodičových odporových tenzometrů dále ovlivňuje typ polovodiče a množství jeho příměsí. Obecně platí, že jsou polovodiče typu P (positive) vhodné spíše na měření v tahu a polovodiče typu N (negative) spíše na měření tlaku. Oblast jejich využití se zužuje výhradně na výrobu snímačů. Zpravidla se polovodič typu P nevyužívá samostatně, jelikož u něj nelze kompenzovat teplotní závislost odporu, a proto je zapojován v kombinaci s polovodičem typu N. Snímače pak nemusí tvořit pouze jednoduchý PN přechod, ale i několikanásobný přechod, jak tomu je u piezotranzistorů.

Při lepení polovodičových tenzometrů je třeba si dát pozor na jejich orientaci shodnou s orientací snímaného napětí. Lepidlo navíc musí být naneseno tak, aby tenzometr nebyl v přímém kontaktu s povrchem měřeného objektu a byl tak elektricky izolován. V případě měření napětí ve více směrech zároveň je možné na jednu podložku umístit více různě orientovaných, avšak vzájemně izolovaných mřížek a tím vytvořit tzv. tenzometrickou růžici.

U reálných křemíkových tenzometrů se navíc používají tzv. oddělovací membrány, které chrání čidlo před „nevhodným působením měřeného prostředí (agresivita, vodivost)“[13]. Mezi oddělovací membránou a měřící membránou s čidlem se nachází médium, nejčastěji inertní silikonový olej, jehož prostřednictvím se přenáší měřený tlak. Měřící membrána může mít v různých místech různou šířku a tudíž i různý průhyb a citlivost, čehož se využívá především při měření vysokých tlaků.

1.2.3. Zapojení tenzometrů

Zapojení měřícího obvodu s tenzometrem je často realizováno odporovým Wheatstonovým můstkem, kterým je snímána změna odporu tenzometru. Při takovémto měření rozlišujeme tři možné způsoby zapojení:

a) „čtvrtinové můstkové zapojení s jedním snímačem,

b) poloviční můstkové zapojení se dvěma snímači,

c) úplné můstkové zapojení se čtyřmi snímači“[11].

U úplného můstkového zapojení jsou všechny čtyři větve můstku obsazeny tenzometry o stejném odporu. Výstupní napětí bude maximální možné, závislost odporu tenzometrů na teplotě bude plně kompenzována a můstek se bude chovat lineárně. Proto plno-mostové zapojení používáme především pro velmi přesná měření, kde je nutná dlouhodobá stabilita. Realizovat toto zapojení lze i pomocí dvou protilehlých aktivních tenzometrů a zbylých dvou kompenzačních tenzometrů. Kompenzační tenzometr přitom bývá nalepen na nedeformovaný kus ze stejného materiálu, jako je měření objekt, přičemž teplotní změny musí být shodné. Často jsou pak dvě čidla umístěna tak, aby měřila zkrácení v určitém směru, a další dvě čidla, aby měřila prodloužení v určitém směru, díky čemuž je možné měřit např. zkrut hřídele.

Poloviční můstkové zapojení je realizováno dvěma aktivními tenzometry, zapojenými do dvou sousedních větví se společným uzlem na vstupní diagonále můstku, a dvěma doplňujícími odpory. Často se tak při dané deformaci jedno z čidel prodlužuje a druhé zkracuje, čehož se využívá například při měření průhybu nosníku. Výstupní napětí je poloviční oproti plno-mostovému zapojení. Tento způsob zapojení je podle Klementeva „nejčastějším zapojením při tenzometrickém měření“[12].

Pokud není možné zapojení dvou aktivních tenzometrů, je půl-mostové zapojení realizováno jedním tenzometrem měřícím a jedním kompenzačním se dvěma stabilními odpory ve zbylých dvou větvích Wheatstoneova mostu. Kompenzační tenzometr se přitom umisťuje v místě konstrukce s nulovým délkovým přetvořením, avšak s teplotou shodnou s teplotou v blízkosti aktivního tenzometru. V tomto případě však nelinearita kompenzována není a výstupní hodnoty můstku jsou shodné s čtvrt-mostovým zapojením.

Čtvrtinové můstkové zapojení se skládá z jednoho aktivního tenzometru a tří náhradních odporů, které jsou zpravidla umístěny uvnitř měřícího zesilovače. I přes nelinearitu zapojení a jeho teplotní nestálost je často využíváno při zátěžových zkouškách konstrukcí, u kterých je potřeba velké množství tenzometrů v různých místech konstrukce.

Dalším využívaným typem zapojení je potenciometrické zapojení tenzometru, které je vhodné např. pro měření dynamických hodnot relativní deformace. Je realizováno

zapojením tenzometru o odporu R spolu s předřadným odporem R_d do obvodu v podobě děliče napětí.

Při zapojování tenzometrů do obvodu můžeme také využít tzv. porovnávací metody, která je založena na porovnávání úbytků napětí na tenzometrech. K zapojení obvodu jsou potřeba dva nezávislé stabilizované zdroje o proudech I_1 a I_2, měřící tenzometr o odporu R_1 a kompenzační tenzometr o odporu R_2. Navíc je nutno splnit předpoklady, že $I_1 = I_2$, že pro $\varepsilon = 0$ je $R_1 = R_2$ a že změny na tenzometrech jsou při stejné teplotě shodné. Pak je možné říci, že rozdíl v napětích $U_1 - U_2$ je úměrný měřené deformaci ε.

Tenzometry se často nepoužívají samostatně, ale jako součást měřícího řetězce spolu s dalšími přístroji ve dvou základních oblastech. První oblastí jejich působnosti je analýza namáhání jednotlivých konstrukčních prvků, jejich částí či celých konstrukcí. Tato analýza slouží nejen ve výzkumu a vývoji vhodných konstrukcí za různých podmínek, ale i v praxi při kontrole provozních zatížení dané konstrukce. Druhou oblastí použití tenzometrů je „jako pevně zabudovaná součást jiných přístrojů a zařízení“[6]. V tomto případě jde především o tenzometrické siloměry a váhy, akcelometry, deformační tlakoměry a jiné.

1.3. MATLAB

MATLAB je matematický software od společnosti MathWorks. Informace o tomto softwaru i jeho funkcích byly čerpány ze zdrojů [15] a [16] a dále především z dokumentace MATLABu, která se spolu s daným softwarem instaluje do daného počítače. Plný název softwaru je Matrix Laboratory, čili maticová laboratoř. Jak název napovídá, jde o „plně maticově orientovaný systém“[15], podporující kromě maticových operací i celou řadu dalších funkcí včetně GUI objektového programování. Jeho výkonné a interaktivní prostředí je určeno především pro výpočty a analýzu dat v oblasti vědy a techniky, avšak je vhodné i pro modelování, simulaci, analýzu a prezentaci dat, vývoj algoritmů, měření a zpracování signálů apod.

Největší předností tohoto softwaru je jeho snadná rozšiřitelnost, díky které lze systém doplnit nejen o již napsané funkce, ale také o celé aplikace. Dalším předností pak je i jeho dobrá spolupráce s jinými aplikacemi a jazyky, jako je C, C++, Java apod. Naopak mezi nedostatky softwaru patří velké množství klíčových slov a složitá práce s toolboxy. Pod termínem toolboxy přitom rozumíme knihovny funkcí, které jsou v případě MATLABu problémově orientovány.

V prostředí MATLABu se pracuje celkem ve třech režimech, v dialogovém, programovém a v grafickém. Dialogovým režimem se rozumí práce v okně Command Window, kde s prostředím MATLABu zacházíme podobně jako s kalkulačkou. V programovém režimu jde o editaci M-souborů, tzn. skriptů či uživatelských funkcí. „Skript je posloupnost příkazů zapsaná do souboru s příponou .m“ [16], ve které lze použít i proměnné definované před spuštěním skriptu. Funkce mají oproti skriptu pevně danou strukturu. Proměnné použité ve funkci jsou navíc vždy lokální, tudíž lze

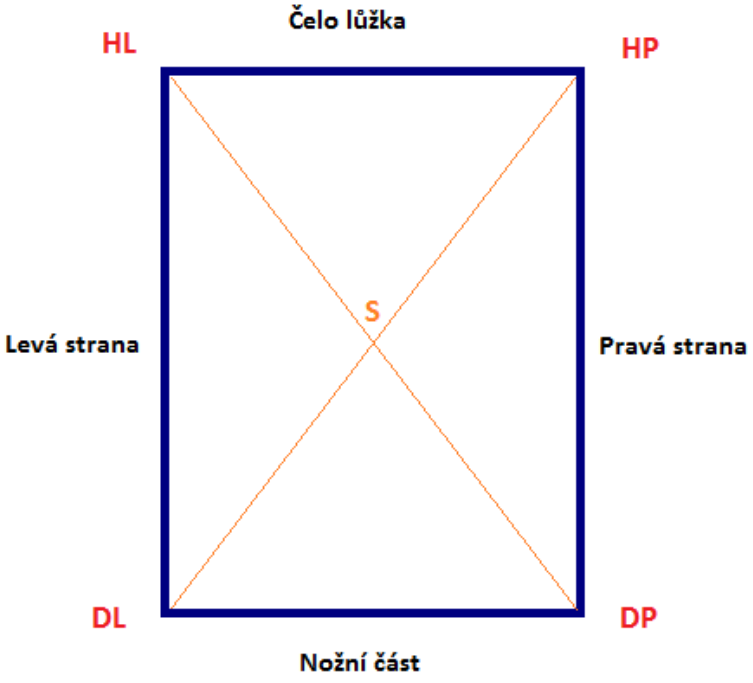
ve funkci použít pouze proměnné, které jsou funkci dány jako vstupní parametry. Posledním pracovním režimem MATLABu je režim grafický, který představují samostatná grafická okna s názvem Figure, ve kterých se zobrazují grafické výsledky.

2. Praktická část

2.1. Zpracování původních dat

Původní data byla získána ve formě dvojice textových souborů a videozáznamů z průběhu měření spolu s kalibračními konstantami pro jednotlivé tenzometry. Při otevření textových souborů je zřejmá forma matice o 7 sloupcích, oddělených mezerou. První tři sloupce této matice přitom obsahují časové údaje a to ve formě HH MM SS. Další čtyři sloupce pak odpovídají výstupním signálům z jednotlivých tenzometrických čidel.

První údaj, který lze z takto zaznamenaných dat zjistit, je vzorkovací, čili také samplovací, frekvence daného měření. Obecně je vzorkovací frekvence dána počtem vzorků, které jsou zaznamenány za dobu rovné jedné sekundě. Teoreticky by měla být dvakrát větší než frekvence očekávaného maxima snímaných hodnot. Vypočítat ji lze podle následujícího vztahu: $Fs = \frac{počet\ vzorků}{celkový\ čas}$. Pro první měření je samplovací frekvence rovna 7,2121 Hz, pro druhé měření pak 7,3380 Hz. Z toho vyplývá, že vzorkovací frekvence se měření od měření mírně liší.



Obr. 3: *Schématické rozložení lůžka (zdroj: autor).*

Druhým základním úkolem při zpracovávání dat bylo přiřadit dané sloupce matice k jednotlivým tenzometrickým čidlům. Porovnáním dat v textovém souboru s videozáznamem bylo zjištěno, že 4. sloupec matice odpovídá tenzometru v horním pravém (HL) rohu, 5. sloupec matice tenzometru v horním levém rohu (HP), 6. sloupec matice tenzometru v dolním pravém (DP) rohu a nakonec 7. sloupec matice tenzometru

v dolním levém rohu (DL). Znázornění na obr. 3 doplňuje předchozí popis zjištěného rozmístění tenzometrických čidel na ložné části lůžka.

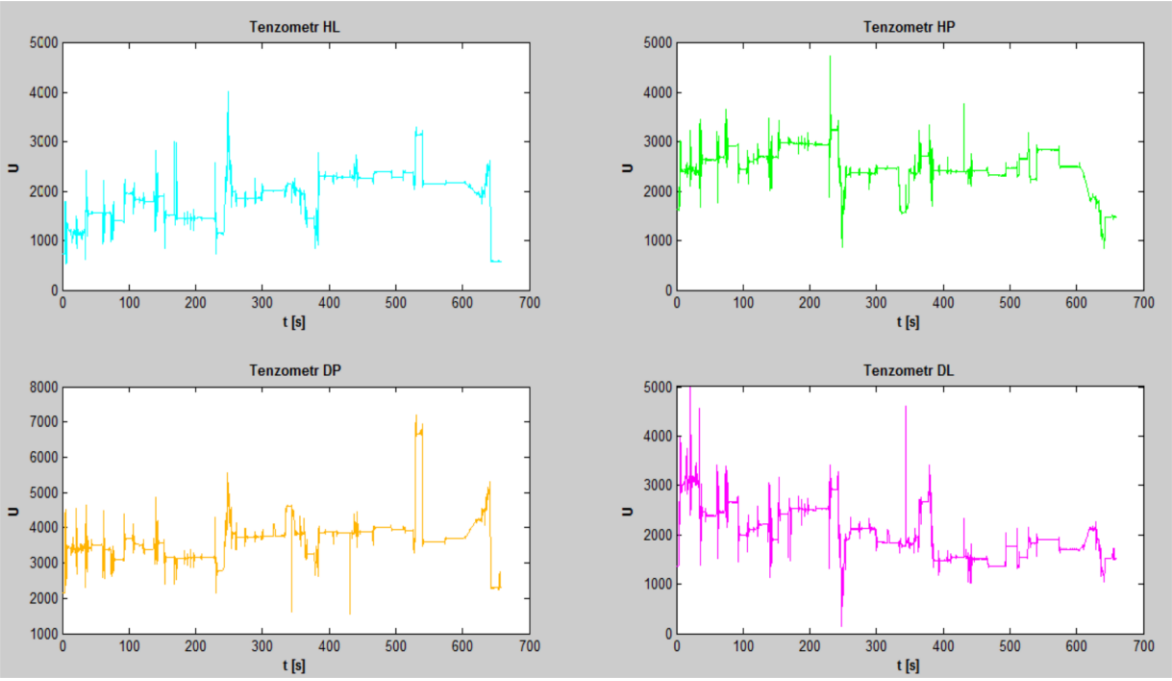
U předchozího úkolu byly využity především data z prvního měření. Je u nich velmi dobře patrné, které části lůžka jsou v danou chvíli více či méně zatěžovány. Asi nejnázornější je přitom část dat ohraničená přibližně časy 09:17:10 a 09:18:05. Jde o část, ve které se na určitou část lůžka k pacientovi pokládá předmět a následně si k němu přisedá další osoba.

2.1.1. Časové zpracování signálů

Mezi další úkoly, které by měly být zahrnuty v této části práce, patří zobrazování signálů z jednotlivých tenzometrických čidel a jejich následná analýza. Pro zobrazování závislosti signálu na čase bylo nejdříve potřeba převést čas z formátu HH MM SS do formy sekund s počátkem v nule. To bylo pro všechna měření realizováno pomocí následujících příkazů:

```
doba=(3600*HH(end)+60*MM(end)+SS(end))-(3600*HH(1)+60*MM(1)+SS(1));
t=0:doba/(length(matice(:,1))-1):doba;
```

K zobrazení signálů na obr. 4 následně mohly být použity příkazy *subplot* a *plot*. První z příkazů má strukturu *subplot(počet řádků, počet sloupců, pořadí)* a slouží k zaznamenávání více grafů do jednoho okna, které nazýváme *figure*. V tomto případě byly zobrazeny čtyři grafy ve dvou řádcích a dvou sloupcích, přičemž každý z grafů představuje výstupní signál z jednoho tenzometru.



Obr. 4: *Průběhy signálů z jednotlivých čidel pro první měření (zdroj: autor).*

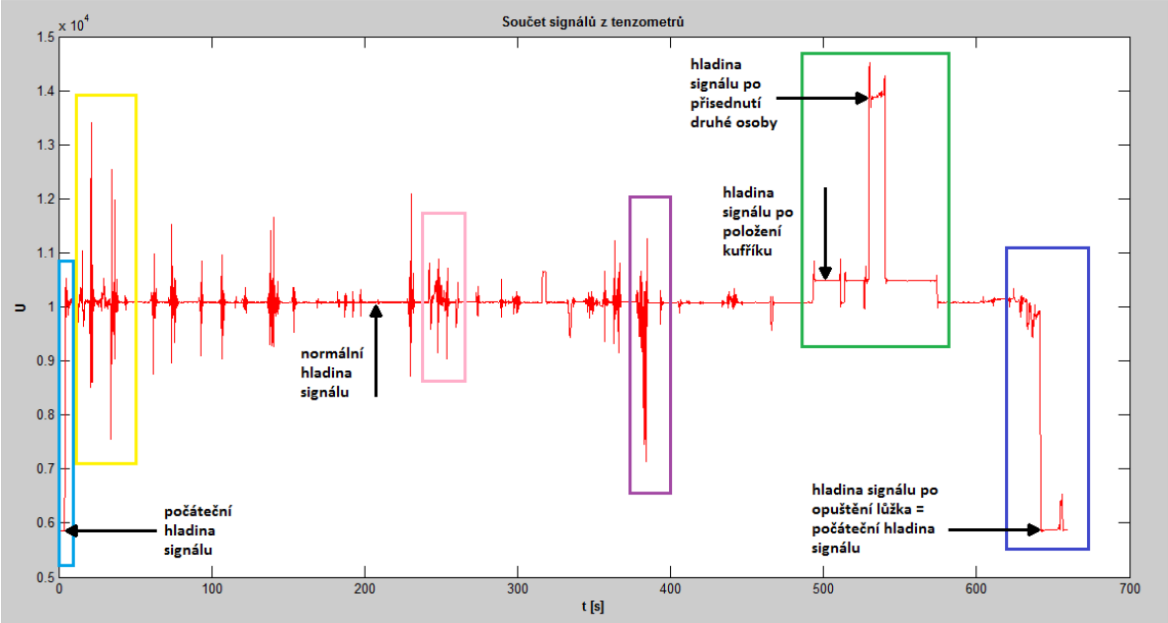
Příkazem *plot(x, y)* se do každého pole *subplot* zobrazí příslušná přímá závislost *x* na *y*. Zde byl použit příkaz v následující podobě: *plot(čas, sloupec matice pro daný tenzometr)*

a byl doprovázen několika dalšími příkazy, obsahujícími doplňující informace o grafu, jako jsou popisky os, barvy čar apod.

