ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní
d ě k a n
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K623 .....Ústav bezpečnostních technologií a inženýrství

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Jan Král

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – BD – Bezpečnost dopravních prostředků a cest

Název tématu (česky): **Ocenění rizik při testu tlumení nárazu podvozku letounu v okamžiku přistání**

Název tématu (anglicky): Risk Assessment of Test of Aircraft Landing Gear Bump Dumping at Landing Moment

Zásady pro vypracování

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

- Úvod
- Soubor poznatků o chování podvozku letounu při přistání a o testech, kterými se provádí měření fyzikálních parametrů, které jsou zásadní pro bezpečné přistání a o mužných rizicích
- Data získaná z technických testů provedených v laboratoři
- Metody zpracování dat a pro ocenění rizik
- Vytvoření kontrolního seznamu pro zajištění bezpečného provádění testů
- Návrh opatření pro zlepšení testů
- Závěr
- Seznam literatury

Rozsah grafických prací: dle doporučení vedoucího diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: D. Procházková: Analýza a řízení rizik. ČVUT, Praha 2011, ISBN: 978-80-01-04841-2; Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury. ISBN 978-80-01-05245-7. ČVUT, Praha 2013, 223p.; M. Kreidl: Senzory. ČVUT, Praha 1992; J. Jenčík et al.: Technická měření. ISBN 80-01-02138-6, ČVUT, Praha 2000; K. Zehnula: Snímače neelektrických veličin. SNTL, Praha 1983.

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Danuše Procházková, DrSc.**

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2014**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **31. května 2015**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

doc. Ing. Václav Jirovský, CSc.
vedoucí
Ústavu bezpečnostních technologií a inženýrství

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Jan Král
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 30. června 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci na téma „Ocenění rizik při testu tlumení nárazu podvozku letounu v okamžiku přistání“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce doc. RNDr. Danuše Procházkové, DrSc a s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Kralupech nad Vltavou dne …….. ……..

podpis autora

Poděkování
Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu diplomové práce doc. RNDr. Danuši Procházkové, DrSc za cenné rady a připomínky při zpracování zadaného tématu.

Abstrakt:

Tématem diplomové práce je ocenění rizik při testu tlumení nárazu podvozku letounu v okamžiku přistání. Základní seznámení s danou problematikou je stručně uvedeno v prvních dvou kapitolách, které se zabývají základním uspořádáním a konstrukčním řešením přistávacích zařízení, včetně požadavků, které jsou na ně kladené. Třetí kapitola názorně ukazuje postup výpočtu hodnot potřebných pro vyhodnocení úspěšnosti prováděných testů podvozků. Ve čtvrté kapitole jsou popsány metody zpracování dat vedoucí k zajištění bezpečnosti užívaného strojního zařízení a bezpečí obsluhy. Výsledek – návrh položek pro bezpečnostní audit, kterým se zajistí splnění požadavků na bezpečnost práce i správné výsledky prováděných testů podvozků, je uveden v páté kapitole. Další výsledek, získaný posouzením rizik dle sestaveného nástroje, tj. vylepšený postup testů, který je již převeden do praxe, obsahuje šestá kapitola. V příloze diplomové práce je vložen návrh analýzy nebezpečí a rizik při práci na uvedeném stroji založený na normě ČSN a širší přehled o problematice měření neelektrických veličin.

Klíčová slova: bezpečnost, podvozky letadel, metody zkoušení podvozků letadel, analýza rizik.

Abstract:

The Diploma` Thesis subject is a risk assessment of aircraft landing gear bump dumping test at moment of landing. There is a brief introduction to the subject in the first two chapters, which contain basic landing gear design solutions including the applicable requirements. The third chapter demonstrates a procedure of calculation of parameters required for landing gear test results evaluation. A data processing methods leading to the safety of operators and used machine devices are shown in the chapter fourth. The fifth chapter contains a proposal of items for safety audit of landing gear test by which it is ensured fulfilment of demands on labour safety and correct results of performed tests. Test procedure improvement based on risk judgement using the constructed tool is a topic of the chapter six. The Thesis appendix contains a proposal of risk analysis of used machine device based on the CSN standards and an overview on problems of non-electric parameters measurement.

Keywords: safety, aircraft landing gear, aircraft landing gear test methods, risk analysis.

OBSAH

1. Úvod 1

2. Soubor poznatků o chování podvozku letounu při přistání a o testech, kterými se provádí měření fyzikálních parametrů, které jsou zásadní pro bezpečné přistání a o možných rizicích 2
2.1. Přistávací zařízení – podvozky 2
2.1.1. Historický vývoj 2
2.1.2. Požadavky na přistávací zařízení 3
2.1.3. Typologie podvozku 4
2.2. Chování podvozku letounu při přistání 7
2.2.1. Zatížení letounu během vzletu, přistání, pojíždění a vlečení letounu 8
2.2.2. Dynamické zkoušení leteckých podvozků 13
2.3. Padostroj PS 1 na dynamické zkoušení podvozků letadel 16
2.3.1. Základní popis Padostroje PS-1 17
2.3.1.1. Technické údaje Padostroje PS-1 18
2.3.2. Požadavky pro dynamické zkoušky podvozků na Padostroji PS-1 19
2.3.2.1. Zkoušky sériově vyráběných podvozků (kontrola výrobků) 19
2.3.2.2. Zkoušky prototypových podvozků 19
2.3.3. Popis práce na padostroji PS 1 22

3. Data získaná z technických testů provedených v laboratoři 30
3.1. Výpočet parametrů potřebných pro zkoušku nohy hlavního podvozku 30
3.1.1. Hmotnost připadající na jednotku hlavního podvozku 30
3.1.2. Výška pádu 30
3.1.3. Efektivní hodnota pádové hmotnosti použitá při zkoušce 31
3.1.4. Práce pohlcená podvozkem 32
3.1.5. Svislá síla v ose kola 33
3.1.6 Násobek zatížení při zkoušce pohlcení nárazů 34
3.2. Výpočet parametrů potřebných pro zkoušku nohy příďového podvozku 35
3.2.1. Pádová hmotnost 35
3.2.2. Výška pádu 36
3.2.3. Vztlaková síla 36
3.2.4. Práce pohlcená podvozkem 37
3.2.5. Svislá síla v ose kola 38
3.2.6. Násobek zatížení při zkoušce pohlcení nárazů 39
3.3. Program zkoušky 40
3.3.1. Registrace měřených veličin 40
3.3.2. Popis funkce tlumiče podvozku 40
3.4. Provedení zkoušky 42
3.4.1. Pádová zkouška provozním zatížením vzletové a přistávací hmotnosti 42

3.4.2. Pádová zkouška pohlcení zásoby energie 43
3.4.3. Dynamická zkouška pozemním zatížením 43
3.5. Ověřované veličiny 44
3.5.1. Měřené veličiny hlavního a příďového podvozku 44
3.5.2. Vypočtené veličiny hlavního a příďového podvozku 45
3.6. Výsledky pádových zkoušek podvozků na Padostroji PS-1 při provozním zatížení, při pohlcení zásoby energie a při pozemním zatížení 45

4. Metody zpracování dat pro ocenění rizik 50

5. Procesní dokument auditu bezpečnosti pro zajištění bezpečného provádění testů podvozků 53

6. Návrh opatření pro zlepšení testů 63
6.1. Návrh a popis měřícího řetězce 63
6.2. Specifikace a volba senzorů zvolených pro daná měření 64
6.2.1. Měření polohy - „propérování“ podvozku 64
6.2.2. Měření přetížení podvozku 65
6.2.3. Měření svislé síly v ose kola 67
6.2.4. Návrh osazení příďového podvozku senzory 67
6.2.5. Měření pádové výšky podvozku na Padostroji PS-1 68
6.2.6. Návrh umístnění senzoru pádové výšky podvozku na Padostroji PS-1 69
6.3. Sběr dat – digitální měřící ústředna Metraplex 760 PCM 70
6.3.1. Popis měřící ústředny Metraplex 760 PCM 72
6.3.2. Základní popis vybraných měřících karet potřebných pro dané měření 75
6.3.3. Popis software měřící ústředny Metraplex 760 PCM 79
6.4. Záznam PCM dat 82
6.5. Zpracování naměřených dat 84
6.6. Propojovací vedení 85
6.7. Realizace nového měřícího řetězce 87
6.8. Návrh úpravy měřící dopadové desky 88

7. Závěr 90

Použitá literatura 92
Seznam obrázků 93
Seznam tabulek 95
Zkratky 95

Přílohy 98

1. Úvod

V zájmu své existence, bezpečí a rozvoje musí lidská společnost řídit své činnosti směrem, který jí zajistí naplnění uvedených cílů.

Bezpečnost je v současném celosvětovém dění velice častým diskutovaným tématem, neboť je protkána celou řadou odvětví lidské činnosti mezi které také patří doprava. Ve složitém světě, který je složen z řady prolínajících se systémů [1] je třeba se zabývat řadou aspektů integrální bezpečnosti. Předložená práce se bude zabývat podrobně specifickému problému z oblasti dopravy, který dále popíšeme. Se stále rostoucím počtem dopravních prostředků narůstá také počet různých nehod a tragických událostí. Z tohoto důvodu je potřeba, aby dopravní prostředky splňovaly přísnější standardy, normy a předpisy.

Cílem diplomové práce je proto z pohledu integrální bezpečnosti, která je zaměřená na bezpečí a rozvoj veřejných aktiv, zajistit též bezpečné výrobky určené pro letadla. Nejprve se seznámíme s požadavky kladenými na přistávací zařízení letadel a provedeme rešerši základních uspořádání a konstrukčních řešení přistávacích zařízení. Dále se seznámíme s poznatky chování podvozku letounu při přistání a popíšeme dynamické zkoušky na pohlcení mechanické práce (pádové zkoušky) leteckých podvozků na měřící dopadovou plošinu. Každá činnost musí být prováděna správně, aby byla zajištěna bezpečnost, tj. aby se nevytvořil zdroj rizik, který by v konečném důsledku mohl vést i ke ztrátám na lidských životech. Proto je v práci také vytvořen metodický nástroj [1], který pomůže zvládnout rizika, která mohou vést k nesprávným výsledkům a k fatálním důsledkům. Na jeho základě je v provozní praxi zárukou nový měřící řetězec sloužící k získání potřebných dat vedoucích ke správnému posouzení stavu zkoušeného podvozku. Měřící řetězec nahradí zastaralý postup měření a umožní taktéž jeho využití i při letových testech podvozků.

Metodika diplomové práce spočívá ve vytvoření konceptu řešení problému sběru dat, popisu metod zpracování, uvedení výsledků návrhu a ověření řešení, závěru a seznamu použitých zdrojů.

2. Soubor poznatků o chování podvozku letounu při přistání a o testech, kterými se provádí měření fyzikálních parametrů, které jsou zásadní pro bezpečné přistání a o možných rizicích

Bezpečnosti leteckého provozu je v jednotlivých zemích i na mezinárodní úrovni věnována značná pozornost, neboť případné selhaní techniky nebo lidského faktoru v předmětné oblasti může vést k velkým materiálním ztrátám i k ohrožení životů a zdraví značného počtu lidi. Proto jsou všechny činnosti související s leteckým provozem celosvětově poměrně přísně regulovány. Většina zemí má pro danou oblast vytvořen soubor zákonů, směrnic a standardů, které usměrňují všechny činnosti s touto oblasti související.

Speciální místo v souborech dokumentů mají předpisy stanovující technické požadavky na konstrukci letecké techniky a zejména požadavky na její bezpečnost. Dokumenty mají zpravidla závazný charakter a každý výrobce, který chce leteckou techniku vyrábět, je musí akceptovat a jejich dodržení stanoveným způsobem prokazovat. Znalost příslušných dokumentů a požadavků, které jsou v nich specifikovány, je nevyhnutným předpokladem pro úspěšnou realizaci předvýrobních (vývojových) etap u každého výrobků leteckého průmyslu.

Testování letadel a jeho jednotlivých částí je dnes rozsáhlým vědním oborem, který souvisí s rychlým rozvojem letectví. Jednou z nejdůležitějších částí letadla je přistávací zařízení, které je zejména při přistání vystaveno značnému zatížení. Letecká názvoslovná norma ČSN 31 0001 definuje pojem „Přistávací zařízení“ jako část letadla umožňující vzlet, přistání, popř. pojíždění. Podvozek je v dané normě definován jako základní konstrukční skupina přistávacího zařízení [2]. Jeho porušení může mít za následek poškození až zničení celého letadla, včetně ohrožení bezpečnosti cestujících. Z uvedených a mnoha dalších důvodů se od přistávacího zařízení požaduje bezpečnost a vysoká spolehlivost po celou dobu životnosti letounu, která u některých letounů může znamenat až desítky tisíc vzletů a přistání. Proto je potřeba jak při návrhu nového přistávacího zařízení, tak i při jeho pravidelných kontrolách a revizích věnovat patřičnou pozornost bezpečnosti, a to hlavně řízení jednotlivých rizik vyplývajících z konstrukce, funkce a způsobu řízení, montáže a údržby. Musí být provedena taková opatření, aby se závažná rizika eliminovala nebo snížila na úroveň, která je akceptovatelná.

2.1. Přistávací zařízení - podvozky

2.1.1. Historický vývoj

Jedno z prvních skutečných přistávacích zařízení na letadlech (jednoduchý a spolehlivý tříbodový podvozek, často s příďovým kolem) bylo použito v roce 1903, kdy byl k pohonu letounu použit spalovací motor. Před tím byly používány většinou lyže a starty byly realizovány z kolejnic za pomoci katapultu (bratři Wrightové). V průběhu 1. světové války se z důvodu vpředu umístěné vrtule velkého průměru ustálila koncepce dvoukolového hlavního podvozku a jednoduché ostruhy v zadní části letadla. Tlumení přistávacího rázu bylo řešeno pomoci

gumového lana omotaného kolem osy hlavního podvozku a podvozkové nohy. S rostoucí rychlostí letadel ve 20. letech 20. století se začínají vyrábět první zatahovací podvozky, které měly snížit aerodynamický odpor letounu. Koncem 2. světové války se začaly vyrábět první letouny vybavené reaktivním pohonem a při stále se zvyšujících rychlostech se začal opět používat podvozek s příďovým kolem, který usnadnil vzlet a hlavně přistání. I když konstrukce letadel prošla celou řadou změn, tak k žádným výrazným změnám v koncepci podvozků nedošlo. Podvozky s ostruhou lze vidět na některých amatérských konstrukcích a na moderních letounech stavěných speciálně pro leteckou akrobacii.

2.1.2. Požadavky na přistávací zařízení

Letecké podvozky jsou vyvíjeny pro různorodé povrchy, aby umožnily leteckou činnost ze země, z vodní hladiny či ze zasněženého povrchu. Nejrozšířenější letový provoz probíhá na velkých pevných letištních drahách nebo na malých nezpevněných plochách. Podvozek letounu zajišťuje kontakt letounu ze zemí a přenáší síly vznikající během provozu. Umožňuje pohyb po letišti, dosažení rychlosti pro vzlet, tlumení rázu v okamžiku přistávání a zbrzdění přistávací rychlosti. Velká letadla používají také podvozek jako cestu pro vybití elektrostatického náboje nahromaděného na povrchu letadla během letu aj.

Na přistávací zařízení jsou kladeny následující požadavky dle [3-5]:

1) Zajištění průchodnosti letounu.
   Přistávací zařízení musí letounu zajistit průchodnost na vzletových a přistávacích plochách (VPP), pro které je letoun určen. Letoun musí být schopen samostatně pojíždět po VPP, vzlétat a přistávat na nich bez porušení jejich povrchu. Návrh a konstrukce přistávacího zařízení musí zajišťovat minimální požadovanou vzdálenost mezi vrtulí a zemí i při maximální deformaci pružících členů podvozkových noh. Další z celé řady podmínek zajišťuje, aby se žádná část draku letounu (nejnižší bod trupu, konec křídla, kryty šachet zatahovacího podvozku aj.) nedotkne země.

2) Stabilita a ovladatelnost.
   Přistávací zařízení musí letounu zajišťovat potřebnou stabilitu a ovladatelnost při pohybu po zemi (při pojíždění, rozjezdu při vzletu a výběhu při přistání), a to i při silném bočním větru, při intenzivním brzdění nebo při pojíždění vysokou rychlostí.

3) Tlumení energie.
   Přistávací zařízení musí zajistit bezpečné převzetí kinetické energie letounu a její účinné utlumení v okamžiku dosednutí při přistání a pojíždění tak, aby se snížilo zatížení konstrukce draku letounu. Dále musí umožňovat účinné brzdění dopředného pohybu letounu.

4) Pevnost, spolehlivost a životnost.
   Konstrukce přistávacího zařízení musí mít dostatečnou pevnost, aby byla schopna bez porušení přenést zatížení, která na přistávací zařízení při kontaktu se zemí působí. Poškození konstrukce přistávacího zařízení často mívá za následek značné poškození nebo dokonce zničení celého letounu [3-5], proto se od přistávacího zařízení požaduje vysoká spolehlivost po celou dobu životnosti letounu.

5) Tuhost a hmotnost konstrukce.
   Konstrukce přistávacího zařízení dále musí mít dostatečnou tuhost, aby byla zajištěna odolnost podvozkových noh vůči kmitání, které může mít v krajním případě za následek ztrátu stability a ovladatelnosti letounu, případně i destrukci podvozku. Nemalou pozornost je třeba věnovat i aerodynamickému odporu a hmotnosti (tvoří 3,5 až 6 % celkové hmotnosti letounu) přistávacího zařízení, aby byly co nejnižší.

Od počátku letectví se postupně vyvinulo několik základních typů a druhů podvozků, které většinou obsahují stejné základní komponenty. Kolo zajišťuje pohyb a zároveň má i tlumící funkci. Může být vybaveno brzdou, ale ne všechna kola bývají brzděna. Nad kolem je umístěn tlumič, jehož hlavní funkcí je ztlumení rázového namáhání při přistávání a také zvládnutí nerovností v případě nezpevněného povrchu. Zmíněné dva základní komponenty spolu spojují podpory. Jejich tvar a konstrukce je odlišná v závislosti na typu podvozku.

Analýza prací [3-5] ukazuje, že z konstrukčního hlediska se postupně vyvinuly podvozky: příhradové, samonosné a příhradové - nosníkové. Příhradové podvozky se používaly od vzniku letectví. Jejich stavba sestává z prutové konstrukce, která je k letounu připojena na více místech. Samostatné podvozky se skládají z jedné centrální tlumící kolové části a ke konstrukci letounu jsou připojeny na jednom místě. Příhradová - nosníková stavba sestává z tlumicí části s kolem, která je podepřena vzpěrou.

2.1.3. Typologie podvozku

Podvozky letounů lze dle [3-5] členit podle řady hledisek a kritérii:

1) Podle předpokládaného povrchu dosednutí rozlišujeme čtyři typy podvozků obrázek 1 [3-5], které dělíme na:
   - kolový (vlety z pevné země),
   - plovákový (vlety z vodní hladiny),
   - lyžový (vlety ze zasněžených ploch).

a) b) c) d)

Obr. 1. Podvozky pro různé povrchy.
a) kolový, b) plovákový, c) trup uzpůsobený pro přistání na vodní hladině, d) lyžový

2) Podle konstrukčního uspořádání používáme tři typy podvozků obrázek 2 [3-5], které dělíme na:
   - s příďovým kolem (má celkem tři podvozkové nohy, dvě tvoří hlavní podvozek a nachází se blíže k těžišti letounu a třetí podvozková noha se nachází v přední části letounu),
   - s ostruhou, zadním kolem (obdobné uspořádání hlavního podvozku jako u příďového kola, s rozdílem, že třetí podvozková noha-ostruha je v zadní ocasní části letounu),
   - tandemový (má více než tři kola, obsahuje přední kolo, podvozkovou nohu (nohy) v těžišti letounu a podpůrné podvozky umístěny pod křídly zajišťující boční stabilitu letounu na zemi).

a) b) c)

Obr. 2. Podvozky podle konstrukčního uspořádání.
a) s příďovým kolem, b) s ostruhou, zadním kolem, c) tandemový

3) Podle počtu kol na podvozkové noze známe tři typy podvozků obrázek 3 [3-5],
   - jednokolové (konstrukčně jednodušší, snáší pouze omezená zatížení, náchylnost ke vzniku bočních kmitů (shimmy, při selhání pneumatiky je přistání velmi nebezpečné),
   - vícekolové (je pravým opakem jednokolového podvozku, konstrukčně velmi složité, ale provozně bezpečné),
   - pásové (stadium starších experimentů).

a) b) c)

Obr. 3. Podvozky podle počtu kol na podvozkové noze.
a) jednokolové, b) vícekolové, c) experimentální pásový

4) Podle konstrukce členíme podvozky obrázek 4 [3-5] na:
   - pružinový (tlumení přistávacího rázu zajišťují pneumatiky a pružnost vhodně konstruované podvozkové nohy),
   - teleskopický (osa kola pevně spojena s pístnicí tlumiče a koná s ním posuvný pohyb),
   - pákový, kombinovaný (osa kola spojena pákou s tlumičem).

a) b) c) d)

Obr. 4. Podvozky podle konstrukce.
a) pružinový, b) teleskopický, c) pákový, d) kombinovaný

5) Podle polohy vůči letounu rozlišujeme tři typy podvozků obrázek 5 [3-5] na:
   - pevný (je neustále zafixován v jedné poloze pro přistání),
   - zatahovatelný (po vzletu se zatáhne do vnitřní konstrukce letounu),
   - odhoditelný (po vzletu je oddělen od konstrukce letounu).

a) b) c)

Obr. 5. Podvozky podle polohy vůči letounu.
a) pevný, b) zatahovatelný, c) odhoditelný

2.2. Chování podvozku letounu při přistání

Během provozu působí na letoun řada různých zatížení [6]. Jejich určení je potřeba věnovat maximální pozornost, protože bezprostředně ovlivňují pevnostní dimenzování letounu, tj. zásadně ovlivňují i jeho bezpečnost.

Základní rozdělení sil působících na letoun jsou dvojího druhu a to:

a) síly vnější:
   - aerodynamické - spojité zatížení od působení dynamického tlaku za letu (vztlakové a odporové síly),
   - propulzní-tah pohonných jednotek,
   - reakční od dotyku se zemí-při přistání, vzletu, pojíždění,
   - hydrodynamické-u hydroplánů.

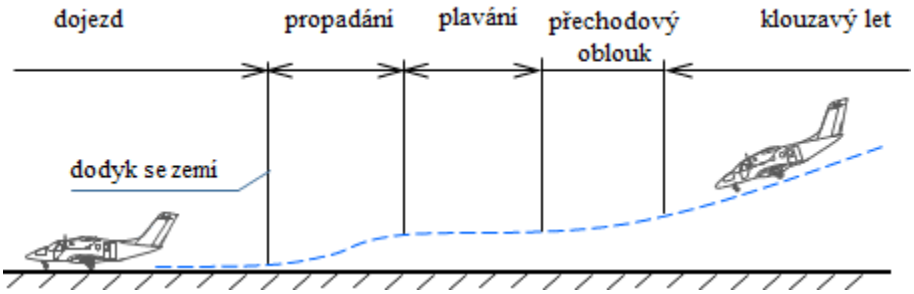
b) síly působící na hmoty:
   - tíhové,
   - setrvačné,
   - gyroskopické.

Zatížení může mít charakter osamělé síly nebo spojitého průběhu[6]. Další rozdělení je na síly statické (neměnné s časem) a dynamické (proměnné s časem). Zatížení letounu je dáno fyzikálním stavem, ve kterém se letoun nachází. Fyzikální stav, který je rozhodující z hlediska zatížení se nazývá případ zatížení, který je definován v předpisech letové způsobilosti buď přímo konkrétním výpočtovým vztahem anebo nepřímo obecnou definicí typických provozních a pohybových stavů letounu.

Hlavní veličiny, které ovlivňují zatížení letounu, jsou dle [6]:
- rychlost,
- hmotnost a poloha těžiště,
- násobek zatížení,
- konfiguraci letounu (vysunuté vztlakové klapky, podvozek…),
- hmotnostní konfiguraci (rozložení hmot - momenty setrvačnosti).

2.2.1. Zatížení letounu během vzletu, přistání, pojíždění a vlečení letounu

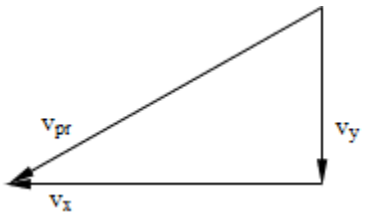
Nejzávažnější zatížení letounu nastává při přistání. Přistávající letadlo se přibližuje k zemi klouzavým letem, obrázek 6. Při plavání letadla nízko nad zemí nastane ustálený stav, kdy aerodynamický vztlak vyváží sílu tíže letadla a zvýšený aerodynamický odpor zabrzďuje pohyb, až nastane částečná ztráta vztlaku, propadání letadla a náraz na přistávací plochu. Uvedená fáze přistání je nejdůležitější pro přistávací zařízení, neboť vytvoří počáteční podmínky pro jeho funkci [6].



Obr. 6. Průběh přistání letounu.

Při ideálním přistání se letoun v okamžiku „podrovnání“ a ztráty vztlaku již dotýká koly podvozku země. Klesací rychlost je téměř nulová a přistávací náraz je minimální, tj. jde o ideální případ. Prakticky dochází k tomu, že letoun má při dotyku se zemí jistou nezanedbatelnou klesací rychlost, nebo v případě brzkého podrovnání dojde ke ztrátě vztlaku ještě před dotykem se zemí. Konstrukce podvozku musí přenést a utlumit zatížení i při uvedených nežádoucích přistání, ke kterým zejména dochází u méně zkušených pilotů, případně za zhoršených podmínek viditelnosti.

Energie plynoucí z dopředné složky rychlosti v_x se postupně utlumí v důsledku aerodynamického odporu, odporu valení kol a brždění, obrázek 7.



Obr. 7. Rozložení přistávací rychlosti.

Se svislou složkou rychlosti v_y souvisí kinetická energie – rovnice 1

$$E_k = \frac{1}{2}.m.v_y^2 \qquad (1)$$

kde:

v_y je svislá rychlost,
m je hmotnost letounu.

Kinetickou energii při dopadu na zem musí pohltit tlumič podvozku a pneumatika.

U menších letounů (nebo u méně zkušených pilotů) je potřeba ke kinetické energii od složky rychlosti v_y ještě připočíst energii potenciální, která vyplývá z nerovnováhy mezi tíhou a vztlakovou silou. Předpis [7] definuje většinou daný poměr jako:

$$L = \frac{2}{3}.G$$

kde:

L je výsledná vztlaková síla na letoun,
G je tíha letounu.

Potenciální energie letounu je:

$$E_p = \left(1 - \frac{L}{G}\right).m.g.h = \left(1 - \frac{2}{3}\right).m.g.h = \frac{1}{3}.m.g.h \qquad (2)$$

kde:

m je hmotnost letounu,
g je tíhové zrychlení,
h je dráha těžiště letounu od okamžiku dotyku kola se zemí až po maximální propérování tlumiče a pneumatiky.

U velkých letounů se potenciální energie zahrnovat nemusí, protože se uvažuje, že vztlak je roven váze letounu [7].

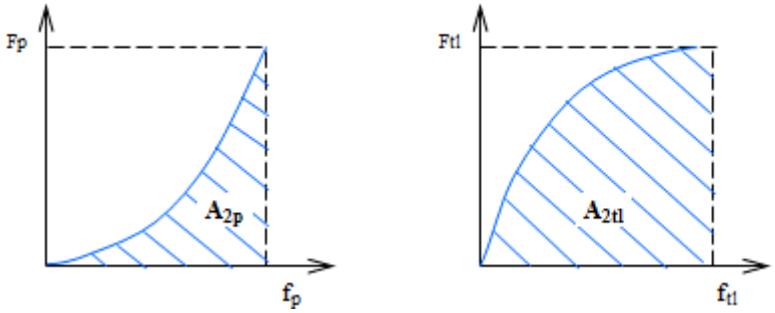
Z výpočtů [6] energie při přistání je možno na základě pracovních charakteristik tlumiče a pneumatiky stanovit nárazovou sílu:

$$R = \frac{E}{f_p.\eta_p + f_{tl}.\eta_{tl}} \qquad (3)$$

kde:

f_p je stlačení pneumatiky,
f_{tl} je stlačení tlumiče,
η_p je plnost pracovního diagramu pneumatiky,
η_{tl} je plnost pracovního diagramu tlumiče.

Na obrázku 8 jsou zobrazeny pracovní diagramy pneumatiky a tlumiče podvozku [6], kde plnost pracovního diagramu η je dána poměrem práce indikované A_2 a teoretické A_1.



a) b)

$$\eta_p = \frac{A_{2p}}{A_{1p}} = \frac{A_{2p}}{F.f_p} \cong 0{,}45 \qquad \eta_{tl} = \frac{A_{2tl}}{A_{1tl}} = \frac{A_{2tl}}{F.f_{tl}} \cong 0{,}75 \div 0{,}8$$

Obr. 8. Pracovní diagramy.
a) pneumatiky, b) tlumiče podvozku

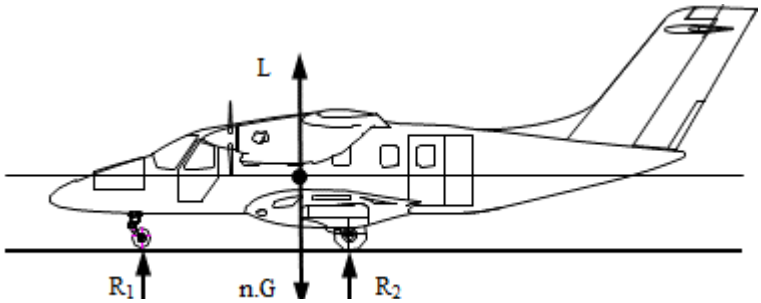
U letounů s příďovým podvozkem (nejpoužívanější uspořádání) přicházejí v úvahu dvě základní polohy přistání letounu. Je to přistání na tři body a přistání na hlavní podvozek.