Porovnáním jednotlivých grafů na obr. 4 lze zjistit, jak jsou jednotlivé tenzometry v daný okamžik zatěžovány. Na počátku měření je vidět, že byly v případě konání dřepů pacientem nejvíce zatěžovány tenzometry v dolní části lůžka. Různě velké výchylky křivek kolem času 250 s jsou pak způsobeny změnou polohy těžiště pacienta druhou osobou. V tomto místě se přitom signály dvojice tenzometrů v horní a ve spodní části lůžka vzájemně doplňují. Pokud je tedy u pravého tenzometru výchylka směrem nahoru, tak u levého tenzometru má výchylka směr dolu, a naopak.

U tenzometrů na pravé straně lůžka jsou pak v závěru měření velmi dobře vidět změny v zatížení lůžka, způsobené přisednutím druhé osoby na lůžko i opuštěním lůžka pacientem. Navíc je na grafech vidět, jak se zde opět dvojice signálů v horní a spodní části lůžka doplňuje. Dále lze z porovnání grafů vyvodit, že během celého měření byl nejvíce zatěžován tenzometr v dolním pravém rohu, jelikož vykazuje v průměru nejvyšší hodnoty napětí.

Obecně lze říci, že v místech grafu, kde se objevuje vodorovná přímka, se pacient nehýbal, což se dá ověřit i porovnáním s videozáznamem měření. Naopak místa, kde se nachází výchylka, představují nějaký druh změny. Tato změna však nemusí být způsobena pouze pohybem pacienta samotného, avšak může být způsobena právě i umístěním předmětu na plochu lůžka.



Obr. 5: *Součet výstupních signálů tenzometrů pro první měření (zdroj: autor).*

O jakou změnu v případě výchylky jde, lze následně určit z grafu na obr. 5, na kterém je zobrazen součet signálů z jednotlivých tenzometrů. V případě, že jde pouze o změnu polohy pacienta, je maximum ostré a křivka se následně vrací zpět na původní hladinu, odpovídající hmotnosti pacienta, zde včetně lůžkovin. V případě změny trvalejšího rázu,

jako tomu je například v důsledku přidání předmětu na plochu lůžka, se po vychýlení křivky signál ustálí na jiné než původní hladině. Změna této hladiny přitom odpovídá hmotnosti daného předmětu.

Na obr. 5 jsou navíc v barevných rámečcích označeny významné oblasti, které stojí za bližší popsání. V prvním, světle modrém rámečku se nachází oblast z počátku měření. První hodnoty představují prázdné lůžko před zahájením měření s pacientem a počáteční hladina napětí odpovídá hmotnosti lůžkovin včetně matrace. Na první pohled je vidět, že je hodnota počáteční hladiny výrazně nižší než hodnota normální hladiny v následující části měření. Rozdíl v hladinách pak představuje absolutní hmotnost pacienta.

V následujícím žlutém rámečku je zahrnuta oblast, ve které se testuje závislost velikosti výchylky na rychlosti pohybu. Ze srovnání videozáznamu s křivkou grafu vyplývá, že čím rychleji daný pohyb proběhne, tím větší výchylku způsobí. Velikost signálu tudíž závisí i na intenzitě pohybu.

Růžový rámeček dále odpovídá části měření, kdy se pacient nehýbe sám, ale hýbe s ním někdo jiný. Výchylky křivky jsou zde srovnatelné s výchylkami při plynulém pohybu pacienta samotného. Obsah plochy pod křivkou, zdola ohraničenou přímkou, odpovídající normální hladině signálu, se však zdá větší.

V dalším, tentokrát fialovém, rámečku je zobrazena část měření, kdy je pacient tažen druhou osobou. Je zde znatelné mírné odlehčení pacienta při jeho několikanásobném popotažení.

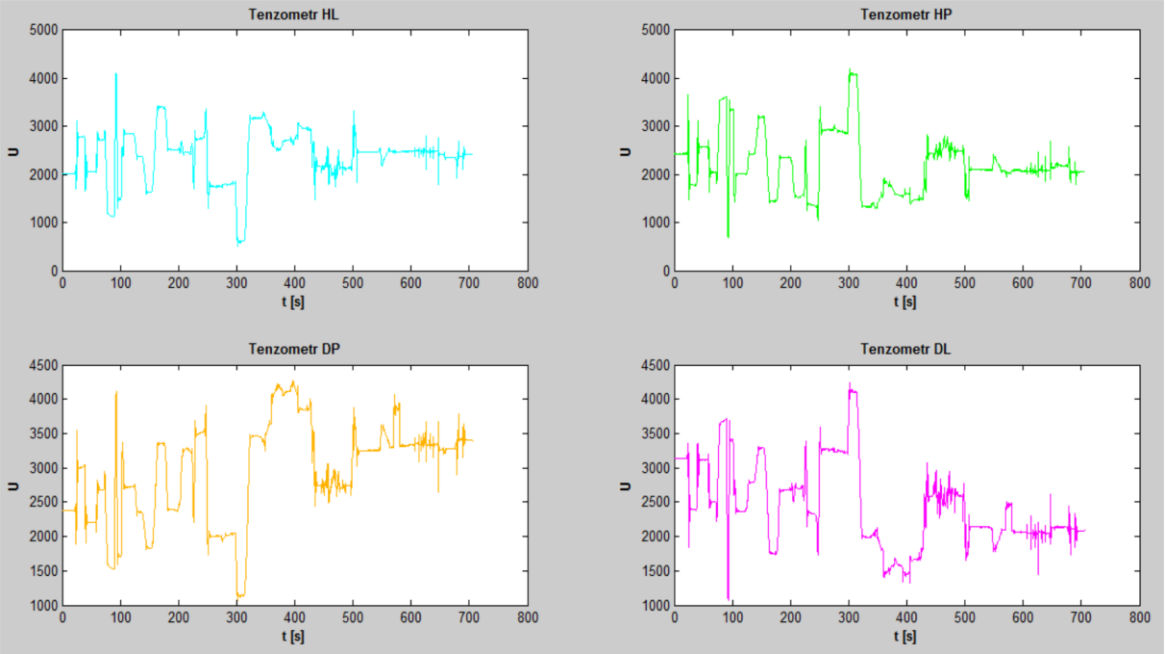
V zeleném rámečku je pak zachycena oblast, kterou jsme zmiňovali již dříve. Jde o oblast, kdy je nejdříve k pacientovi na lůžko položen kufřík, který je po chvíli přemístěn do jiné části lůžka a nakonec se k pacientovi na lůžko posadí druhá osoba. Jsou zde velmi zřetelné změny v celkové hmotnosti. Vzhledem k délce trvání daného stavu, jsou zde přítomny i vodorovné přímky, představující stálost daného stavu.

V posledním, tmavě modrém rámečku se nachází část měření, kdy se horní polovina lůžka zvedá a pacient pak z polohy vsedě za pomoci druhé osoby opouští lůžko. Na začátku tohoto úseku signál v důsledku plynulé změny polohy mírně kolísá. Nakonec námi určená normální hladina signálu klesá zpět na počáteční hladinu signálu.

Pro zobrazení průběhu signálů u druhého měření použijeme stejný postup jako u měření prvního. Na obr. 6 jsou nejdříve zobrazeny průběhy signálů z jednotlivých tenzometrických čidel v *subplots* pomocí příkazu *plot(x, y)*. Na obr. 7 je pak zobrazen průběh součtu signálů tenzometrů. Oba obrázky a jednotlivé grafy budou dále popsány.

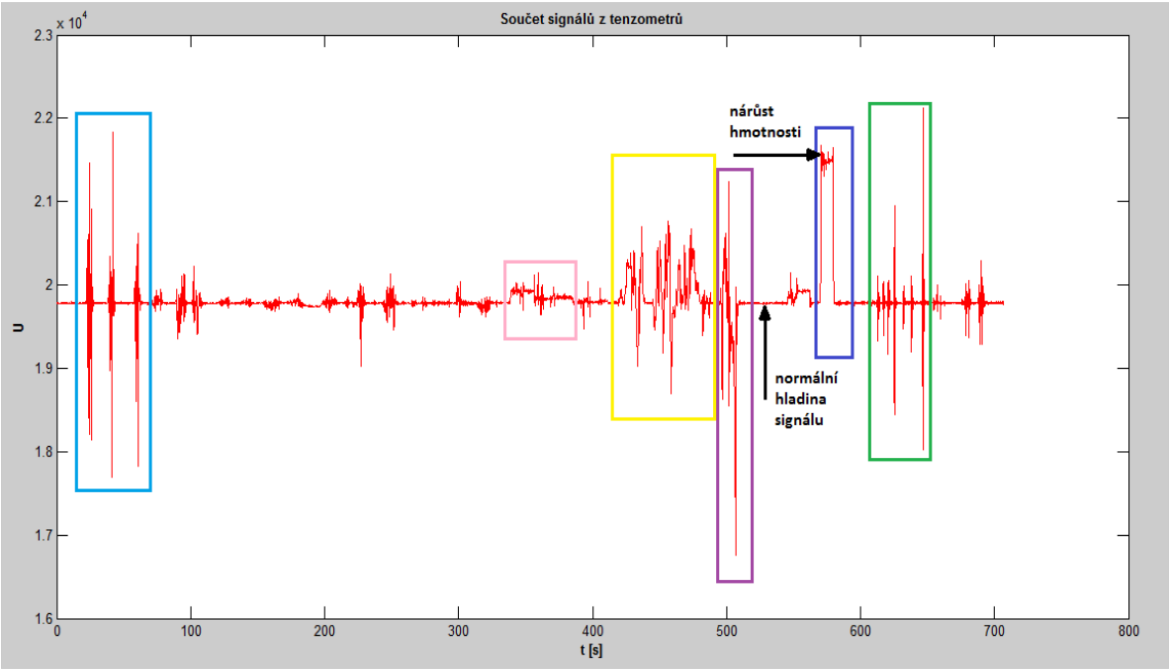
Druhé měření se od prvního liší především počátečním stavem, ve kterém je měření zahájeno. U tohoto měření je již na začátku pacient na lůžku přítomen, tudíž nelze určit jeho absolutní hmotnost odečtením napětí na tenzometrech s pacientem a bez pacienta. Řešením problému určení hmotnosti by mohlo být odečtení nulové hladiny z prvního

měření od počátečního stavu měření druhého. Avšak i v tomto případě je nutné uvážit možnost, že hmotnost lůžkovin v případě druhého měření není naprosto shodná jako v případě prvního měření. Proto bych tento postup nedoporučovala.



Obr. 6: *Průběhy signálů z jednotlivých čidel pro druhé měření (zdroj: autor).*

Na obr. 6 lze stejně jako u obr. 4 pozorovat, že se křivky signálů u dvojic v horní a dolní polovině lůžka vzájemně doplňují. Pokles na tenzometru v pravé části lůžka způsobuje nárůst hodnoty na levé straně lůžka. Dobře pozorovatelné je to při porovnání grafů v časovém intervalu přibližně (250-500) s.



Obr. 7: *Součet výstupních signálů tenzometrů pro druhé měření (zdroj: autor).*

Na obr. 7 je zobrazen součet signálů z jednotlivých tenzometrů a stejně jako na obr. 5 u prvního měření, jsou některé části grafu zarámovány pro snazší popis. Jak již bylo řečeno, měření začíná v okamžiku, kdy je na lůžku již přítomen pacient, tudíž nelze pozorovat nulovou hladinu signálu, ale pouze normální hladinu signálu. Na úplném počátku měření se pacient pár sekund nehýbe.

Dále se křivka signálu dostane do modře zarámované oblasti, kde se pacient podle videa třikrát převalí. První dvě výchylky grafu jsou téměř totožné, avšak třetí se liší výchylkou směrem vzhůru, která představuje součet změn v napětí v pravé části lůžka. Podle videa lze usoudit, že třetí výchylka je ve směru vzhůru menší díky menším otřesům v pravé části lůžka při plynulém přetočení pacienta na levou část lůžka.

V následující části měření, která není zarámována, nejsou na grafu sumy signálů vidět žádné výrazné změny. I přesto podle videa dochází k čilému pohybu pacienta, což lze také pozorovat na grafech na obr. 6, kde jsou výchylky srovnatelné, případně i vyšší než počáteční části měření. Pacient se v této části převaluje z jednoho okraje lůžka na druhý, sedá si, případně hýbe pouze některou částí svého těla. V oblasti ohraničené přibližně časy (250-330) s se pacient dokonce dostává až na pravý dolní okraj lůžka. Na obr. 6 jsou v tomto intervalu vidět na všech grafech velmi výrazné výchylky, avšak u sumy signálů je rozeznatelný pouze drobný pohyb.

Dále je zde oblast v růžovém rámečku, kde sice nejsou pozorovatelné výrazné změny, ale podle videozáznamu se sám pacient nehýbe. V této oblasti se nejdříve mění výška lůžka ve vertikálním směru, poté se zvedá horní polovina lůžka, načež se mírně zvedá i dolní polovina lůžka. Na konci této oblasti se lůžko opět vrací zpět do horizontální polohy a normální vertikální výšky.

V žlutě zarámované oblasti dále dochází ke změně polohy pacienta, způsobené druhou osobou a následně k přemisťování lůžka spolu s pacientem. Ve fialově označené části je pak pacient na lůžku opět přemístěn druhou osobou a popotažen, což způsobilo výraznou výchylku.

Drobnější výchylky těsně před tmavě modrou oblastí jsou opět způsobeny polohováním lůžka. Následná velká výchylka přímo v modré oblasti s neostrým maximem představuje příbytek hmotnosti. Tento příbytek má původ v opření se druhé osoby o zábranu v nožní části lůžka.

V zeleně zarámované oblasti lze opět pozorovat výrazné výchylky. Tentokrát jsou však způsobeny třasy, které mají simulovat záchvat pacienta. Téměř všechny třasy se přitom na grafu dají dobře rozpoznat. Pouze třetí a čtvrtí třas v grafu téměř splývají do třetí výchylky, avšak při zvětšení v prostředí MATLABu jsou od sebe rozeznatelné. Výrazně větší výchylka u posledního zarámovaného třasu odpovídá jeho větší intenzitě.

Těsně za zelenou oblastí jsou opět rozeznatelné drobné výchylky spojené s polohováním lůžka. A nakonec v úplném závěru měření se nachází výchylky způsobené pohybem pacienta na lůžku s mírně zvednutou horní polovinou. Tyto

výchylky v závěru měření jsou srovnatelné s výchylkami, spojenými s pohybem na lůžku vodorovném.

2.1.2. Zpracování signálů v amplitudové a frekvenční oblasti

V této části zpracování měření budou využity neparametrické metody analýzy stochastických signálů diskrétních v čase. Poznatky použité v této podkapitole budou vycházet ze zdrojů [17] a [18] a z dokumentace MATLABu.

Nejdříve je třeba definovat, co je to stochastický signál. „Stochastický (náhodný) signál nebo proces je signál, jehož hodnoty jsou generovány náhodně a nemohou být předpovězeny do budoucna.“[17] Tento signál má v tomto případě diskrétní rozdělení pravděpodobnosti, což se teoreticky projevuje v podobě nekonečného souboru posloupností vzorků.

V amplitudové oblasti se tyto signály popisují pomocí prvních obecných či centrálních statistických momentů a pomocí distribuční funkce. Střední hodnotu, ve statistice označovanou jako *E(X)*, MATLAB umožňuje nalézt pomocí příkazu *M = mean(matice)*. Řádkový vektor *M* pak vrací střední hodnoty pro jednotlivé sloupce matice. Pro data prvního měření má řádkový vektor hodnoty: *M1 = [1869,2; 2490,3; 3648,4; 2031,2]*. Pro data druhého měření má řádkový vektor podobu: *M2 = [2380,1; 2192,6; 2957,6; 2442,7]*.

Mezi další základní charakteristiky náhodné veličiny dále patří směrodatná odchylka, ve statistice označována písmenem *s*. Její druhá mocnina přitom představuje u normálního rozdělení pravděpodobností nevychýlený odhad rozptylu, označovaného jako *D(X)*. Směrodatnou odchylku pro matici prvků základního souboru lze v MATLABu spočítat příkazem *s = std(matice, flag)*. Vlastnost *flag* je pro směrodatnou odchylku základního souboru rovna 1 a MATLAB ji v tomto případě počítá podle vzorce: $s = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2\right)^{\frac{1}{2}}$,

kde *n* je počet prvků souboru, x_i je i-tý prvek souboru a $\bar{x}$ je aritmetický průměr prvků souboru. Jako výstup se vrací řádkový vektor *s*, který obsahuje směrodatné odchylky pro jednotlivé sloupce matice. Pro data prvního měření je na výstupu, pro tyto účely zaokrouhlený, vektor: *s1 = [481,2; 396,9; 605,7; 499,0]*. Pro data druhého měření má vektor po zaokrouhlení podobu: *s2 = [517,0; 588,0; 697,6; 594,3]*.

V amplitudové oblasti se dále nabízí příkazy pro nalezení korelačních koeficientů (*corrcoef*), pro rozptyl (*cov*), pro medián souboru (*median*) či pro nalezení maximální (*max*) nebo minimální (*min*) hodnoty v souboru.