U přistání na tři body je rovnováha sil daná vzorcem (4) a zobrazení je na obrázku 9:

$$L + R_1 + R_2 - n.G = 0 \tag{4}$$

kde:

- n je násobek zatížení,
- G je tíha letounu,
- L je výsledná vztlaková síla na letoun,
- R_1 je nárazová síla na příďový podvozek,
- R_2 je nárazová síla na hlavní podvozek.



Obr. 9. Poloha podvozku při přistání na tři body.

Při přistání na tři body působí násobek zatížení daný vztahem (5):

$$n = \frac{L + R_1 + R_2}{G} = \frac{L}{G} + \frac{R_1 + R_2}{G} \tag{5}$$

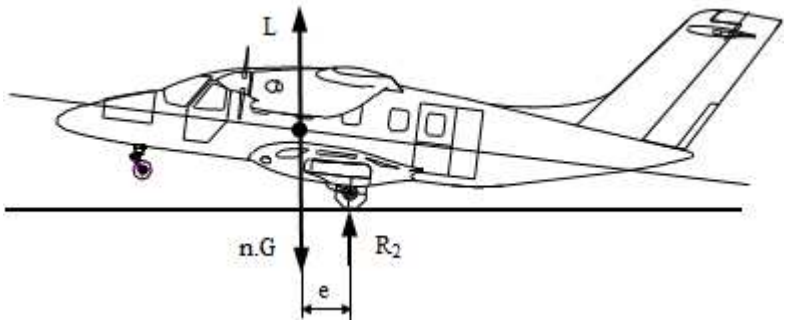
Přičemž pro velké letouny platí [6]:

$$\frac{L}{G} = 1$$

a pro malé letouny platí:

$$\frac{L}{G} = \frac{2}{3}$$

U přistání na hlavní podvozek kromě translačního zrychlení na letoun působí ještě rotační zrychlení, obrázek 10.



Obr. 10. Poloha podvozku při přistání na dva body (přistání na hlavní podvozek).

Rovnováha sil v daném případě je dána rovnicí:

$$L + R_2 - n.G = 0 \tag{6}$$

ve které jsou požita označení jako u rovnice (4).

Z rovnice (6) vyjádříme násobek zatížení který je dán rovnicí:

$$n = \frac{L + R_2}{G} = \frac{L}{G} + \frac{R_2}{G} = 1 + \frac{R_2}{m.g} = 1 + \frac{a_T}{g} \tag{7}$$

kde:

a_T je translační zrychlení a je dáno rovnicí (8)

Z uvedené rovnice (7) vyplývá translační zrychlení v těžišti letounu:

$$a_T = \frac{R_2}{m} \tag{8}$$

Rovnováha momentů je dána rovnicemi:

$$R_2.e - I_z.\varepsilon_z = 0 \Rightarrow R_2.e = I_z.\varepsilon_z = I_z.\frac{a_r}{e} \tag{9}$$

kde:

e je vzdálenost hlavního podvozku od těžiště letounu.

Z rovnice (9) vyplývá rotační zrychlení:

$$a_R = \frac{R_2.e^2}{I_z} \tag{10}$$

Pro celkové zrychlení tak platí vztah:

$$a = a_T + a_R = \frac{R_2}{m} + \frac{R_2.e^2}{I_z} = \frac{R_2}{m} + \frac{R_2.e^2}{m.i^2} = \frac{R_2}{m}.\left(1 + \left(\frac{e}{i}\right)^2\right) \tag{11}$$

kde:

i je poloměr setrvačnosti letounu.

Nárazová síla na podvozku je potom daná vztahem:

$$R_2 = a.\frac{m}{1 + \left(\frac{e}{i}\right)^2} = a.m_{red} \tag{12}$$

kde:

m_{red} je redukovaná hmotnost, která je menší než původní hmotnost letounu, tj:

$$m_{red} = \frac{m}{1 + \left(\frac{e}{i}\right)^2} \tag{13}$$

Podle [6] spočívá fyzikální význam odvozeného vztahu - znamená, že u přistání na hlavní podvozek se část nárazové energie využije na udělení rotace letounu, a tím se sníží nárazové síly na hlavní podvozek.

2.2.2. Dynamické zkoušení leteckých podvozků

Při stavbě letadel je dnes hlavním cílem prodlužování doby jejich životnosti. Proto se soustavně studují skutečné poměry v provozu a usiluje se, o co nejvěrnější napodobování jejich namáhání v leteckých zkušebnách a následně o návrhy odstranění rizik snižujících životnost. Stejný postup je i u zkoušení přistávacích zařízeni, především podvozků, které jsou při rozjezdu a zejména při přistání velmi namáhány.

Pro laboratorní zkoušky podvozků byl v ČSSR vyvinut v padesátých letech minulého století a uveden do provozu v Aeru Radotín (později Technometra Radotín) první „Padostroj“ PS-1, který umožňoval provádět první dynamické zkoušky na pohlcení mechanické práce (pádové zkoušky) leteckých podvozků na dopadovou plošinu. V šedesátých letech minulého století byl uveden do provozu ve Výzkumném a zkušebním leteckém ústavu v Praze Letňanech (VZLÚ) nový víceúčelový zkušební stroj. Jedná se o univerzální padostroj, na němž lze se samotným podvozkem napodobit přistání skutečného letadla, za působení hlavních činitelů, které přistání ovlivňuji, jako je dopředná rychlost letadla, jeho hmota, rychlost klesání, vztlaková odlehčující síla atd., a to pro případy symetrického i nesymetrického přistání. Relativní pohyb letadla vůči zemi se simuluje pádem vozu s podvozkem na roztočený buben setrvačníkového zařízení, sleduje se převzetí kinetické energie svislého pohybu letadla prací tlumicí soustavy podvozku a zabrzdění dopředné složky pohybu letadla až do jeho zastavení přeměnou kinetické energie v teplo, dané prací brzd na kolech podvozku při zanedbání aerodynamických, event. jiných (např. brzdicí padáky) odporů [8]. Uvedené zařízení dovoluje komplexní vyšetřování přistávacích zařízení, obrázek 11.

a) b)

Obr. 11. Padací stroj.

a) Padostroj PS-1, b) Padostroj VZLÚ

Na počátku vývoje letadlových podvozků byly laboratorní zkoušky zaměřeny především na samotný tlumič, aby se ověřila jeho dynamická charakteristika, získaly podklady pro její analýzu a našly způsoby vhodného seřízení tlumících průtoků a aby se ověřil vzájemný vliv pružícího a tlumícího media. Tlumič se proto zkoušel ve svislé poloze a bez kola, vliv pneumatiky na celkovou převzatou energii a vliv sklonu tlumiče na rozložení sil se vyjadřovaly početně. Popsaným způsobem nebyly vždy podchyceny všechny vlivy, např. vztlakové

odlehčení, roztočení kola na přistávací rychlost, charakteristika tlumiče byla zkreslována účinkem setrvačných sil neodpružených hmot (např. pístnice), které v úplném podvozku jsou odpruženy pneumatikou. Dnešní vývoj testů přistávacího zařízení požaduje na základě praktických zkušeností [8] za nezbytnou podmínku zavést do laboratorního zkoušení mimo jiné i simulaci zmíněných dosud nezohledňovaných vlivů:

1. Aerodynamické nadlehčení tíže letadla.
2. Dopředná složka přistávací rychlosti letadla.
3. Polohy podvozku k dopadové ploše tak, aby byla v souladu s polohou podvozku vůči letadlu a zemi za provozu.
4. Smyky a brzdné účinky při zkoušení pneumatik a brzd, zvláště při vysokých rychlostech.
5. Dlouhodobý provoz opakovanými pády, brzděním a případně sklápěním a vysouváním podvozku.
6. Impulsy k vybuzení příčného rozkmitání kol směrově vychýlitelných.

Aerodynamické nadlehčení tíže letadla

Prakticky nemůže u letounu nastat přistání bez aerodynamického odlehčení síly tíže letadla. Měření na letounech v provozu ukázala, že nejčastěji je síla tíže vyvážena z 90 % svislou složkou aerodynamické síly. Výzkum ukázal, že jsou podstatné rozdíly zvláště mezi případy zcela bez odlehčení a s odlehčením 50 až 100% G. Bylo zjištěno, že stejné množství práce převezme podvozek při nárazu bez vztlakového odlehčení s maximální silou o 20 až 30% větší než při částečném nebo úplném aerodynamickém odlehčení. Pro správnou fyzikální interpretaci je tudíž třeba zkoušet přistávací zařízení se simulací aerodynamického odlehčení, odpovídající nejméně příznivým podmínkám v provozu. Je třeba uvést, že realizace pádové zkoušky se simulovaným aerodynamickým odlehčením má, na rozdíl od dříve konaných zkoušek volným pádem s redukovanou hmotou, vystihuje skutečnou fyzikální podstatu a to, že změnu volného pádu se zrychlením zemské tíže 1g na pohyb se zrychlením menším než 1g až pohyb rovnoměrný ($a = 0$, $v_y = konst.$), který odpovídá skutečnému stavu na přistávajícím letounu.

Dopředná složka přistávací rychlosti letadla

Při přistávacím nárazu je potřeba uvažovat kromě svislé síly též vodorovnou sílu. Předmětná síla je způsobena odpory všeho druhu, ať již nezávislými na pilotovi (roztáčení kola, tření, kinematika podvozku, přejíždění nerovností) nebo pilotem vyvolanými (brzdné účinky) ke zpomalení a zastavení dopředeného pohybu.

Polohy podvozku k dopadové ploše tak, aby byla v souladu s polohou podvozku vůči letadlu a zemi za provozu

Pokud je dopadová plocha padostroje pevná, vzniká potíž v případě, kdy působiště svislé síly se pohybuje v jiném směru, neboť pak dochází k částečnému nebo úplnému smýkání pneumatiky po desce neodpovídající poměrům v provozu. Tam dopředná rychlost umožní odvalení kola i v odchýleném směru při značně menších deformacích pneumatiky. Nelze tedy na dopadové desce správně simulovat náraz podvozku v obecně nakloněné poloze, stejně tak

jako ani symetrický pád šikmo vestavěného podvozku (zejména teleskopického). Z uvedeného vyplývá, že pro správný experiment s podvozkem obecně nakloněným, ať už vlivem zástavby na letadlo nebo při nesymetrickém přistání, je nutná simulace dopředné rychlosti v průběhu celého přistávacího nárazu. U padostroje VZLU je předmětná simulace umožněna dopadem na roztočený setrvačník.

Smyk a brzdné účinky podvozku při zkoušení pneumatik a brzd, zvláště při vysokých rychlostech

Otázka smyku a brzdných účinků se týká v převážné míře podvozkového kola.

Dlouhodobý provoz podvozku opakovanými pády, brzděním a případně sklápěním a vysouváním

Stejně jako v jiných oborech letadlové techniky je i u přistávacích zařízení v popředí otázka záruk jejich činnosti při určitém počtu přistání a celková životnost zařízení. Splnění zmíněných požadavků vede k celému komplexu zkoušek, z nichž většina si vynutila i vývoj a realizaci speciálních zařízení, např. pro programované zatěžování podvozkové nohy proměnnými silami zacílené na zjišťování kritických míst a jejich únavové pevnosti, nebo jednoúčelová zařízení na opakované pády či přejíždění umělé překážky apod. Univerzální padostroj ve VZLU umožňuje laboratorní zkoušku přistávacího zařízení i ke zjištění vlivu funkce podvozku při přistávacích nárazech, přejetí překážky a brzdných impulsech na namáhání jednotlivých části podvozku.

Impulsy k vybuzení příčného rozkmitání kol směrově vychýlitelných

Jev, vyskytující se u směrově vychýlitelných kol, je v provozu velmi nepříjemný, a to nejen u letadel. Řešení problému je značně obtížné, zejména má-li být uskutečněno již ve stádiu projektu. Existuje celá řada teorií a výpočtových metod k určení mezí stability směrově vychýlitelných kol [8]. Vychází se z následujících základních předpokladů:

a) vztahy mezi silami a deformacemi pneumatiky jsou pro dynamický jev aplikovány z kvazistatického stavu,
b) řešení jsou založena na linearizaci teorie pohybu pneumatiky,
c) teoretická řešení zahrnují pouze fázi, v níž nedochází ke smyku pneumatiky,
d) výpočtové metody neuvažují vliv vůlí, zejména jejich zvětšování během provozu.

Z výše uvedených důvodů je zřejmé, že matematické vyjádření se může pouze přiblížit skutečným poměrům. Proto ve všech případech je nutné experimentální ověření, které je uskutečňováno různými způsoby, vesměs na setrvačníkových zařízeních.

Výzkumné práce prováděné na padostrojích [8] objasnily otázky, které dříve nemohly být řešeny, např. zdůvodnění nutnosti simulace aerodynamického odlehčení při pádových zkouškách, prokázání rozdílného vlivu teleskopického a pákového uspořádání podvozku na útlum vibrací při roztáčení kola, zjištění skluzových poměrů pneumatik při roztáčení a brzdění kol a brzdných účinků na celé podvozky a zjišťování stability směrově vychýlitelných kol proti samovolnému rozkmitání u větších letadel. Na uvedených padostrojích se i nadále provádějí průkazy funkční způsobilosti přistávacích zařízení a jejich částí [8].

2.3. Padostroj PS 1 na dynamické zkoušení podvozků letadel

Otázkám bezpečnosti leteckého provozu (jak je uvedeno v druhé kapitole) je v jednotlivých zemích, ale i na mezinárodní úrovni, věnována velká pozornost, protože případné selhání techniky nebo lidského faktoru v dané oblasti může vést k velkým materiálním ztrátám, včetně ohrožení životů a zdraví velkého počtu lidí. Proto jsou všechny činnosti, které souvisejí jak s leteckým provozem, tak i s výrobou letecké techniky přísně sledovány. Dá se říci, že každá země má pro tuto oblast vytvořeny soubory zákonů, směrnice a standardy, které usměrňují všechny činnosti s touto oblastí související. Součástí těchto dokumentů jsou i předpisy stanovující technické požadavky na konstrukci letecké techniky a hlavně požadavky na spolehlivost a bezpečnost této letecké techniky. Dokumenty mají většinou závazný charakter a každý výrobce, který chce leteckou techniku nejenom vyrábět, ale i zkoušet, je musí respektovat a jejich dodržování stanoveným způsobem prokazovat.

Pracoviště provádějící zkoušky civilní letecké techniky musí být držitelem oprávnění pro „Zkoušky civilních letadel č. L-3-056/2 058“ v souladu s § 17 zákona č. 49/1997 Sb. (zákon o civilním letectví) podle „Postupu CAA-TI-012-n/99“ (Postup pro vydání oprávnění k provádění zkoušek letecké techniky). Zkoušky provádí v souladu s mezinárodními předpisy týkajících se certifikace JAR, CS, FAR, ICAO a podle předpisové základny na základě požadavku zákazníka. (Předpisy zabývající se certifikací civilních letounů, jejich letovou způsobilostí platnou v Evropské unii jsou označeny jako „CS“. Předpisy jsou vydávány organizací EASA a vycházejí z předpisů řady JAR a jsou téměř identické). Použity jsou zejména předpisy týkající se menších letadel certifikovaných podle předpisu CS 23 a FAR 23. Předpis CS-23 (FAR 23) je platný pro malé letouny v kategorii normální, cvičná a akrobatická v uspořádání s devíti nebo méně sedaly mimo sedadla pilotů, se schválenou maximální vzletovou hmotností 5 670 kg nebo nižší; a vrtulové dvoumotorové letouny v kategorii pro sběrnou dopravu v uspořádání s devatenácti nebo méně sedadly mimo sedadla pilotů, se schválenou maximální vzletovou hmotností 8 618 kg nebo nižší. Předpisy obsahují seznam požadavků a certifikačních procedur, kterými letoun požadující schválení musí projít [7].

Pro zkoušky vojenské letecké techniky musí být dané pracoviště držitelem oprávnění pro „Zkoušky vojenských letadel č. MAA 058“ vydané Odborem vojenského letectví (OVL) Ministerstva obrany České republiky, které je organizačním útvarem ministerstva odpovědným za oblast vojenského letectví v rozsahu stanoveném zákonem č. 219/1999 Sb., zákonem č. 49/1997 Sb. a dalšími právními předpisy. Pro vojenskou leteckou techniku hrají důležitou roli speciální vojenské předpisy, standardy a specifikace. Vzhledem k začlenění České republiky do Severoatlantické aliance jde především o standardizační dokumenty NATO (vydávány ve dvojí formě, a to jako Spojenecké dokumenty (Allied puplications – AP), nebo jako Standardizační dohody (Standardization Agreement – STANAG)) a Normy branných sil Spojených států amerických (MIL). Tyto dokumenty jsou potom v nezbytném rozsahu doplňovány i civilními standardy a předpisy.

Na základě výše uvedených oprávnění může dané pracoviště provádět vývojové a certifikační zkoušky civilních i vojenských letadel, včetně zkoušení jejich částí, tedy i podvozků.

V současné době byl Padostroj PS-1 přemístěn z Technometry Radotín do Aera Vodochody Aerospace (AVA), kde má dále sloužit pro dynamické zkoušky podvozků. Vzhledem ke stáří daného stroje je potřeba provést před jeho uvedením do plného provozu celou řadu úkonů vedoucích k jeho dalšímu bezpečnému provozování. Snahou je jeho částečná modernizace a přizpůsobení současným požadavkům jak v oblasti bezpečnosti, tak v oblasti získávání měřených dat. V první fázi je provedena nová povrchová úprava a výměna prvků zajišťujících bezporuchový a bezpečný chod pohyblivých částí stroje. Součástí prací je i instalace senzorů, vyplývající z návrhu nového měřícího řetězce. Na základě finančních možností se v blízké budoucnosti uskuteční i druhá fáze prací vedoucích ke zvýšení bezpečnosti obsluhy a k dalšímu zkvalitnění získaných výsledků měření.

2.3.1. Základní popis Padostroje PS-1

Padostroj PS-1 obrázek 12 nám umožňuje provádět dynamické zkoušky podvozků různých typů dle možností uvedených v technické dokumentaci [18] zařízení. Základem stroje je robustní konstrukce, jejímž základem jsou dva vertikální nosníky sloužící zároveň jako vodící „kolejnice“ pro vertikálně pohyblivý vůz, jehož součástí je i „stůl“ na jehož spodní části je prostřednictvím speciálního přípravku (přípravek musí svými pevnostními parametry odpovídat skutečnému uchycení podvozku na letounu) upnut testovaný podvozek. Na horní části stolu je připevněno závaží příslušné hmotnosti (závaží ve formě desek a pytli s olověnou drtí sloužících k přesnému dovážení) potřebné k testovaného podvozku. Vertikální pohyb vozu zajišťuje hydraulická soustava, umožňující připevnění potřebného záváží umístněného v horní části stroje a zároveň slouží k nastavení příslušné pádové výšky, případně k instalaci podvozku. Vlastní pád celé soustavy, včetně testovaného podvozku je zprostředkován prostřednictvím zámku odhozu, který je ovládán pomocí provazu (jeho zatažením) po předchozím odjištění elektromagnetického zámku. Pokud daná zkouška vyžaduje simulaci vztlakové síly, je možné k pohyblivému stolu připevnit pružná lana a pomocí vodících tyčí nastavit jejich předpětí. Součástí padostroje je měřící dopadová deska umístněná v úrovni podlahy a umožňující měření dopadové síly měřené pomocí deformačního členu instalovaného pod deskou. Měření výšky pádu a celkového propérování podvozku je realizováno pomocí ocelových měřítek a měřících lan, které jsou součástí PS-1. Propérování vlastního tlumiče je měřeno pomocí stíracích kroužků a posuvného měřítka. Naměřené hodnoty jsou zapsány do tabulky a posléze přepsány do tabulkového editoru PC k dalšímu zpracování.

Vlastní testování podvozků na Padostroji PS-1 slouží mimo jiné k ověřování, zda průtokové poměry tlumiče jsou nastaveny tak, aby působící síla na dopadovou plošinu měla požadovaný průběh. Velikost pohlcené práce vyplývá z podmínky, že na konci přistávacího rázu letounu (při $v_y = 0$) musí být práce vnějších sil pohlcena vnitřní prací při zatlačení tlumiče, deformací pneumatik a nosné konstrukce podvozku. Účelem zkoušky je prokázat schopnost podvozku pohltit kinetickou energii letounu při přistání.

Obr. 12. Padostroj PS-1.

2.3.1.1. Technické údaje Padostroje PS-1

Na základě technické dokumentace [18] Padostroje PS-1 platí:

Celková stavební výška padostroje (nad zemí)……..6,8 m
Půdorysná plocha padostroje…… 2,5x4 m
Rozsah váhového zatížení padacího vozu…….100÷4000 kg
Váha přídavného závaží velkého…….....125 kg
Váho přídavného závaží malého…….……...1,5; 10; 20 kg

Minimální vzdálenost padacího vozu od dopadového můstku……..1,2m
Maximální výška odlehčeného zkoušeného podvozku ……2m
Maximální pádová výška pro nejvyšší podvozek……..2m
Maximální propérování zkoušeného podvozku ..……..……0,6m
Maximální zdvih hydraulického zvedáku ……..……. .2,6m
Maximální dovolená svislá reakce ……..……. 25 000 kg
Maximální výstřednost svislé reakce od osy padostroje:
ve směru dopředném….. ± 0.15m
ve směru bočném…..……± 0.75m

2.3.2. Požadavky pro dynamické zkoušky podvozků na Padostroji PS-1

Na základě požadavků praxe jsou dynamické zkoušky speciálně stanovené pro sériové a pro prototypové podvozky.

2.3.2.1. Zkoušky sériově vyráběných podvozků (kontrola výrobků).

Postup určuje předpis [9], který odlišuje dva typy zkoušek a to pádové zkoušky podvozkových tlumičů a úplných podvozků:

1. Pádové zkoušky podvozkových tlumičů.

U sériové výroby jde téměř výlučně o zkoušky samotných tlumičů, při nichž se má ověřit shoda dynamické charakteristiky tlumiče s charakteristikou odvozenou ze zkoušek prototypu. Faktory určující průběh charakteristiky jsou:

- komprese pružícího prostředí v tlumiči (hustěný vzduch, ocelová pružina, pryž, pružící kapalina),
- brzdící odpor kapaliny (nebo plynu) škrcením v průtoku,
- tření ucpávek.

Zatěžovací síla se zavádí do osy tlumiče, který je k padacímu vozu připevněn svisle v ose padostroje. Cílem měření je registrace svislé síly v ose padostroje. U popsaného padostroje dopadá tlumič zakončený kovovým nárazníkem na „protinárazník“ vsazený do středu dopadového můstku.

2. Pádové zkoušky úplných podvozků.

U sériových výrobků přicházejí v úvahu jen ve výjimečných případech. Postup zkoušení je shodný jako u zkoušek prototypových podvozků.

2.3.2.2. Zkoušky prototypových podvozků

Postup určuje předpis [9], který odlišuje dva typy zkoušek a to pádové zkoušky podvozkových tlumičů a úplných podvozků:

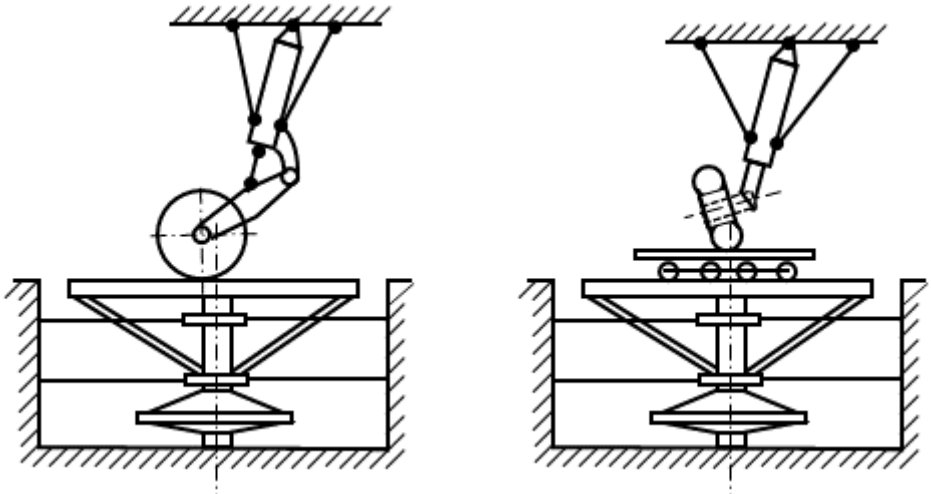
1. Pádové zkoušky podvozkových tlumičů se provádějí při svislém zatěžování jak v ose, tak mimo osu tlumiče.

   a) zatěžování svisle v ose tlumiče:
   Jedná se o výchozí zkoušku u nově vyvinutých tlumičů a slouží k ověření shody dynamické charakteristiky a teoreticky navržené charakteristiky při projektu tlumiče. Postup zkoušení je shodný jako u pádové zkoušky sériově vyráběných podvozkových tlumičů.

b) zatěžování svisle mimo osu tlumiče:
Zkouškou se ověřuje vliv dalších faktorů na průběh dynamické charakteristiky tlumiče. Jsou to především:

- zvýšení pasivních odporů ve skloněném tlumiči
- změna převodu sil do osy tlumiče u kývavých podvozkových systémů.

Vzhledem k tomu, že se v daných případech zpravidla mění poloha působiště svislé reakce, zkouší se tlumič i s kolem, které se při propérování podvozku odvaluje na dopadové desce, viz obrázek 13a. V případě, že kolo při propérování koná ještě pohyb suvný nebo kyvný ve směru bočném, použije se pomocný valivý můstek, obrázek 13b.



a) b)

Obr. 13. Pádové zkoušky podvozkových tlumičů.
a) kolo odvalující se po dopadové desce,
b) pomocný valivý můstek umožňující suvný pohyb nebo kyvný pohyb kola.

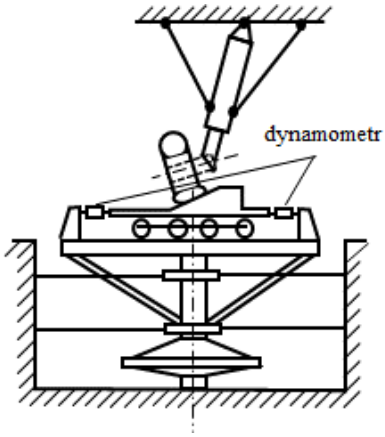
Cílem měření je registrace svislé reakce s proměnlivou polohou působiště vůči ose padostroje. Podle zkušeností [9] vliv sklonu tlumiče a změna převodu sil při propérování se jeví v provozu přistávacích zařízení velmi závažně, neboť mění podstatně průběh charakteristiky tlumiče a může v nepříznivém případě i zcela potlačit pružící schopnost podvozku.

2. Pádové zkoušky úplných podvozků se provádějí ve dvou případech, a to:

a) zatěžování šikmou reakcí v dotykovém místě pneumatiky s dopadovou rovinou,
Výsledná šikmá reakce je výslednicí tří kolmých složek:

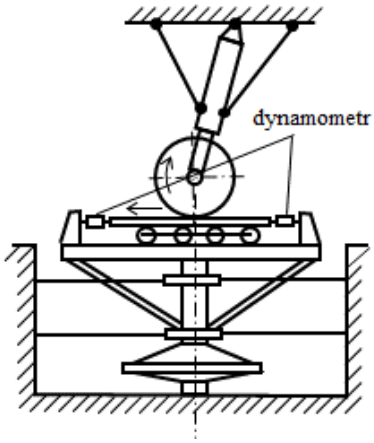
- svislé,
- dopředné,
- bočné.

Obě vodorovné složky pohybu (dopředná a bočná) vznikají buď dopadem kola na šikmou rovinu anebo smýkáním kola po vodorovné dopadové rovině. Aplikace prvního případu je na padostroji provedena tak, že na dopadové desce je valivě uložena deska s příslušným sklonem horní stěny, obrázek 14. Vodorovné složky reakce vzniklé při dopadu zachycují dynamometry.



Obr. 14. Dopad kola na šikmou rovinu.