Frekvenční oblast analýzy stochastických dat se zaměřuje na výkon, energii a výkonovou spektrální hustotu. Nejdříve je třeba si obecně definovat energii posloupnosti *x(n)*. Tato energie je podle zdroje [17] definována jako: $E = \sum_{n=-\infty}^{\infty}|x(n)|^2$, přičemž je nutné předpokládat, že jsou nulové všechny hodnoty signálu mimo jeho konečnou délku. Signály s konečnou energií se jinak nazývají jako

energetické signály. Pro výkon stochastické posloupnosti je ve zdroji [17] uveden vztah: $P = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^{N} E(|x(n)|^2)$, ve kterém E tentokrát značí střední hodnotu, nikoliv energii. Tento vztah pro výkon posloupnosti lze v případě konstantní střední hodnoty kvadrátu pro libovolné *n* podle zdroje [17] zjednodušit na $P = E(|x(n)|^2)$.

Dvoustranná výkonová hustota daného signálu se získá pomocí diskrétní Fourierovy transformace autokorelační posloupnosti $R_{xx}(r)$. Matematicky ji lze podle zdroje [17] zapsat následovně: $S_{xx}(e^{j\theta}) = \sum_{r=-\infty}^{\infty} R_{xx}(r)e^{-jr\theta}$, kde $\theta\epsilon\langle-\pi;\ \pi\rangle$ je normovaná frekvence s periodou 2π, či v případě frekvence vyjádřené v Hz s periodou rovnou vzorkovací frekvenci signálu.

Dále je potřeba definovat vzájemnou dvoustrannou výkonovou spektrální hustotu pro dva stochastické signály diskrétní v čase, které lze považovat za signály v širším smyslu stacionární. V tomto případě je využita diskrétní Fourierova transformace vzájemné korelační posloupnosti daných signálů. Matematicky lze podle zdroje [17] závislost vyjádřit takto: $S_{xy}(e^{j\theta}) = \sum_{r=-\infty}^{\infty} R_{xy}(r)e^{-jr\theta}$, kde $\theta\epsilon\langle-\pi;\ \pi\rangle$ je opět normovaná frekvence.

U reálných měření však nelze dosáhnout záporných frekvencí, tudíž je nutno zavést jednostrannou výkonovou spektrální hustotu. Ta je ve zdroji [17] definována následovně: $G_{xx}(e^{j\theta}) = \begin{cases} 2S_{xx}(e^{j\theta}) & pro\ 0 \le \theta \le \pi \\ 0 & pro\ -\pi \le \theta < 0 \end{cases}$.

Pro účely této práce je podstatný především „výpočet odhadu výkonové spektrální hustoty (*power spectral density, PSD*)“ [17] pro v čase diskrétní stochastické signály, které jsou v širším smyslu stacionární. K výpočtu se využívá celé řady metod, které lze nalézt v „Signal Processing Toolboxu MATLABu“ [17]. Primárně se tyto metody dělí na parametrické, neparametrické, metody s vysokým rozlišením a metodu vlastních vektorů. V následující části však budou využity pouze neparametrické metody odhadu výkonové spektrální hustoty, jelikož počítají daný odhad přímo ze signálu.

První a zároveň nejjednodušší zde použitou metodou je metoda periodogramu. Příkaz *periodogram* má několik možných podob, avšak zde byla použita syntaxe: *[Pxx, f] = periodogram(x, window, nfft, fs)*. V dokumentaci programu MATLAB je *periodogram* definován jako jednostranný odhad výkonové spektrální hustoty.

Vzhledem k tomu, že je při výpočtu periodogramu využívá rychlé Fourierovy transformace (zkráceně FFT), je potřeba data dále upravit. Cílem této úpravy je, aby byla střední hodnota signálu v každém okně nulová. K tomu bylo využito následujícího cyklu:

```
for i=1:4
    matrix(:,i)=matrix(:,i)-smooth(matrix(:,i),samplFrekvence);
    matrix(:,i)=matrix(:,i)-mean(matrix(:,i));
end
```

Pomocí cyklu *for* je definováno, pro jaký rozsah proměnné *i* bude cyklus probíhat. V tomto případě jde o přirozená čísla v rozsahu 1-4. Příkaz *smooth* slouží k vyhlazení dat, k čemuž využívá filtr s klouzavým průměrem. Výchozí rozpětí filtru činí 5, avšak v tomto případě je rovno vzorkovací frekvenci (*samplFrekvence*). Dále příkaz *mean* podle definice v dokumentaci MATLABu značí střední nebo průměrnou hodnotu daného rozsahu.

Obecně lze říci, že se metoda periodogramu používá pro vyhledávání významných periodických složek v řadách závislých na čase. Jeho lokální extrémy se přitom považují za vhodné ukazatele periodicity. Podle zdroje [18]: „je však třeba nějakým způsobem zjistit, zda lze skutečně vysokou hodnotu periodogramu dávat do souvislosti s periodicitou v řadě“. Je potřeba zjistit, zda jsou některé frekvence periodogramu natolik významné, aby souviseli s periodicitou v řadě. K určení statistické významnosti daného extrému periodogramu slouží Fisherův test periodicity.

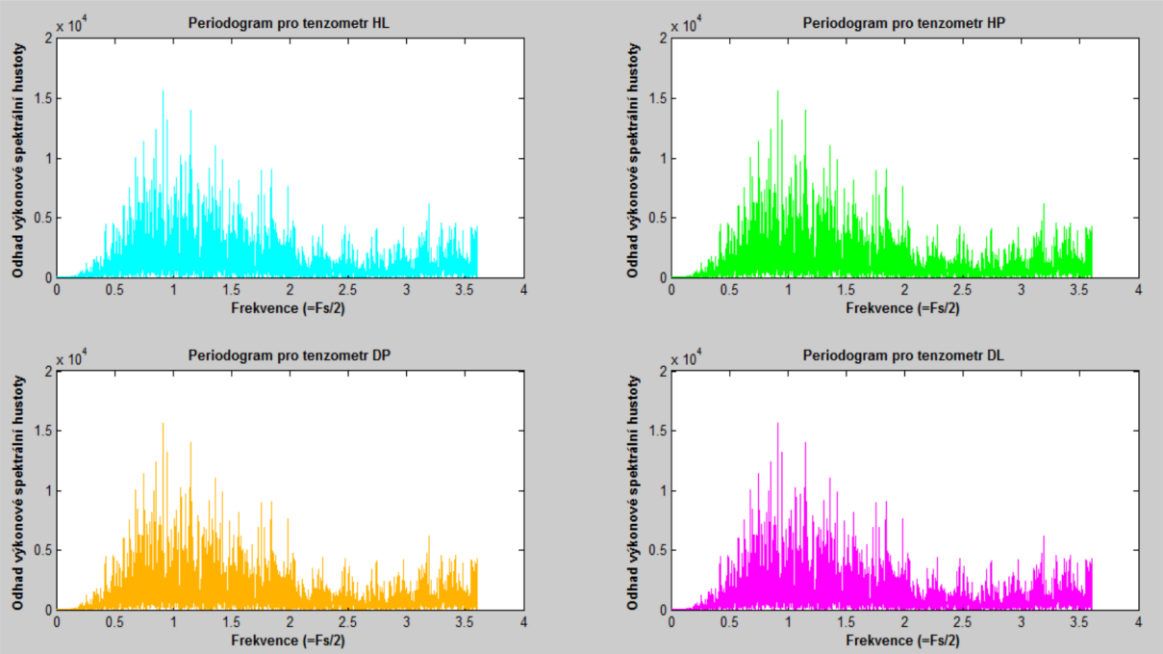
Nulová hypotéza pro Fisherův test říká, že náhodné veličiny jsou tvořeny pouze náhodnými chybami a řada tedy neobsahuje žádnou periodickou složku. Naopak alternativní hypotéza říká, že v řadě existuje alespoň jedna periodická složka. Náhodné veličiny dané řady jsou nezávislé a mají normální rozdělení se střední hodnotou rovnou nule a s rozptylem σ^2, což se formálně zapisuje následovně: $N(0, \sigma^2)$. Počet náhodných veličin je m. Po srovnání hodnot periodogramu podle velikosti od největší V_1 po nejmenší V_m je potřeba vypočítat hodnotu náhodné veličiny W. K tomu slouží následující formule: $W = \frac{V_1}{\sum_{i=1}^{m} V_i}$.

Po vypočtení náhodné veličiny W již lze rozhodnout, zda dominantní hodnota periodogramu je statisticky významná a tím pádem se zamítá nulová hypotéza, či nikoliv. Je-li maximální hodnota periodogramu velká v porovnání s ostatními hodnotami, pak se hodnota náhodné veličiny W nachází blízko jedné. Překročí-li zároveň tato hodnota kritickou hodnotu na dané hladině významnosti α, tak se nulová hypotéza zamítá. V případě srovnatelných hodnot periodogramu, je hodnota náhodné veličiny W přibližně rovna $\frac{1}{m}$ a nulovou hypotézu tudíž nelze zamítnout.

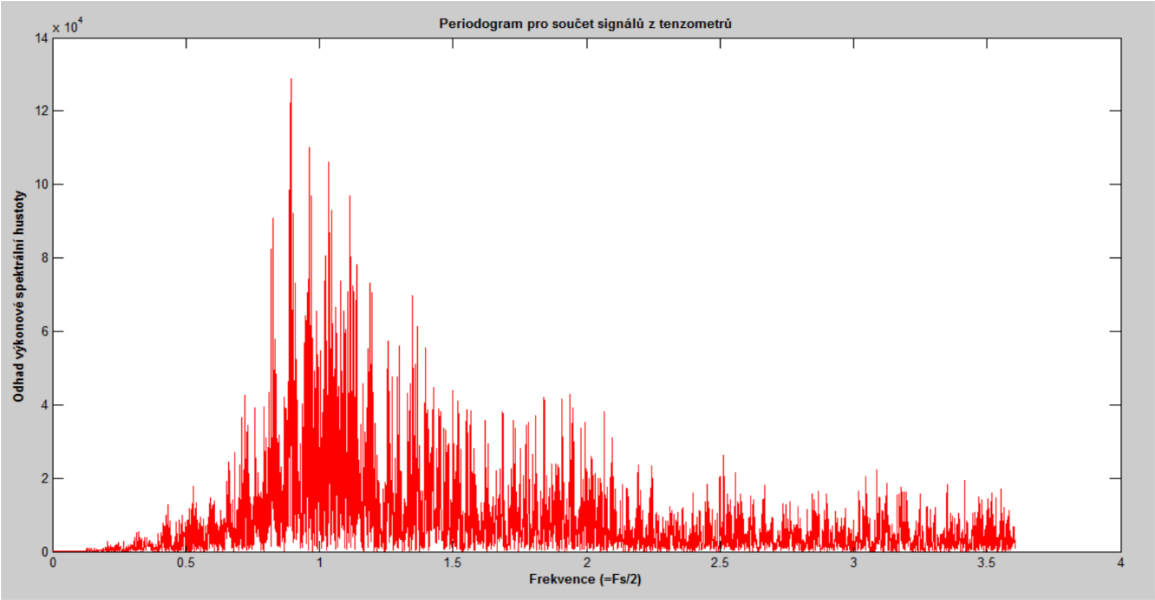
V dokumentaci MATLABu se pod pojmem *Significance Testing for Periodic Component* nachází návod Fisherova testu pro periodogram. Podle tohoto návodu vypadá výpočet testovacího kritéria a kritické hodnoty následovně:

```
[maxval,index] = max(pxx);
fisher_g = pxx(index)/sum(pxx);
f = f(2:end-1);
f(index)
N = length(pxx);
    upper  = floor(1/fisher_g);
    for nn = 1:3
        I(nn) = (-1)^(nn-1)*nchoosek(N,nn)*(1-nn*fisher_g)^(N-1);
    end
pval = sum(I);
```

Nejdůležitější z hlediska analýzy je zde výstup *pval*, jehož hodnota by, v případě zamítnutí nulové hypotézy, měla být menší nebo rovna hladině významnosti α. Hladina významnosti je v tomto případě $\alpha = 0{,}01$.



Obr. 8: *Periodogram pro jednotlivé tenzometry prvního měření (zdroj: autor).*

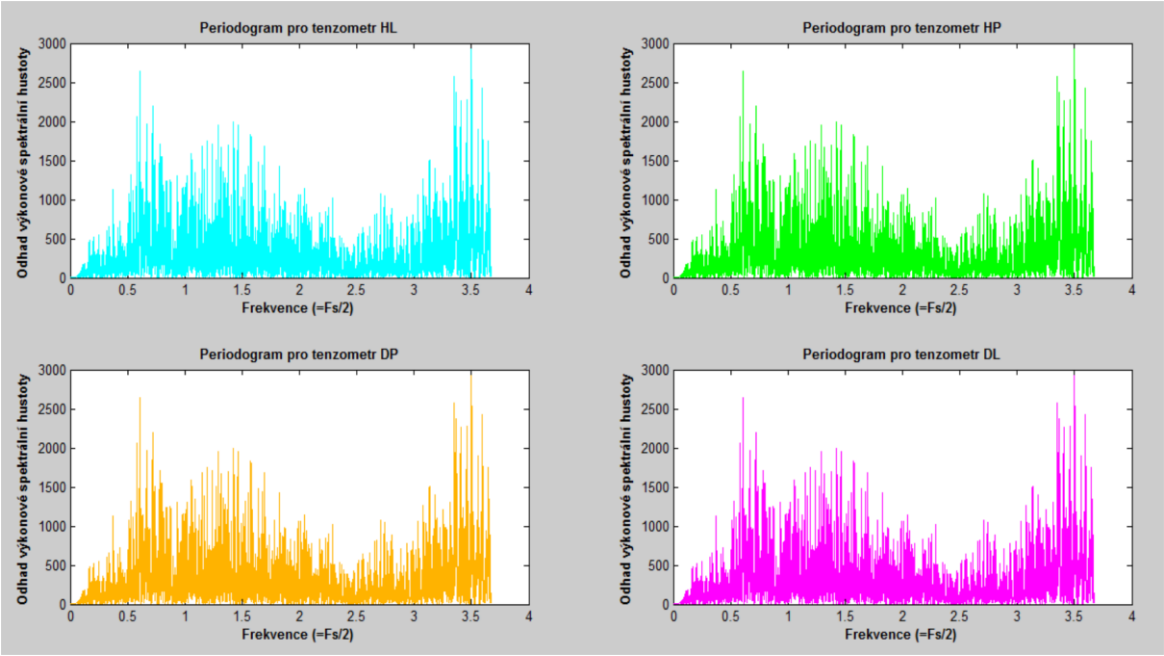


Obr. 9: *Periodogram pro součet signálů prvního měření (zdroj: autor).*

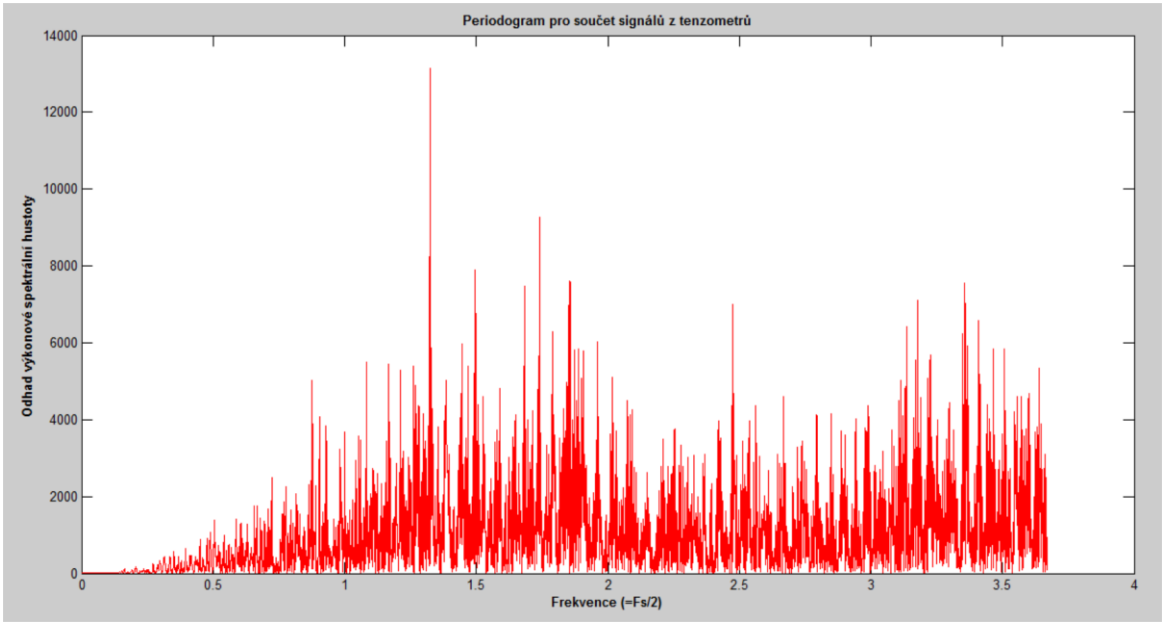
Z grafů na obr. 8 lze pozorovat, že periodogramy pro jednotlivé tenzometry se zdají být srovnatelné. Z hlediska přesnosti, v rámci které pracujeme, nám stačí proto provést Fisherův test pouze pro jeden z těchto periodogramů. Konkrétně byl test proveden pro periodogram tenzometru HL a jeho p-hodnota vyšla následovně $p = 0{,}0119$. Pro ověření předpokladu shody periodogramů jednotlivých tenzometrů byl proveden Fisherův test i pro tenzometr HP a p-hodnota i v tomto případě vyšla $p = 0{,}0119$.

Vzhledem k tomu, že je p-hodnota v obou případech větší než hladina významnosti testu, tak nulovou hypotézu nezamítáme. Lze tedy říci, že periodogramy pro jednotlivé tenzometry prvního měření neobsahují žádnou významnou periodickou složku.

Pro periodogram součtu signálů z tenzometrů na obr. 9 vychází p-hodnota Fisherova testu $p = 0{,}00071305$. V tomto případě je p-hodnota menší než hladina významnosti testu a proto nulovou hypotézu zamítáme. Za významnou periodickou složku pokládáme právě frekvenci $f = 0{,}8954\ Hz$, která přísluší maximální hodnotě periodogramu.



Obr. 10: *Periodogram pro jednotlivé tenzometry druhého měření (zdroj: autor).*



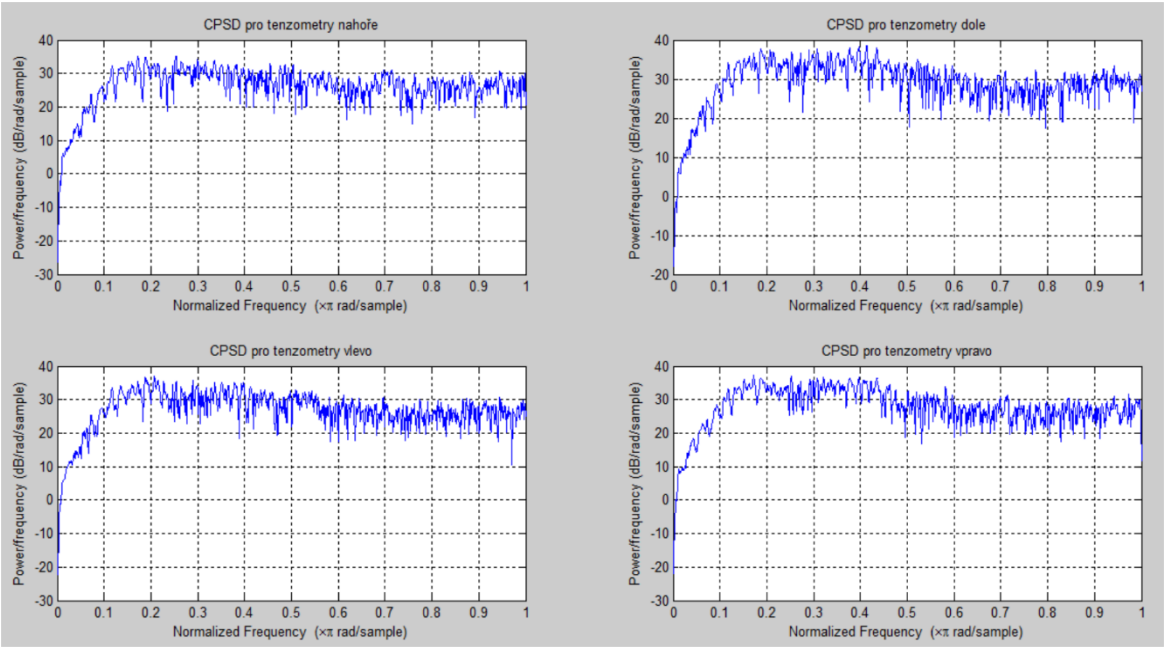
Obr. 11: *Periodogram pro součet signálů druhého měření (zdroj: autor).*

U periodogramů jednotlivých tenzometrů z druhého měření na obr. 10 byl pro Fisherův test vybrán tenzometr HL a jeho p-hodnota činí $p = 0{,}3126$. Tato hodnota je větší než hladina významnosti. Z toho vyplývá, že se nulová hypotéza nezamítá a periodogram neobsahuje žádnou významnou periodickou složku.

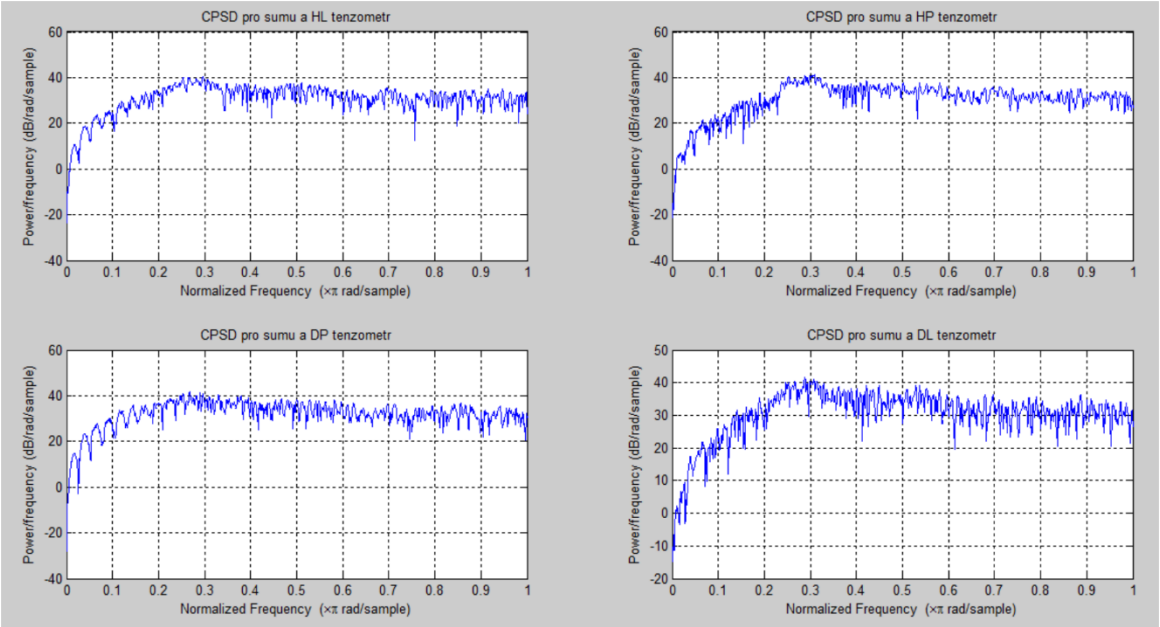
Fisherův test pro periodogram sumy signálů z jednotlivých tenzometrů na obr. 11 dopadl obdobně jako pro periodogramy jednotlivých tenzometrů. Nulová hypotéza se i v tomto případě zamítá, jelikož p-hodnota činí $p = 0{,}0176 > \alpha$.

Příkaz *cpsd*, čili *Cross Power Spectral Density*, představuje vzájemnou výkonovou spektrální hustotu. Obecně jde o odhad vzájemné výkonové hustoty mezi dvěma signály, za použití Welchovy metody. Welchova metoda spočívá v rozčlenění daného signálu do vzájemně se překrývajících segmentů, na které je použita modifikovaná metoda periodogramu. Vypočtené modifikované periodogramy jsou následně průměrovány, čímž se sníží rozptyl daného odhadu. Následně je výsledné spektrum vyděleno součtem kvadrátů hodnot v daném segmentu.

Příkaz pro zobrazení funkce *cpsd* může mít, stejně jako u metody periodogramu, několik možných podob. V tomto případě byla použita následující forma příkazu: *Pxy = cpsd(x, y)*, kde *x* a *y* jsou dva různé, ale stejně dlouhé vektory. Vzhledem k tomu, že zde nejsou zadány další specifické parametry, je hodnota vzorkovací frekvence nastavena normalizovaně, tedy na hodnotu 1. Tyto grafy slouží k tomu, aby se dalo rozhodnout, zda jsou pro všechna čidla grafy *cpsd* v rámci dané snímkovací frekvence stejné a nenachází se v nich žádné extrémní hodnoty. Extrémní hodnoty v některém z grafů by mohly znamenat, že je některý z tenzometrů uvolněn a je potřeba měření opakovat.

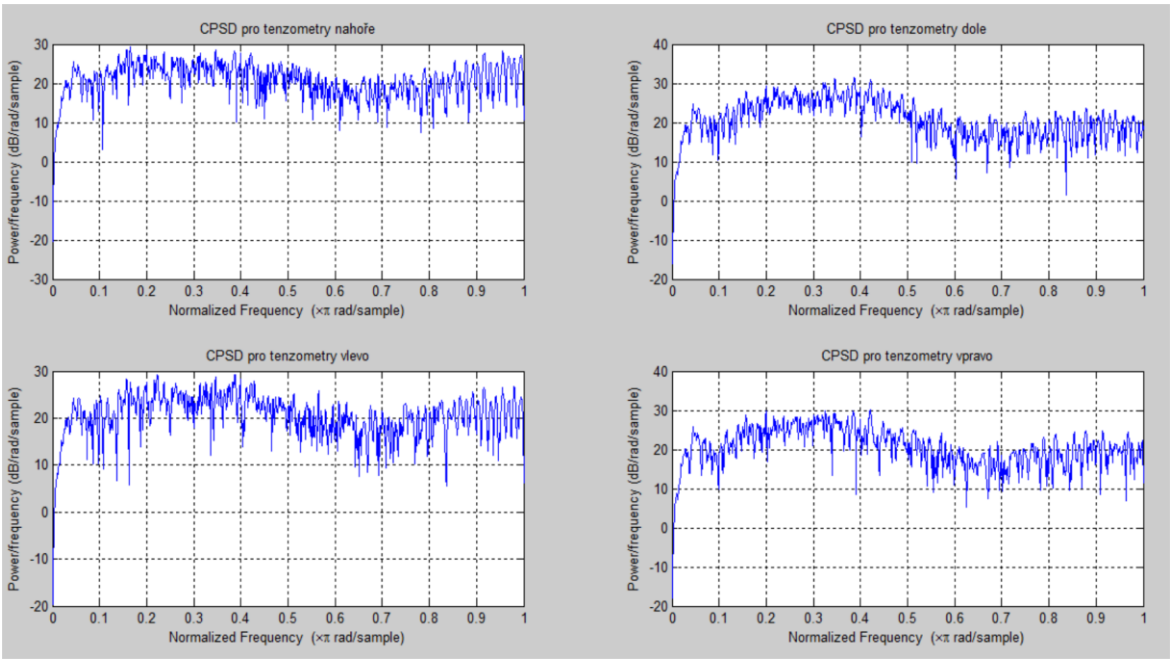


Obr. 12: *Vzájemná výkonová spektrální hustota pro dvojice tenzometrů prvního měření (zdroj: autor).*

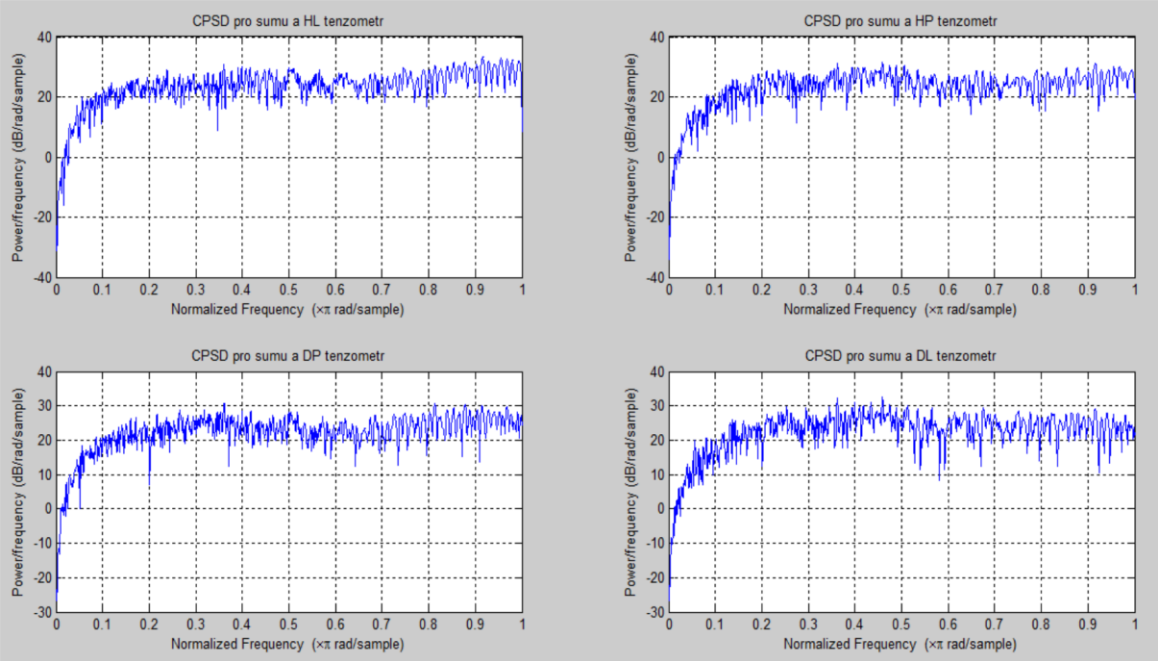


Obr. 13: *Vzájemná výkonová spektrální hustota sumy signálů a jednotlivých tenzometrů pro první měření (zdroj: autor).*

Grafy na obr. 12 i na obr. 13 pro první měření jsou v rámci dané snímkovací frekvence srovnatelné. Data prvního měření tedy nejsou zatížena chybou v důsledku uvolnění některého z čidel.



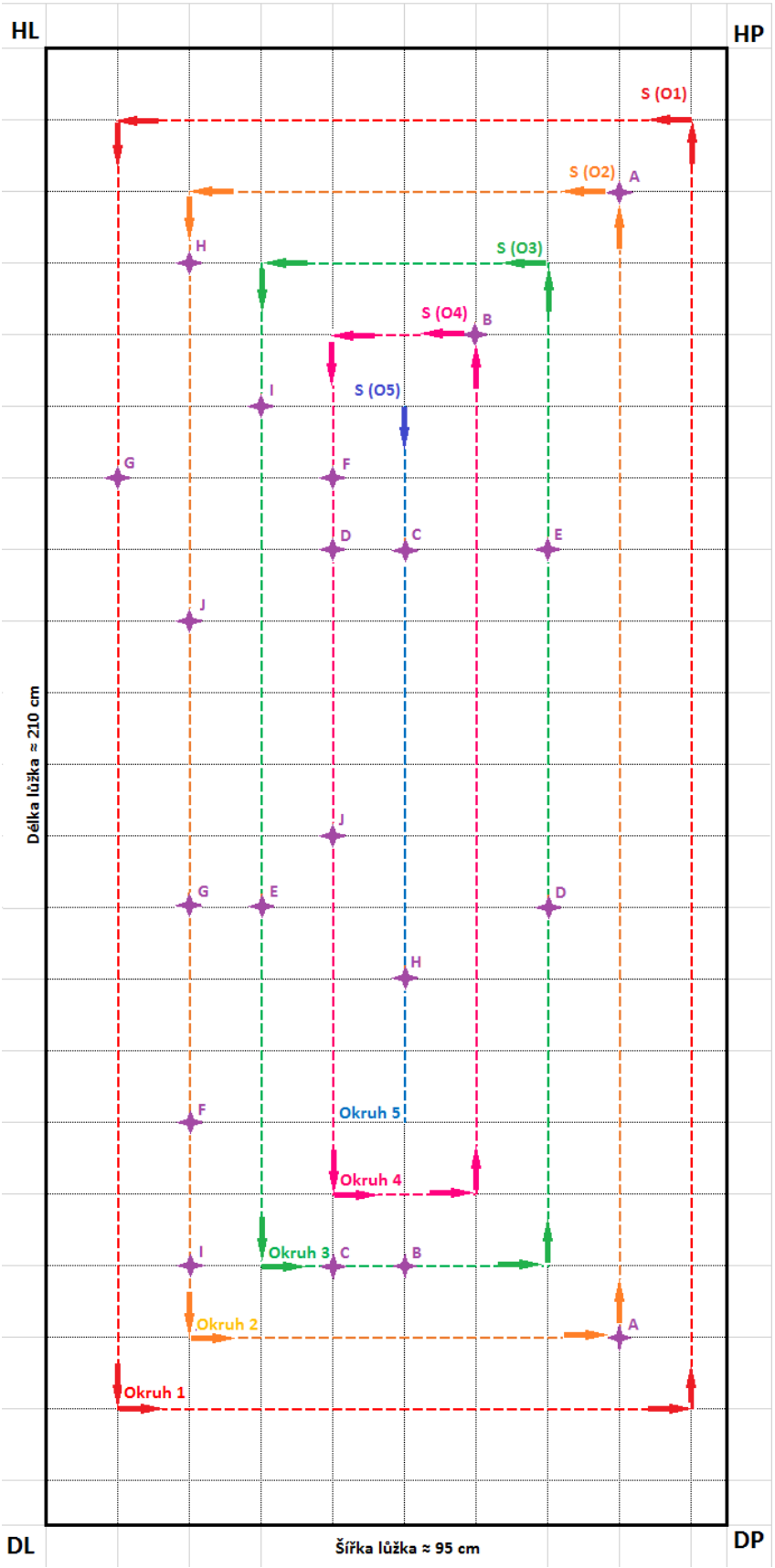
Obr. 14: *Vzájemná výkonová spektrální hustota pro dvojice tenzometrů druhého měření (zdroj: autor).*



Obr. 15: *Vzájemná výkonová spektrální hustota sumy signálů a jednotlivých tenzometrů pro druhé měření (zdroj: autor).*

U druhého měření jsou rozdíly v grafech *cpsd* na obr. 14 a obr. 15 pro dvojice tenzometrů výraznější, než je tomu u prvního měření. V rámci dané snímkovací frekvence se však příliš grafy *cpsd* příliš nevychylují. I data tohoto měření tedy nejsou zatížena chybou v upevnění tenzometru.