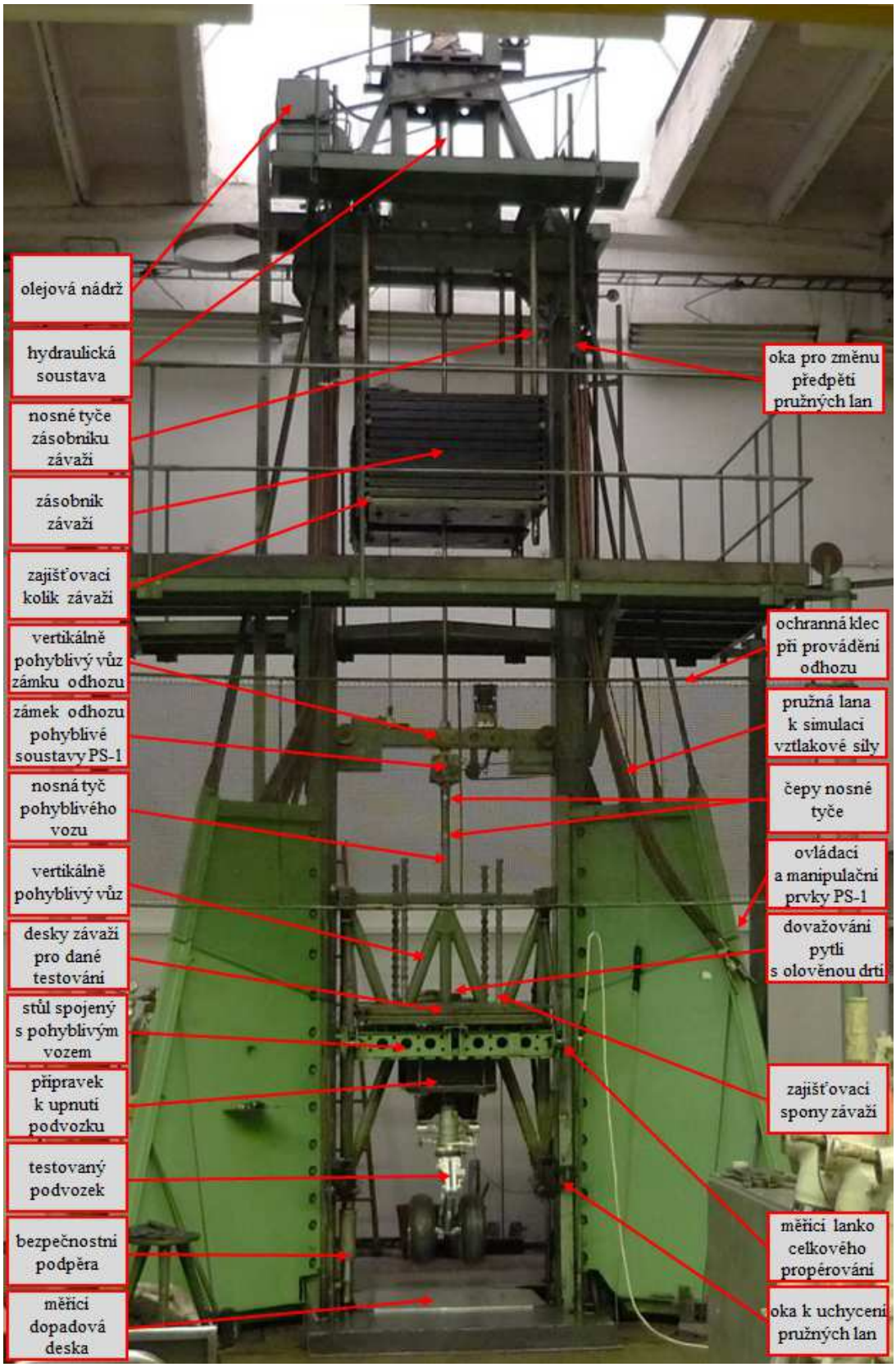
b) Druhý případ vzniku vodorovných složek reakci smýkáním pneumatiky (náhlým roztáčením kola při jeho dotyku se zemí, šikmou polohou kola vůči směru pojíždění, bočným pohybem kola při propérování) lze nejvýhodněji aplikovat dopadem zkoušeného podvozku na setrvačníkový buben přiměřeného průměru roztočený na obvodovou přistávací rychlost [9]. Pro zvolený rozsah zatěžování u popsaného padostroje by provoz zařízení nebyl ekonomický, zejména pro zkoušení nejlehčích typů podvozků, kde vliv roztáčení kol na výslednou reakci není ještě pronikavý [9]. Přesto však lze i u popsaného padostroje aplikovat mnohé z uvažovaných případů zatěžování. Použitím přídavné rovinné desky valivě uložené na dopadové desce a držené ve vodorovném směru soustavou dynamometrů lze měřit i reakci od roztáčení kola nepřímo, a to náhlým zastavením roztočeného kola třením pneumatiky o pevnou podložku po dopadu. Roztočení kola na přistávací obvodovou rychlost se provede pomocí elektromotoru. Výhodou daného provedení je možnost použití dopadových desek s různou jakostí povrchu, obrázek 15.



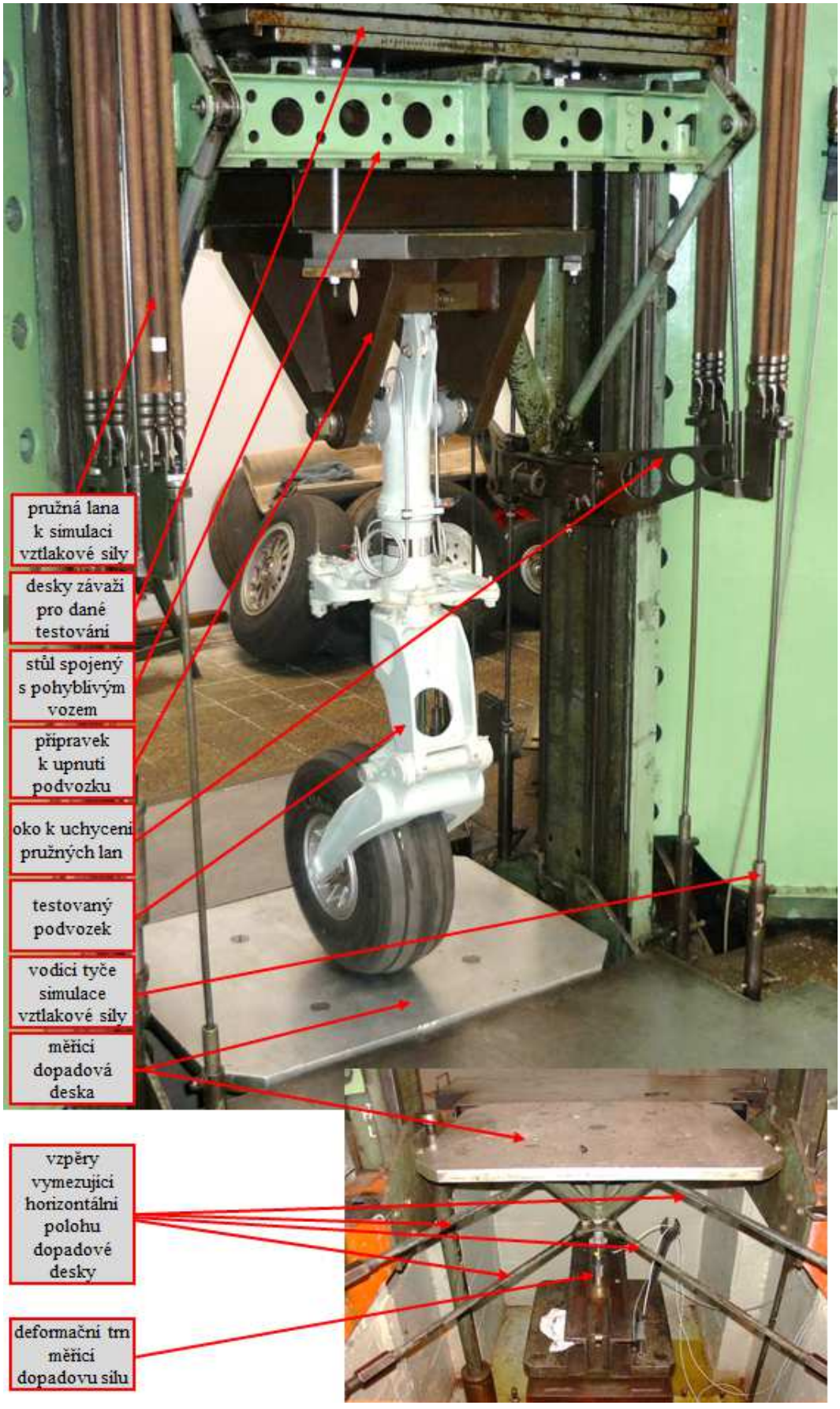
Obr. 15. Smýkáním pneumatiky náhlým roztáčením kola při jeho dotyku se zemí.

2.3.3. Popis práce na Padostroji PS-1

Na obrázku 16 a 17 jsou popsány jednotlivé části Padostroje PS-1.



Obr. 16. Popis jednotlivých částí Padostroje PS-1.



Obr. 17. Popis uchycení podvozku a dopadové desky Padostroje PS-1.

V následném textu je popsán podrobný postup práce na Padostroji PS-1 při provádění pádových zkoušek podvozků. Popis jednotlivých činností je proveden jak pro období před prováděnými technickými úpravami, co se týče měřených hodnot (původní způsob měření), tak po instalaci nově navržené měřící aparatury. Zařízení pro měření pádové výšky a celkového propérování testovaného podvozku je po úpravách Padostroje PS-1 zachováno a slouží pro informativní účely, tj. pro kontrolu výsledků. Níže uvedený postup se použije ne jenom pro novou obsluhu daného stroje na nově vytvořeném pracovišti, ale bude použit i pro návrh kontrolního seznamu, který bude také součástí dokumentu tak zvané „Příručky zkušebny přistávacích zařízení“. Činnost nově vzniklé Zkušebny přistávacích zařízení je vymezena pro civilní letadla v rozsahu daném Oprávněním vydaným Úřadem pro civilní letectví (ÚCL) a pro vojenská letadla je vymezena v rozsahu daném Osvědčením ke zkoušení vydaným Odborem vojenského letectví Ministerstva obrany ČR (OVL MO).

Postup zkoušky se skládá z následujících šestnácti činností:

1. Instalace senzorů na testovaný podvozek (nově navržený měřící systém), tj.:
    a) instalace objímky se senzorem propérování a statického přetížení na zkoušený podvozek dle vydaného postupu pro daný typ podvozku,
    b) připevnění konektorů senzorů k podvozku pomocí děrované PVC pásky dle dílenské praxe.

2. Instalace přípravku sloužícího k upnutí zkoušeného podvozku k pohyblivému stolu Padostroje PS-1, za předpokladu, kdy není instalováno závaží a pohyblivý stůl je spuštěn na bezpečnostní podpěře, tj.:
    a) odjistit a vyjmout čep nosné tyče mezi vozem a stolem,
    b) pomocí hydraulického okruhu zdvihnout vertikálně pohyblivý vůz o jednu rozteč nosné tyče a následně spojit čepem a zajistit,
    c) zdvihnout stůl do potřebné výšky, zasunout manipulační vozík s přípravkem dle technické specifikace a průvodky práce,
    d) spustit stůl na přípravek, ustavit přípravek a spojit danou soustavu vhodnými svorníky, v případě potřeby vložit rozpěrky a překontrolovat uchycení,
    e) zdvihnout přípravek se stolem z manipulačního vozíku, opět překontrolovat instalaci – uchycení po odstranění manipulačního vozíku,
    f) spustit stůl s nainstalovaným přípravkem na bezpečnostní podpěru,
    g) spojení vozu a stolu (nosné tyče) vrátit do původní polohy v nosné tyči (bod a, b).

3. Naložení závaží na pohyblivý stůl, tj.:
    a) zdvihnout stůl do horní krajní polohy k zásobníku závaží,
    b) potřebný počet závaží - desek (dle technické specifikace a průvodky práce) uvolnit na stůl z nosných tyčí vyjmutím zajišťovacích kolíků, zbylé závaží opět řádně zajistit v nosných tyčích zajišťovacími kolíky ***(pozor - řádně překontrolovat, nebezpečí úrazu!!!),***

c) stůl se závažími spustit do dolní polohy, opřít o bezpečnostní podporu, při spouštění je potřeba kontrolovat volný chod vozíku,
d) desky zajistit na stole sponami, podle technické specifikace zkoušeného podvozku a průvodky práce dovážit pohyblivý stůl pytli s olověnou drtí.

4. Instalace podvozku do přípravku na pohyblivém stolu, tj.:
   a) do přípravku instalovat senzory vybavenou podvozkovou nohu, včetně kola, případně brzdy, k instalaci podvozku lze díky jejich váze použít i technologické přípravky k tomuto účelu vyrobené,
   b) zkontrolovat plnící tlak v tlumiči a v pneumatice podvozku pomocí kalibrovaných manometrů,
   c) spojit měřící lanko celkového propérování s unášečem pásového měřítka (tento bod po instalaci nové měřící aparatury bude zrušen).

5. Seřízení polohy „nula“ celkového propérování:
   Původní systém měření:
   Seřídit polohu lanka a pásového měřítka tak, aby v okamžiku dotyku kola a dopadové desky ukazatel u pásového měřítka směřoval na horní okraj červené značky a unášeč na lanku celkového propérování zapadl do posuvné měrky celkového propérování nastaveného na hodnotu „nula“ měřítka.

   Nově navržený měřící systém:
   Vynulování celkového propérování bude provedeno prostřednictvím software před vlastním měřením (senzor absolutního lineárního odměřování BALLUFF BTL5).

6. Simulace vztlakové síly pomocí pružných provazců:
   a) pokud je dle technické specifikace a průvodky práce pro pádovou zkoušku předepsána vztlaková síla, použijí se k jejímu vyvození pružné provazce (lana), které jsou ve čtyřech svazcích zavěšeny v rozích pohyblivého vozu,
   b) instalovat držáky lan do vodících trubek ve vztlakových křídlech a dále nasunout na dvojice vodících tyčí,
   c) potřebný počet lan stejnoměrně rozdělit a zaháknout do oka držáků pružných lan, ***(pozor - lana nesmí být překřížena!!!)***,
   d) v „nulové“ poloze podvozku (dotyk kola s dopadovou deskou) zajistit držáky na vodících tyčích maticemi (podle potřeby seřídit výškově polohu vodících tyčí).

7. Předpětí pružných provazců:
   Změna předpětí pružných provazců se provádí v horní části padostroje přestavením tyčí s otvory, na kterých jsou lana zavěšena ***(pozor - provádět při uvolněných lanech!!!)***.

8. Kontrola hmotnosti zkoušené soustavy:

Původní systém měření:

a) připojení měřícího zesilovače k senzoru síly umístněného na měřícím trnu dopadové desky,
b) dle předem stanoveného postupu provést zahřátí, řádné nastavení a vynulování měřícího zesilovače síly,
c) zkoušenou soustavu po odstranění bezpečnostní podpěry spustit na dopadovou desku (stůl se závažími, přípravkem a vybavenou podvozkovou nohou),
d) v případě použití vztlakových lan je nutno tato lana odpojit,
e) odjistit zámek odhozu dopadového vozíku zamáčknutím žlutého tlačítka na ovládacím pultu,
f) provést „odhoz“ z nulové výšky,
g) provést odečtení hodnoty hmotnosti zkoušené soustavy z displeje zesilovače, zda odpovídá požadované velikosti,
h) zdvihnou vůz a zajistit zámek dopadového vozíku,
i) v případě nutnosti upravit počet závaží a proces od bodu *c)* opakovat,
j) po ověření dopadové hmotnosti zdvihnout dopadovou soustavu,
k) vložit bezpečnostní oporu a vůz spustit na tuto podporu,
l) v případě použití vztlakových lan je nutno tato lana znovu připojit.

Nově navržený měřící systém:

a) připojení senzoru síly umístněného na měřícím trnu dopadové desky k měřící aparatuře, včetně senzorů umístněných na zkoušené podvozkové noze (senzor propérování a statického přetížení) a senzoru celkového propérování (senzor absolutního lineárního odměřování),
b) propojovací kabely mezi měřící ústřednou a senzory uspořádat tak, aby nebránili při vlastním měření a nedošlo také k jejich poškození,
c) zapnout napájení měřící ústředny a prostřednictvím obslužného software PC sledovat potřebné měřené parametry, v tomto případě hmotnost zkoušené soustavy,
d) zkoušenou soustavu po odstranění bezpečnostní podpěry spustit na dopadovou desku (stůl se závažími, přípravkem a vybavenou podvozkovou nohou),
e) v případě použití vztlakových lan je nutno tato lana odpojit,
f) odjistit zámek odhozu dopadového vozíku zamáčknutím žlutého tlačítka na ovládacím pultu,
g) provést „odhoz“ z nulové výšky,
h) provést odečtení a uložení hodnoty hmotnosti zkoušené soustavy z displeje PC, zda odpovídá požadované velikosti,
i) zdvihnou vůz a zajistit zámek dopadového vozíku,
j) v případě nutnosti upravit počet závaží a proces od bodu *c)* opakovat,
k) po ověření dopadové hmotnosti zdvihnout dopadovou soustavu,
l) vložit bezpečnostní oporu a vůz spustit na tuto podporu,

m) v případě použití vztlakových lan je nutno tato lana znovu připojit.

9. Pádová zkouška:

Původní systém měření:

a) zdvihnout zkoušenou soustavu na předepsanou pádovou výšku dle technické specifikace a průvodky práce,
b) nastavit měřící zesilovač pro měření dopadové síly,
c) zkontrolovat měřící lanko celkového propérování,
d) odstranit bezpečnostní podporu,
e) spustit ochrannou klec do dolní polohy,
f) odjistit zámek odhozu zamáčknutím žlutého tlačítka na ovládacím pultu,
g) zatažením za provaz otevřít zámek (provést odhoz),
h) odečíst a zapsat do tabulky naměřené hodnoty,
i) vyzdvihnout ochrannou klec do horní polohy.

Nově navržený měřící systém:

a) zdvihnout zkoušenou soustavu na předepsanou pádovou výšku dle technické specifikace a průvodky práce,
b) vynulovat polohu celkového propérování prostřednictvím software PC – provést reset,
c) odstranit bezpečnostní podporu,
d) spustit ochrannou klec do dolní polohy,
e) odjistit zámek odhozu zamáčknutím žlutého tlačítka na ovládacím pultu,
f) spustit záznam měřící aparatury,
g) zatažením za provaz otevřít zámek (provést odhoz),
h) vypnout záznam měřící aparatury,
i) vyzdvihnout ochrannou klec do horní polohy.

10. Zpětné zapojení pohyblivého stolu:

a) otevřením regulačního ventilu spustit vůz ke stolu, až čelisti zámku zapadnout za ozuby na trnu vozu,
b) zajistit zámek zamáčknutím stříbrného tlačítka, kontrolovat pohledem zapadnutí západky zámku,
c) uzavřít regulační ventil,
d) zdvihnout zkoušenou soustavu,
e) v případě ukončení zkoušky vložit bezpečností podporu a vůz spustit.

11. Odstranění simulace vztlakové síly pokud byla použita:

a) v „nulové“ poloze podvozku (dotyk kola s dopadovou deskou) odstranit držáky na vodících tyčích sejmutím matic,
b) odstranit držáky lan vodících trubek ve vztlakových křídlech a dále vysunout dvojice vodících tyčí,

12. Demontáž podvozku:
    a) odpojit měřící lanko celkového propérování s unášečem pásového měřítka (tento bod po instalaci nové měřící aparatury bude zrušen).
    b) odpojení vodičů od senzorů umístněných na zkoušené podvozkové noze (senzor propérování a statického přetížení) - nově navržený systém,
    c) z přípravku vyjmout podvozkovou nohu, k demontáži podvozku lze díky jejich váze použít i technologické přípravky k tomuto účelu vyrobené,

13. Sejmutí závaží (desek) z pohyblivého stolu:
    a) odstranit pytle s olověnou drtí jsou-li použity,
    b) sejmout zajišťovací spony desek na pohyblivém stolu,
    c) vyzdvihnout stůl do horní polohy k zásobníku závaží, zajistit desky kolíky v nosných tyčích zajišťovacími kolíky ***(pozor - řádně překontrolovat, nebezpečí úrazu!!!)***
    d) spustit prázdný stůl do dolní polohy - opřít o bezpečnostní podporu, při spouštění kontrolovat volný chod vozíku.

14. Demontáž přípravku sloužícího k upnutí zkoušeného podvozku k pohyblivému stolu Padostroje PS-1, za předpokladu, kdy není instalováno závaží a pohyblivý stůl je spuštěn na bezpečnostní podpěře:
    a) odjistit a vyjmout čep nosné tyče mezi vozem a stolem,
    h) pomocí hydraulického okruhu zdvihnout vůz o jednu rozteč nosné tyče a následně spojit čepem a zajistit,
    i) zdvihnout stůl do potřebné výšky, zasunout manipulační vozík určený pro daný přípravek dle technické specifikace a průvodky práce,
    j) spustit stůl na manipulační vozík, uvolnit přípravek od dané soustavy použitými svorníky, v případě rozpěrek je nutno tyto taktéž vyjmout,
    k) zdvihnout pohyblivý stůl a vysunout manipulační vozík,
    l) spustit stůl bez přípravku na bezpečnostní podporu,
    m) spojení vozu a stolu (nosné tyče) vrátit do původní polohy v nosné tyči (bod a, b).

15. Provedení zápisu do evidenční knihy zkoušek:
    Do evidenční knihy provést záznam pádové zkoušky v rozsahu:
    - datum, zkoušený podvozek (označení),
    - číslo záznamu v PC,
    - pádová výška (mm),
    - dopadová síla (kN),
    - celkové propérování (mm),
    - maximální propérování tlumiče (mm).

16. Vyhodnocení zkoušky:

a) zpracovat záznam a vyhodnocení zkoušky dle technické specifikace a průvodky práce,
b) vystavit protokol.

Z hlediska bezpečnosti je nutno vypořádat požadavky spojené s lidským faktorem, a to bezpečnost práce a odpovědnost za kvalitně provedenou práci.

Bezpečnost práce je určena požadavky:

a) při obsluze Padostroje PS-1 dodržovat zásady bezpečnosti práce (BOZP) a používat důsledně osobní ochranné pracovní prostředky (OOPP) [9],
b) dbát na vkládání a před pádovou zkouškou na odstranění bezpečnostní podpory, hrozí nebezpečí úrazu resp. poškození zkušebního zařízení,
c) při zkoušce je nutné spustit ochranou klec do dolní polohy.

Odpovědnost za provedení zkoušky je předpisem [9] stanovena takto:

Za zkoušku odpovídá zkoušku provádějící pracovník zkušebny a vedoucí zkušebny.

3. Data získaná z technických testů provedených v laboratoři

Data získaná z technických testů podvozků provedených na Padostroji PS-1 jsou po základním zpracování porovnána s hodnotami uvedenými na technologických kartách příslušného podvozku (viz bod 3.1, 3.2). Na základě výsledků je rozhodnuto odpovědným pracovníkem, zda je výrobek vyhovující, tj. odpovídá požadovaným technickým podmínkám. V opačném případně určí další postup prací, vedoucí k ověření správnosti výsledků testu.

Pro civilní letouny je zkouška prováděna s nohou hlavního a příďového podvozku, včetně kola, podle požadavků předpisu EASA CS-23/FAR (letouny kategorie normální, cvičná, akrobatická a pro sběrnou dopravu) Part 23, AMDT. 23-55, § 23.725, § 23.726, §23.727 [7], [9], a to při provozním zatížení, při pohlcení zásoby energie a při dynamické zkoušce pozemním zatížením.

Pro vojenské letouny je zkouška prováděna s nohou hlavního a příďového podvozku včetně kola podle požadavků technických podmínek vydaných výrobcem na základě požadavků zadavatele [9].

3.1. Výpočet parametrů potřebných pro zkoušku nohy hlavního podvozku civilního letounu [7], [9].

Zadané parametry jsou:

- maximální vzletová hmotnost letounu $m_{MTOW} = 4\ 600\ kg$,
- maximální přistávací hmotnost letounu $m_{MLW} = 4\ 600\ kg$,
- svislá složka přistávací rychlosti letounu $v_y = 3{,}048\ m/s$.

3.1.1. Hmotnost připadající na jednotku hlavního podvozku *W*

Hmotnost připadající na jednotku hlavního podvozku (podle § 23.725(b) [7] při maximální přistávací hmotnosti letounu je:

$$W = 2\ 300\ kg$$

3.1.2. Výška pádu

a) výška pádu *h* při pádové zkoušce provozním zatížením:
(pro zkoušku je podle § 23.725 [7] vypočítaná z přistávací rychlosti),

$$h = \frac{v_y^2}{2.g} \quad [m] \qquad \Rightarrow \qquad h = 474\ mm \tag{14}$$

kde:

$v_y = 3{,}048\ m/s$,
$g = 9{,}81\ m/s^2$.

b) výška volného pádu h_R při pádové zkoušce pohlcení zásoby energie:
(pro zkoušku je podle § 23.727 (a), (b) [7] vypočtená z přistávací rychlosti v_{yR}),

$$h_R = \frac{v_{yR}^2}{2.g} \quad [m] \qquad \Rightarrow \qquad h_R = 682\,mm \tag{15}$$

kde:

dle předpisu $v_{yR} = 1{,}2.v_y \quad [m/s]$

c) výška pádu h_D při dynamické zkoušce pozemním zatížením:
(pro zkoušku podle § 23.726 (a) [7] vypočtená z přistávací rychlosti),

dle předpisu: $h_D = 2{,}25.h \quad [m] \qquad \Rightarrow \qquad h_D = 1067\,mm$ (16)

3.1.3. Efektivní hodnota pádové hmotnosti W_e použitá při zkoušce

(pro zkoušku je podle § 23.725 [7])

Je-li při zkouškách volným pádem brán v úvahu vliv vztlaku křídla, musí být přistávací zařízení spuštěno s efektivní hmotností W_e,

$$W_e = W.\frac{[h + (1 - L).d]}{(h + d)} \tag{17}$$

kde:

W je hmotnost připadající na jednotku hlavního podvozku,
h je výška volného pádu,
d je celkový pokles těžiště podvozku (propérování pneumatiky plus svislá složka dráhy osy kola vzhledem k padající hmotě),
L je poměr předpokládaného vztlaku křídla k hmotnosti letounu.
L = 0,667 - při zkoušce provozním zatížením a při dynamické zkoušce pozemním zatížením,
L = 1,0 - při zkoušce pohlcení zásoby energie.

a) efektivní hmotnost W_e při pádové zkoušce provozním zatížením pro *L = 0,667* je:

$$W_e = W.\frac{[h + (1 - L).d]}{(h + d)} \quad [kg] \qquad \Rightarrow \qquad W_e = 1665kg \tag{18}$$

kde:

W = 2 300 kg,
L = 0,667,
h = 474 mm,
d = h_{ok} + h_{pn} = 336 mm,

odhad $h_{ok} \sim 194\ mm$ - propérování osy kola,
odhad $h_{pn} \sim 142\ mm$ - propérování pneumatiky.

b) efektivní hmotnost W_{eR} při pádové zkoušce pohlcení zásoby energie pro $L = 1$:
(pro zkoušku podle § 23.727(b) [7]),

$$W_{eR} = W.\frac{h_R}{(h_R + d_R)} \quad [kg] \qquad \Rightarrow \qquad W_{eR} = 1525kg \tag{19}$$

kde:

$W = 2\ 300\ kg$,
$L = 1$,
$h_R = 682\ mm$,
$d_R = h_{ok} + h_{pn} = 348\ mm$,
odhad $h_{okR} \sim 199\ mm$ - propérování osy kola,
odhad $h_{pnR} \sim 149\ mm$ - propérování pneumatiky.

c) efektivní hmotnost W_{eD} při dynamické zkoušce pozemním zatížením:
(Pádová zkouška musí být provedena tak, aby byl splněn požadavek § 23.725 [7] s výjimkou velikosti pádové výšky.)

Efektivní hodnota pádové hmotnosti W_{eD} je shodná s hodnotou použitou při zkoušce provozním zatížením W_e a platí:

$$W_{eD} = W_e = 1665kg \tag{20}$$

3.1.4. Práce pohlcená podvozkem *A*

Velikost pohlcené práce *A* podvozkem je výchozí veličinou pro výpočet svislé síly v ose kola. **Skutečná hodnota získaná z výsledků při pádové zkoušce musí být větší než hodnota *A* použitá ve výpočtu pod body a) a b).** Toto kritérium vychází z požadavku §23.725(d) [7], kdy hodnota *d* (celkový pokles těžiště podvozku) použitá ve výpočtu musí být menší než skutečně získaná hodnota při pádové zkoušce.

a) práce *A* pohlcená podvozkem při pádové zkoušce provozním zatížením je:

$$A = W_e.g.(h + d) \quad [J] \qquad \Rightarrow \qquad A = 13226\,J \tag{21}$$

kde:

$W_e = 1\ 665\ kg$,
$h = 474\ mm$,
$d = 336\ mm$,
$g = 9{,}81\ m/s^2$.

b) práce A_R pohlcená podvozkem při pádové zkoušce pohlcení zásoby energie:

$$A_R = W_{eR}.g.(h_R + d_R) \quad [J] \qquad \Rightarrow \qquad A_R = 15404\ J \tag{22}$$

kde:

$W_{eR} = 1\ 525\ kg$,
$h_R = 682\ mm$,
$d_R = 348\ mm$,
$g = 9{,}81\ m/s^2$.

c) práce pohlcená podvozkem při dynamické zkoušce pozemním zatížením:

Velikost práce pohlcené podvozkem není předepsána ani se nekontroluje.