2.2. Zpracování kontrolních dat



Obr. 16: *Znázornění pohybu závaží při kontrolním měření po lůžku (zdroj: autor).*

Kontrolní data byla naměřena na totožném nemocničním lůžku, jako data původní, avšak postup měření byl odlišný. Před zahájením měření bylo na dané lůžko umístěno prostěradlo s nakreslenou souřadnicovou sítí. Místo živého subjektu byla použita referenční závaží o přesně definovaných rozměrech a váze.

V první části, ve které daným tělesem pohybovalo po okruzích, šlo o jedno závaží tvaru kotouče o průměru přibližně 14 cm s otvorem ve středu o průměru asi 3 cm a o celkové váze 2 kg. Fotografie z průběhu této části kontrolního měření se nachází v příloze A.

V druhé části měření byla na lůžko pokládána dvě shodná závaží stejných parametrů jako v předchozí části, každé však do jiné části lůžka. Fotografie z průběhu druhé části měření se nachází v příloze B.

Na obr. 16 je dále znázorněno schéma postupu měření obou částí kontrolních dat. Písmenem *S* je vždy označen začátek daného okruhu, přičemž je šipkami naznačen směr posouvání závaží. Zápis dat pro dané okruhy probíhal z vnější části lůžka směrem do jeho středu. Shodnými písmeny jsou dále označeny polohy každé dvojice závaží z druhé části měření.

Forma kontrolních dat je shodná jako forma dat prvního a druhého měření z kapitoly 2.1., včetně přiřazení jednotlivých sloupců matice s daty k tenzometrickým čidlům. Vzorkovací frekvence je však v tomto případě rovna 7,3470 Hz, což je hodnota téměř shodná s hodnotou vzorkovací frekvence druhého měření předešlé části.

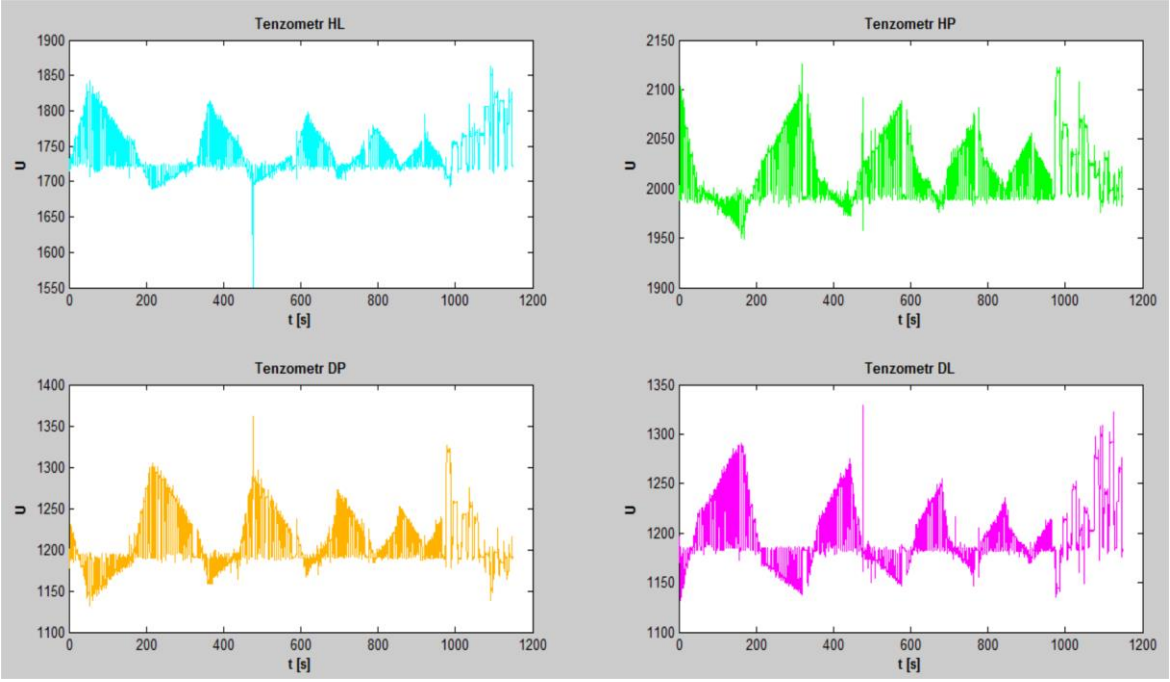
2.2.1. Časové zpracování signálů

Nejjednodušším způsobem, jakým je možno naměřená data zobrazovat, je v závislosti na čase. K tomu byly v prostředí MATLABu opět využity příkazy *subplot* a *plot*. Předtím však bylo pro dostatečně velký vzorek dat potřeba seřadit data z jednotlivých okruhů za sebe v pořadí od vnějšího okruhu směrem do středu. Za tato data byly dále zařazena data z druhé části kontrolního měření. Seřazení dat za sebe bylo realizováno pomocí příkazu: *matice = vertcat(okruh1, okruh2, okruh3, okruh4, okruh5, okruhPismena)*.

Po seřazení dat bylo dále potřeba vypočítat celkový čas pro výslednou matici. Nejdříve byl podle příkazů uvedených v části 2.1.1. pro každý okruh převeden čas na sekundy. Následně byl proveden součet časů pro jednotlivé okruhy a nakonec byl čas opět nadefinován na požadovanou délku, avšak s počátkem v nule.

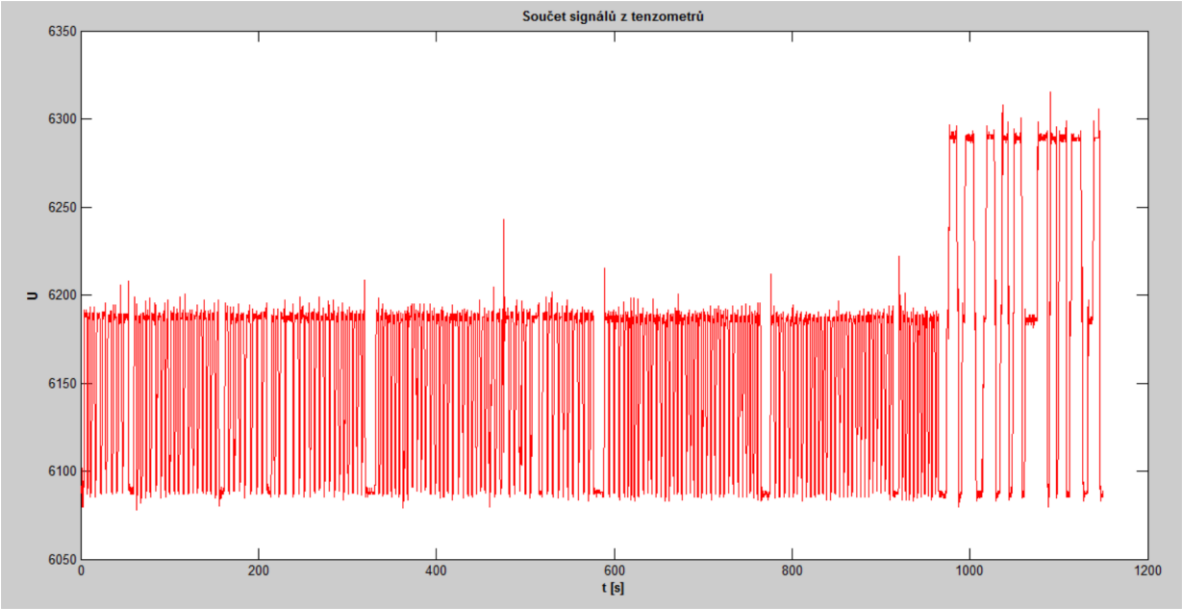
Na obr. 17 jsou zobrazeny časové průběhy signálu pro jednotlivá čidla. První část s okruhy končí v čase 970 s, část s dvěma závažími je zařazena hned za ni. Z dat lze snadno vyčíst, v které části bylo zrovna závaží a to podle maxim v čase. V každém z okruhů se závaží pohybovalo z čidla HP k čidlu HL dále k čidlu DL a nakonec přes čidlo DP zpět na čidlo HP.

Z části s písmeny lze vyčíst, zda jsou čidla, která přísluší danému sloupci matice, pojmenována správně. Z jejich srovnání vyplývá, že ano.



Obr. 17: *Průběhy signálů z jednotlivých čidel pro kontrolní měření (zdroj: autor).*

Na obr. 18 je znázorněn graf součtu signálů daných tenzometrů. Lze z něj pouze vyčíst, kdy bylo na lůžku přítomno závaží a kdy ne, případně kdy započalo měření s dvěma závažími. Druhá část měření s dvěma závažími začíná čase 971 s včetně.



Obr. 18: *Součet výstupních signálů tenzometrů pro kontrolní měření (zdroj: autor).*

2.2.2. Zpracování signálů v amplitudové a frekvenční oblasti

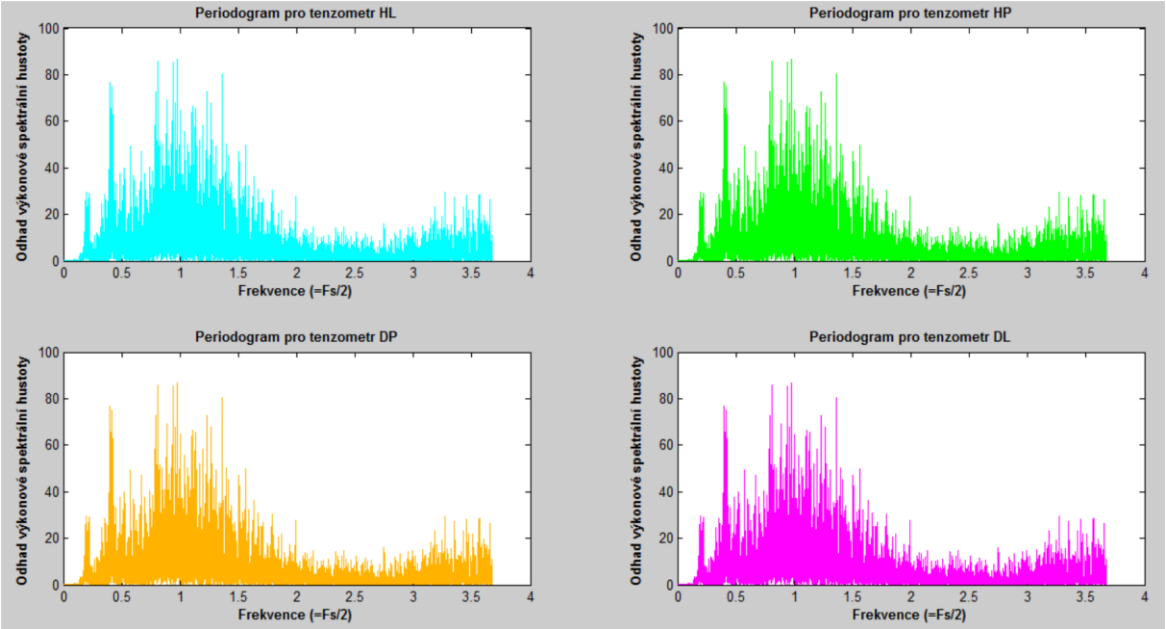
V amplitudové oblasti jsou data popisována pomocí statistických momentů a distribuční funkce. K tomuto účelu je možno využít funkce, které jsou předdefinovány v knihovnách MATLABu a které již byly popsány v kapitole 2.1.2..

První důležitou charakteristikou souboru dat je střední hodnota, pro kterou je použit příkaz *M = mean(matice)*. Pro daný soubor dat je dána řádkovým vektorem o čtyřech složkách s hodnotami: *M = [3489,7; 4055,1; 2386,0; 2355,1]*.

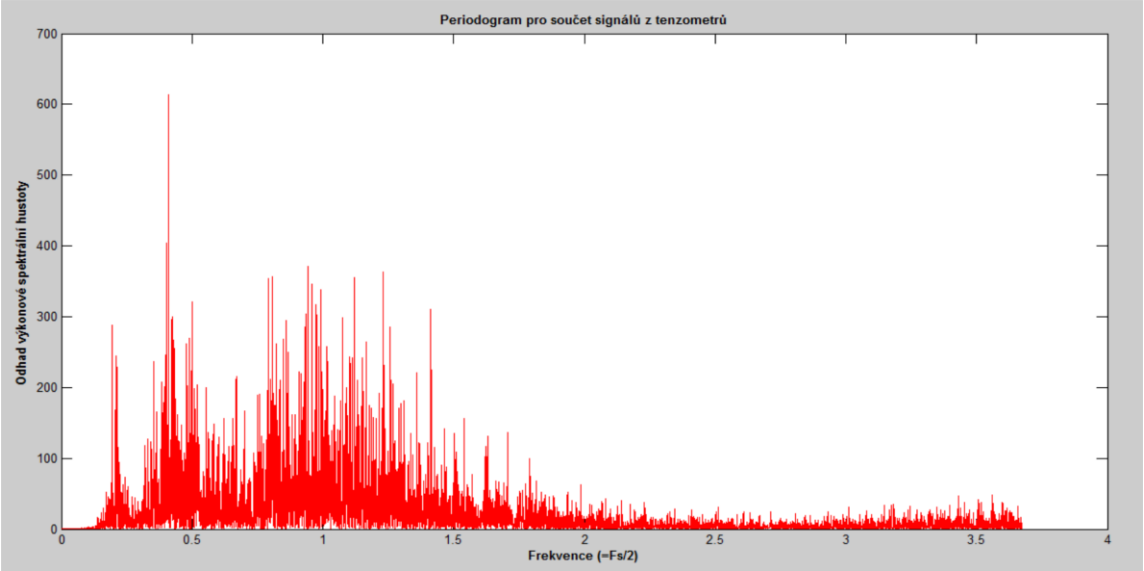
Druhou důležitou charakteristikou je směrodatná odchylka, která je při normálním rozdělení pravděpodobností rovna druhé odmocnině nevychýleného rozptylu. V MATLABu se počítá pomocí funkce o předpisu *s = std(matice, flag)*, kde vlastnost *flag* je rovna jedné, jelikož jde o základní soubor dat. Hodnoty směrodatných odchylek pro jednotlivé sloupce matice jsou vypsány pomocí následujícího čtyř-vektoru: *s = [62,9534; 62,4205; 65,3588; 63,8843]*.

Při rozboru dat ve frekvenční oblasti je stejně jako v části 2.1.2. kladen důraz především na výkonovou spektrální hustotu. Ta úzce souvisí s metodou periodogramu a cpsd.

Stejně jako u dat prvního a druhého měření zde byly použity shodné příkazy pro vykreslení periodogramů i pro Fisherův test. Pomocí Fisherova testu opět testujeme nulovou hypotézu, že se v daném souboru nenachází žádná významná periodická složka, oproti alternativní hypotéze, že existuje alespoň jedna významná periodická složka souboru. Hladina významnosti testu, na které se daná hypotéza testuje, má hodnotu $\alpha = 0{,}01$.



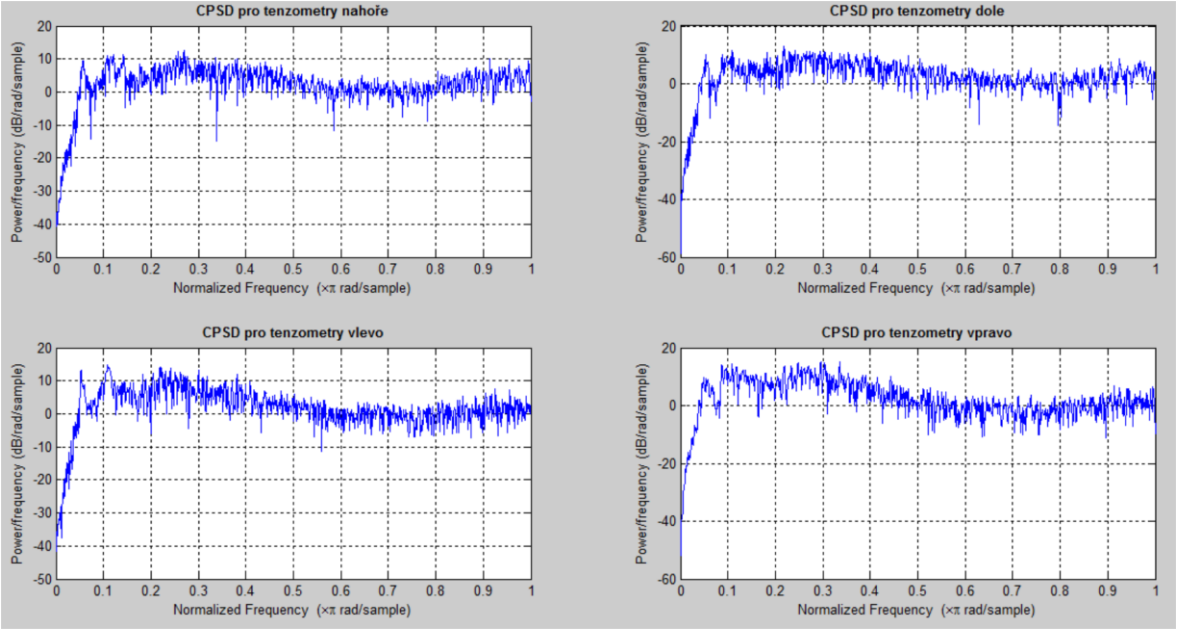
Obr. 19: *Periodogram pro jednotlivé tenzometry kontrolního měření (zdroj: autor).*



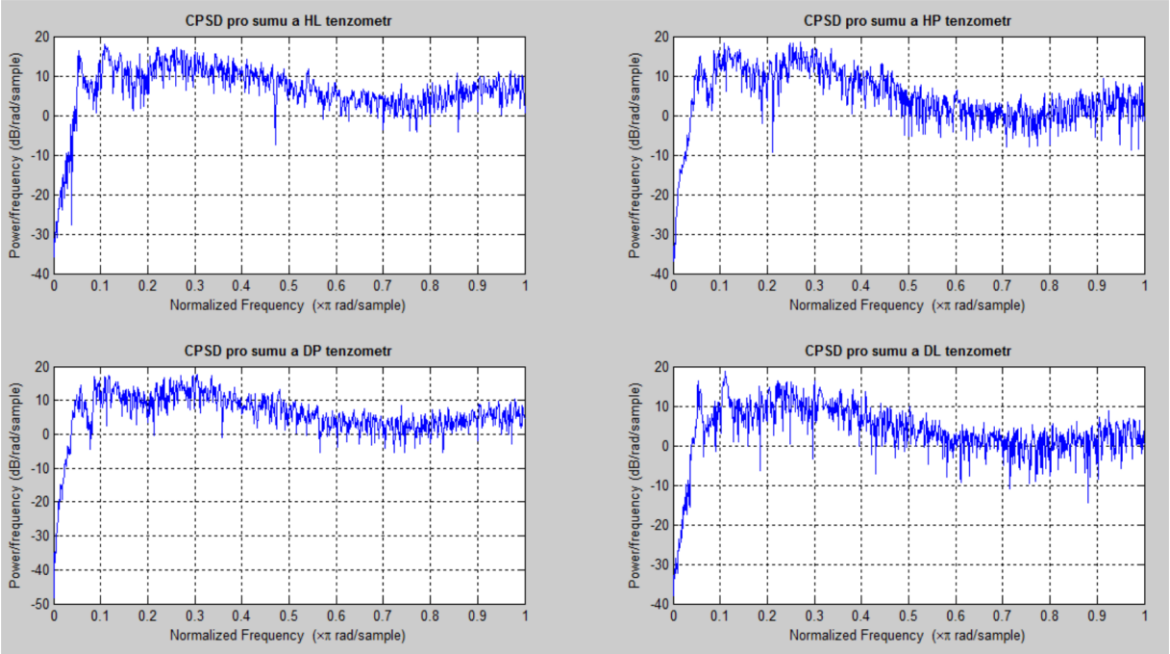
Obr. 20: *Periodogram pro součet signálů kontrolního měření (zdroj: autor).*

Periodogramy kontrolního měření pro jednotlivé tenzometry na obr. 19 jsou opět srovnatelné. Fisherův test byl proveden pro tenzometr HL, přičemž jeho p-hodnota je $p = 0{,}0093$. Výsledná hodnota testu je menší než hodnota testovacího kritéria, proto se nulová hypotéza zamítá. Významnou periodickou složkou je v tomto případě frekvence $f = 0{,}9731\ Hz$, která odpovídá maximální hodnotě periodogramu.