3.1.5. Svislá síla v ose kola

Výpočet je proveden z velikosti práce pohlcené podvozkem s uvážením celkového propérování d a plnosti diagramu podvozku η. Plnost diagramu podvozku η je stanovená odhadem dle zkušeností s podobnými typy podvozků.

a) svislá síla v ose kola F při pádové zkoušce provozním zatížením:

$$F = \frac{A}{(\eta.d)} \quad [N] \qquad \Rightarrow \qquad F = 56500\ N \tag{23}$$

kde:

$A = 13\ 226\ J$,
$\eta = 0{,}7$ – odhad,
$d = 336\ mm$.

b) svislá síla v ose kola F_R při pádové zkoušce pohlcení zásoby energie:

$$F_R = \frac{A_R}{(\eta_R.d_R)} \quad [N] \qquad \Rightarrow \qquad F_R = 66500\ N \tag{24}$$

kde:

$A_R = 15\ 404\ J$,
$\eta_R = 0{,}68$ – odhad,
$d_R = 348\ mm$.

c) svislá síla v ose kola F_D při dynamické zkoušce pozemním zatížením:
(Je-li splnění požadavků na pozemní zatížení prokazováno dynamicky pádovou zkouškou, musí být tato zkouška provedená tak, aby byl splněn požadavek § 23.725 [7]

s tou výjimkou, že pádová výška musí být dostatečná k dosažení 1,5 provozního násobku.)

$$F_D = 1{,}5.F \quad [N] \qquad \Rightarrow \qquad F_D = 84750N \tag{25}$$

kde:

$F = 56\ 500\ N$

3.1.6. Násobek zatížení při zkoušce pohlcení nárazů

a) násobek zatížení *n* při pádové zkoušce provozním zatížením:

$$n = \frac{F}{(g.W)} \quad [-] \qquad \Rightarrow \qquad n = 2{,}5 \tag{26}$$

kde:

$W = 2\ 300\ kg,$
$F = 56\ 500\ N,$
$g = 9{,}81\ m/s^2.$

b) násobek zatížení n_R při pádové zkoušce pohlcení zásoby energie:

$$n_R = \frac{F_R}{(g.W)} \quad [-] \qquad \Rightarrow \qquad n_R = 2{,}95 \tag{27}$$

kde:

$W = 2\ 300\ kg,$
$F_R = 66\ 500\ N,$
$g = 9{,}81\ m/s^2.$

c) násobek zatížení no při dynamické zkoušce pozemním zatížením:
(Je-li splnění požadavků na pozemní zatížení prokazováno dynamicky pádovou zkouškou, musí být tato zkouška provedená tak, aby byl splněn požadavek § 23.725 [7] s výjimkou, že pádová výška musí být dostatečná k dosažení 1,5 provozního násobku.)

$$n_D = 1{,}5.n \quad [-] \qquad \Rightarrow \qquad n_D = 3{,}75 \tag{28}$$

kde:

$n = 2{,}5$

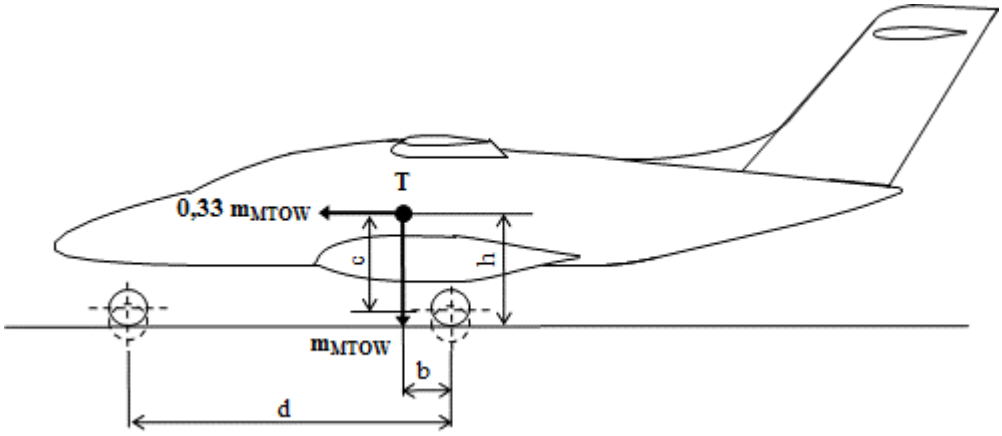
3.2. Výpočet parametrů potřebných pro zkoušku nohy příďového podvozku civilního letounu [7], [9].

Zadané parametry:

- maximální vzletová hmotnost letounu $m_{MTOW} = 4\ 600\ kg$,
- maximální přistávací hmotnost letounu $m_{MLW} = 4\ 600\ kg$,
- svislá složka přistávací rychlosti letounu $v_y = 3{,}048\ m/s$.

3.2.1. Pádová hmotnost

Pádová hmotnost pro příďový podvozek je rovna svislé složce statické reakce, která vznikne za předpokladu, že v těžišti letounu působí svislé zrychlení 1g a dopředné vodorovné zrychlení *0,33 g* [7], obrázek 18.



Obr. 18. Rozměry pro konfiguraci s přední centráží.

Pro redukovanou pádovou hmotnost platí:

$$G_{MTOW} = \left(m_{MTOW} . \frac{b}{d} \right) + \left(0{,}33 . m_{MTOW} \frac{c}{d} \right) = m_{MTOW} . \left[\frac{(b + 0{,}33 . c)}{d} \right] \quad [kg] \qquad (29)$$

$$G_{MTOW} = 1362 \quad [kg]$$

kde:

$m_{MTOW} = 4\ 600\ kg$,
$b = 691\ mm$,
$d = 4182\ mm$,
$c = 1658\ mm$.

Pádová hmotnost při maximální přistávací hmotnosti letounu G_{MLW} se rovná pádové hmotnosti při maximální vzletové hmotnost letounu G_{MTOW} a platí:

$$G_{MLW} = G_{MTOW} = 1362 \quad [kg]$$

3.2.2. Výška pádu

a) výška pádu *h* při zkoušce pohlcení nárazů při provozním zatížení při přistávací hmotnosti letounu:

$$h = \frac{v_y^2}{2.g} \quad [m] \qquad \Rightarrow \qquad h = 474\,mm \tag{30}$$

kde:

$v_y = 3{,}048$ m/s,
$g = 9{,}81$ m/s^2.

b) výška volného pádu h_R, při pádové zkoušce pohlcení zásoby energie:
(pro zkoušku podle § 23.727 (a), (b) [7] vypočtená z klesací rychlosti v_{yR})

$$h_R = \frac{v_{yR}^2}{2.g} \quad [m] \qquad \Rightarrow \qquad h = 682\,mm \tag{31}$$

kde:

dle předpisu $v_{yR} = 1{,}2.v_y \quad [m/s]$

c) výška pádu h_D při dynamické zkoušce pozemním zatížením:
(pro zkoušku podle § 23.726 (a) [7] vypočtená z klesací rychlosti)

$$h_D = 2{,}25.h \quad [m] \qquad \Rightarrow \qquad h_D = 1067\,mm \tag{32}$$

kde:

dle předpisu $h_D = 2{,}25.h \quad [m]$

3.2.3. Vztlaková síla

a) vztlaková síla *V* při zkoušce pohlcení nárazů při provozním zatížení při přistávací a vzletové hmotnosti letounu a při dynamické zkoušce pozemního zatížení:
(pro zkoušku podle § 23.725 (a), (b) [7] je poměr předpokládaného vztlaku křídla k hmotnosti letounu $L = 0{,}667$)

$$V = L.g.G_{MLW} \quad [N] \qquad \Rightarrow \qquad V = 8909\,N \tag{33}$$

kde:

$L = 0{,}667$,
$G_{MLW} = 1\,362$ kg,
$g = 9{,}81$ m/s^2.

b) vztlaková síla V_R při zkoušce pohlcení nárazů na ověření rezervy pohlcení energie: (pro zkoušku podle § 23.727 (a), (b) [7] je poměr předpokládaného vztlaku křídla k hmotnosti letounu $L = 1$)

$$V_R = g.G_{MLW} \quad [N] \qquad \Rightarrow \qquad V_R = 13357N \tag{34}$$

kde:

$L = 1$,
$G_{MLW} = 1\ 362\ kg$,
$g = 9{,}81\ m/s^2$.

3.2.4. Práce pohlcená podvozkem

a) práce A pohlcená podvozkem při zkoušce pohlcení nárazů při provozním zatížení při přistávací a vzletové hmotnosti letounu a při dynamické zkoušce pozemního zatížení:

$$A = G_{MLW}.g.(h + h_{cel}) - V.h_{cel} = G_{MLW}.g.\left(h + \frac{h_{cel}}{3}\right) \quad [J] \qquad \Rightarrow \qquad A = 7533J \tag{35}$$

kde:

$G_{MLW} = 1\ 362\ kg$,
$h = 474\ mm$,
$g = 9{,}81\ m/s^2$,
$h_{cel} = h_{ok} + h_{pn} = 270\ mm$,
odhad $h_{ok} \sim 195\ mm$ - propérování osy kola,
odhad $h_{pn} \sim 75\ mm$ - propérování pneumatiky.

b) práce A_R pohlcená podvozkem při zkoušce pohlcení nárazů na ověření rezervy pohlcení energie:

$$A_R = G_{MLW}.g.h_R \quad [J] \qquad \Rightarrow \qquad A_R = 9109J \tag{36}$$

kde:

$G_{MLW} = 1\ 362\ kg$,
$g = 9{,}81\ m/s^2$,
$h_R = 682\ mm$,
$h_{celR} = h_{ok} + h_{pn} = 276\ mm$,
odhad $h_{ok} \sim 199\ mm$ - propérování osy kola,
odhad $h_{pn} \sim 77\ mm$ - propérování pneumatiky.

3.2.5. Svislá síla v ose kola

a) svislá síla F v ose kola při zkoušce pohlcení nárazů při provozním zatížení při přistávací a vzletové hmotnosti letounu a při dynamické zkoušce pozemního zatížení:

$$F = \frac{A}{(\eta . h_{cel})} \quad [N] \qquad \Rightarrow \qquad F = 40000N \tag{37}$$

kde:

$A = 7\ 533\ J$,
$\eta = 0{,}7$ - *odhad plnosti pracovního diagramu podvozku,*
$h_{cel} = h_{ok} + h_{pn} = 270\ mm$,
odhad $h_{ok} \sim 195\ mm$ - propérování osy kola,
odhad $h_{pn} \sim 75\ mm$ - propérování pneumatiky.

b) svislá síla F_R v ose kola při zkoušce pohlcení nárazů na ověření rezervy pohlcení energie:

$$F_R = \frac{A_R}{(\eta_R . h_{celR})} \quad [N] \qquad \Rightarrow \qquad F_R = 49000N \tag{38}$$

kde:

$A_R = 9\ 109\ J$,
$\eta_R = 0{,}68$ – *odhad plnosti pracovního diagramu podvozku,*
$h_{celR} = h_{ok} + h_{pn} = 276\ mm$,
odhad $h_{ok} \sim 199\ mm$ - propérování osy kola,
odhad $h_{pn} \sim 77\ mm$ - propérování pneumatiky.

c) svislá síla v ose kola F_D při dynamické zkoušce pozemním zatížením:

(Je-li splnění požadavků na pozemní zatížení prokazováno dynamicky pádovou zkouškou, musí být tato zkouška provedená tak, aby byl splněn požadavek § 23.725 [7] s tou výjimkou, že pádová výška musí být dostatečná k dosažení 1,5 provozního násobku.)

$$F_D = 1{,}5.F \quad [N] \qquad \Rightarrow \qquad F_D = 60000N \tag{39}$$

kde:

$F = 40\ 000\ N$

3.2.6. Násobek zatížení při zkoušce pohlcení nárazů

a) násobek *n* zatížení při zkoušce pohlcení nárazů při provozním zatížení při přistávací a vzletové hmotnosti letounu a při dynamické zkoušce pozemního zatížení:

$$n = \frac{F}{(g.G_{MLW})} \quad [-] \qquad \Rightarrow \qquad n = 3 \tag{40}$$

kde:

$F = 40\ 000\ N$,
$G_{MLW} = 1\ 362\ kg$,
$g = 9{,}81\ m/s^2$.

b) násobek n_R zatížení při zkoušce pohlcení nárazů na ověření rezervy pohlcení energie:

$$n_R = \frac{F_R}{(g.G_{MLW})} \quad [-] \qquad \Rightarrow \qquad n_R = 3{,}67 \tag{41}$$

kde:

$F_R = 49\ 000\ N$,
$G_{MLW} = 1\ 362\ kg$,
$g = 9{,}81\ m/s^2$.

c) násobek zatížení no při dynamické zkoušce pozemním zatížením:
(Je-li splnění požadavků na pozemní zatížení prokazováno dynamicky pádovou zkouškou, musí být tato zkouška provedená tak, aby byl splněn požadavek § 23.725 [7] s výjimkou, že pádová výška musí být dostatečná k dosažení 1,5 provozního násobku.)

$$n_D = 1{,}5.n \quad [-] \qquad \Rightarrow \qquad n_D = 4{,}5 \tag{42}$$

kde:

$n = 3$

3.3. Program zkoušky

Zkouška je provedena na Padostroji PS 1 s nohou hlavního podvozku levou/pravou (nebo příďového, kde se uvažuje předepsané vztlakové vyvážení) včetně úplného kola za daných klimatických podmínek (20°C +/-5°C). Noha podvozku s kolem a pneumatikou je upevněna v přípravku, který zajišťuje požadovanou zkušební polohu. Během zkoušky není dovoleno měnit plnící tlak v tlumiči ani v pneumatice. Pádová hmotnost je nastavena pomocí závaží a kontrolována kalibrovaným dynamometrem. Pádová výška je nastavována na výškoměrném zařízení padostroje. Vztlaková síla je vyvozovaná pomocí gumových lan a taktéž měřena kalibrovaným dynamometrem a začíná působit od okamžiku styku pneumatiky se zemí. Předepsaná velikost vztlakové síly je nastavena při hodnotě 50 ± 5% celkového propérovám podvozku. Podvozek dopadá na vodorovnou dopadovou desku, zavěšenou na tenzometrických měrných závěsech, pomocí kterých je měřena svislá síla v ose kola. Propérování tlumiče je odměřováno pomocí třecích kroužků. Propérování pneumatiky není měřeno.

Zkoušky jsou vyhovující, jestliže byly splněny požadavky zadání podle čl. 3.4.1. až 3.4.3. Svislá síla v ose kola podle čl. 3.4.1. a 3.4.2 nesmí být při zkoušce překročena [7]**.**

3.3.1. Registrace měřených veličin

a) původní způsob měření:

Svislá síla v ose kola je registrována prostřednictvím měřícího zesilovače síly, který je nutno před každým měření zkalibrovat a řádně nastavit jeho parametry. Propérování tlumiče je odečítáno mechanicky pomocí třecích kroužků. Celkové propérování je odečítáno na měrném zařízení padostroje. Propérování pneumatiky není měřeno.

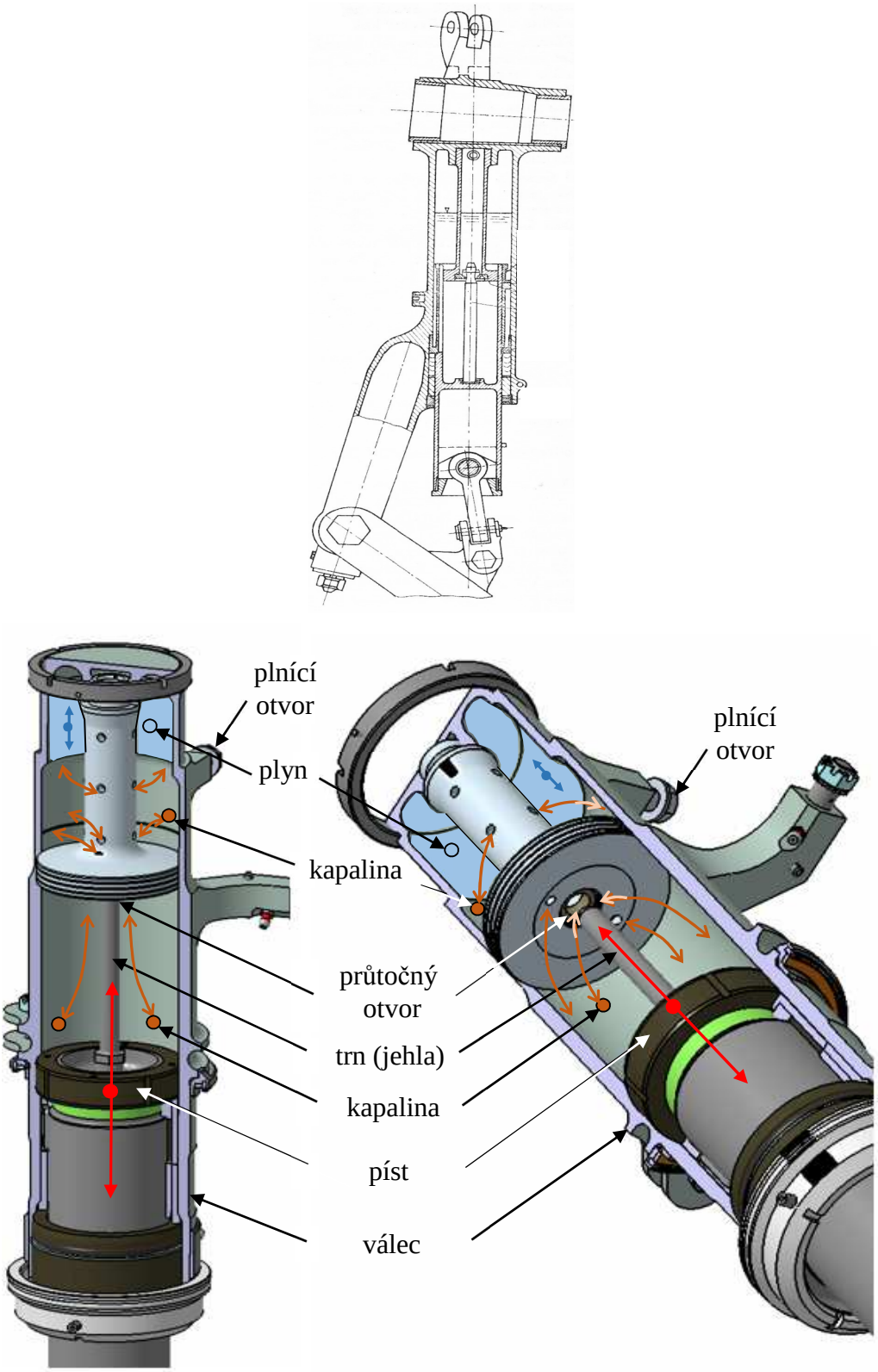
b) nově navržený měřící systém uvedený v šesté kapitole:

Svislá síla v ose kola, násobek zatížení, celkové propérování podvozku a propérování tlumiče je registrováno prostřednictvím digitální měřící ústředny, která zpracovává signály nově instalovaných senzorů na testovaném podvozku a Padostroji PS-1. Hodnoty jednotlivých měřených parametrů jsou on-line zobrazeny na monitoru PC ve fyzikálních jednotkách. Možností je také zobrazení ve formě časového průběhu.

3.3.2. Popis funkce tlumiče podvozku

Při zatěžování podvozku se zasunuje pístnice do válce tlumiče, obrázek 19, dochází k vytlačování hydraulické kapaliny nad pístem kruhovou štěrbinou a profilovou drážkou na jehle do horní části prostoru válce s plynovou náplní. Škrcením průtoku kapaliny vzniká hydraulický odpor optimalizovaného průběhu.

Při odlehčení podvozku stlačený plyn pístnici prostřednictvím hydraulické kapaliny vysunuje z válce. Kroužek tlumení dosedne na spodní plochu pístu a omezí průtok kapaliny nad píst. Škrcením průtoku se při náhlém odlehčení pístnice zpomalý její vysouvání a zamezí se tvrdému dorazu v závěrečné fázi jejího vysouvání.



Obr. 19. Řez tlumičem podvozku.

3.4. Provedení pádové zkoušky na Padostroji PS-1 při provozním zatížení, při pohlcení zásoby energie a při pozemním zatížení

V následném textu je uveden přehledný souhrn hodnot z odstavců 3.1. a 3.2. potřebných pro provádění pádových zkoušek na Padostroji PS-1.

3.4.1 Pádová zkouška provozním zatížením vzletové a přistávací hmotnosti civilního letounu

Provádí se podle požadavků EASA Part 23/FAR 23.725 (a), (b), (c), (d), (f) [7] a to s postupně vzrůstajícími pádovými výškami h = 100, 200, 300, 400, 474 mm.

Vypočítané parametry pro provádění zkoušky hlavního podvozku (odstavec 3.1.).

Parametry pro provádění zkoušky:

- efektivní hmotnost při zkoušce $W_e = 1\,665$ *kg,*
- výška pádu $h = 474$ *mm,*

Měřené a vypočítané veličiny:

- práce pohlcená podvozkem $A = 13\,226$ *J,*
- svislá síla v ose kola $F_{max} = 56\,500$ *N,*
  $(n_{max} = 2{,}50)$.

Vypočítané parametry pro provádění zkoušky příďového podvozku při předepsaném vztlakovém vyvážení (odstavec 3.2.).

Parametry pro provádění zkoušky:

- pádová hmotnost $G_{MLW} = 1\,362$ *kg,*
- výška pádu $h = 474$ *mm,*
- vztlaková síla $V = 8\,909$ *N,*

Měřené a vypočítané veličiny:

- práce pohlcená podvozkem $A = 7\,533$ *J,*
- svislá síla v ose kola $F_{max} = 40\,000$ *N,*
  $(n_{max} = 3{,}0)$.

3.4.2. Pádová zkouška pohlcení zásoby energie

Provádí se podle požadavků EASA Part 23/FAR 23.726 (a), (b) [7] s postupně vzrůstajícími pádovými výškami h = 400, 500, 600, 682 mm.

Vypočítané parametry pro provádění zkoušky hlavního podvozku (odstavec 3.1.).

Parametry pro provádění zkoušky:
- efektivní hmotnost $W_{eR} = 1\ 525\ kg$,
- výška pádu $h_R = 682\ mm$,

Měřené a vypočítané veličiny:
- práce pohlcená podvozkem (inf.) $A_R = 15\ 404\ J$,
- svislá síla v ose kola (max) $F_{Rmax} = 66\ 500\ N$, $(n_{Rmax} = 2{,}95)$.

Vypočítané parametry pro provádění zkoušky příďového podvozku při předepsaném vztlakovém vyvážení (odstavec 3.2.).

Parametry pro provádění zkoušky:
- pádová hmotnost $G_{MLW} = 1\ 362\ kg$,
- výška pádu $h_R = 682\ mm$,
- vztlaková síla $V_R = 13\ 357\ N$,

Měřené a vypočítané veličiny:
- práce pohlcená podvozkem $A_R = 9\ 109\ J$,
- svislá síla v ose kola $F_{Rmax} = 49\ 000\ N$, $(n_{Rmax} = 3{,}67)$.

3.4.3. Dynamická zkouška pozemním zatížením

Provádí se podle požadavků a podmínek E AS A/FAR 23.726 (a)(l)(2) [7]

Zkouška se provádí tak, aby byl splněn požadavek, že pádová výška musí být buď:
- 2,25 násobek pádové výšky, stanovené pro zkoušku při provozním zatížení, nebo
- dostatečná k dosažení 1,5 provozního násobku.

Zkouška se provádí s postupně vzrůstajícími pádovými výškami od výšky $H \geq 600$ mm [7]

Vypočítané parametry pro provádění zkoušky hlavního podvozku (odstavec 3.1.).

Parametry pro provádění zkoušky:

- efektivní hmotnost — *We_D = 1 665 kg,*
- výška pádu — *h_{Dmax} = 1 067 mm,*

Měřené a vypočítané veličiny:

- práce pohlcená podvozkem — *nepředepsána,*
- svislá síla v ose kola — *F_{Dmin} = 84 750 N,* *(n_{Dmin} =3,75).*

Vypočítané parametry pro provádění zkoušky příďového podvozku při předepsaném vztlakovém vyvážení (odstavec 3.2.).

Parametry pro provádění zkoušky:

- pádová hmotnost — *G_{MLW} = 1 362 kg,*
- výška pádu — *h_{Dmax} = 1 067 mm,*
- vztlaková síla — *V = 8 909 N,*

Měřené a vypočítané veličiny:

- práce pohlcená podvozkem — nepředepsaná,
- svislá síla v ose kola — *F_{Dmin} = 60 000 N,* *(n_{Dmin} = 4,5).*

3.5. Ověřované veličiny

Zkoušky jsou vyhovující, jestliže byly splněny požadavky zadání podle čl. 3.4.1. až 3.4.3. Svislá síla v ose kola podle čl. 3.4.1. a 3.4.2 nesmí být při zkoušce překročena [7]***. Pokud by došlo při nižších pádových výškách k dosažení maximální svislé síly, nebo k maximální hodnotě propérování tlumiče, musí být zkouška okamžitě zastavena.***

3.5.1. Měřené veličiny hlavního a příďového podvozku

Měřené veličiny hlavního podvozku:

F [N] - svislá síla v ose kola,

h_{ok} [m] - propérování tlumiče,

d [m] - celkový pokles těžiště podvozku (celkové propérování),

n [-] - násobek zatížení při pádové zkoušce.

Měřené veličiny příďového podvozku při předepsaném vztlakovém vyvážení:
F [N] - svislá síla v ose kola celkové,
h_{ok} [m] - propérování osy kola,
h_{cel} [m] - celkové propérování podvozku,
n [-] - násobek zatížení při pádové zkoušce.

3.5.2. Vypočtené veličiny hlavního a příďového podvozku

Vypočtené veličiny hlavního podvozku:

A [J] - práce pohlcená podvozkem,
n [-] - násobek zatížení při pádové zkoušce.
$g = 9{,}80665\ m/s^2$

Vypočtené veličiny příďového podvozku při předepsaném vztlakovém vyvážení:
A [J] - práce pohlcená podvozkem,
n [-] - násobek zatížení při pádové zkoušce.
$g = 9{,}80665\ m/s^2$

3.6. Výsledky pádových zkoušek podvozků na Padostroji PS-1 při provozním zatížení, při pohlcení zásoby energie a při pozemním zatížení

Výsledkem zkoušky hlavního podvozku pro jednotlivé pádové výšky je:
- tabulka naměřených a vypočtených hodnot,
- časová závislost měřených veličin F, $h_{ok,}$ d,
- závislost průběhu svislé síly v ose kola na propérování tlumiče podvozku při jmenovitých podmínkách zkoušky.

Výsledkem zkoušky příďového podvozku při předepsaném vztlakovém vyvážení je:
- tabulka naměřených a vypočtených hodnot,
- časová závislost měřených F, $h_{ok,}$ d,
- závislost průběhu svislé síly v ose kola na propérování tlumiče podvozku při jmenovitých podmínkách zkoušky.

V případě původního způsobu zpracování dat jsou naměřené a vypočítané hodnoty do tabulky zapisovány ručně. Nově navržený měřící systém uvedený v šesté kapitole této práce prostřednictvím software provede dané úkony automaticky včetně vytištění potřebných grafických závislostí.

V tabulce 1 a 2 jsou uvedeny dosažené hodnoty provedených pádových zkoušek, kde ve sloupcích *propérování tlumiče* a *celkové propérování* jsou uvedeny hodnoty původního způsobu měření (měřítky) a pomocí nově navrženého měřícího řetězce (senzory), jehož

přesnost byla ověřena nezávislým měřením, jednoúčelovým laserovým senzorem, za pomoci externí firmy. Kontrolní měření ukázalo prakticky totožné výsledky s odchylkami do 0,5% což odpovídá požadavkům na přesnost měření prováděných testů. Rozdíly hodnot mezi původním a novým způsobem měření jsou z největší části způsobené napínacím systémem kladek a lan při měření pádové výšky (obrázek 18, příloha č.3) a celkového propérování podvozků (obrázek 19, příloha č.3) a poměrně širokým a nerovnoměrným stěrem emulze při měření propérování tlumiče (obrázek 21, příloha č.3). Měření svislé síly a pádové hmotnosti bylo pro nový způsob měření ověřeno pomocí kalibrovaného dynamometru s požadovanou přesností do 0,5%. Nově změřený násobek přetížení byl mimo uvedenou tabulku ověřen pomocí výpočtu dle rovnice (26) této kapitoly s rovněž vyhovujícím výsledkem.
Na obrázcích 20 a 21 je ukázka požadovaného grafického zobrazení. Jsou zde zobrazeny pouze vybrané grafy hlavního podvozku při testech z maximální pádových výšek při provozním zatížení. Další zobrazení není třeba uvádět, neboť dané průběhy a hodnoty dosažené při testech nejsou předmětem posuzování v této práci. Naměřenými daty a průběhy se zabývají odborníci z dané oblasti.

Tabulka 1. Naměřené a vypočtené hodnoty pádové zkoušky hlavního podvozku.

Datum provádění zkoušky:	3.4.2015	
Pádová zkouška číslo:	6	
Dle technických podmínek:	xxx **NHP** xxx	**(hlavní podvozek)**
Tlak v tlumiči:	3.6 Mpa	
Tlak v pneumatice:	380 kPa	
Teplota vzduchu:	21 °C	

Pádová zkouška provozním zatížením vzletové a přistávací hmotnosti
Provádí se podle požadavků EASA Part 23/FAR 23.725 (a), (b), (c), (d), (f)
a to s postupně vzrůstajícími pádovými výškami h = 100, 200, 300, 400, 474 mm.