Pro periodogram sumy signálů jednotlivých tenzometrů na obr. 20 je p-hodnota Fisherova testu $p = 1{,}2989 \cdot 10^{-8}$. Tato hodnota je mnohem menší a proto se nulová hypotéza zamítá ve prospěch alternativní hypotézy. Významnou periodickou složkou je frekvence $f = 0{,}4099\ Hz$.



Obr. 21: *Vzájemná výkonová spektrální hustota pro dvojice tenzometrů kontrolního měření (zdroj: autor).*

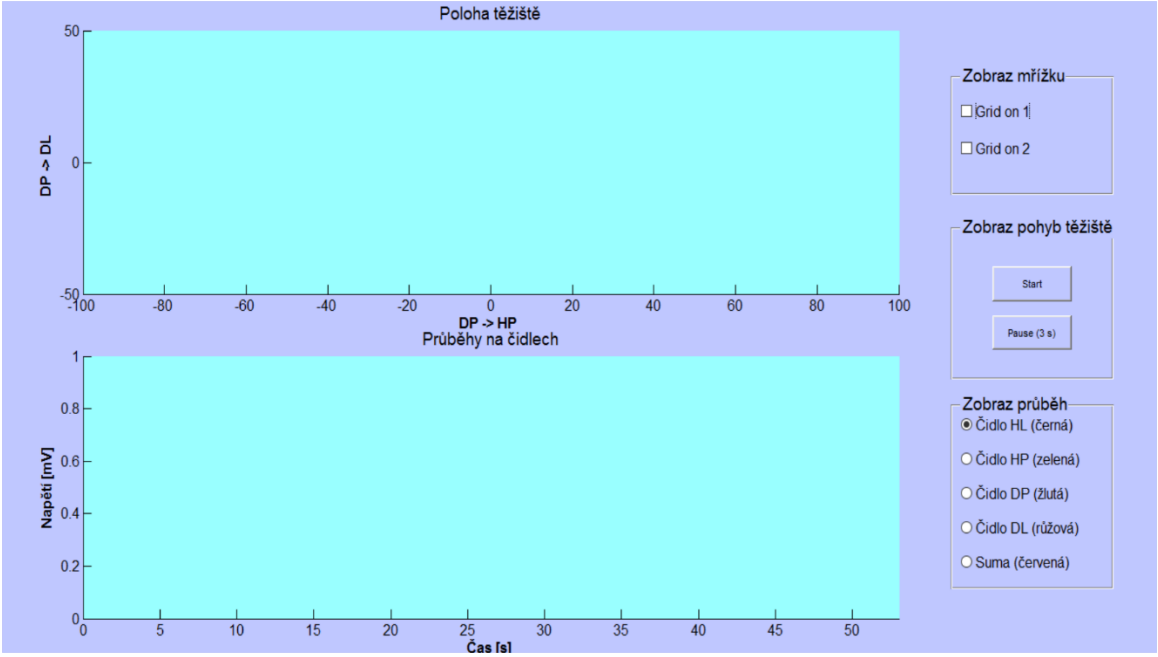


Obr. 22: *Vzájemná výkonová spektrální hustota sumy signálů a jednotlivých tenzometrů pro kontrolní měření (zdroj: autor).*

Grafy *cpsd* na obr. 21 a na obr. 22 kontrolního měření se stejně jako u původních dat vzájemně výrazně neliší. Lze tedy předpokládat, že i v tomto případě proběhlo měření bez toho, aby došlo k uvolnění některého z tenzometrů.

2.3. Program vyhodnocující polohu těžiště

Program, vyhodnocující polohu těžiště pacienta na lůžku, se naprogramovat podařilo a je k nalezení v příloze C. V první části této kapitoly budou nejdříve popsány jednotlivé části programu včetně použitých funkcí a grafických prvků. V druhé části kapitoly bude popsána funkčnost programu a postup nalezení přesné polohy tenzometrických čidel.



Obr. 23: *Podoba aplikace při jejím spuštění (zdroj: autor).*

2.3.1. Popis jednotlivých částí programu

Navržený program má podobu funkce, která se obecně definuje: *function [výstupní_parametry] = jméno_funkce(vstupní_parametry)*. Zde je však funkce definována následovně: *function Teziste_fin(matice,HH,MM,SS)*. Na začátku je nejdříve klíčové slovo *function*, které uvozuje danou funkci. Vzhledem k tomu, že funkce nemá žádné výstupní parametry, tak následuje název celé funkce *Teziste_fin*. V závorce za funkcí jsou uvedeny všechny její vstupní parametry. Celá funkce musí být nakonec ukončena klíčovým slovem *end*.

Prvním vstupním parametrem dané funkce je *matice*, kterou v upravených datech představuje čtyř-vektor s údaji z jednotlivých čidel. V případě původních dat jde o *D1matrix* (*D2matrix*). V případě kontrolních dat má matice pro část prvního okruhu podobu *O1_DS* (*O1_HS*, *O1_PS*, *O1_LS*), pro následující okruhy má podobu *O2celyOkruh* (*O3celyOkruh*, *O4celyOkruh*, *O5celyOkruh*) a nakonec pro část s dvěma závažími *OPismena*.

Následující tři zbývající vstupní parametry funkce představují vektory s časovými údaji, kde *HH* jsou hodiny, *MM* minuty a *SS* sekundy, které přísluší danému měření a okruhu. U původních dat jsou časové údaje pro dané měření rozlišeny indexy 1 a 2, kde index 1

náleží k matici *D1matrix*. U kontrolních dat je vždy uveden nejdříve daný okruh, následně je vloženo podtržítko a nakonec typ časového údaje, například hodiny *HH*.

Všechny další části kódu včetně tzv. vnořených funkcí jsou vloženy přímo do hlavní funkce. Vnořené funkce se definují podle stejných pravidel jako funkce, avšak nejsou mimo nadřazenou funkci viditelné. Navíc vnořené funkce dokáží sdílet proměnné, které byly definovány v nadřazených funkcích. V tomto programu je celkem sedm vnořených funkcí, které popořadě spolu se zbylými částmi kódu budou popsány níže.

Na začátku hlavní funkce bylo potřeba upravit načtená data do vhodné podoby. Od každého řádku příslušného čidla byla odečtena hodnota na čidlu při nezatíženém lůžku a následně byl každý řádek vydělen kalibrační konstantou pro dané čidlo. Dále byl převeden čas do podoby sekund s počátkem v nule, jak tomu bylo i při zpracovávání dat v předchozích částech práce.

Následuje cyklus *for*, který pro počet vstupů (*nargin*) rovný nule nebo čtyřem spustí část kódu v něm obsaženou. Uvnitř tohoto cyklu jsou definovány grafické prvky, které se při správném spuštění funkce vytvoří. Nejdříve je definováno okno klíčovým slovem *figure*, přičemž v závorce jsou definovány jeho vlastnosti. Do tohoto okna se dále budou vkládat další grafické prvky. Nejdříve jsou v okně *figure* definovány dva páry os, uvozených klíčovým slovem *axes*, spolu s jejich základními vlastnostmi, uvedenými v závorce. Za každý pár os je vložena část kódu, definující název daného *axes* a popisky daných os.

Po osách následují tři skupiny tlačítek. Každá skupina se nachází v rámečku, který se definuje klíčovým slovem *uibuttongroup*. V závorce je pak před vlastnostmi rámečku definován grafický prvek, do kterého se má rámeček umístit, v tomto případě jde o *figure* (okno voláme přes jeho *handle*, což je hodnota charakteristická pro daný objekt, zde *F1*).

V první skupině tlačítek, s *handle UP1*, se nachází tzv. radio buttons, tedy zaškrtávací pole s jednotlivými možnostmi, kde v jednu chvíli může být zaškrtnuto pouze jedno z nich. Jde o pět tlačítek, kde každé je uvozeno klíčovým slovem *uicontrol*. V závorce se následně nejdříve uvádí nadřazený prvek, tedy *UP1*, a následně vlastnosti tlačítka. Nejdůležitější vlastností tlačítek obecně je vlastnost *'Style'*, která definuje typ tlačítka, v tomto případě nastavená na hodnotu *'radiobutton'*.

Druhá skupina tlačítek, s *handle UP2*, tentokrát obsahuje tzv. checkboxes, čili zaškrtávací pole, kde zaškrtnutí jednoho z nich nevylučuje zaškrtnutí jiného. Obě pole vždy mohou nabývat hodnoty buď *true* (1), nebo *false* (0). Oproti předchozí skupině tlačítek je rozdíl pouze v prvku nadřazeném danému tlačítku, zde *UP2*, a ve vlastnosti *'Style'*, nastavené na hodnotu *'check'*.

Poslední skupina tlačítek, s *handle UP3*, obsahuje tzv. pushbuttons, tedy klasická tlačítka. Oproti první skupině tlačítek je opět rozdíl v nadřazeném prvku, zde *UP3*, a ve vlastnosti *'Style'*, o hodnotě *'pushbutton'*. Navíc je zde vlastnost *'Interruptible'*, tedy

možnost přerušit stlačení tlačítka, nastavená na hodnotu *'on'*.

Po třetí skupině tlačítek cyklus *for* končí. Následuje přiřazení funkcí k výše zmíněným tlačítkům. Nejdříve je nastavena funkce *radiobutton_call* pro celou skupinu tlačítek *UP1*. Funkce se volá vždy v případě, že došlo ke změně v zaškrtnutí v této skupině. Volaná funkce je umístěna téměř na konci programu a je uvozena následovně: *function []=radiobutton_call(varargin)*. Na začátku této funkce se volá její vnitřní funkce *kresleni2(matice, t, M.A2)*.

Ve funkci *kresleni2* jsou přitom pouze definovány časové průběhy signálů, které se budou vykreslovat pomocí příkazu *line*, ale zatím jsou skryté. Po zavolání funkce *kresleni2* jsou načteny hodnoty z radiobuttons, z nichž program zjistí, které z polí je zaškrtnuté. Následuje několik vnořených *if-else* cyklů pro jednotlivé možnosti zaškrtnutí daných polí, které jsou nakonec zakončeny klíčovým slovem *end*. Každý z těchto cyklů přitom říká, který průběh z funkce *kresleni2* se v případě zaškrtnutí daného pole zobrazí. Nakonec je pomocí *end* zakončena i funkce *radiobutton_call*.

Dále jsou nastaveny volající funkce pro každý z checkboxes zvlášť, přičemž tyto funkce spolu korespondují. Princip bude vysvětlen na funkci *checkbox1_Callback*. Na začátku této funkce se načítá hodnota pro *checkbox1*, tedy informace o zaškrtnutí jeho pole. Následuje cyklus *if-else*, který říká, že pokud je pole pro *checkbox1* zaškrtnuté, tak se v objektu *axes1* vykreslí mřížka, v opačném případě se mřížka vypne. Nakonec jsou cyklus i funkce ukončeny pomocí *end*.

Po volání funkcí pro checkboxes následuje volání funkcí pro zbylá dvě tlačítka *button*. U obou tlačítek se opět nejdříve načítá jejich hodnota, tedy zda došlo k jejich zmáčknutí. Dále se však akce pro každé z tlačítek liší. U tlačítka *Start* se nejdříve vymažou všechny grafické objekty z *axes1* a následně se v případě zmáčknutí tlačítka zavolá funkce *kresleni1*, která probíhá tak dlouho, dokud je tlačítko zmáčknuté. Funkce *kresleni1* bude vysvětlena dále. V případě tlačítka *Pause (3 s)* se v případě jeho zmáčknutí na 3 sekundy zastaví program a následně se nastaví hodnota tlačítka na inverzní hodnotu. Obě funkce jsou opět ukončeny klíčovým slovem *end*.

Nakonec je potřeba popsat pouze funkci *kresleni1*, která se volá při stisknutí tlačítka *Start*. Jde o funkci, pomocí které se v *axes1* zobrazuje pohyb těžiště, dopočítávaného ze signálů z jednotlivých čidel. Na začátku je definována nová matice *maticeA*, do které se následně načítají původní, avšak mírně přepracovaná, data a následně je z těchto dat vypočítána nová *sumaA*. Dále jsou definovány směrové vektory, které v zakomentované části kódu směřují do rohů lůžka, v aktivní části kódu směřují do míst, kde by se reálně měla nacházet tenzometrické čidla.

Následuje cyklus *for*, ve kterém se pro každý řádek matice dopočítává poloha těžiště. V cyklu jsou nejdříve definovány vektory pro jednotlivá čidla pomocí směrových vektorů násobených danou hodnotou na čidle a hodnotou 100 a následně dělených odpovídající hodnotou vektoru *sumaA*. Z těchto vektorů je dále postupně vypočítán

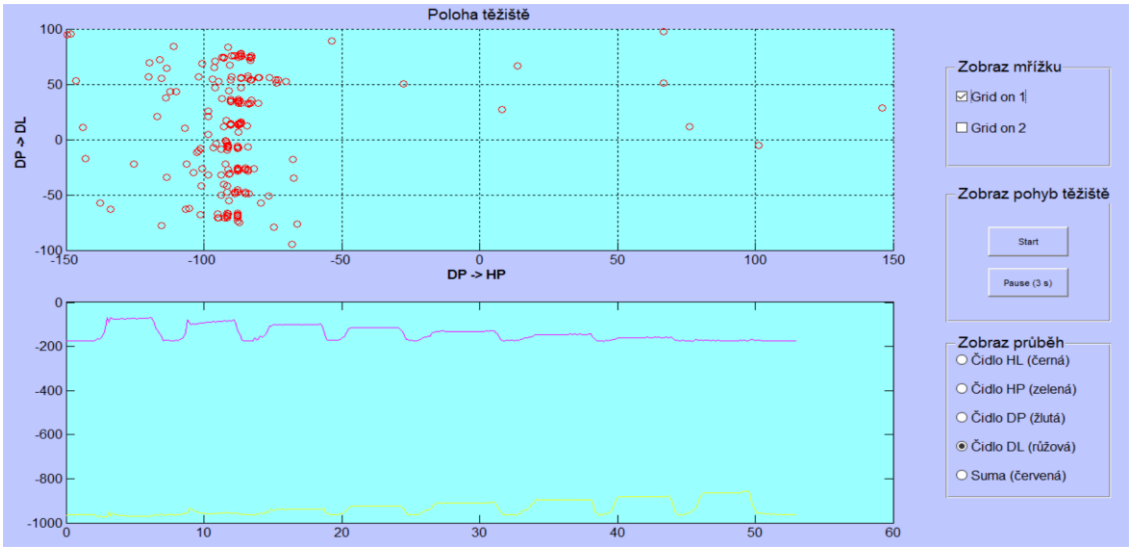
dvou-vektor *final*, který je za hraničních podmínek v cyklu *if-else* postupně vykreslován ve dvou různých barvách. V případě, že se dopočítaná poloha těžiště nachází ve vymezeném prostoru, je barva koleček modrá, v opačném případě je červená.

Dále je zde definovaný troj-vektor *fin*, jehož délka je o jedno větší než délka vektoru *final*. Vektor *fin* je důležitý především kvůli jeho třetímu sloupci, ve kterém se zaznamenává vždy hodnota 0 nebo 1 podle toho, zda se poloha těžiště nachází ve vymezeném prostoru či nikoliv. Hodnoty tohoto sloupce mohou dále sloužit například jako vstup pro bzučák, který upozorní personál nemocnice na hrozbu pádu pacienta. Po ukončení cyklu *if-else* je za každým dopočítaným řádkem dvou-vektoru *final* nastavena pauza na hodnotu 0,05 s a je zde vloženo klíčové *hold on*, díky kterému již vykreslená kolečka nemizí, ale zůstávají v *axes1* nadále vykreslená.

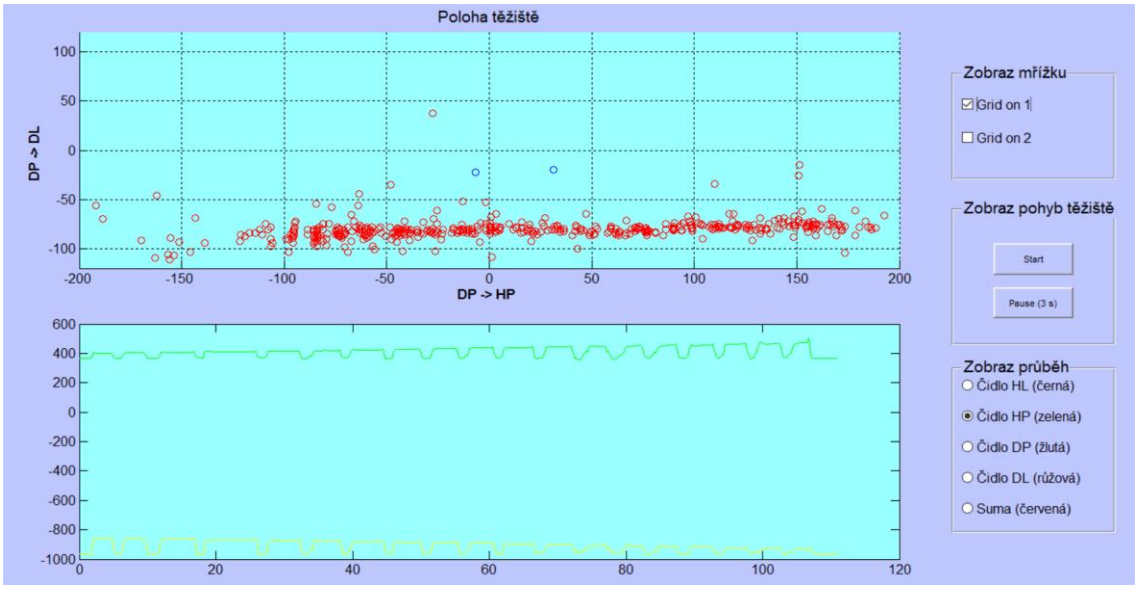
2.3.2. Funkčnost programu

Celkově program funguje dobře a všechny grafické objekty fungují. První chyba, která byla při spouštění programu odhalena, nastává při stisknutí tlačítka *Start*, kdy sice funguje zobrazování pohybu těžiště v *axes1*, avšak zmizí veškeré grafy zobrazené v *axes2*, včetně jejich pozadí. Tuto chybu se bohužel nepodařilo opravit, avšak podstatné je, že při opětovném stisknutí některého z radiobuttons zobrazování průběhů opět bez problémů funguje.

Druhá zpozorovaná chyba nastává u některých dat v případě spuštění části zobrazující pohyb těžiště. Jde především o první okruh kontrolních dat, kdy se závaží reálně pohybuje po okraji lůžka, avšak v *axes1* se některé dopočítané hodnoty neobjeví. Při zvětšení rozsahu os *axes1* bylo odhaleno, že se některé dopočítané hodnoty opravdu objevují až za hranicí lůžka, což je znázorněno na obr. 24 a na obr. 25. Tato chyba je způsobena tím, že se tenzometrická čidla opravdu reálně nenachází v rozích lůžka. Řešení této chyby spočívá v určení správných hodnot směrových vektorů.



Obr. 24: *Zobrazení pohybu těžiště pro data 01_DS v případě směrových vektorů, směřujících do rohů lůžka (zdroj: autor).*

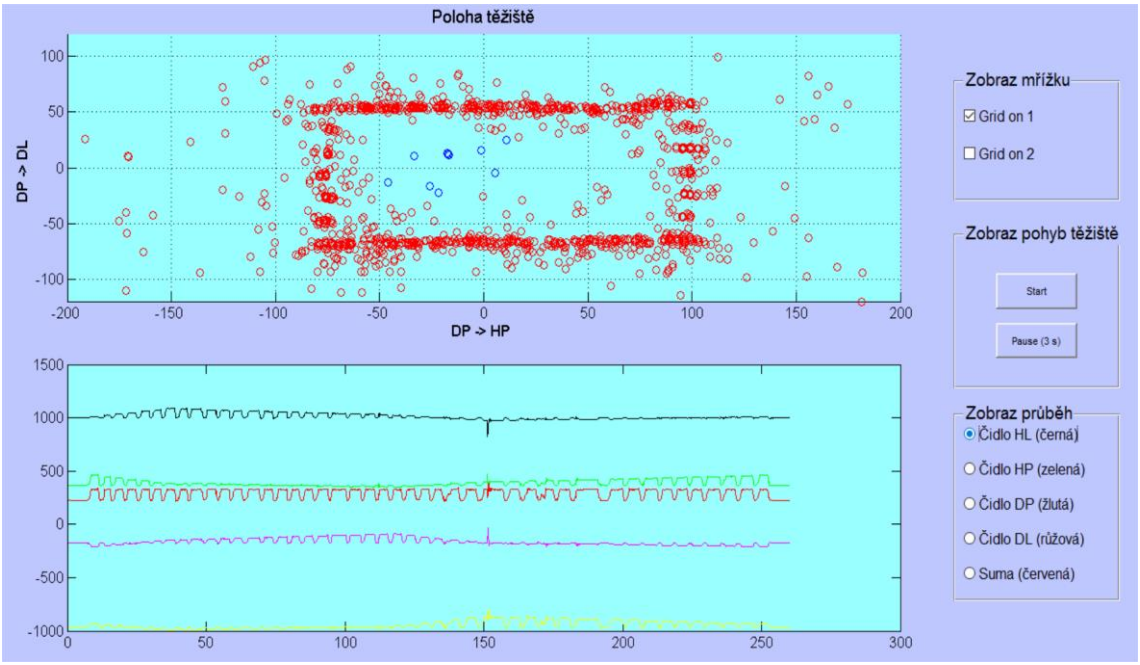


Obr. 25: *Zobrazení pohybu těžiště pro data O1_PS v případě směrových vektorů, směřujících do rohů lůžka (zdroj: autor).*

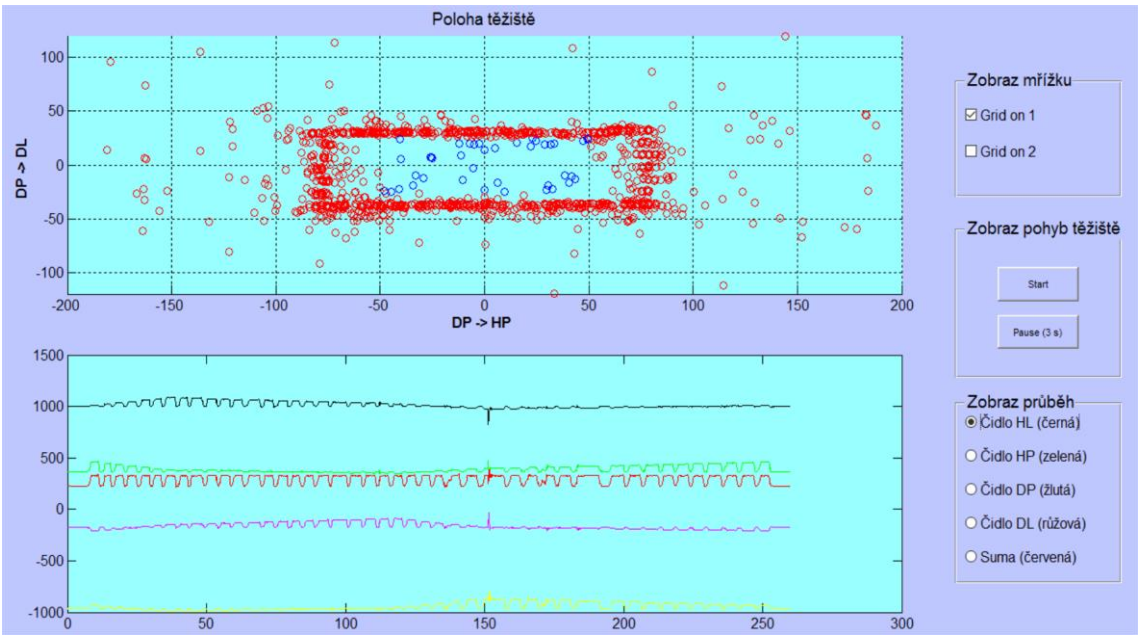
Bylo zjištěno, že tenzometry v horní a dolní části lůžka nejsou stejně vzdáleny od kratšího okraje. Naopak tenzometry v levé a pravé části lůžka jsou od delšího okraje vzdáleny o stejnou vzdálenost. Z kontrolních dat, u kterých známe aktuální pozici těžiště, byly směrové vektory určeny následovně:

```
a=[0.7 0.25];
b=[0.7 -0.25];
c=[-0.9 -0.25];
d=[-0.9 0.25];
```

Pro porovnání je na obr. 26 zobrazen pohyb těžiště pro *O2celyOkruh* pomocí kódu se směrovými vektory, směřujícími do rohů lůžka, a na obr. 27 pohyb těžiště pro stejný okruh, avšak již s upravenými směrovými vektory.



Obr. 26: *Zobrazení pohybu těžiště pro data O2celyOkruh v případě směrových vektorů, směřujících do rohů lůžka (zdroj: autor).*



Obr. 27: *Zobrazení pohybu těžiště pro data O2celyOkruh v případě upravených směrových vektorů (zdroj: autor).*

Závěr

V teoretickém úvodu této práce je možné se seznámit nejen s lůžkem Eleganza 3XC, ale především s tenzometrickými čidly, která jsou jeho součástí, a s principy jejich fungování. Při zpracování těchto částí se vycházelo ze starších i novějších zdrojů informací, které se však v některých částech mírně rozcházely. Teoretický úvod se dále dotýká i programu MATLAB, jehož nastudování bylo předpokladem pro zvládnutí praktické části této práce. Ke studiu tohoto programu bylo kromě knižních zdrojů využito především dokumentace MATLABu, která je běžně součástí jeho instalačního souboru.

Praktická část se nejdříve zaměřila na určení základních parametrů daných dat, jako je přiřazení čidel k danému sloupci naměřených dat či určení snímkovací frekvence jednotlivých měření. Dále se pomocí programu MATLAB daná data zobrazovala a analyzovala. Data se zobrazovala v časové závislosti a jednotlivé části grafu byly detailně popsány a porovnány. V případě původních dat byly navíc grafy srovnány i s videozáznamy z měření, v případě kontrolních dat pak se schématem měření.

K analýze dat byly využity především dvě metody, metoda periodogramu a metoda cpsd. Obě metody byly vždy před jejich prvním použitím popsány a bylo vysvětleno, proč jsou zde použity. U první z metod bylo také potřeba vysvětlit některé pojmy z oblasti frekvenční analýzy dat. K metodě periodogramu bylo dále potřeba využít statistického testu, jehož celý název je Fisherův test periodicity. Tento test je v práci také vysvětlen a je odůvodněno jeho použití.

V další části bylo potřeba splnit hlavní úkol této práce, naprogramovat program, který by zobrazoval pohyb těžiště. Součástí tohoto programu měl navíc být i alarm, který by upozornil na možnost opuštění lůžka pacientem či hrozbu jeho pádu. Obě části tohoto úkolu byly splněny. Program je funkční a alarm má momentálně vizuální podobu, přičemž je v programu zahrnuta i příprava na alarm akustický.

Vizuální alarm spočívá v dvojí barvě značek. V případě, že se poloha těžiště nachází uvnitř vymezených hranic, je barva značek modrá, v opačném případě je barva značek červená. K akustickému alarmu by bylo pouze potřeba připojit bzučák či podobné zařízení, které by vydávalo zvuk v případě, že hodnota třetího sloupce proměnné *fin* bude rovna jedné.

Jako přidanou hodnotu při programování daného programu bylo možné z naměřených dat určit polohu tenzometrických čidel. Vzdálenost čidel od delšího okraje lůžka vyšla přibližně 25 cm. V případě čidel v horní části lůžka pak byla určena vzdálenost od kratšího okraje na zhruba 30 cm, v případě čidel v dolní části lůžka na asi 10 cm.

V dalším pokračování této práce by bylo možné dokončit akustický alarm daného systému, či zpřesnit určení polohy tenzometrických čidel. Dále by bylo vhodné odladit zbylé nedostatky navrženého programu.

Závěrem bych chtěla vyhodnotit všechny úkoly této práce jako splněné a upozornit na důležitost těchto preventivních systémů v oblasti zdravotnictví.

Seznam použité literatury

[1] LINET. *Eleganza 3XC: Lůžko pro intenzivní péči.* [Brožura] Želevčice, 01/2013. Dostupné z: https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjfxuO4oOnMAhUBaxQKHd9jCfUQFggyMAM&url=http%3A%2F%2Fwww.linet.com%2F-%2Fmedia%2FMedia-Catalogue%2Fdocuments%2Fbeds%2Feleganza3xc%2FEleganza_3xc_CZ.ashx&usg=AFQjCNGahEJt2urq3EsqJkbs-eS3J1JpQg

[2] LINET. Eleganza 3XC*. www.linet.com/cs* [online]. © 2013-2015 [cit. 2016-06-02]. Dostupné z: http://www.linet.com/cs/zdravotnictvi/luzka/luzka-pro-intenzivni-peci/eleganza-3xc

[3] MORAVEC, Stanislav. *„Inteligentní pacientské lůžko": Návrh zařízení pro snímání pohybové aktivity pacienta*. Kladno, 2012 [cit. 2016-06-02]. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství.

[4] *Malá Československá encyklopedie*. 1. vydání. Praha: Academia, 1987, sv. 6, s. 158-159.

[5] CYRUS, P. a B. ZAJÍC. Příspěvek k návrhu a konstrukci deformačních článků pro tenzometrické snímače. **In:** *Modernizace vysokoškolské výuky technických předmětů: Sborník příspěvků a anotací mezinárodní vědecké konference.* Hradec Králové: Gaudeamus, 2010, s. 9. ISBN: 978-80-7435-014-6. ISSN: 1214-0554.

[6] Tenzometr. In: *Wikipedia: the free encyklopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 13. 02. 2008, last modified on 25. 04. 2016 [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Tenzometr

[7] VLK, Miloš, Lubomír HOUFEK, Pavel HLAVOŇ, Petr KREJČÍ, Vladimír KOTEK a Jiří KLEMENT. *Experimentální mechanika*. Brno, 2003, 147. Dostupné z: http://ean2011.fme.vutbr.cz/img/fckeditor/file/opory/Experimentalni_mechanika.pdf

[8] BANÍK, Ivan, Rastislav BANÍK a Josef ZÁMEČNÍK. *Fyzika netradičně: Mechanika*. Bratislava: Alfa, 1989, s. 311-318. ISBN: 80-05-00041-3.

[9] ZEHNULA, Karel. *Snímače neelektrických veličin*. Druhé, upravené a doplněné vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1983, s. 70-96.

[10] KLEMENTEV, Ivan, Rudolf KYŠKA. *Elektrické meranie mechanických veličín*. Bratislava: Alfa, 1990, s. 14-205 . ISBN: 80-05-00909-7.

[11] TKOTZ, Klaus. *Příručka pro elektrotechnika*. 2. doplněné vydání. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel, 2014, s. 183. ISBN: 978-3-8085-3034-4.

[12] KLEMENTEV, Ivan. *Odporové tenzometre*. Bratislava: Alfa, 1975.

[13] KLOBOUČEK, Jan. *Snímače v průmyslu*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012, s. 15-26. ISBN: 978-80-7372-828-1.

[14] HAVLÍČEK, Zdeněk. Princip a vlastnosti polovodičových tenzometrů, vyráběných v podniku Rukov Rumburk. **In:** *Polovodičové tenzometry a jejich aplikace ve snímačích mechanických veličin*. Ústí nad Labem: Dům techniky ČSVTS Ústí nad Labem, 1987, s. 35-47.

[15] KOVÁŘÍK, Martin. *Počítačové zpracování dat v programu MATLAB: 1. díl*. Bučovice: Martin Stříž, 2008, s. 5-243. ISBN: 978-80-87106-09-9.

[16] OLEHLA, Miroslav a František DUŠEK. *Metody zpracování dat: MATLAB*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, duben 2013, s. 5-82. ISBN: 978-80-7372-952-3.

[17] SEDLÁČEK, Miloš a Radislav ŠMÍD. *Matlab v měření.* Praha:České vysoké učení technické v Praze, leden 2004, s. 87-158. ISBN: 80-01-02851-8.

[18] ROČKOVÁ, Veronika. *Testy periodicity v časových řadách*. Praha, 2007 [cit. 2016-07-25]. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta, Katedra pravděpodobnosti a matematické statistiky. Dostupné z: https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiq7rDEr4_OAhUDuBoKHZhNA88QFggnMAE&url=https%3A%2F%2Fis.cuni.cz%2Fwebapps%2Fzzp%2Fdownload%2F130014378%2F%3Flang%3Dcs&usg=AFQjCNFbDpW_Siks_QO-jDSzVjbExpX2TA&sig2=-APwlYwZIhAde8e8dZw75Q&bvm=bv.127984354,d.d24.