číslo záznamu	pádová hmotnost W_e [kg]	výška pádu h [mm]	svislá síla F [kN]	propérování tlumiče h_{ok} [mm]		celkové propérování d [mm]		násobek zatížení n [1]	pohlcená práce A [kJ]
				měřeno měřítky	měřeno senzory	měřeno měřítky	měřeno senzory		
001	1 665	100	34,1	92	90,6	216	219,2	1,5	5,2
002	1 665	200	40,2	101	103,2	259	262,4	1,8	7,6
003	1 665	300	45,8	109	110,8	290	293,6	2,0	9,7
004	1 665	400	51,9	118	116,5	322	318,1	2,3	11,7
005	1 665	474	56,1	120	118,2	336	333,4	2,5	13,2
max.hodnoty			***56,5***					***2,5***	***13,23***

Pádová zkouška pohlcení zásoby energie
Provádí se podle požadavků EASA Part 23/FAR 23.726 (a), (b)
s postupně vzrůstajícími pádovými výškami h = 400, 500, 600, 682 mm.

číslo záznamu	pádová hmotnost W_{eR} [kg]	výška pádu h_R [mm]	svislá síla F [kN]	propérování tlumiče h_{ok} [mm]		celkové propérování d [mm]		násobek zatížení n_R [1]	pohlcená práce A_R [kJ]
				měřeno měřítky	měřeno senzory	měřeno měřítky	měřeno senzory		
006	1 525	400	47,1	111	110,2	281	278,6	2,1	10,2
007	1 525	500	51,4	120	118,4	301	303,2	2,3	12,0
008	1 525	600	56,2	125	123,5	325	327,4	2,5	13,9
009	1 525	682	59,9	127	128,2	348	345,8	2,7	15,4
max.hodnoty			***66,5***					***2,9***	***15,4***

Dynamická zkouška pozemním zatížením
Provádí se podle požadavků a podmínek E AS A/FAR 23.726 (a)(l)(2)
Zkouška se provádí s postupně vzrůstajícími pádovými výškami od výšky H ≥ 600 mm

číslo záznamu	pádová hmotnost W_{eD} [kg]	výška pádu h_{Dmax} [mm]	svislá síla F [kN]	propérování tlumiče h_{ok} [mm]		celkové propérování d [mm]		násobek zatížení n_D [1]	pohlcená práce A_D [kJ]
				měřeno měřítky	měřeno senzory	měřeno měřítky	měřeno senzory		
010	1 665	1 067	85,0	125	126,5	392	389,2	3,8	nepočítá se
min.hodnoty			***84,8***					***3,8***	***-***

Tabulka 2. Naměřené a vypočtené hodnoty pádové zkoušky příďového podvozku.

Datum provádění zkoušky:	9.4.2015	
Pádová zkouška číslo:	9	
Dle technických podmínek:	xxx **NPP** xxx	**(příďový podvozek)**
Tlak v tlumiči:	1.8 Mpa	
Tlak v pneumatice:	380 kPa	
Teplota vzduchu:	23 °C	

Pádová zkouška provozním zatížením vzletové a přistávací hmotnosti
Provádí se podle požadavků EASA Part 23/FAR 23.725 (a), (b), (c), (d), (f)
a to s postupně vzrůstajícími pádovými výškami h = 100, 200, 300, 400, 474 mm.

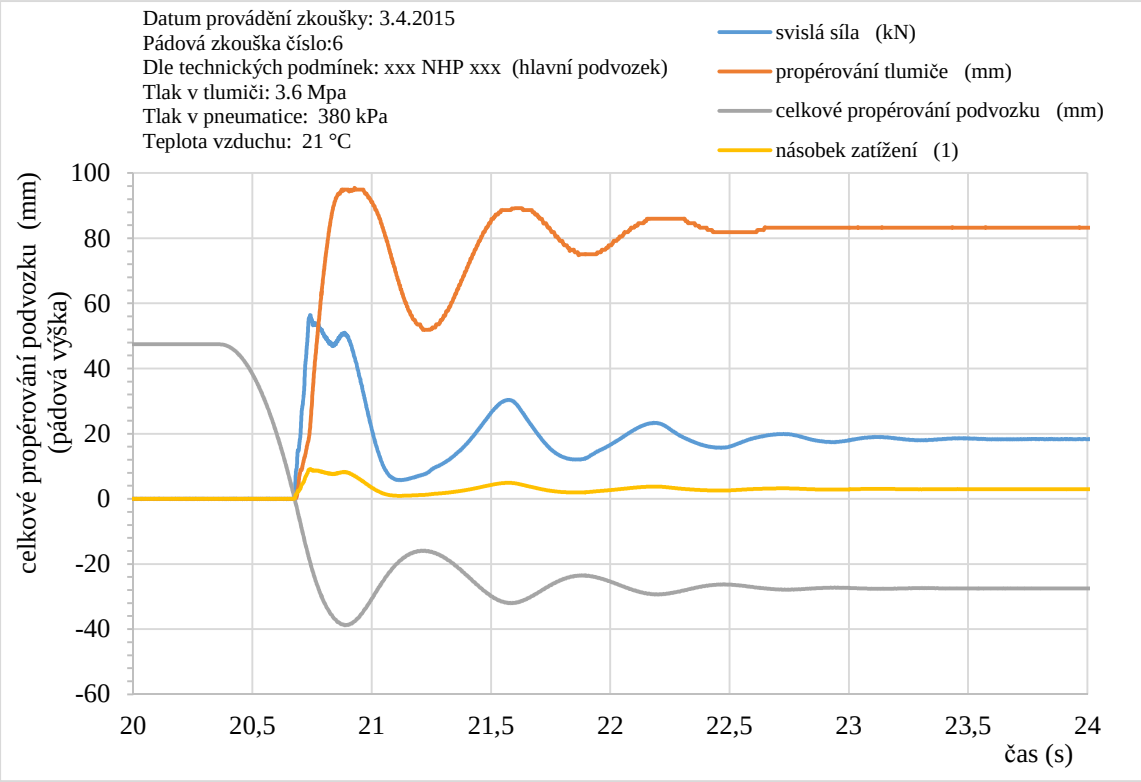
číslo záznamu	pádová hmotnost G_{MLW} [kg]	výška pádu h [mm]	svislá síla F [kN]	propérování tlumiče h_{ok} [mm]		celkové propérování d [mm]		násobek zatížení n [1]	pohlcená práce A [kJ]
				měřeno měřítky	měřeno senzory	měřeno měřítky	měřeno senzory		
011	1 362	100	19,1	87	86,5	229	226,6	1,4	2,3
012	1 362	200	24,5	91	90,2	238	235,2	1,8	3,7
013	1 362	300	29,6	93	94,1	242	246,1	2,2	5,1
014	1 362	400	35,3	94	95,6	253	255,3	2,6	6,5
015	1 362	474	39,5	97	96,2	264	262,8	3,0	7,5
max.hodnoty			***40***					***3,0***	***7,5***

Pádová zkouška pohlcení zásoby energie
Provádí se podle požadavků EASA Part 23/FAR 23.726 (a), (b)
s postupně vzrůstajícími pádovými výškami h = 400, 500, 600, 682 mm.

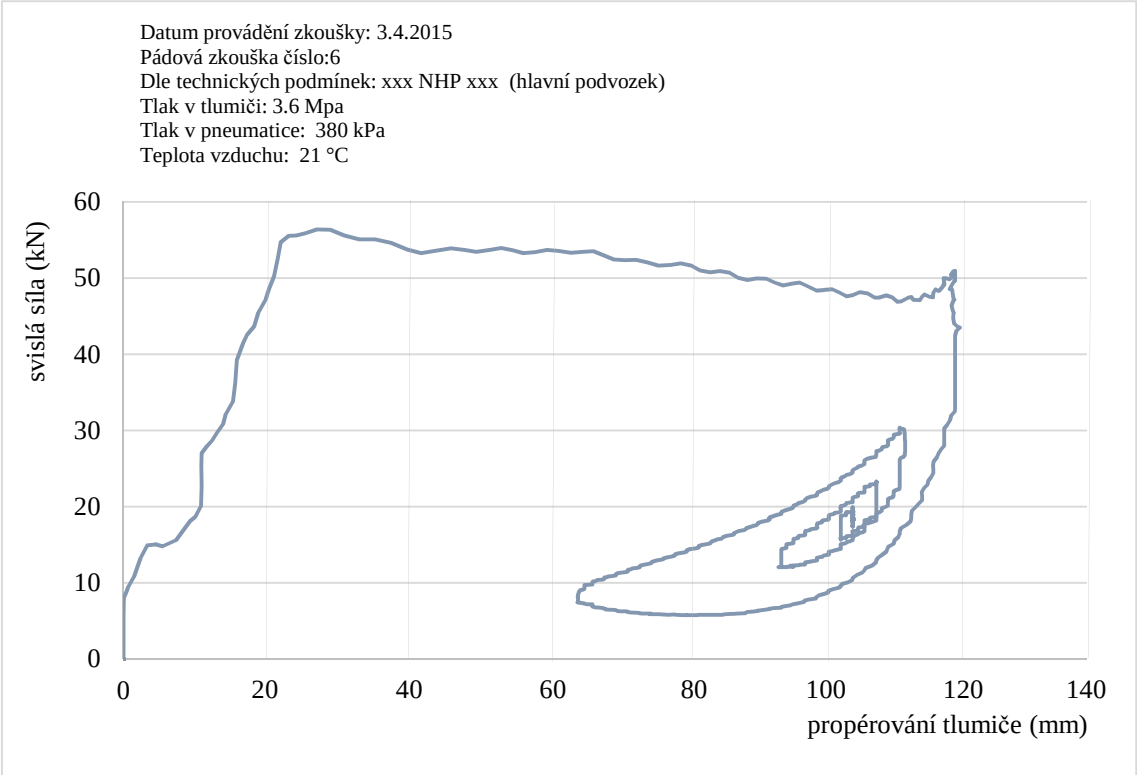
číslo záznamu	pádová hmotnost G_{MLWR} [kg]	výška pádu h_R [mm]	svislá síla F [kN]	propérování tlumiče h_{ok} [mm]		celkové propérování d [mm]		násobek zatížení n_R [1]	pohlcená práce A_R [kJ]
				měřeno měřítky	měřeno senzory	měřeno měřítky	měřeno senzory		
016	1 362	400	30,6	94	94,5	242	245,1	2,3	5,3
017	1 362	500	35,7	97	95,6	259	256,3	2,7	6,7
018	1 362	600	41,4	95	96,8	262	265,5	3,1	8,0
019	1 362	682	48,7	97	98,2	271	274,1	3,6	9,1
max.hodnoty			***49,0***					***3,7***	***9,1***

Dynamická zkouška pozemním zatížením
Provádí se podle požadavků a podmínek E AS A/FAR 23.726 (a)(l)(2)
Zkouška se provádí s postupně vzrůstajícími pádovými výškami od výšky H ≥ 600 mm

číslo záznamu	pádová hmotnost G_{MLW} [kg]	výška pádu h_{Dmax} [mm]	svislá síla F [kN]	propérování tlumiče h_{ok} [mm]		celkové propérování d [mm]		násobek zatížení n_D [1]	pohlcená práce A_D [kJ]
				měřeno měřítky	měřeno senzory	měřeno měřítky	měřeno senzory		
020	1 362	1 067	60,5	97	97,6	289	286,1	4,5	nepočítá se
min.hodnoty			***60,0***					***4,5***	-



Obr. 20. Časová závislost měřených veličin F, h_{ok}, d, n.



Obr. 21. Závislost průběhu svislé síly v ose kola na propérování tlumiče podvozku při jmenovitých podmínkách zkoušky.

4. Metody zpracování dat

V analýze rizik se podle [1] používají různé pomocné pracovní technické nástroje. Jejich typologie je značně rozmanitá a jednotná klasifikace obtížná. Metody zpracování dat při testu tlumení nárazu podvozku letounu v okamžiku přistání ovlivňují pojmy a postupy, které vycházejí ze specializovaného oboru, jakým je jak civilní, tak letecký průmysl. K hodnocení rizik je pro danou oblast nutná znalost fyzikálních zákonů, funkčních procesů nejen částí, ale i celých systémů, působení vnějších vlivů aj. K dostatečnému zobecnění a pochopení dané problematiky by měly posloužit předchozí kapitoly dané práce, které by měly přispět k úspěšnému hodnocení rizika, přesnosti a úplnosti dat vedoucích ke zdárnému a bezpečnému výsledku prováděných testů.

Snahou provedené metody zpracování dat bylo najít optimální způsob, jak optimalizovat navržená řešení požadovaná inženýrskou praxí a přijatelnými vynaloženými náklady. Na základě uvedených kritérií byly technickým personálem AVA specifikovány výstupní požadavky na hodnocení rizika a to návrhem kontrolního seznamu a opatřením, vedoucím ke zlepšení výsledků testů. Pro vytvoření návrhu kontrolního seznamu byla zvolena metodika postupu taková, která zahrnovala, jak původní, tak nově navržený způsob provádění testů, vycházející z opatření vedoucích ke zlepšení, zkvalitnění a zpřesnění dosažených výsledků, vedoucích mimo jiné i ke zvýšené bezpečnosti práce a snížení rizik při prováděných testech. Vzhledem k tomu, že strojní zařízení (Padostroj PS-1) prochází za provozu postupnou rekonstrukcí, bude nutné navržené hodnocení analýzy rizik po ukončení uvedených prací přehodnotit a případně přepracovat. Jak je uvedeno v [1], při analýze rizik je potřeba věnovat pozornost výběru vhodné metody nebo kombinaci několika metod. Díky nemožnosti konzultovat jednotlivé kroky s firemním specialistou zabývajícím se analýzou rizik, neboť si firma najímá externí soukromé subjekty za úplatu zabývající se bezpečností práce, bylo využito možnosti konzultací, rad a doporučení řady odborných pracovníků zabývajících se jak problematikou konstrukce podvozků, tak výrobou řady zařízení a přípravků pro podvozky, jejichž zkušenosti s bezpečností vycházejících z technické praxe. Současně bylo využito zkušeností technických pracovníků, kteří se účastní postupného uvádění Padostroje PS-1 do provozu. Nemalou úlohu při návrhu metody zpracování dat hrály také letecké předpisy [7] a interní firemní předpisy a nařízení [9].

Základem pro zhodnocení analýzy a řízení rizik byl monitoring jednotlivých kroků prováděných prací, jejichž rizika byla určována, včetně původního a nově navrženého způsobu získávání dat potřebných k hodnocení výsledků prováděných testů. Snahou bylo minimalizovat nepřijatelná rizika a v rámci probíhající rekonstrukce stroje těmto rizikům pokud možno v budoucnu předcházet mimo jiné i pomocí nových technických opatření.

Podle [1] je pro analýzu a hodnocení rizik velmi mnoho přístupů a metodik, které předurčují lepší nebo horší správnost a spolehlivost výsledků. Každá metoda má své výhody a nevýhody a je na uživateli, jaké si určí priority. V případě testování podvozků na Padostroji PS-1 byl kladen důraz na moderní způsob měření a sběr dat prováděných testů s důrazem na co nejmenší čas strávený obsluhou stroje v bezprostřední blízkosti testovaného vzorku a tím tak eliminovat případná rizika úrazu, která jsou popsána v „Analýze nebezpečí a rizik při práci

Padostroje PS-1“ uvedené v příloze této práce. Jak je uvedeno v [1] při hodnocení rizik bylo vycházeno ze skutečného stavu systému, který byl srovnáván s ideálním stavem. Hodnocení rizik pak vycházelo z logiky procesu, který poukazoval na možné zdroje rizik, které by neměly být zanedbány a nepodceněny.

Pro zajištění bezpečnosti strojního zařízení a bezpečí obsluhy je velice důležité identifikovat všechna možná nebezpečí vyplývající z konstrukce nebo způsobu předpokládaného používání daného zařízení [10]. Součástí předpokládaného používání je i možnost jeho nesprávného používání. Na základě výše uvedených důvodů byly vyvinuty různé metodické postupy zaměřené na identifikaci nebezpečí, analýzu, posouzení a hodnocení rizik. Každý metodický postup identifikace nebezpečí a analýzy rizik je ve většině případů pouze pomocný nástroj, kde nezastupitelnou roli mají zkušenosti členů pracovních týmů podílejících se na jejich vytváření. Jedním z řady metodických postupů zaměřených na identifikaci nebezpečí a analýzy rizik je kontrolní seznam (Check List) [10].

Kontrolní seznam (Check List [1]) je postup sloužící k systematické kontrole plnění předem stanovených podmínek vycházejících z předešlých zkušeností. Jedná se vlastně o seznam kontrolních otázek podle kterých je možno jednoduše ověřit stav sledovaného objektu a zajistit tak, že nejsou přehlédnuty žádné neshody. Pomocí kontrolního seznamu můžeme sledovat stav plnění nějakého souboru činností. Kontrolní seznamy otázek lze použít pro různé činnosti v kterékoliv fázi jejich životního cyklu. Jednou z možných činností může být kontrola strojního zařízení a lidského faktoru. V našem případě se jedná o postup prací na Padostroji PS-1 při testu tlumení nárazu podvozku letounu v okamžiku přistání. Kontrolní seznamy se mohou také značně lišit, co se týče úrovně detailů, a mohou být využívány k označení splnění standardů a zvyklostí. V případě navrhovaného kontrolního seznamu je snahou vyhovět v rámci jednoho dokumentu jak obsluze stroje, tak řídícím a kontrolním orgánům. Snahou je navrhnout takový kontrolní seznam, který by byl jasný, stručný a srozumitelný pro všechny strany a bylo mimo jiné zamezeno i jakékoliv dvojsmyslnosti. Podle [1] má analýza rizik pomocí kontrolního seznamu dva zásadní kroky a to: vytvoření vhodného kontrolního seznamu pro daný problém a hodnotový systém, pomocí kterého se má souhrn odpovědí na otázky kontrolního seznamu hodnotit. V případě navrhovaného kontrolního seznamu by bylo možné hodnotový systém použít dle firemních specialistů pouze ve fázi raného vzniku jednotlivých otázek, neboť jednotlivé kroky v kontrolním seznamu na sebe navzájem navazují a nelze je obsluhou samovolně vynechat bez souhlasu nadřízených orgánů. Tato podmínka vyplývá z dokumentu „Příručky zkušebny přistávacích zařízení“ [9], ve které se předpokládá s využitím navrhovaného dokumentu, a ve které se říká, že jakákoliv změna postupů, metodik aj. je možná pouze za souhlasu dozorových podnikových a státních orgánů, a to formou dodatků k platným povolením prováděných zkoušek daného pracoviště, což mimo jiné představuje nemalou administrativní zátěž a časovou prodlevu. V tomto případě se hodnotový systém zužuje pouze na hodnocení vynikající, neboť následující krok v kontrolním seznamu může následovat pouze za podmínky splnění předchozího kroku. Případnou vyjímku může jednorázově schválit pouze řídící pracovník při potřebných konstrukčních úpravách a to pouze v rámci podnikových testů, a to za předpokladu řádného dodržování bezpečnosti při práci.

Kontrolní seznam mimo jiné pomáhá začínajícím řídícím pracovníkům, ale i kontrolním orgánům, orientovat se na pracovišti a dohlížet v případě potřeby na dodržování pracovních postupů. Kontrolní seznamy nám mimo jiné umožňují ochránit zaměstnance v době, kdy byl řádně dodržen postup práce, nebylo nic zanedbáno (zasáhla tzv. vyšší moc), a přesto došlo k havárii případně ke škodám [1].

Pro kvalitní vypracování kontrolního seznamu, jak již bylo řečeno, je potřeba sestavit tým lidí s různým technickým vzděláním, v jehož čele by měl být odborník na analýzu rizik. Výsledná kvalita analýzy pak závisí mimo jiné na zkušenostech lidí kontrolní seznam vytvářející a na informovanosti jeho uživatelů. Kontrolní seznamy je dle [1] vhodné kombinovat s dalšími metodami analýzy rizik a zejména je potřeba jejich pravidelná kontrola a aktualizace.

Dalším z řady metodických postupů zaměřených na identifikaci nebezpečí a analýzy rizik je bezpečnostní kontrola (Safety audit), což je podle [1] postup, při kterém se hledají rizikové situace a na základě souboru stanovených rizikových situací navrhují opatření na zvýšení bezpečnosti. Předmětná metoda představuje postup hledání potenciálně možné události nebo provozního problému, který se může vždy nebo za jistých podmínek objevit v posuzování systému. Používá se mimo jiné i pro různé průmyslové problémy a technologie. Podobně jako u kontrolního seznamu, typická bezpečnostní prohlídka zahrnuje rozhovory s mnoha lidmi podniku: operátory, obsluhou strojů, inženýry, manažery, bezpečnostními pracovníky a jinými, v závislosti na organizační struktuře.

Dle vyjádření odborníků z dané oblasti [1,10] najít a použít metodu pro provedení analýzy rizik vyžaduje nemalé znalosti a zkušenosti, kdy neexistuje univerzální metoda a pro každý případ analýzy je nutné použít jinou, optimálně vybranou metodu, případně kombinaci metod.

V následné kapitole je navržen a popsán procesní dokument auditu bezpečnosti pro zajištění bezpečného provádění testů podvozků s binárním rozhodováním (ANO, NE), kde v případě nutnosti označení daného bodu „NE“ je práce bezodkladně pozastavena do doby odstranění případné překážky umožňující pokračování následných kroků kontrolního seznamu.

5. Procesní dokument auditu bezpečnosti pro zajištění bezpečného provádění testů podvozků

Ve čtvrté kapitole „Metody zpracování dat“ je popsán obecný metodický postup vedoucí k vytvoření kontrolního seznamu a bezpečnostní kontroly pro základní činnosti spojené s provozem Padostroje PS-1. V níže uvedené tabulce 3 je uveden návrh souboru kritérií bezpečnostního auditu pro zajištění bezpečného provádění testů podvozků s binárním rozhodováním. Tento soubor kritérií bezpečnostního auditu je sestaven na základě popisu práce na Padostroji PS-1 (kapitola 2.3.3.) a z provedené analýzy nebezpečí a rizik při práci Padostroje PS-1 (příloha číslo jedna). Uvedený návrh souboru kritérií bezpečnostního auditu vychází mimo jiné i z předpokladu, že jak obsluha, tak i účastníci prováděných testů mají platná školení bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (BOZP) a jsou vybaveni osobními ochrannými pracovními prostředky (OOPP) na základě podnikových instrukcí [9] vycházejících z ustanovení příslušných zákonů a nařízení vlády.

Soubor kritérií bezpečnostního auditu je navržen tak, aby vyhovoval širšímu využití, a to jak obsluze, tak řídícím a kontrolním orgánům. Obsluha stroje, může využívat tento kontrolní seznam jako postup prací vedoucí k samokontrole provedených úkonů (ANO, NE). Jednotlivé kroky uvedené v tabulce 3 na sebe navzájem navazují a nelze je obsluhou vynechat. Pokud by nastala situace, kdy nelze dodržet uvedený postup prací v jakékoli fázi, musí kontrolní orgány odsouhlasit případnou změnu a to za podmínek dodržení BOZP. Kontrolním orgánům (pracovníci ÚCL, OVL a podnikové kontroly) tento dokument slouží ke sledování dodržování administrativních a pracovních postupů. Na základě jejich vyhodnocení dochází k uznání prováděných testů a podpisu protokolu o provedené zkoušce.

Zmiňovaný soubor kritérií bezpečnostního auditu bude po schválení příslušnými vnitropodnikovými orgány také součástí dokumentu tak zvané „Příručky zkušebny přistávacích zařízení“, která opravňuje dané pracoviště k provádění příslušných prací. Činnost Zkušebny přistávacích zařízení pro civilní letadla je vymezena v rozsahu daném Oprávněním vydaným ÚCL v souladu se zák. č. 49/97 Sb. (vyhl.č.108/97 Sb.) ve znění pozdějších předpisů a se zák. č. 286/95 Sb. Činnost Zkušebny přistávacích zařízení pro vojenská letadla je vymezena v rozsahu daném Osvědčením ke zkoušení vydaným OVL MO v souladu s metodickými pokyny MP-OVL-ILT-T001.

Z pohledu metodologie ke každému kontrolnímu seznamu přísluší hodnotová stupnice. Na základě toho jsme navrhli a provedli analýzu nebezpečí a rizik při práci Padostroje PS-1 uvedené v příloze jedna této práce. Ověření v praxi však ukázalo, že pro zajištění integrální bezpečnosti tj. bezpečí zaměstnanců, správný výsledek měření a bezpečné zařízení, musí být splněna všechna kritéria. Proto jsme pro praxi zvolili další metodu rizikového inženýrství a vytvořili jsme procesní model a následně uspořádaný soubor kritérií bezpečnostního auditu, které požadavky praxe zajistí.

Níže uvedený bezpečnostní audit byl prodiskutován a otestován jak obsluhou stroje, tak i patřičnými kontrolními orgány.

Tabulka 3. Soubor kritérií bezpečnostního auditu pro zajištění bezpečného provádění testů podvozků.

pořadové číslo	OTÁZKA	ANO	NE
Administrativní úkony			
1	Je platné povolení úřadů k provádění testů podvozků? (platnost Oprávnění vydaného ÚCL a Osvědčením ke zkoušení vydaným OVL MO)		
2	Jsou splněny podmínky uvedené v Příručce podnikové jakosti? (Příručka jakosti rozpracovává a popisuje systém řízení jakosti a uvádí jeho základní úroveň)		
3	Je podepsán předávací protokol testovaného podvozku?		
4	Je vydáno zadání (metodika, technické podmínky a specifikace) pro zkoušku podvozku daného typu?		
5	Je vydán postup instalace senzorů na podvozek daného typu pro zkoušku? (nově navržený měřící systém)		
6	Je testovaný podvozek správně skladován, aby nedošlo k ovlivnění výsledků testů?		
7	Souhlasí výrobní číslo zkoušeného podvozku se zadáním?		
8	Je přítomen osvědčující pracovník (kontrolor), který průběh testu sleduje?		
Bezpečnost práce			
9	Jsou při obsluze Padostroje PS-1 dodržovány zásady bezpečnosti práce?		
10	Je pracovní prostředí vhodné k provádění příslušných zkušebních prací z pohledu znečištění zkušebních prostor?		

pořadové číslo	OTÁZKA	ANO	NE
11	Je pracovní prostředí vhodné k provádění příslušných zkušebních prací z pohledu dostatečného osvětlení?		
12	Je pracovní prostředí vhodné k provádění příslušných zkušebních prací z pohledu hladiny hluku?		
13	Byla provedena kontrola teploty pracovního prostředí, zda odpovídá podmínkám pro provádění zkoušky? (20°C +/-5°C)		
Kontrola Padostroje PS-1 před vlastní zkouškou			
14	Byla provedena kontrola knihy údržby Padostroje PS-1 zda má platný interval do další kontroly?		
15	Byla provedena vizuální kontrola stavu stroje?		
16	Byla provedena kontrola olejoznaku hydraulického systému na olejové nádrži v horní části stroje?		
Instalace senzorů na testovaný podvozek (nově navržený měřící systém)			
17	Jsou k dispozici senzory určené k instalaci na testovaný podvozek? (nově navržený měřící systém)?		
18	Je testovaný podvozek řádně a bezpečně upevněn na transportním přípravku		
19	Je provedena instalace senzorů na podvozek daného typu pro zkoušku podle vydaného postupu a průvodky práce? (nově navržený měřící systém)		
20	Jsou řádně připevněny konektory senzorů a propojovací kabeláž k testovanému podvozku? (nově navržený měřící systém)		

pořadové číslo	OTÁZKA	ANO	NE
Instalace přípravku sloužícího k upnutí zkoušeného podvozku k pohyblivému stolu Padostroje PS-1, za předpokladu, kdy není instalováno závaží a pohyblivý stůl je spuštěn na bezpečnostní podpěře			
21	Má přípravek sloužící k upevnění testovaného podvozku k Padostroji PS-1 platnou revizi?		
22	Jet vertikálně pohyblivý vůz podepřen bezpečnostní podpěrou?		
23	Byly provedeny úkony potřebné k instalaci přípravku sloužícího k upnutí zkoušeného podvozku k pohyblivému stolu Padostroje PS-1? (prodloužení manipulační délky hydraulického systému)		
24	Je přípravek bezpečně ustaven na manipulačním vozíku?		
25	Je přípravek ustaven a spojen s danou soustavou vhodnými svorníky dle technické specifikace a průvodky práce?		
26	Je vertikálně pohyblivý vůz spuštěn s nainstalovaným přípravkem na bezpečnostní podpěru?		
27	Byly provedeny zpětné úkony potřebné k instalaci přípravku sloužícího k upnutí zkoušeného podvozku k pohyblivému stolu Padostroje PS-1 ? (zkrácení manipulační délky hydraulického systému)		
Naložení závaží na pohyblivý stůl			
28	Je vertikálně pohyblivý vůz pomocí hydraulického systému zdvižen do horní krajní polohy Padostroje PS-1 k zásobníku závaží? (kontrola volného chodu pohyblivého vozíku)		
29	Je potřebný počet závaží - desek (dle technické specifikace a průvodky práce) uvolněno na vertikálně pohyblivý vůz?		
30	Je zbylé závaží v horní části stroje řádně zajištěno v nosných tyčích zajišťovacími kolíky? **(pozor - řádně překontrolovat, nebezpečí úrazu!!!)**		
31	Je vertikálně pohyblivý vůz pomocí hydraulického systému spuštěn do dolní polohy a opřen o bezpečnostní podporu? (kontrola volného chodu pohyblivého vozíku)		

pořadové číslo	OTÁZKA	ANO	NE
32	Jsou desky závaží zajištěny na pohyblivém stole sponami?		
33	Je vertikálně pohyblivý vůz se závažím dovážen pytli s olověnou drtí podle technické specifikace zkoušeného podvozku a průvodky práce?		
Instalace podvozku do přípravku na pohyblivém stolu			
34	Je do přípravku instalován testovaný podvozek včetně kola, případně brzdy dle průvodky práce?		
35	Je zkontrolován plnící tlak v tlumiči a v pneumatice testovaného podvozku pomocí kalibrovaných manometrů?		
36	Je spojeno měřící lanko celkového propérování podvozku s unášečem pásového měřítka? (tento bod po instalaci nové měřící aparatury bude zrušen)		
Seřízení polohy „nula“ celkového propérování			
37	Je seřízená poloha lanka a pásového měřítka celkového propérování nastaveného na hodnotu „nula“ okamžiku dotyku kola a dopadové desky? (tento bod po instalaci nové měřící aparatury bude zrušen)		
Simulace vztlakové síly pomocí pružných provazců			
38	Jsou instalovány držáky lan do vodících trubek ve vztlakových křídlech a nasunuty na dvojice vodících tyčí?		
39	Je potřebný počet lan stejnoměrně rozdělen a zaháknut do ok držáků pružných lan? **(pozor - lana nesmí být překřížena!!!)**,		
40	Jsou v „nulové“ poloze podvozku (dotyk kola s dopadovou deskou) zajištěny držáky na vodících tyčích maticemi?		

pořadové číslo	OTÁZKA	ANO	NE
	Předpětí pružných provazců		
41	Je provedena změna předpětí pružných provazců v horní části padostroje? (**pozor - provádět při uvolněných lanech!!!**)		
	Kontrola hmotnosti zkoušené soustavy		
42	Je připojen měřící zesilovač k senzoru síly? (zastaralý systém měření)		
43	Je provedeno zahřátí, řádné nastavení a vynulování měřícího zesilovače síly? (původní systém měření)		
44	Je připojen senzor síly k měřící aparatuře, včetně senzorů umístněných na zkoušené podvozkové noze (senzor propérování a statického přetížení), senzor celkového propérování (senzor absolutního lineárního odměřování)? (nově navržený měřící systém)		
45	Jsou propojovací kabely mezi měřící ústřednou a senzory uspořádány tak, aby nebránili při vlastním měření a aby nedošlo také k jejich poškození? (nově navržený měřící systém)		
46	Je zapnuté napájení měřící ústředny a obslužný software PC pro sledování měřených parametrů, v tomto případě hmotnost zkoušené soustavy? (nově navržený měřící systém)		
47	Jsou v případě použití vztlakových lan tato lana odpojena?		
48	Je zkoušená soustava po odstranění bezpečnostní podpěry spuštěna na dopadovou desku?		
49	Je odjištěn zámek dopadového vozíku? („odhoz“ z nulové výšky)		
50	Bylo provedeno odečtení a zaznamenání hodnoty hmotnosti zkoušené soustavy z displeje zesilovače, zda odpovídá požadované velikosti? (zastaralý systém měření)		

pořadové číslo	OTÁZKA	ANO	NE
51	Bylo provedeno odečtení a uložení hodnoty hmotnosti zkoušené soustavy z displeje PC, zda odpovídá požadované velikosti? (nově navržený měřící systém)		
52	Je po kontrole hmotnosti zkoušené soustavy vertikálně pohyblivý vůz zdvižen a zajištěn zámek dopadového vozíku?		
53	Je vložena bezpečnostní podpora a vůz spuštěn na tuto podporu?		
54	Je potřeba soustavu dovážit a opakovat vážení zkoušené soustavy?		
55	Jsou v případě použití vztlakových lan tato lana znovu připojena?		
Pádová zkouška			
56	Je zkoušená soustava zdvižena na předepsanou pádovou výšku dle technické specifikace a průvodky práce?		
57	Je řádně nastaven měřící zesilovač pro měření dopadové síly (původní systém měření)		
58	Je správně nastaveno měřící lanko celkového propérování? (zastaralý systém měření)		
59	Je zapnuté napájení měřící ústředny a obslužný software PC pro sledování měřených parametrů? (nově navržený měřící systém)		
60	Je vynulována poloha celkového propérování prostřednictvím software – proveden reset? (nově navržený měřící systém)		
61	Je odstraněna bezpečnostní podpora?		
62	Je spuštěna ochranná klec do dolní polohy?		

pořadové číslo	OTÁZKA	ANO	NE
63	Je odjištěn zámek odhozu zamáčknutím žlutého tlačítka na ovládacím pultu?		
64	Je spuštěn záznam měřící aparatury software - PLAY? (nově navržený měřící systém)		
65	Je proveden odhoz s následnou vizuální kontrolou celé soustavy, zda nedošlo k nepředvídatelným událostem ohrožující bezpečnost obsluhy Padostroje PS-1?		
66	Je vyzdvižena ochranná klec do horní polohy?		
67	Je proveden odečet měřených parametrů a jejich zápis do tabulky naměřených hodnot? (původní systém měření)		
68	Je vypnut záznam měřící aparatury a provedena kontrola naměřených dat s následným vyhodnocením testu? (nově navržený měřící systém)		
Zpětné zapojení pohyblivého stolu			
69	Je otevřen regulační ventil hydraulického systému a spuštěn vůz ke stolu?		
70	Jsou čelisti zámku řádně zapadnuty za ozuby na trnu vozu?		
71	Je zámek zajištěn zamáčknutím stříbrného tlačítka?		
72	Je provedena kontrola zapadnutí západky zámku?		
73	Je uzavřen regulační ventil hydraulického systému umožňující spouštění vozu?		
74	Je zdvižena zkoušená soustava do patřičné výšky v případě pokračování zkoušky?		
75	Je v případě ukončení zkoušky vložena bezpečností podpora a vůz je spuštěn na tuto podporu?		

pořadové číslo	OTÁZKA	ANO	NE
Odstranění simulace vztlakové síly pokud byla použita			
76	Jsou v nulové“ poloze podvozku (dotyk kola s dopadovou deskou) odstraněny držáky na vodících tyčích sejmutím matic?		
77	Jsou odstraněny držáky lan vodících trubek ve vztlakových křídlech?		
78	Jsou vysunuty dvojice vodících tyčí vztlakové síly?		
Demontáž podvozku			
79	Je odpojeno měřící lanko celkového propérování s unášečem pásového měřítka? (tento bod po instalaci nové měřící aparatury bude zrušen)		
80	Jsou odpojeny vodiče od senzorů umístněných na zkoušené podvozkové noze (senzor propérování a statického přetížení? (nově navržený měřící systém)		
81	Je z přípravku vyjmuta testovaná podvozková noha dle průvodky práce?		
Sejmutí závaží (desek) z pohyblivého stolu			
82	Jsou odstraněny pytle s olověnou drtí, jsou-li použity?		
83	Jsou sejmuty zajišťovací spony desek na pohyblivém stolu?		
84	Je vertikálně pohyblivý vůz pomocí hydraulického systému zdvižen do horní krajní polohy Padostroje PS-1 k zásobníku závaží? (kontrola volného chodu pohyblivého vozíku)		
85	Jsou řádně zajištěny desky závaží v nosných tyčích zajišťovacími kolíky? **(pozor - - řádně překontrolovat, nebezpečí úrazu!!!)**		

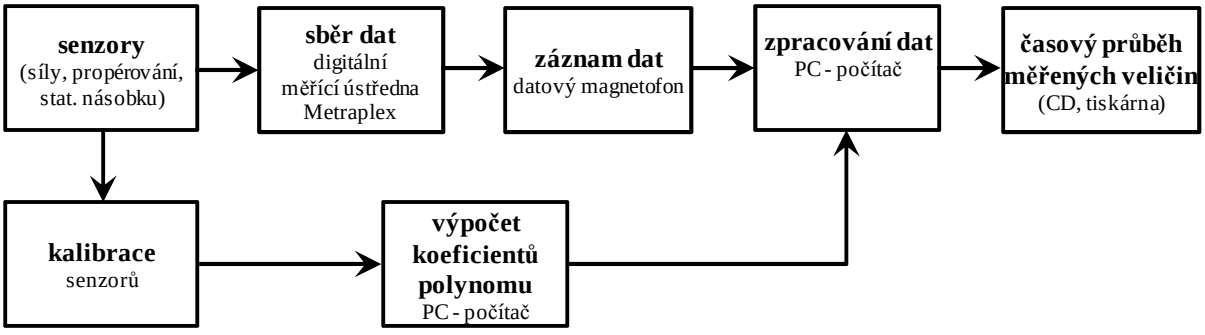
pořadové číslo	OTÁZKA	ANO	NE
86	Je prázdný stůl bez závaží spuštěn do dolní polohy a opřen o bezpečnostní podporu?		
87	Je při spouštění zkontrolován volný chod vozíku?		
Demontáž přípravku sloužícího k upnutí zkoušeného podvozku k pohyblivému stolu			
88	Je vertikálně pohyblivý vůz podepřen bezpečnostní podpěrou?		
89	Byly provedeny úkony potřebné k vyjmutí přípravku sloužícího k upnutí zkoušeného podvozku k pohyblivému stolu Padostroje PS-1? (prodloužení manipulační délky hydraulického systému)		
90	Je přípravek rozpojen s danou soustavou vyjmutím svorníků dle technické specifikace a průvodky práce?		
91	Je vertikálně pohyblivý vůz spuštěn bez přípravku na bezpečnostní podpěru?		
92	Byly provedeny zpětné úkony vedoucí ke zkrácení manipulační délky hydraulického systému a uvedení Padostroje PS-1 do výchozího stavu pro další možné práce?		
Provedení zápisu do evidenční knihy zkoušek			
93	Je do evidenční knihy proveden záznam pádové zkoušky se všemi náležitostmi?		
Vyhodnocení zkoušky			
94	Je zpracován záznam a vyhodnocení zkoušky dle technické specifikace a průvodky práce?		
95	Je vystaven protokol o provedené zkoušce?		

6. Návrh opatření pro zlepšení testů.

Jak bylo uvedeno v předchozím textu pro laboratorní zkoušky podvozků byl u nás vyvinut v padesátých minulého století a uveden do provozu v Aeru Radotín (později Technometra Radotín) první „Padostroj“ PS-1, který umožňoval provádět první dynamické zkoušky na pohlcení mechanické práce (pádové zkoušky) leteckých podvozků na dopadovou plošinu. Tento Padostroj PS-1 byl v Technometře Radotín provozován do konce roku 2013 bez větších technických úprav při dodržování pravidelné údržby. Měřené délkové veličiny byly ve většině případů odečítány pomocí ocelových měřítek a zapisovány do tabulek, které byly následně vkládány do tabulkového procesoru PC. Silové veličiny byly snímány zastaralým jednokanálovým zesilovačem fy. Hottinger vyrobeného roku 1975. Toto zastaralé zařízení bylo potřeba neustále kontrolovat z důvodu stálosti signálu. Naměřené hodnoty signálu byly taktéž zapisovány do tabulek a po té do PC. Tento způsob získávání dat byl zatížen možností nepřesného odečítání technického personálu, včetně možné chyby při přepisování naměřených hodnot do tabulek. Nemalým problémem byla také časová náročnost zpracování dat díky velkému podílu manuální práce a nemalé finanční nároky na případné opakování testů. V současné době jak bylo napsáno v předchozí kapitole je Padostroj PS-1 přemístěn do Aero Vodochody Aerospace a.s., kde se předpokládá jeho částečná rekonstrukce a modernizace, aby toto zařízení v rámci možností splňovalo nové technické požadavky, včetně nových bezpečnostních norem. Jedním bodem zmíněné modernizace je také návrh a realizace nového měřícího řetězce, který by splňoval současné náročné požadavky na měření i za klimatických podmínek $-55°C \div +85°C$. Zvolené senzory by byly instalovány na měřeném podvozku a celá tato sestava by byla před vlastními pádovými testy umístěna do klimatické komory, kde by byla na základě zadání temperována na požadovanou teplotu. Dalším požadavkem pro tento měřící řetězec je možnost jeho umístnění na palubu letounu za účelem testování podvozku při letových zkouškách.

6.1. Návrh a popis měřícího řetězce

Na základě výše uvedených požadavků je na obrázku 22 znázorněn navržený měřící řetězec, ze kterého je patrný způsob měření zadaných parametrů (síla v ose kola, propérování tlumiče a statického násobku).



Obr. 22. Návrh měřícího řetězce pro měření síly v ose kola, propérování tlumiče, propérování celého podvozku a statického násobku.

6.2. Specifikace a volba senzorů měřícího řetězce zvolených pro daná měření

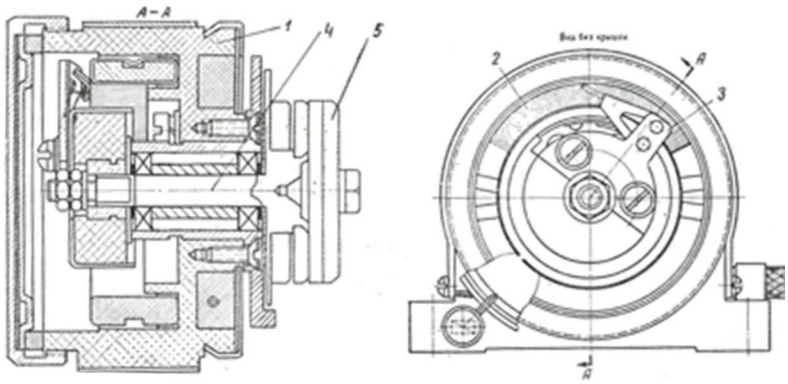
V příloze této práce „Problematika měření neelektrických veličin“ je provedeno seznámení s problematikou senzorů a jejich dělení podle řady kritérií. Jsou zde uvedeny základní technické parametry senzorů, základní požadavky na vlastnosti senzorů a na měření neelektrických veličin. Dále je v této příloze uveden stručný přehled existujících senzorů určených pro dané měření a to senzory polohy, senzory statického zatížení a senzory pro měření síly. Na základě získaných základních informací v této příloze a řady konzultací s odbornými pracovníky v oboru jsme provedli výběr vhodných senzorů pro dané použití při provádění dynamických zkoušek na pohlcení mechanické práce (pádové zkoušky) leteckých podvozků na měřící dopadovou plošinu.

6.2.1. Měření polohy - „propérování“ podvozku

Pro měření polohy (propérování) podvozku lze použít řadu senzorů, jak je vidět v přehledu uvedeného v příloze č.2 této práce. Vzhledem k tomu, že daný senzor bude vystaven při zkouškách nemalým rázům a náročným klimatickým podmínkám (- 60°C ÷ +150°C) byl zvolen poměrně robustní celokovový odporový, drátový, rotační senzor polohy s označením *MU 615* (výroba v bývalém SSSR), obrázek 23. Tento senzor se osvědčil jako systémový prvek na letounech L 39, kterých bylo vyrobeno a je doposud ve světě provozováno cca 3 000 ks. Díky svým vlastnostem a konstrukčnímu uspořádání, které zaručuje jeho bezporuchovost a dlouhodobou životnost je doposud na letounech používán. Pro účel měření propérování podvozku jsou jeho technické parametry dostačující (rozsah teplot, přesnost, napájecí napětí aj.) [9]. Zároveň tato volba vyhovuje jak z hlediska ekonomického, tak i z jeho rychlé dostupnosti. Vlastní senzor bude připevněn prostřednictvím vhodně zvolené konzoly k podvozkové noze letounu tak, aby nebyl vystaven zbytečným velkým rázům a současně, aby byl pokud možno co nejblíže k měřenému místu, aby se zaručila co největší možná přesnost měření. Jedná se o snahu dosáhnout co nejmenší vůle v převodovém mechanismu spojující pohyblivou část senzoru s vlastním tlumičem podvozku.

Technické parametry senzoru MU 615:

- rozsah měřeného úhlu ±30° ±2°,
- přesnost ±1,5 % z rozsahu měření,
- linearita ±1% z rozsahu měření,
- odpor potenciometru 700 Ω ±5 Ω,
- napájení senzoru 6 ±0,5 V
- izolační odpor 20 MΩ,
- váha 0,14 kg,
- pracovní teplotní rozsah - 60 °C ÷ +150°C,
- vlhkost vzduchu do 98% do +35°C,
- rozsah vibrací 5 ÷ 300 kHz,
- zrychlení do 118 m/s^2 (12g)



Obr. 23. Vnitřní uspořádání senzoru polohy MU 615

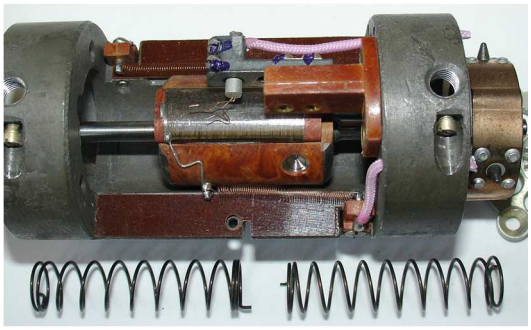
1- tělo senzoru, 2 odporová dráha, 3 - běžec potenciometru, 4 - osa rotace běžce,
5 - mechanické připojení k senzoru.

6.2.2. Měření přetížení podvozku

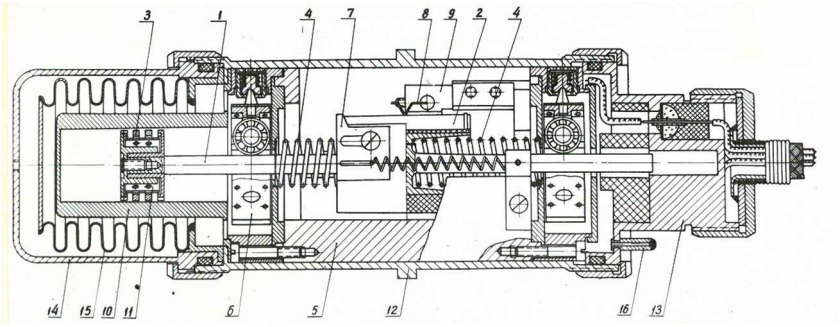
Pro měření přetížení podvozku při dopadu na vodorovnou dopadovou desku lze použít podobně jako u předchozího senzoru polohy řadu senzorů z uvedeného přehledu. Vzhledem k tomu, že daný senzor bude vystaven při zkouškách stejným pracovním podmínkám jako senzor polohy, byl zvolen senzor přetížení s označením *MP 95*, jehož „historie“ je stejná jako u senzoru polohy, obrázek 24. Pro účel měření propérování podvozku jsou jeho technické parametry dostačující (rozsah teplot, přesnost, napájecí napětí aj. [9]. Vlastní senzor také bude připevněn prostřednictvím vhodně zvolené konzole k podvozkové noze letounu tak, aby nebyl

vystaven zbytečným velkým rázům a současně aby byl pokud možno co nejblíže k měřenému místu, aby se zaručila co největší možná přesnost měření. Princip zvoleného senzoru je založen na „závažíčku“ zavěšeného na pružinách a reagujícího na případné přetížení. K „závažíčku“ je připevněn drátový potenciometr, naproti kterému je umístěn třetí kontakt (jezdec) připevněný pevně k tělu senzoru a prostřednictvím kterého dochází k přenosu signálu změny odporu měřícího potenciometru (ke změně výstupního napětí) v závislosti na velikosti přetížení.

Technické parametry senzoru MP 95:



- rozsah měřeného přetížení -3,5 ÷ +10g,
- přesnost ±1,5 % z rozsahu měření,
- linearita ±1% z rozsahu měření,
- odpor potenciometru 1000 Ω ±5 Ω,
- napájení senzoru 6 ±0,5 V
- izolační odpor 20 M Ω,
- váha 0, 4 kg,
- pracovní teplotní rozsah - 60 °C +70°C,
- vlhkost vzduchu do 98% do +35°C,

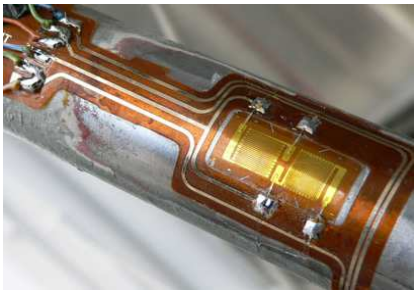


Obr. 24. Vnitřní uspořádání senzoru přetížení MP 95.
1- osa senzoru se závažíčkem, 2 - potenciometr, 3 - tlumení, 4 - pružiny,
5 - tělo senzoru, 6 - ložiska, 7 - kontakt potenciometru, 8 - běžec potenciometru,
9 - konzolka běžce potenciometru upevněná k tělu senzoru,
10 - 16 další konstrukční prvky senzoru

.

6.2.3. Měření svislé sily v ose kola

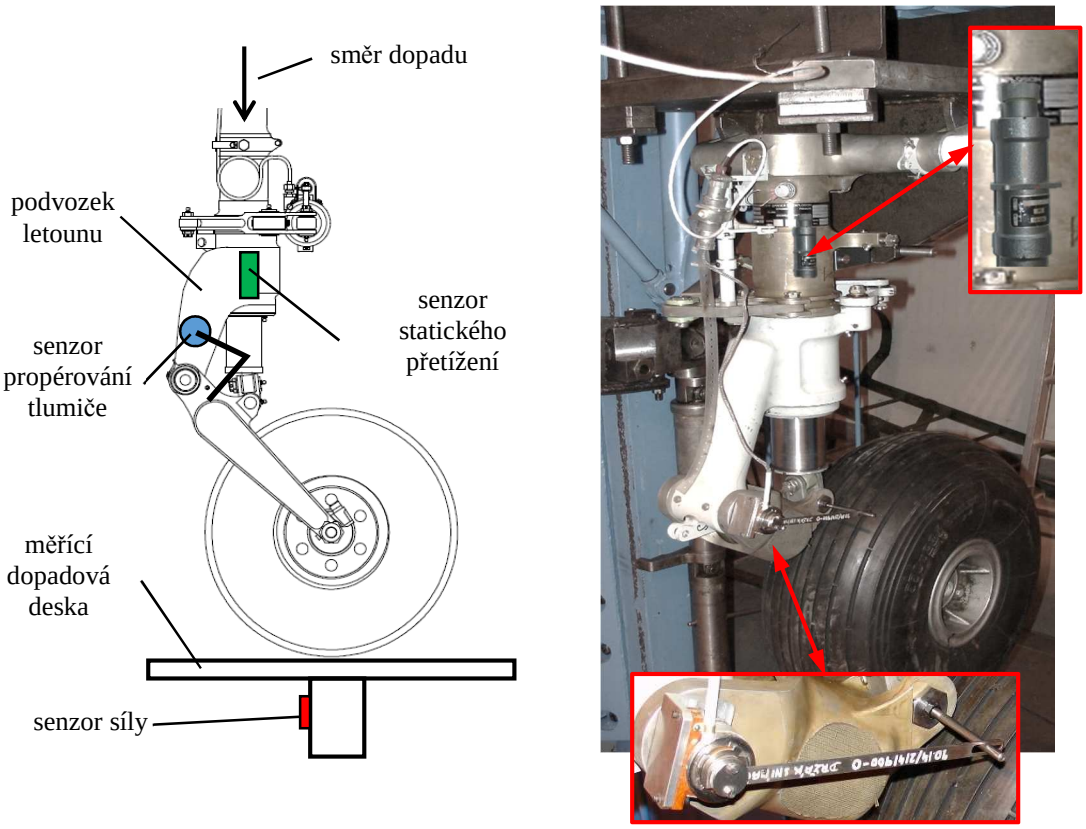
K měření svislé sily v ose kola budou použity drátové foliové tenzometry od firmy Vishay typu *CEA-06-125UT-350* o odporu *350* ohmů [15]. Tenzometry budou zapojeny do můstku a budou napájeny napětím 10 V prostřednictvím měřící karty umístněné v digitální měřící ústředně Metraplex, která je součástí navrhovaného měřícího řetězce. Měřící tenzometr bude umístěn (nalepen) na válcovém „trnu“ který je uložen pod dopadovou deskou, obrázek 25.



Obr. 25. Ukázka umístnění (nalepení) odporového tenzometru na válcovém „trnu“.

6.2.4. Návrh osazení příďového podvozku senzory

(včetně umístnění senzoru síly dopadové desky), obrázek 26

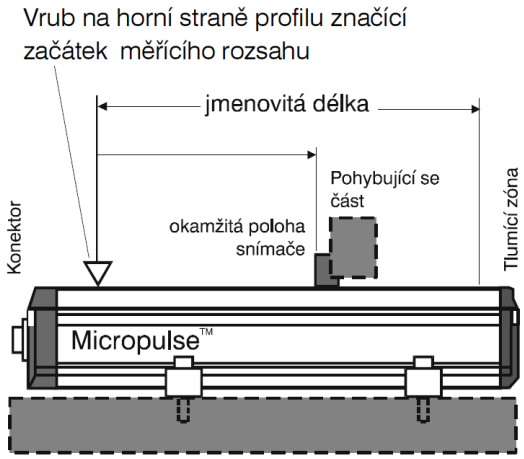


Obr. 26. Návrh umístnění senzorů na testovaném podvozku.

6.2.5. Měření pádové výšky podvozku na Padostroji PS-1

Pro měření pádové výšky podvozku na Padostroji PS-1 je použit senzor absolutního lineárního odměřování BALLUFF BTL5, obrázek 27. Tento senzor obsahuje „trubičku“ s vlnovodem, který je chráněn taženým hliníkovým profilem. Podél profilu se pohybuje senzor polohy, který je uživatelem spojen s částí zařízení, jehož poloha je měřena, obrázek 28. Senzor polohy ji odměřuje na vlnovodu. Vně vyrobený impuls vytváří, ve spojení s magnetickým polem senzoru polohy, ve vlnovodu torzní vlnu, která vzniká magnetostrikcí a pohybuje se ultrazvukovou rychlostí. Torzní vlna, směřující ke konci vlnovodu, je absorbována tlumící zónou. Vlna směřující k počátku s elektrickým připojením, vyvolá ve snímací cívce elektrický signál. Z doby trvání přeběhu vlny se stanoví poloha. Podle verze použitého senzoru může být výstup v různém digitálním formátu. Toto se děje s vysokou přesností a reprodukovatelností v oblasti definované jako jmenovitá délka. Po obou stranách jmenovité délky se nacházejí oblasti nelineárního signálu, které však může snímač polohy přejíždět [13].

Obr. 27. Senzor absolutního lineárního odměřování BALLUFF BTL5.



Obr. 28. Základní uspořádání senzoru BALLUFF BTL5.

Lineární absolutní odměřování má tyto vlastnosti:

- velmi vysoká rozlišitelnost, reprodukovatelnost a linearita,
- odolnost vůči rázům, vibracím, znečištění a elektrickým šumům,
- absolutní výstupní signál,
- délky vedení mezi senzorem a měřícím zařízením až 500 m,
- možnost sběrnicového zapojení,
- je nutno zabezpečit, aby v bezprostřední blízkosti senzoru lineárního odměřování nevznikala silná magnetická nebo elektrická pole.

Technické parametry senzoru BTL5:

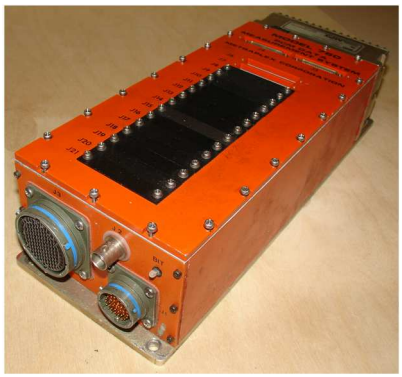
- měřená vzdálenost 3m
- napájecí napětí 20-28V,
- výstupní signál 0-10 V,
- vibrace 12g,
- rázová zatížení 100g/6 ms,
- rozlišení < 2 µm,
- hystereze < 4 µm,
- reprodukovatelnost <6 µm,
- zvlnění 0,5 Vpp
- provozní teplota – 40°C ÷ +85 °C
- vlhkost < 90%.

6.2.6. Návrh umístnění senzoru pádové výšky podvozku na Padostroji PS-1

Obr. 29. Návrh umístnění senzoru BALLUFF BTL5 na Padostroji PS-1.

6.3. Sběr dat – digitální měřící ústředna Metraplex 760 PCM

Programovatelná měřící ústředna Metraplex 760 PCM nám slouží ke sběru měřených dat jak v laboratoři, tak na palubě letounu, obrázek 30.

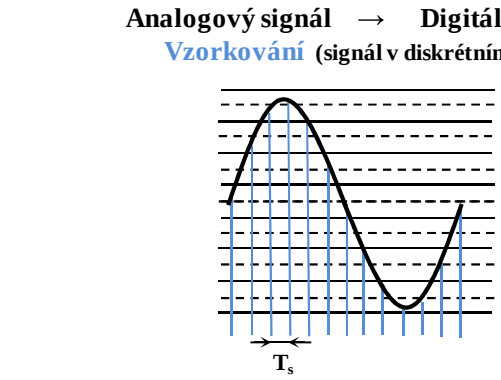


Obr. 30. Hybridní měřící systém Metraplex760 PCM.