Seznam použitých obrázků

Obr. 1: Lůžko Eleganza 3XC. (převzato ze zdroje [2]) 7

Obr. 2: Umístění snímačů v ložné části lůžka (převzato ze zdroje [3]). 8

Obr. 3: Schématické rozložení lůžka (zdroj: autor). 17

Obr. 4: Průběhy signálů z jednotlivých čidel pro první měření (zdroj: autor). 18

Obr. 6: Průběhy signálů z jednotlivých čidel pro druhé měření (zdroj: autor). 21

Obr. 8: Periodogram pro jednotlivé tenzometry prvního měření (zdroj: autor). 26

Obr. 9: Periodogram pro součet signálů prvního měření (zdroj: autor). 26

Obr. 10: Periodogram pro jednotlivé tenzometry druhého měření (zdroj: autor). 27

Obr. 11: Periodogram pro součet signálů druhého měření (zdroj: autor). 27

Obr. 12: Vzájemná výkonová spektrální hustota pro dvojice tenzometrů prvního měření (zdroj: autor). 28

Obr. 13: Vzájemná výkonová spektrální hustota sumy signálů a jednotlivých tenzometrů pro první měření (zdroj: autor). 29

Obr. 14: Vzájemná výkonová spektrální hustota pro dvojice tenzometrů druhého měření (zdroj: autor). 29

Obr. 15: Vzájemná výkonová spektrální hustota sumy signálů a jednotlivých tenzometrů pro druhé měření (zdroj: autor). 30

Obr. 16: Znázornění pohybu závaží při kontrolním měření po lůžku (zdroj: autor). 31

Obr. 17: Průběhy signálů z jednotlivých čidel pro kontrolní měření (zdroj: autor). 33

Obr. 18: Součet výstupních signálů tenzometrů pro kontrolní měření (zdroj: autor). 33

Obr. 19: Periodogram pro jednotlivé tenzometry kontrolního měření (zdroj: autor). 34

Obr. 20: Periodogram pro součet signálů kontrolního měření (zdroj: autor). 35

Obr. 21: Vzájemná výkonová spektrální hustota pro dvojice tenzometrů kontrolního měření (zdroj: autor). 35

Obr. 22: Vzájemná výkonová spektrální hustota sumy signálů a jednotlivých tenzometrů pro kontrolní měření (zdroj: autor). 36

Obr. 23: Podoba aplikace při jejím spuštění (zdroj: autor). 37

Obr. 24: Zobrazení pohybu těžiště pro data O1_DS v případě směrových vektorů,

směřujících do rohů lůžka (zdroj: autor). 40

Obr. 25: Zobrazení pohybu těžiště pro data O1_PS v případě směrových vektorů, směřujících do rohů lůžka (zdroj: autor). 41

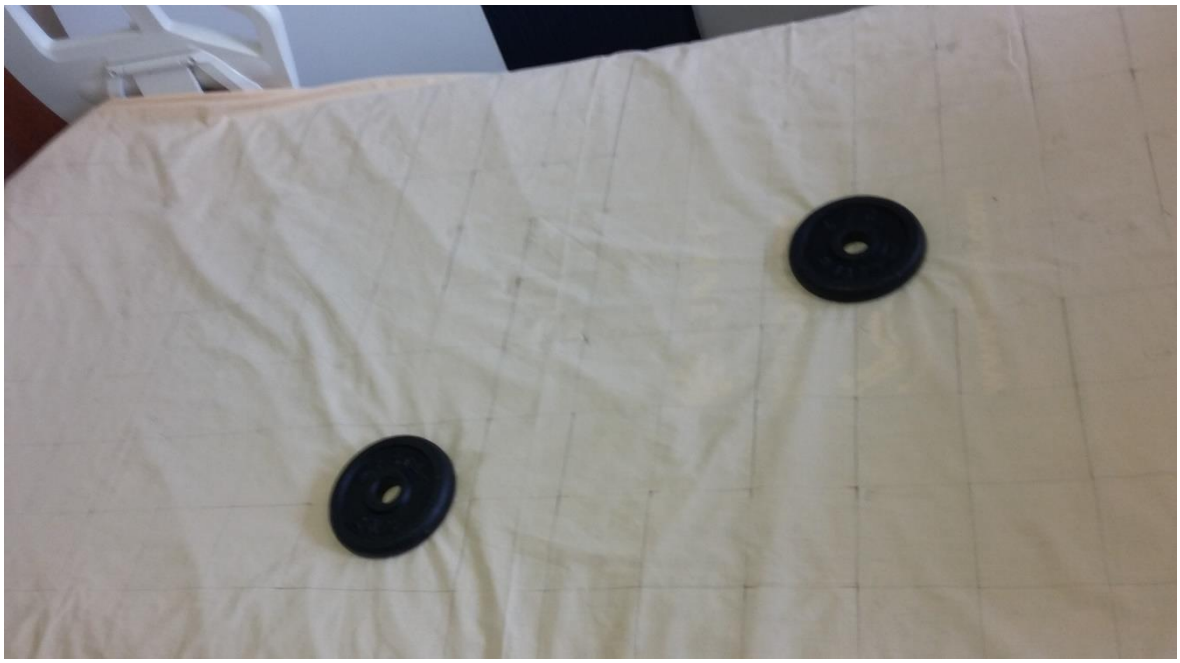
Obr. 26: Zobrazení pohybu těžiště pro data O2celyOkruh v případě směrových vektorů, směřujících do rohů lůžka (zdroj: autor). 42

Obr. 27: Zobrazení pohybu těžiště pro data O2celyOkruh v případě upravených směrových vektorů (zdroj: autor). 42

Přílohy

Příloha A

Příloha B



Příloha C

```
%Funkce pro zobrazení těžiště a průběhů na čidlech ver. 01
function  Teziste_fin(matice,HH,MM,SS)
    %---úprava dat podle kalibračních konstant + def. času---
    matice(:,1)=(matice(:,1)-1449)./2.004;
    matice(:,2)=(matice(:,2)-3272)./2.013;
    matice(:,3)=(matice(:,3)-4252)./1.973;
    matice(:,4)=(matice(:,4)-2670)./1.966;
    doba=(3600*HH(end)+60*MM(end)+SS(end))-(3600*HH(1)+60*MM(1)+SS(1));
    t=0:doba/(length(matice)-1):doba;

    nargin
    if nargin ==0||4
    %---všechny grafické objekty, které se vykonají po spuštění---
    %-----------------------------------------------------------
        F1=figure('units','normalized','position',[0.01 0.09 0.95 0.88],
            'color',[0.75 0.78 1],'menubar','none','numbertitle',...
            'off','name','Hledání těžiště a zobrazování průběhů',...
            'tag','figure1'); %okno figure
        M.A1= axes('units','normalized','position',[0.075 0.55 0.7 0.4],
            'color',[0.6 1 1],'XColor','k','YColor','k','tag','axes1',...
            'fontsize',12,'box','off','xlim',[-100 100],'ylim',[-50 50]);
            %kreslící plátno1
            title('Poloha těžiště','fontsize',14); %titulek grafu1
            xlabel('DP -> HP ','fontsize',12,'fontweight','bold');
            %popisek osy x
            ylabel('DP -> DL ','fontsize',12,'fontweight','bold');
            %popisek osy y
        M.A2= axes('units','normalized','position',[0.075 0.055 0.7 0.4],
            'color',[0.6 1 1],'XColor','k','YColor','k','tag','axes2',...
            'fontsize',12,'box','off','xlim',[0 t(end)]);
            %kreslící plátno2
            title('Průběhy na čidlech','fontsize', 14); %titulek grafu2
            xlabel('Čas [s]','fontsize',12,'fontweight','bold');
            %popisek osy x
            ylabel('Napětí [mV]','fontsize',12,'fontweight','bold');
            %popisek osy y

      %---UIbuttonGroup pro zobrazování průběhů---
        UP1=uibuttongroup(F1,'units','normalized','position',...
            [0.82 0.1 0.14 0.30],'tag','panel','backgroundcolor',...
            get(gcf,'color'),'fontsize',14,'fontweight','normal',...
            'foregroundcolor','k','title','Zobraz průběh');
            %UIbuttonGroup1
        M.rd1=uicontrol(UP1,'style','radiobutton','units','normalized',
            'position',[0.05 0.9 0.85 0.1],'tag','radiobut1',...
            'backgroundcolor',get(gcf,'color'),'fontsize',12,...
            'fontweight','normal','foregroundcolor','k','string', ...
            'Čidlo HL (černá)');    %radiobutton Čidlo HL
        M.rd2=uicontrol(UP1,'units','normalized','position', ...
            [0.05 0.7 0.85 0.1],'style','radiobutton','tag', ...
            'radiobut2', 'backgroundcolor',get(gcf,'color'), ...
            'fontsize',12, 'fontweight','normal', 'foregroundcolor',...
            'k','string','Čidlo HP (zelená)');
            %radiobutton Čidlo HP
        M.rd3=uicontrol(UP1,'units','normalized','position', ...
            [0.05 0.5 0.85 0.1],'style','radiobutton','tag',...
            'radiobut3','backgroundcolor',get(gcf,'color'), ...
            'fontsize',12,'fontweight','normal','foregroundcolor', ...
            'k','string','Čidlo DP (žlutá)');
```

```
            %radiobutton Čidlo DP
          M.rd4=uicontrol(UP1,'units','normalized','position', ...
              [0.05 0.3 0.85 0.1],'style','radiobutton','tag', ...
              'radiobut4','backgroundcolor',get(gcf,'color'), ...
              'fontsize',12,'fontweight','normal', 'foregroundcolor', ...
              'k','string','Čidlo DL (růžová)');
              %radiobutton Čidlo DL
          M.rd5=uicontrol(UP1,'units','normalized','position', ...
              [0.05 0.1 0.85 0.1],'style','radiobutton','tag', ...
              'radiobut5','backgroundcolor',get(gcf,'color'), ...
              'fontsize',12,'fontweight','normal',...
              'foregroundcolor','k','string','Suma (červená)');
              %radiobutton Sumy

        %---UIbuttonGroup grid on/off 1 a 2---
          UP2=uibuttongroup(F1,'units','normalized','position', ...
              [0.82 0.7 0.14 0.2],'tag','panel','backgroundcolor', ...
              get(gcf,'color'),'fontsize',14,'fontweight','normal', ...
              'foregroundcolor','k','title','Zobraz mřížku');
              %UIbuttonGroup2
        %u checkboxes nabývá vlastnost 'Value' hodnot -> 0=false, 1=true
          M.ch1=uicontrol(UP2,'units','normalized','position', ...
              [0.05 0.7 0.85 0.15],'style','check','tag','checkbox1', ...
              'backgroundcolor',get(gcf,'color'),'fontsize',12, ...
              'fontweight','normal','foregroundcolor','k','string', ...
              'Grid on 1','value',0); %checkbox1
          M.ch2=uicontrol(UP2,'units','normalized','position', ...
              [0.05 0.35 0.85 0.15],'style','check','tag','checkbox2', ...
              'backgroundcolor',get(gcf,'color'),'fontsize',12, ...
              'fontweight','normal','foregroundcolor','k', ...
              'string','Grid on 2','value',0); %checkbox2

        %---UIbuttonGroup pushbuttons---
          UP3=uibuttongroup(F1,'units','normalized','position', ...
              [0.82 0.42 0.14 0.25],'tag','panel','backgroundcolor', ...
              get(gcf,'color'),'fontsize',14,'fontweight','normal', ...
              'foregroundcolor','k','title','Zobraz pohybtěžiště');
              %UIbuttonGroup3
          M.btn1 = uicontrol(UP3,'Style', 'pushbutton','tag', ...
              'pushbutton1','String','Start','units','normalized', ...
              'Position', [0.25 0.55 0.5 0.25],'backgroundcolor', ...
              get(gcf,'color'),'Interruptible', 'on');  %tlačítko1
          M.btn2 = uicontrol(UP3,'Style','pushbutton','tag', ...
              'pushbutton2','String','Pause (3 s)','units', ...
              'normalized','Position',[0.25 0.2 0.5 0.25], ...
              'backgroundcolor',get(gcf,'color'), ...
              'Interruptible', 'on');   %tlačítko2
    end
    %volání jednotlivých funkcí, definujících funkčnost grafických
objektů
    set(UP1,'SelectionChangeFcn',@radiobutton_call);
    set(M.ch1,'callback',@checkbox1_Callback);
    set(M.ch2,'callback',@checkbox2_Callback);
    set(M.btn1,'Callback',{@pushbutton1_Callback,M});
    set(M.btn2,'Callback',{@pushbutton2_Callback,M});

%funkce pro tlačítko1 (Start)
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
    start_state=get(M.btn1, 'Value');
    cla(M.A1);
    while start_state==1
```

```
        kresleni1(matice,M.A1)
    end
end
%funkce pro tlačítko2 (Pause 60s)
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
    stop_state=get(M.btn2,'Value');
    if stop_state==1
        pause(3)
        stop_state=0;
    end
end
%funkce pro checkbox1 (grid on/off v axes1)
function checkbox1_Callback(varargin)
   checkbox1Value = get(M.ch1,'value');
   if checkbox1Value==1
       set(M.A1,'xgrid','on','ygrid','on')
   else
       set(M.A1,'xgrid','off','ygrid','off')
   end
end
%funkce pro checkbox2 (grid on/off v axes2)
function checkbox2_Callback(varargin)
   checkbox2Value = get(M.ch2,'value');
   if checkbox2Value==1
       set(M.A2,'xgrid','on','ygrid','on')
   else
       set(M.A2,'xgrid','off','ygrid','off')
   end
end
%------------------------------------------------------------
%Volaná funkce1 (pro hledání polohy těžiště v axes1)
function kresleni1(matice,ax)
    %def. jednotkových směrových vektorů
    maticeA(length(matice),4)=0;
    for i=1:4
    maticeA(:,i)=matice(:,i)-mean(matice(1:20,i));
    end
    sumaA(length(matice),1)=0;
    for i=1:length(matice)
        sumaA(i,1)=maticeA(i,1)+maticeA(i,2)+maticeA(i,3)+maticeA(i,4);
    end
    %směrové vektory definované ze středu lůžka do rohů
    % a=[2/sqrt(5) 1/sqrt(5)];
    % b=[2/sqrt(5) -1/sqrt(5)];
    % c=[-2/sqrt(5) -1/sqrt(5)];
    % d=[-2/sqrt(5) 1/sqrt(5)];
    %směrové vektory definované na základě kontrolních dat
    a=[0.7 0.25];
    b=[0.7 -0.25];
    c=[-0.9 -0.25];
    d=[-0.9 0.25];
    %výpočet těžiště
    for i=1:size(maticeA,1)
        HL=a*maticeA(i,1)*100/sumaA(i,1);
        HP=b*maticeA(i,2)*100/sumaA(i,1);
        DP=c*maticeA(i,3)*100/sumaA(i,1);
        DL=d*maticeA(i,4)*100/sumaA(i,1);
        dolni=DP+DL;
        horni=HL+HP;
        final=dolni+horni;
        fin(i+1,1)=final(1);fin(i+1,2)=final(2);
```

```
        p=plot(final(1),final(2),'o');set(p,'Parent',ax);
        if final(2)<25 &&final(2)>-25 && final(1)>-50 && final(1)<50
            set(p,'Color','b')
        else
            set(p,'Color','r')
            fin(i+1,3)=1; %tento sloupec matice fin je určen pro případné
            %zapojení alarmu v případě 0 se pacient pohybuje v bezpečné
            %vzdálenosti od okraje lůžka, v případě 1 by se spustil
            %zvukový/světelný alarm)
        end
        pause(0.05);
        hold on;
    end
end
%-----------------------------------------------------------------
%nastavení radiobuttonů v UIpanelu2
function []=radiobutton_call(varargin)
    kresleni2(matice,t,M.A2);
    R=[get(M.rd1,'value'),get(M.rd2,'value'),get(M.rd3,'value') , ...
    get(M.rd4,'value'),get(M.rd5,'value')];
    if R(1)==1
        set(M.A2,'color', [0.6 1 1])
        set(findobj('tag','pl1'),'visible','on');
    elseif  R(2)==1
        set(M.A2,'color', [0.6 1 1])
        set(findobj('tag','pl2'),'visible','on');
    elseif R(3)==1
        set(M.A2,'color', [0.6 1 1])
        set(findobj('tag','pl3'),'visible','on');
    elseif R(4)==1
        set(M.A2,'color', [0.6 1 1])
        set(findobj('tag','pl4'),'visible','on');
    elseif R(5)==1
        set(M.A2,'color', [0.6 1 1])
        set(findobj('tag','pl5'),'visible','on');
    end
end
%-------------------------------------------------------------
%Volaná funkce2 (pro vykreslování grafů v axes2)
function kresleni2(matice, t, axes)
    %definice součtu signálů na tenzometrech
    suma(length(matice),1)=0;
    for i=1:length(matice)
        suma(i)= matice(i,1)+matice(i,2)+matice(i,3)+matice(i,4);
    end
    %kreslení grafů v axes2
    L1=line(t,matice(:,1),'Color','k','tag','pl1','visible','off');
    set(L1,'Parent',axes); %průběh na tenzometru HL
    L2=line(t,matice(:,2),'Color','g','tag','pl2','visible','off');
    set(L2,'Parent',axes); %průběh na tenzometru HP
    L3=line(t,matice(:,3),'Color','y','tag','pl3','visible','off');
    set(L3,'Parent',axes); %průběh na tenzometru DP
    L4=line(t,matice(:,4),'Color','m','tag','pl4','visible','off');
    set(L4,'Parent',axes); %průběh na tenzometru DL
    L5=line(t,suma(:),'Color','r','tag','pl5','visible','off');
    set(L5,'Parent',axes); %průběh součtu signálů na tenzometrech
end
end
```