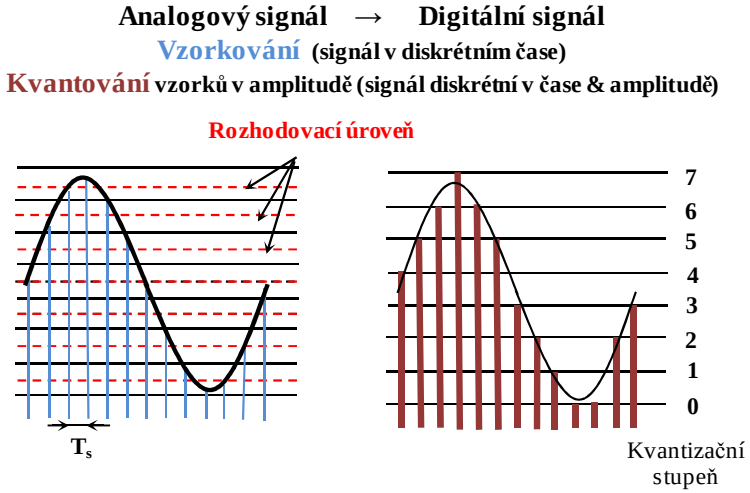
Jedná se o modulární systém s možností měření různorodých elektrických vstupních signálů (napětí, proud, frekvence, aj.) prostřednictvím výměnných měřících karet. Každý měřený signál je možné individuálně softwarově upravit (např. zesílení, offset, velikost napájení měřících můstků aj.), prostřednictvím obslužného software označeného HDMS. Další z mnoha možností této měřící ústředny je možnost nastavení požadované vzorkovací frekvence pro jednotlivé měřené parametry [16]. Základní vzorkovací frekvence byla nastavena na požadovaných 65 Hz. Výstupem z měřící ústředny jsou data ve formátu PCM. Digitální systémy využívají PCM (Pulse Code Modulation) k digitalizaci analogového (spojitého) signálu. Pulzně kódová modulace PCM patří mezi nejdůležitější modulace používané pro digitální přenos [14]. Využití PCM je ze všech typů digitálních modulací nejpropracovanější a systémy s PCM tvoří páteř digitálních přenosových systémů. Podstatou pulzně-kódové modulace jsou tři základní operace:

- vzorkování analogového signálu, obrázek 31,
- kvantování, obrázek 32,
- kódování, obrázek 33.

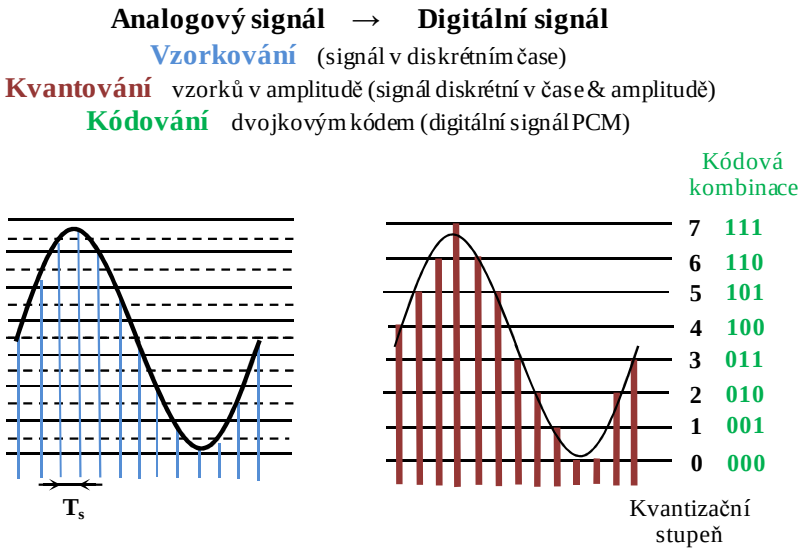
Signál se nejprve navzorkuje, poté se jednotlivým vzorkům přiřadí kvantovací hladiny, které odpovídají jednotlivým číslům vyjádřeným binárně (v případě systému Metraplex *12 bitů* tj. 2^{12}, což je rovno *4 095 „hladin“*). Přesnost okamžitých hodnot jednotlivých vzorků opět závisí na kvantizačním kroku, obrázek 34. Nevýhodou PCM modulace je relativně velká šířka potřebného kmitočtového pásma. Výhodou je však odolnost proti rušivým vlivům, nepřesáhnou-li tato určitou hodnotu.



Obr. 31. Ukázka vzorkování analogového signálu.

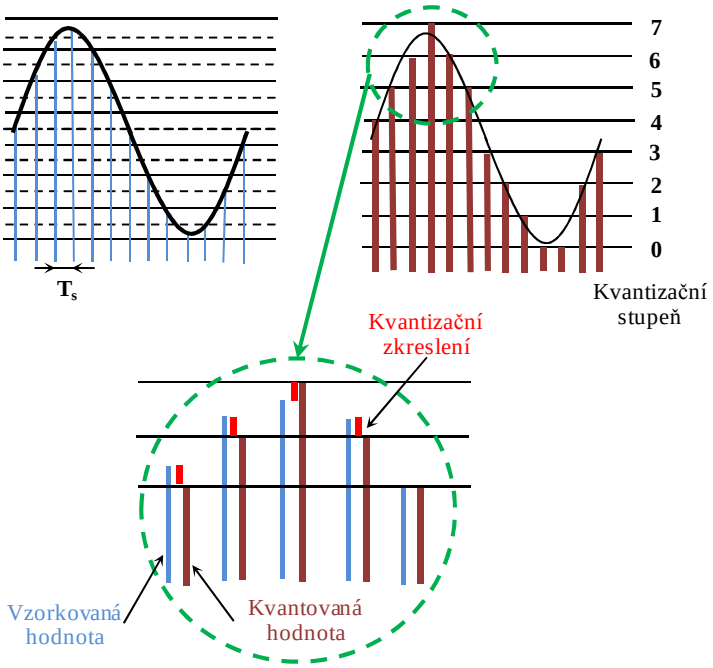


Obr. 32. Ukázka kvantování analogového signálu.



Obr. 33. Ukázka kódování analogového signálu.

Analogový signál → Digitální signál
Kvantizační zkreslení (kvantizační šum)
Zkreslení signálu díky kvantování
(důležitý kvalitativní parametr při digitálním přenosu analogavých signálů)



Obr. 34. Kvantizační krok.

Technické řešení a robustní konstrukce bloků umožňuje použití měřící ústředny Metraplex v různých extrémních podmínkách, které jsou specifikovány v normách MIL-STD-810B a MIL-STD-810C, například při testování letadel, námořních lodí, při testování a diagnostice nárazových zkoušek automobilů a pro mnoho dalších technických aplikací.

6.3.1. Popis měřící ústředny Metraplex 760 PCM

Metraplex 760 PCM je plně programovatelná měřící ústředna pracující prostřednictvím rozhraní RS 232 s IBM PC [16]. Velkou výhodou tohoto měřícího systému je možnost jeho modulárního uspořádání jednotlivých bloků, které lze mezi sebou vzájemně propojit v různých konfiguracích vyplývajících z celkových potřeb měření obrázek 35. Další vlastností tohoto systému je možnost prostřednictvím programového vybavení na vstupních měřících kartách měnit zesílení, nastavení offsetů, kalibrování vstupních měřených signálů, nastavení výhodných výstupních formátů dat aj. Systém obsahuje celkem 32 signálových kanálů s PCM kódováním, digitální linky pro vzájemné propojení bloků Master (řídící blok) – Slave (podružný blok) s možností vzájemného “sériového“ propojení až osmi měřících bloků se 2048

vstupními kanály pracujícími s daty s rychlostí do 2 Mb/s. Při využití bloku Metraplex 761 PCM lze vzájemně „sério-paralelně“ propojit až šedesátčtyři měřících bloků s 16 384 vstupními kanály. Výstupní data mohou být jak v sériovém, tak v paralelním formátu a rychlost přenosu může dosahovat až 8 Mb/s. Každý blok může obsahovat až 20 interních karet, kde čtyři jsou vyhrazeny pro systémovou komunikaci a šestnáct karet je vyhrazeno pro různé použití dané konfigurace systému.

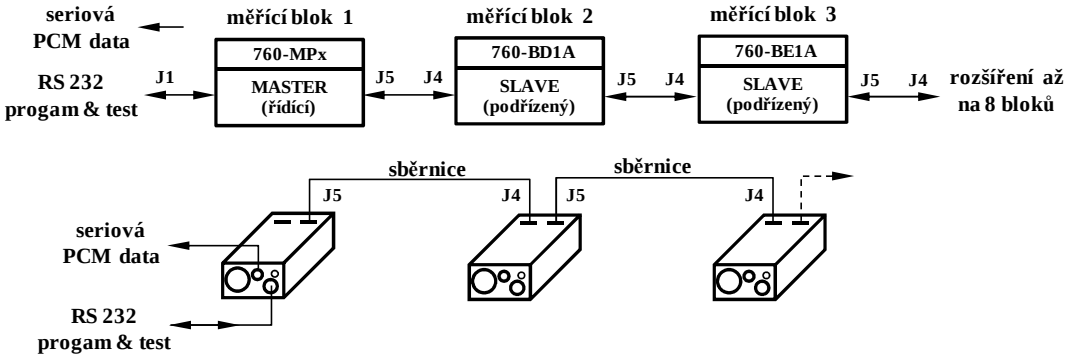
Nároky norem MIL představují následující vybrané hodnoty:

- vibrace:
  - sinusové 5 – 50 Hz do 5g
  - náhodné 50 – 8 000 Hz do 25g
- akcelerace: do 15g
- akustický šum: od 22 – 11 300 Hz pro akustický tlak do 146 dB
- náraz: 30g po dobu nejvýše 11ms
- teplota: +71/-53°C ve výšce 20 000 m
- vlhkost: až 100%
- odolnost v prašném, písečném a slaném prostředí
- napájení: letadlové napájecí systémy 28 V DC

Architektura systému Metraplex 760 PCM

Architektura měřícího systému umožňuje konfiguraci do dvou hlavních režimů [16]:

- **jeden blok**
  Obsahuje celý PCM systém s uživatelským výběrem vstupu/výstupu karet a poskytuje jednotný PCM výstupní proud až do 2 megabity za sekundu.
- **Master / Slave**
  Řazení až osmi bloků za sebou a tím rozšíření počtu vstupů. PCM výstupní proud může být až do 2 megabity za sekundu. Bloky jsou vzájemně propojeny sběrnicí, obrázek 35.



Obr. 35. Konfigurace systému Metraplex760 PCM pro režim Master/Slave.

Specifikace systému Metraplex 760 PCM dle [16]:

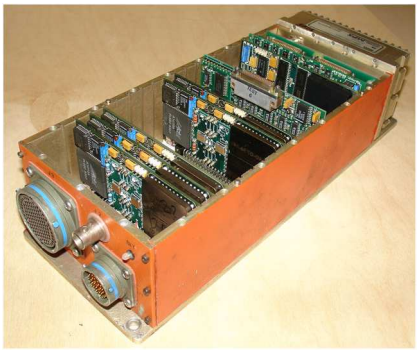
- Vstupní kanál – až 16 384 vstupů na 128 adresovaných portech na 16 měřících kartách v osmi systémech po osmi blocích
- PCM paralelní výstupy – až 3 200 slov v hlavním rámci
- Signálová úprava vstupů – programovatelné nastavení zesílení, offsetu, pre-sample filtru aj.
- Typy vstupních signálů - mohou být od různých druhů senzorů (např. napětí, piezorezistivita, potenciometry, proud, frekvence aj.)
- Analogové vstupy – až 2 048 vstupních kanálů na 16 portech jednoho bloku. Rozsah napěťových kanálů je +/- 10mV až +/- 10V
- Digitální vstupy – 2 048 kanálů na 16 portech jednoho bloku, kde v jedné skupině je 36 bitů
- Časově kódované vstupy – měřící karta akceptuje 36 bitů nebo 3 PCM slova
- Sběrnicové stupy – vstupy s rozhraním ARINC 429, CSDB, Panavia a 1554
- Speciální vstupy – vstupy pro počítače, časovače, RS-422 interface, optické izolátory, filtry, pasivní sítě aj.
- Výstupní formát – programovatelný formát pro komunikaci a rozhraním RS – 232 a pro vstup dat do paměti EEPROM
- Bitové rychlosti přenosu - specifické pro jednotlivé měřící karty
  - přesnost +/- 1%
  - stabilita +/- 0,01 % v rozsahu teplot -53°C až 71°C
- Přenosy – osmi, deseti a dvanácti bitová programovatelná slova, MSB specifický, parita, délka rámce až 3 200 slov
- Přesnost systému – 1% typické, záleží na použité měřící kartě
- Linearita systému +/- 0,1% typické, záleží na použité měřící kartě
- Kalibrace – automaticky inicializovaná nebo manuální kalibrace, záleží na použité měřící kartě
- Sériový výstup – PCM s před-modulačním filtrem ve formátech NRZL, RNRZ-L, Bio-M, Bio-S, Dbio-M a Dbio-S
- Vstupní ovládání – sériové rozhraní RS-232 pro nastavení a kontrolu
- Napájení - 28+/-4 V DC, 850 mA typicky (1 A max)
- Velikost bloku – 71 x 105 x 262 mm
- Hmotnost – 2,2 kg se všemi měřícími kartami

Základní popis měřícího bloku Metraplex 760 PCM:

Konfigurace systému

760 PCM Systems (měřící blok) se skládá z pouzdra s 20 sloty pro systémové a měřící karty. Čtyři sloty jsou vyhrazeny pro systémové karty a zbývajících 16 slotů je možno použít pro

různě volitelné vstupní a výstupní karty tak, aby bylo dosaženo požadované konfigurace systému [16]. Napájecí zdroj je umístěn na konci bloku. Obrázek 36 znázorňuje možnou konfiguraci s některými uživatelem zvolenými vstupními a výstupními kartami.



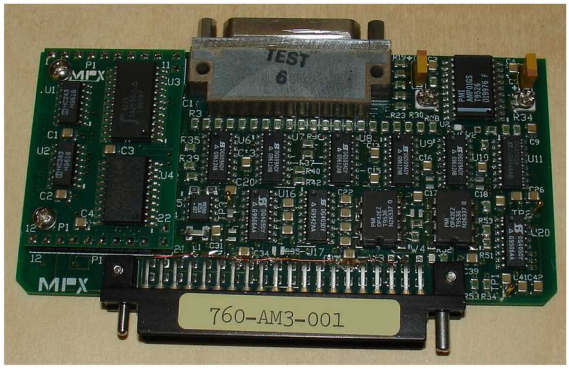
Obr. 36. Ukázka vnitřního uspořádání měřícího bloku Metraplex760 PCM.

6.3.2. Základní popis vybraných vstupních měřících karet potřebných pro dané měření

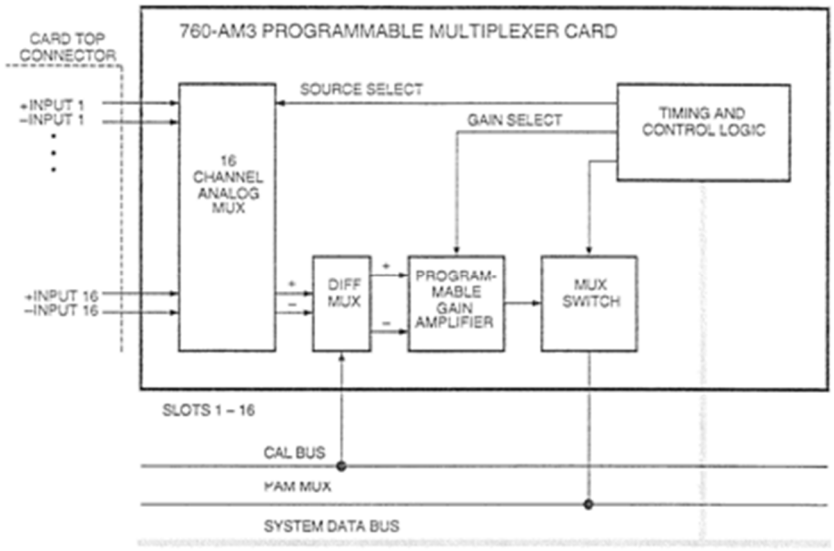
- **Měřící karta 760-AM3**
  760-AM3 je plně programovatelná karta, která obsahuje 16 diferenciálních analogových vstupů, obrázek 37 [16]. Prostřednictvím obslužného software, je možné nastavit pro každý měřený kanál čtyři různá zesílení (0.5, 1, 5, 10) a offset (unipolar/bipolar) obrázek 42a. K dispozici je i několik různých verzí karet AM3 lišících se velikostí vstupního napětí. Obrázek 38 ukazuje hlavní funkční prvky programovatelného multiplexeru.

Konfigurace dle [16]: zasunovací karta s kapacitou 16 diferenciálních analogových vstupů s programovatelným zesílením a vstupním napětím,

- vstupní připojení: prostřednictvím konektoru Cannon MDM-37,
- vstupní kanály: 16 diferenčních vstupů na kartu,
- vstupní napětí: až do +/- 10 V maximální, v závislosti na zisku a posunutí,
- vstupní offset: každý kanál je programovatelný pro unipolární nebo bipolární režim,
- vstupní impedance: 100 kOhm minimum,
- vstupní vzorkovací frekvence: až 84 000 vzorků na kartu za sekundu při konstantním zesílení,
- zesílení: zesílení každého kanálu je individuálně programovatelný ve čtyřech krocích,
- přesnost zesílení: +/- 0,25% typicky,
- stabilita zesílení: 50 ppm /°C,
- přepětí: +/- 35 V DC nezpůsobuje žádné škody nebo degradaci sousedního kanálu.



Obr. 37. Programovatelný multiplexer 760-AM3.



Obr. 38. Hlavní funkční prvky programovatelného multiplexeru 760-AM3.

Stručný popis jednotlivých částí 760-AM3

Časová a řídící logika (Timming and control logic)
Tento obvod na základě požadavku z hlavní systémové sběrnice přijme žádost o změření požadovaného analogového signálu (parametru), předá informaci o pozici tohoto signálu analogovému multiplexeru a současně přiřadí danému signálu námi zvolené zesílení a offset (unipolar/bipolar) [16].

Analogový multiplexer (analog mux)
Analogový multiplexer na základě požadavku časové a řídící jednotky přepne na jeden ze šestnácti diferenciálních analogových vstupů (+ INPUT a -INPUT), kam je požadovaný signál připojen přes konektor umístněný na horní straně karty [16].

Programovatelné zesílení (Program-mable, Gain amplifier)
Tento zesilovač má čtyři programovatelná nastavení zisku, stejně tak jako programovatelný unipolární/bipolární offset (posun). Řídicí logika provede jedno ze čtyř zesílení a požadovaný offset námi měřeného analogového signálu [16].

Multiplexerový přepínač (mux switch)
Multiplexerový přepínač zajistí, aby takto upravený analogový signál byl ve vhodný okamžik poslán prostřednictvím sběrnice PAM MUX k dalšímu zpracování kartou 760-ADX, která provede digitalizaci tohoto analogového signálu a který je posléze zařazen do výstupního PCM proudu [16].

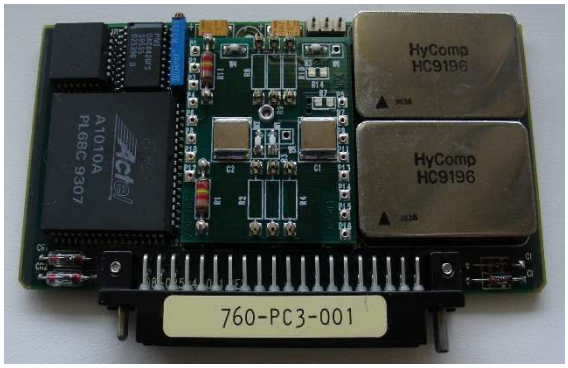
- **Měřící karta 760-PC3**
  760-PC3 je také podle [16] plně programovatelná dvoukanálová karta obrázek 39, 40. Programově lze nastavit pro každý měřený kanál osm různých zesílení (1; 2,5; 10; 25; 100; 250; 500; 1000), offset, pre-sample filtr, autobalanci-kalibraci a obvody sample and hold, obrázek 42b. Další možností je nastavení velikosti výstupního napájecího napětí pro měřené senzory. Tato měřící karta se používá zejména pro měření můstkových zapojení senzorů (tenzometry, teplotní PT 100 senzory aj.). Dále nám také umožňuje po výměně měřícího modulu měřit piezoelektrické senzory (např. vibrace), termočlánky aj.

  Konfigurace: zasunovací dvoukanálová karta s výkonným diferenciálním zesilovačem s programovatelným zesílením, offsetem, dolní propustí a napájecím napětím [16].

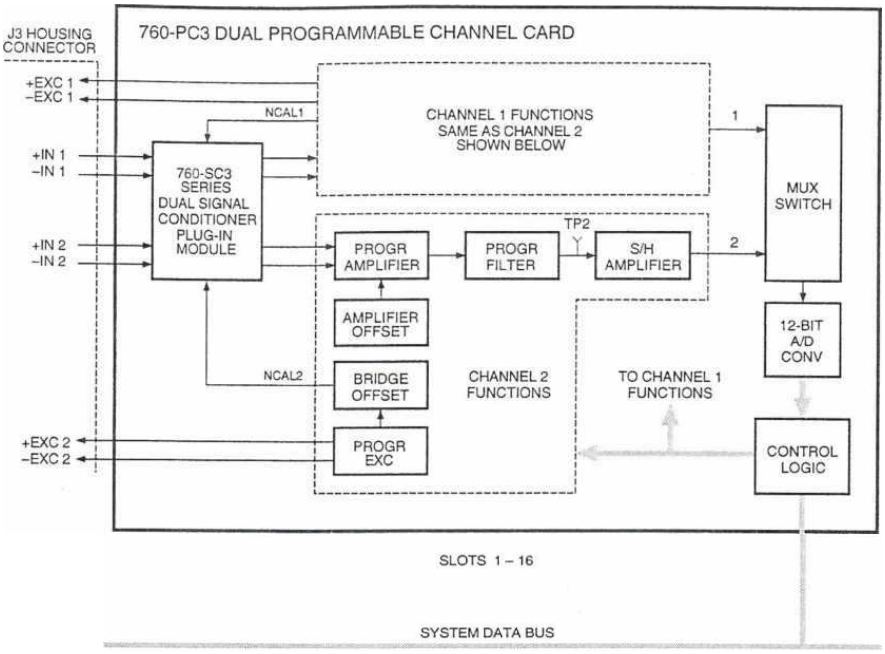
  - vstupní připojení: prostřednictvím 128 pinového konektoru,
  - vstupní kanály: dva vstupy na kartu,
  - vstupní napětí: až do +/- 5 V (5 V špička-špička)
  - vstupní impedance: 10 MΩ ohm minimum,
  - vstupní vzorkovací frekvence: až 84 000 vzorků na kartu za sekundu při konstantním zesílení,
  - zesílení: zesílení každého kanálu je individuálně programovatelné po osmi krocích,
  - přesnost zesílení: +/- 0,25% ,
  - stabilita zesílení: 0,25% zisku (-25 ÷+70°C),
  - přepětí: +/- 35 V DC nezpůsobuje žádné škody nebo degradaci sousedního kanálu,
  - autobalance povel „autobalance“ nastaví každý kanál do zadaného referenčního bodu vyvážení. Po zapnutí napájení nebo resetu systému, dříve uložené

autobalance (jejich hodnoty) jsou obnoveny spolu s nastavením zesílení a filtrů,

- přesnost autobalance +/- 0,05% z celého rozsahu.



Obr. 39. Programovatelná dvoukanálová karta 760-PC3.



Obr. 40. Blokové schéma dvoukanálové programovatelné karty 760- PC3.

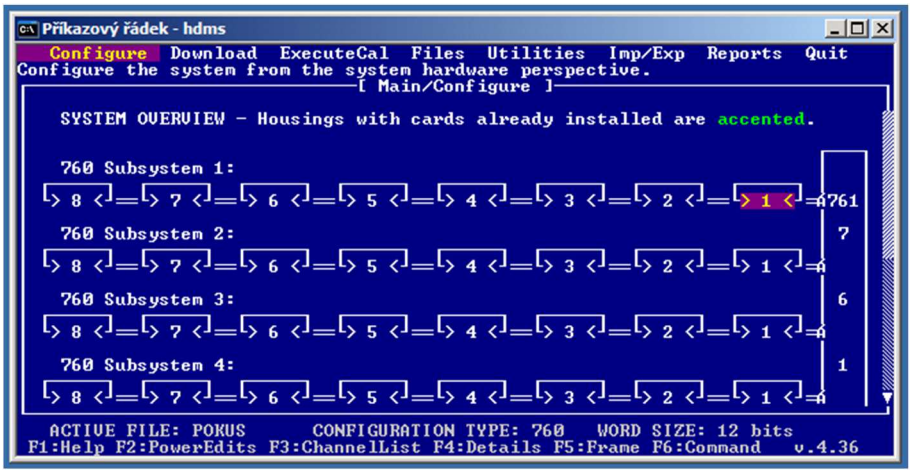
Stručný popis blokového schéma 760-PC3

Blokové schéma této dvoukanálové karty je znázorněno na obrázku 50. Karta 760-PC3 obsahuje obvody pro úpravu signálu obou kanálů a má vlastní 12-bitový A/D převodník. Hlavním rysem této karty jsou dva hybridní obvody, které obsahují programovatelné buzení,

zesilovač, filtr a kalibraci obvodů. V reálném čase provozu, každý hybridní obvod zajišťuje požadovaný zisk a posunutí, omezuje frekvenční odezvu, vzorkuje analogový výstupní signál. Multiplexerový spínač vybere určený analogový výstup, který pak digitalizuje a pošle výstup na datovou sběrnici v průběhu správného časového slotu v PCM rámci [16].

6.3.3. Popis software sloužícího k ovládání a konfiguraci měřící ústředny Metraplex 760 PCM

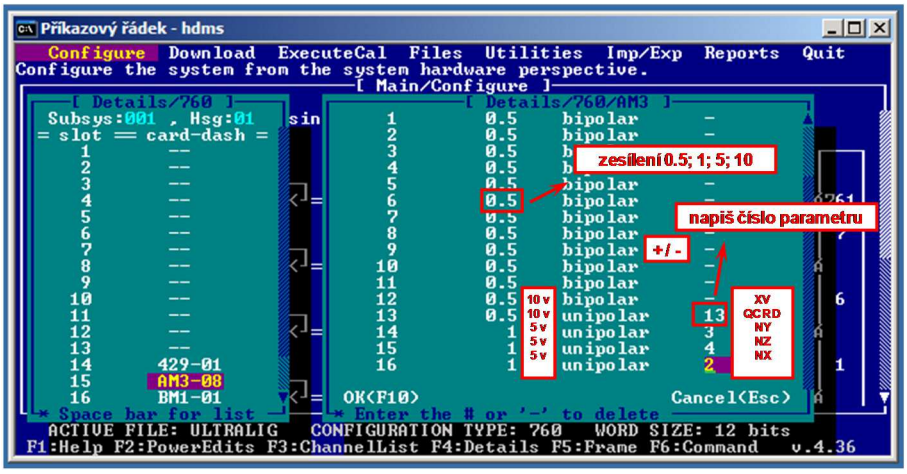
Metraplex HDMS je obslužný software, který slouží k ovládání a konfiguraci měřící ústředny Metraplex 760 PCM [16]. Program může načítat, ale i ukládat konfigurační soubory. Kromě toho program zahrnuje volby menu pro soubory údržby a kalibrace systému 760 PCM. Software HDMS poskytuje plný přístup ke všem funkcím prostřednictvím hlavního menu v horní části obrazovky obrázek 41 a ukazuje devět možností nabídky: Configure, Download, ExecuteCal, Files, Utilities, Imp/Exp, Reports, Quit.



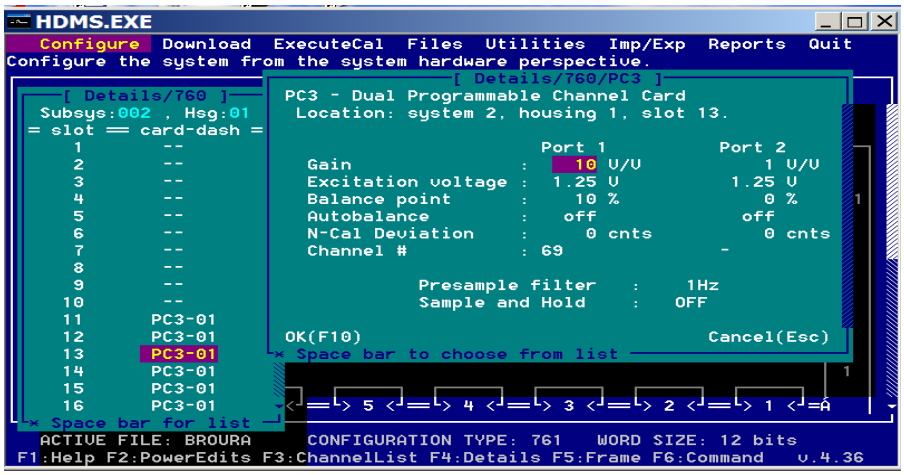
Obr. 41. Ukázka konfigurace systému Metraplex760 PCM prostřednictvím software HDMS.

Configure (konfigurace)
V této nabídce můžeme konfigurovat jednotlivé bloky zvoleného subsystému 760. Na obrázku 41 jsou vidět první čtyři z osmi možných subsystémů master-slave 760 PCM systém, kde každý subsystém může mít až osm bloků. Každý blok může být otevřen pro více informací stiskem klávesy F4. Po jejím prvním stisknutí se nám zobrazí rozložení jednotlivých měřících karet v bloku a po druhém stisknutí se nám zobrazí podrobnosti o každé měřící kartě, kterou lze po té konfigurovat podle potřeby. V našem případě je zobrazeno možné nastavení šestnácti kanálové měřící karty s označení AM3-08, obrázek 42a a dvoukanálové měřící karty PC3

obrázek 42b. Měřící karta AM3-08 bude použita pro námi měřené propérování, statické přetížení podvozku a měření pádové výšky. Měřící karta PC3 bude použita pro měření svislé síly [16].



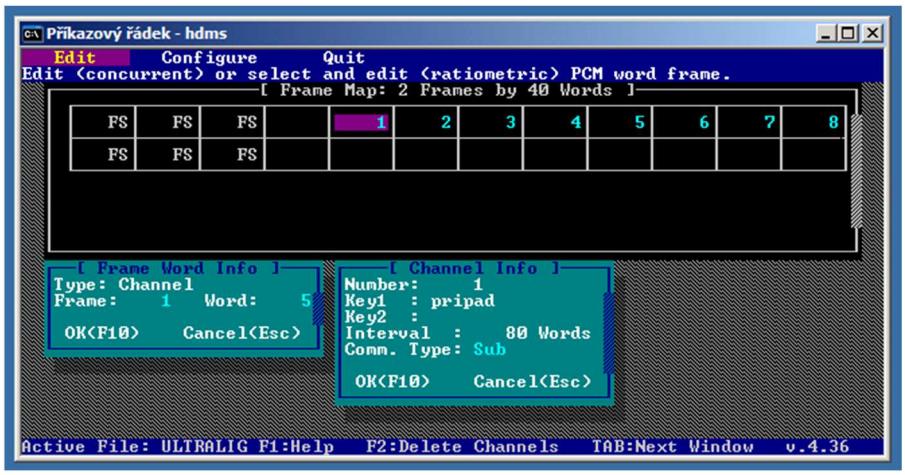
a)



b)

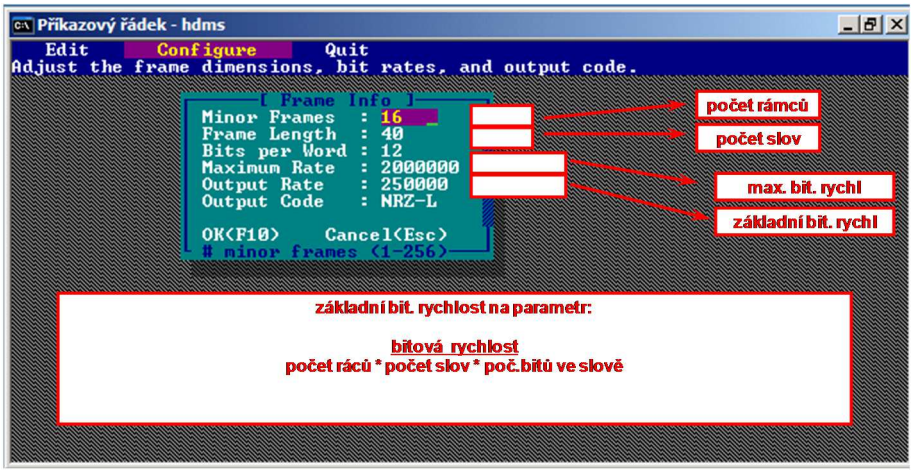
Obr. 42. Ukázka možností nastavení měřících karet.
a) AM3-08, b) PC3

Stisknutím klávesy F5, obrázek 41 se otevře další okno s nabídkou Edit, která slouží k vytvoření mapy měřených parametrů, obrázek 43. Zde každý parametr má své číslo, které určuje jeho pozici v dané mapě (např. parametr číslo jedna je na pozici páté slovo – první rámec) a tím i slouží k jeho identifikaci při dalším zpracování.



Obr. 43. Ukázka mapy měřených parametrů

Další nabídka Configure nám umožňuje zadávání parametrů formátů rámce, počet bitů ve slově, maximální a výstupní bitovou rychlost a typ výstupního kódu obrázek 44.



Obr. 44. Konfigurace systému.

Download (stažení)
Tento příkaz obrázek 46 odešle námi vytvořený konfigurační soubor prostřednictvím RS-232 do mikroprocesoru samostatného bloku PCM, nebo prvního bloku systému PCM (Master-Slave) nebo na blok 761 Data Merge Systém [16].

ExecuteCal
ExecuteCal obrazovka se používá ke kalibraci systému. Kalibrovat se mohou jen některé nebo všechny systémy [16].

Files
Prostřednictvím této možnosti si můžeme vybrat z HDMS již dříve vytvořené soubory [16].

Utilities
Zobrazí nástroje pro případnou změnu systémového nastavení PCM, včetně základních výchozích nastavení [16].

Imp / Exp
Umožní import/export funkce pro překlad Metralex HDMS formátu souborů do standardizovaného Intermediate Format (MMF) souboru pro použití při výměně informací s jinými software a hardware systémy [16].

Reports
Vyberte zprávy pro tisk jedné nebo více systémových konfigurací [16].

Quit
Opuštění HDMS software [16].

6.4. Záznam PCM dat

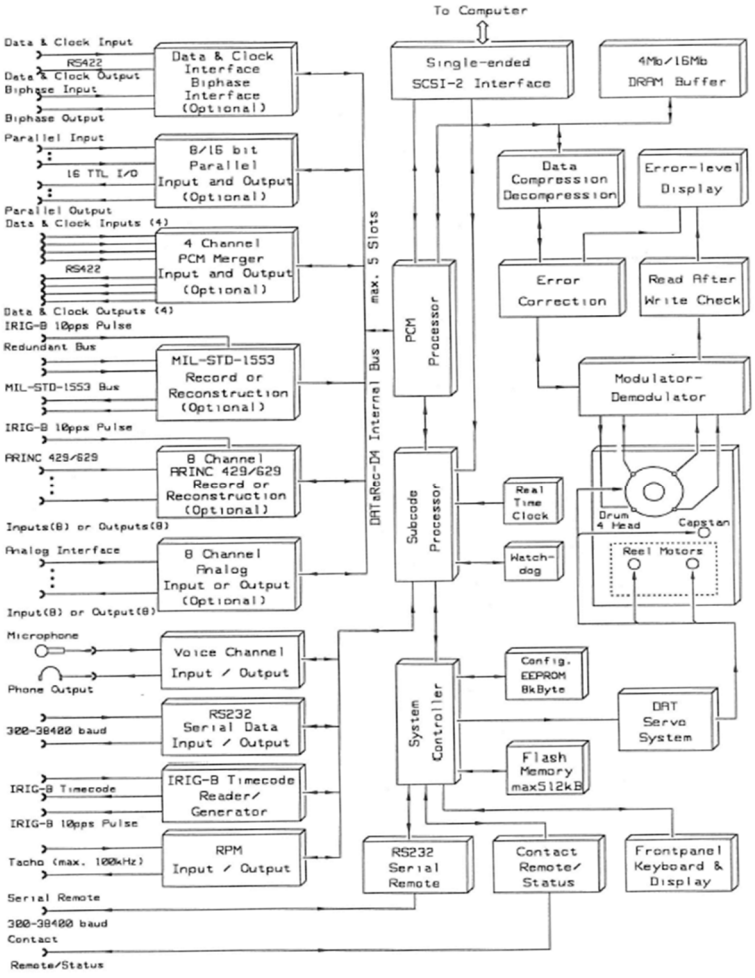
Záznam PCM dat je prováděn prostřednictvím digitálního magnetofonu DATaRec-D4, obrázek 45. Jedná se o více účelový PCM nahrávací systém pro záznam až 4 Mbit/s digitálních dat na magnetickou pásku s vysokou hustotou záznamu [17]. DATaRec-D4 byl navržen pro použití v letectví, čemuž odpovídá jeho konstrukce, která je sice robustní, ale váhově vyhovující. Pásková mechanika DDS-2 DAT (Digital Audio Tape) je namontována na vestavěné vibrační izolátory, které poskytují bezchybný provoz v náročných a drsných podmínkách odpovídající normám MIL-STD-810C. Jedná se zejména o stavy, kdy se letoun nachází ve fázi „třesení“ nebo déle trvajícím přetížení a kdy by mohla magnetická páska odskakovat od nahrávací hlavy a tím by tak mohlo docházet ke ztrátě nahrávaných dat.

Výběr základních technických parametrů:

- vibrace: do 5g, MIL-STD-810E
- akcelerace: do 10g
- náraz: 30g po dobu nejvýše 11ms
- teplota: +50/-50 °C ve výšce 20 000 m
- vlhkost: 20 až 80%
- napájení: letadlové napájecí systémy 28 V DC

DATaRec-D4 má modulární konstrukci, která zajišťuje jeho pohodlný upgrade a umožňuje tak i jeho případné přizpůsobení daným potřebám. Obrázek 46 ukazuje blokové schéma rekordéru [17]. Možností tohoto zařízení je také zaznamenávání hlasového kanálu pro nahrávání komentářů a možnost indexace značek, které mohou být nastaveny automaticky nebo ručně během záznamu a které nám mohou pomoci pro rychlejší orientaci při přehrávání i několika hodinového záznamu. Další možností tohoto digitálního magnetofonu je možnost využití vnitřního času, který je udržován záložní baterií, která nám také zajišťuje fungování zařízení při výpadku napětí až do50 ms. Pro delší možné výpadky napětí, které trvají déle než 50 ms (až 15s) je k dispozici interní baterie, která nám zajistí po tuto dobu bezchybný záznam. Všechny funkce DATaRec-D4 a jeho set-up můžeme ovládat přímo na panelu vlastního zařízení, nebo pomocí dodávaného dálkového ovládání, anebo pomocí počítače (např. notebook) přes rozhraní RS 232.

Obr. 45. Digitální magnetofon DATaRec-D4.



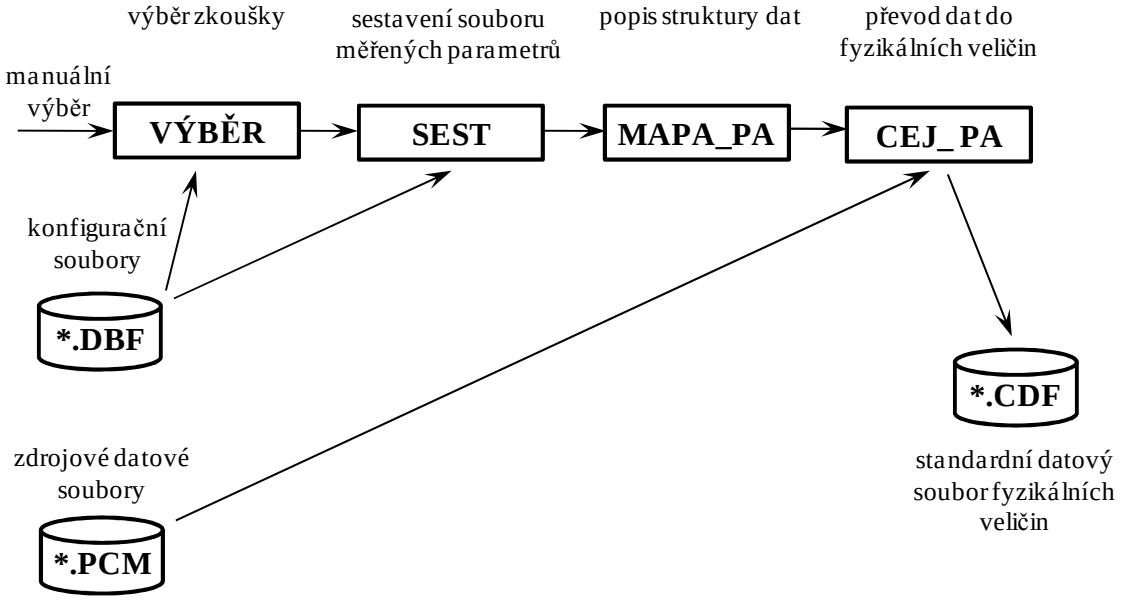
Obr. 46. Blokové schéma rekordéru DATaRec-D4.

.

6.5. Zpracování naměřených PCM dat

Na obrázku 47 je blokové schéma zpracování naměřených dat prostřednictvím PC [9]. Struktura uvedeného programového vybavení pro zpracování dat je navržena tak, aby bylo možné zpracovávat data pro různé druhy prováděných zkoušek. Z tohoto důvodu dochází v prvním kroku zpracování daného měření k výběru provedené zkoušky (např. ZK 3). Na základě provedeného výběru jsou z konfiguračních souborů (*.DBF) pro danou zkoušku načtena potřebná, již uložená data pod stejným názvem „ZK 3“ (např. typ použité měřící ústředny, bitové rychlosti, délka bitového slova aj.). Dalším krokem zpracování je sestavení souboru měřených parametrů (SEST). Zde dochází opět k načtení databází z konfiguračních souborů pro danou zkoušku, kde jednotlivé databáze obsahují například seznamy měřených parametrů, koeficienty polynomů jednotlivých kalibrací aj. Na základě sestavení souboru měřených parametrů dochází ve třetím kroku zpracování k popisu struktury dat (MAPA_PA). V tomto kroku jsou jednotlivé měřené parametry vloženy do takzvané „mapy“ měřených parametrů (viz obrázek 43, Metraplex HDMS obslužný software). Posledním krokem zpracování záznamu (CEJ_PA) je načtení datových souborů (*.PCM) uložených na magnetické pásce a převod naměřených dat do fyzikálních veličin. Výstupem tohoto celého programového zpracování je standardní datový soubor fyzikálních veličin (*.CDF). S tímto souborem dále pracují jednotlivé odborné skupiny, které si vybírají a sestavují časové průběhy měřených parametrů dle svých potřeb [9].

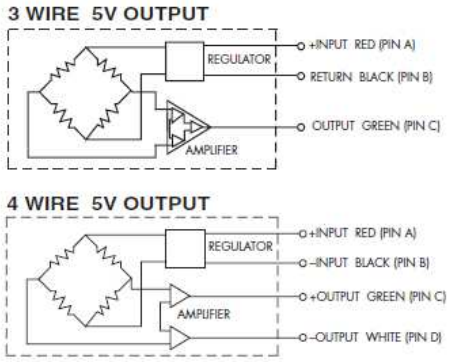
Struktura programového vybavení pro zpracování dat
(hlavní vstupy a výstupy)



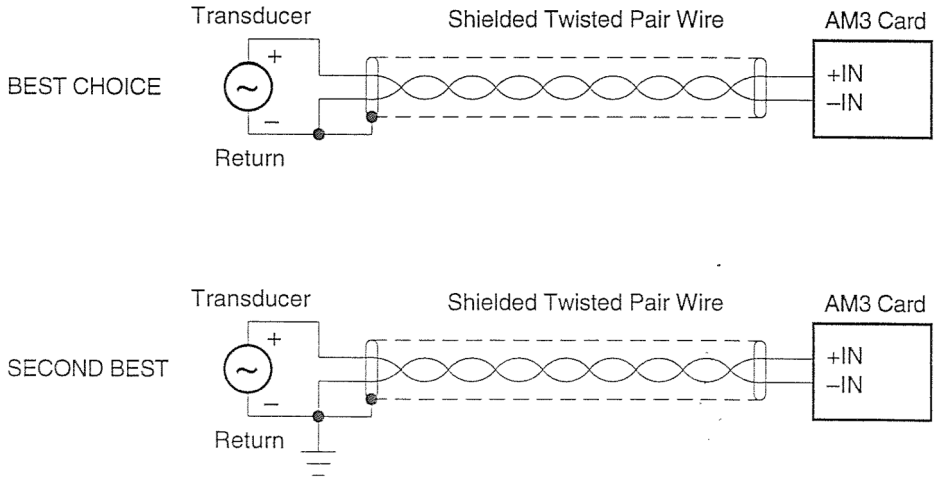
Obr. 47. Programy pro zpracování dat.

6.6. Propojovací vedení

Výstup příslušného senzoru výchylek a přetížení (0-5V) je připojen prostřednictvím stíněného krouceného kabelu s firemním TBVFV 2x0,34 mm na vstupní konektor měřící programovatelné analogové multiplexerové karty s označením 760-AM3. Tato karta je součástí plně programovatelné digitální měřící ústředny Metraplex 760 PCM. Požadavky na přenosovou trasu jsou dány jak ve specifikacích výrobců senzorů, tak i výrobců měřících systémů[16]. Na obrázku 48 jsou uvedeny možnosti zapojení senzorů s pěti voltovým výstupním napětím a na obrázku 49 je uvedeno doporučené zapojení výstupního signálu senzoru a použité měřící karty. Pro naše měření je použito pro senzory polohy a přetížení čtyř vodičové zapojení, kde dva vodiče slouží k napájení senzoru a druhé dva vodiče k přenosu měřeného signálu do měřící ústředny.



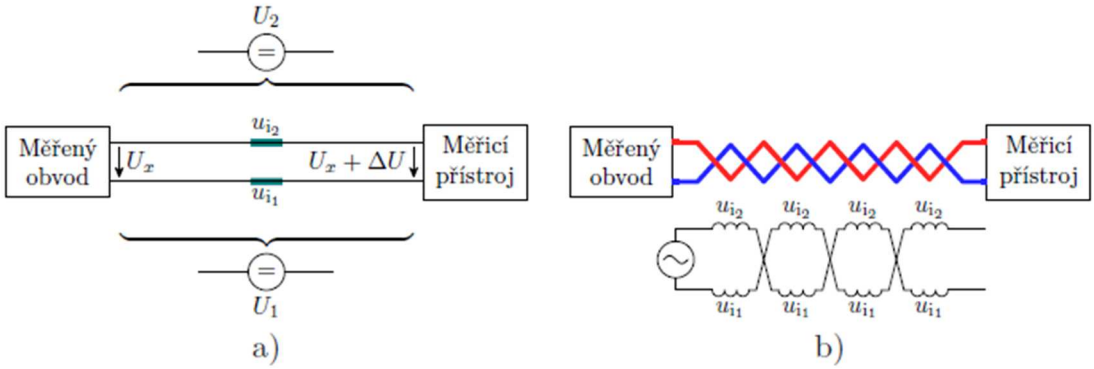
Obr. 48. Tří a čtyřvodičové zapojení senzorů s pěti voltovým výstupem.



Obr. 49. Doporučené zapojení senzor-měřící karta 760- AM3.

Stíněný kroucený kabel s označením TBVFV 2x0,34 mm se používá z důvodu zamezení případného rušení signálu, obrázek 49. Kroucení vodičů je jeden ze způsobů ochrany proti rušení a lze ho vysvětlit následovně. Snahou je dosáhnout toho, aby se signál z počátku přívodu

dostal na jeho konec pokud možno s co nejmenší změnou tvaru, fáze a velikosti. Nejjednodušším způsobem připojení je použití dvou přímých drátů, což je ovšem náchylné k induktivnímu rušení. Pokud předpokládáme, že v okolí přívodu je magnetické pole, můžeme si vodič pomyslně rozdělit na N krátkých úseků, obrázek 50a, z nichž každý má vlastní indukčnost L. Na každém úseku spodního drátu se naindukuje napětí u_{i1} a ve výsledku se to projeví tak, jako by ke vstupu měřicího přístroje byl připojen přídavný zdroj napětí $U_1 = Nu_{i1}$. Obdobně u horního drátu se indukují malé příspěvky napětí u_{i2} a výsledné napětí $U_2 = Nu_{i2}$. Vzhledem ke způsobu zapojení působí napětí proti sobě a nežádoucí interference se projeví jako přídavné napětí o velikosti $\Delta U = N(u_{i1} - u_{i2})$. Pokud budou u_{i1} a u_{i2} rozdílné, rušení se projeví. Velikost těchto příspěvků nemůžeme účinně ovlivnit, protože závisí na velikosti rušení v daném místě, ale můžeme omezit jejich součty. Pokud totiž použijeme „kroucenou dvojlinku“, tj. proplétání dvou drátu, budou se k sobě přičítat příspěvky střídavě a rozdíl součtových napětí bude nulový. Tedy na první (modrý) drát se v případě čtyř úseků, obrázek 50b, naindukuje napětí $U_1 = u_{i1} + u_{i2} + u_{i1} + u_{i2}$, na druhý (červený) drát $U_2 = u_{i2} + u_{i1} + u_{i2} + u_{i1}$ a jejich rozdíl bude nulový $\Delta U = 0$. Další možný způsob ochrany proti rušení je elektrické stínění, obrázek 49. To je realizováno dutým vodivým „válcem“, jehož osou prochází stíněný vodič. „Válec“ je vodivě propojen se senzorem, případně ještě připojen k zemi. Problematika řešení a návrhu odstranění rušení je ovšem podstatně složitější problém než je zde uvedeno a proto je někdy i potřeba experimentálního ověření [14].



Obr. 50. Připojení měřeného obvodu k měřícímu přístroji pomocí:
a) dvojlinky, b) kroucené dvojlinky

Senzor pro měření svislé sily v ose kola je s měřící kartou 760-PC3 spojen pomocí krouceného čtyř vodičového kabelu, kde je každá žíla samostatně stíněná. Firemní označení daného vodiče je S-ROM 22 4x0,15 mm. Vlastní připojení k danému senzoru (tenzometr – celý most) je popsáno kapitole „Měření svislé sily v ose pomocí tenzometrů“, kde dva vodiče slouží k napájení tenzometrického můstku a dva vodiče slouží měření vlastního signálu. Způsob ochrany proti rušení je elektrické stínění obdobné jako v předchozím případě, obrázek 49 s tím rozdílem, že je vzájemně propojeno stínění jednotlivých žil.

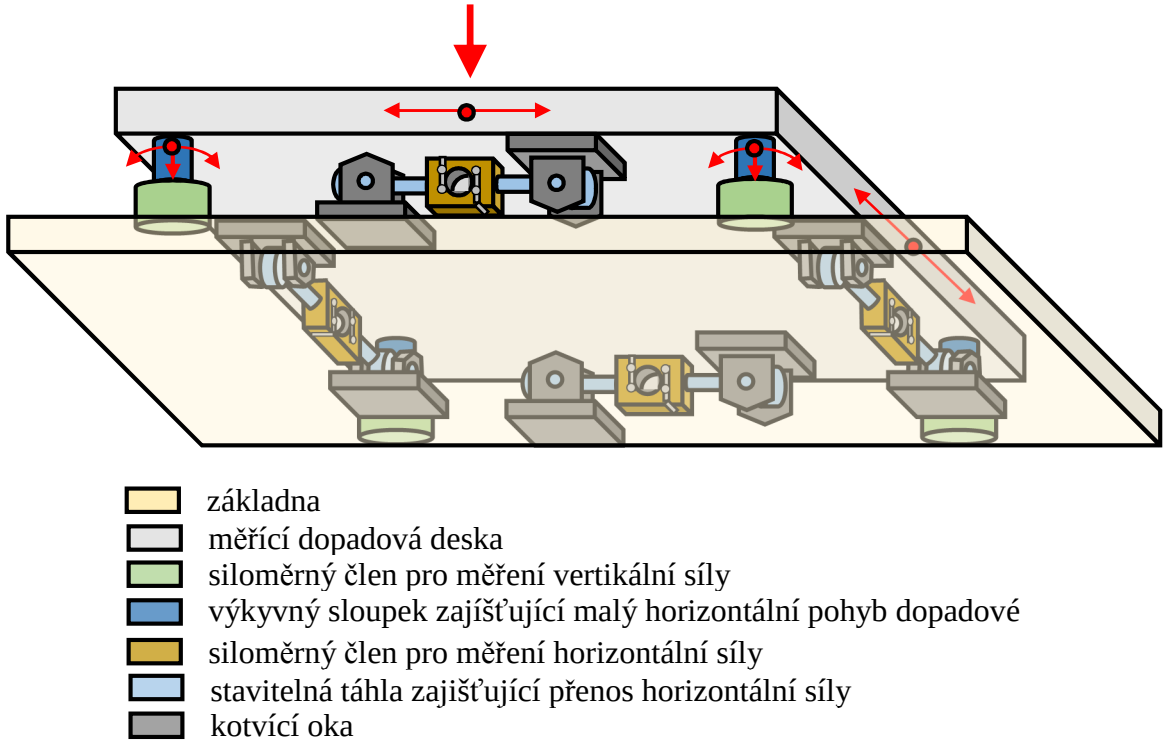
6.7. Realizace nového měřícího řetězce

Na obrázku 51 je zobrazen realizovaný nový měřící řetězec určený pro dynamické zkoušky podvozků na Padostroji PS-1 a s možností jeho umístnění i na palubu testovaného letounu v rámci letových zkoušek. Současně je zde také zobrazen monitor PC s ukázkou jednotlivých časových průběhů vybraných měřených parametrů, které nám umožňují komplexní pohled na provedené měření. Samozřejmostí jsou i detailní výběry jednotlivých časových úseků (např. několik ms), kdy možné posoudit daný průběh v požadovaném rozlišení. Další možností je taktéž textový soubor umožňující vytváření potřebných tabulek aj.

Obr. 51. Realizovaný nový měřící řetězec určený pro dynamické zkoušky podvozků.

6.8. Návrh úpravy měřící dopadové desky

V kapitole 2.3.2 jsou uvedeny mimo jiné i různé způsoby měření propérování podvozku, kdy se kolo podvozku nejenom pouze odvaluje na měřící dopadové desce, ale v řadě případů koná také pohyb suvný nebo kyvný ve směru bočném, případně dopadá na šikmou plošinu. Při všech uvedených způsobech dochází také ke smýkání pneumatiky (náhlým roztáčením kola při jeho dotyku se zemí). K simulaci těchto stavů se používají pomocné valivé můstky různých tvarů, obrázky 14,15, jejichž vodorovné složky reakce vzniklé při dopadu zachycují ručičkové dynamometry. Měření dopadové síly, jak bylo řečeno v předchozím textu, je řešeno prostřednictvím měřícího deformačního členu umístěného pod měřící dopadovou deskou na jejím středu, obrázek 17. Toto uspořádání však vyžaduje pokud možno co nejpřesnější usazení testovaného podvozku tak, aby místo dopadu bylo na středu této měřící dopadové desky a měření tak nebylo zatíženo chybou měření vlivem bočních sil působících na měřící deformační člen. Na obrázku 52 je znázorněn ideový návrh nové měřící dopadové desky.



Obr. 52. Ideový návrh nového měřícího dopadového stolu.

.

Je zde znázorněno nové uspořádání měřících senzorů s napěťovým výstupem a bezproblémovým připojením k nově navrhovanému měřícímu řetězci. Dopadovou (vertikální) sílu by v tomto uspořádání měřily čtyři senzory síly umístněné v rozích dopadové desky, čímž by se odstranily nevýhody předchozího uspořádání. Vodorovné složky reakce (horizontální pohyb) měřící dopadové desky by byly měřeny čtyřmi siloměrnými členy tvaru

“S“ a nahrazovaly by tak ručkové dynamometry. Tento navržený způsob měření jak vertikálních, tak i horizontálních sil dopadové desky je samozřejmě realizovatelný na základě celkového možného technického řešení v rámci případných následných konstrukčních úprav Padostroje PS-1, zejména jeho spodní části. Výběr vhodných senzorů by se provedl ve spolupráci s konstruktérem realizujícím tento návrh.

7. Závěr

Cílem uvedené diplomové práce „Ocenění rizik při testu tlumení nárazu podvozku letounu v okamžiku přistání“ bylo vytvořit ucelený dokument, který by přehlednou formou popsal rozsáhlou problematiku přistávacích zařízení jakožto bezpečný výrobek určený pro letadla z pohledu bezpečnosti, vedoucí k zamezení nebo minimalizaci zdroje rizik vedoucích i k možným ztrátám na životech. Snahou bylo, aby daná práce posloužila mimo jiné i jako technická pomůcka pro nově příchozí zaměstnance na dané pracoviště, na základě které by získali širší pohled na vlastní provádění testů podvozků s možností následných vlastních podnětů vedoucích ke snižování možných rizik.

V prvních dvou kapitolách jsou popsána základní uspořádání a konstrukční řešení přistávacích zařízení, včetně požadavků na tato přistávací zařízení kladená. Je zde popsáno chování podvozku při přistání a popis prováděné dynamické zkoušky na pohlcení mechanické práce leteckých podvozků.

Třetí kapitola názorně popisuje postup výpočtu hodnot potřebných pro vyhodnocení úspěšnosti prováděných testů podvozků, kdy příslušné hodnoty dosažené při vlastní pádové zkoušce na Padostroji PS-1 nesmějí překročit hodnoty výpočtové. Výsledkem této kapitoly jsou uvedené tabulky naměřených a vypočtených hodnot, včetně grafického vyjádření klíčových naměřených dat. Na základě uvedených údajů odborní pracovníci určí další směřování prací, případně podpisem odsouhlasí úspěšné provedení testů.

Ve čtvrté kapitole je popsána metoda zpracování dat vedoucí k zajištění bezpečnosti užívaného strojního zařízení a bezpečí obsluhy. Pro identifikaci nebezpečí a analýzu rizik byl zvolen metodický postup formou souboru kritérií bezpečnostního auditu pro zajištění bezpečného provádění testů podvozků.

Návrh bezpečnostního auditu pro zajištění bezpečného provádění testů podvozků pro práci na Padostroji PS-1 je uveden v páté kapitole. Jsou zde uvedeny podklady a podmínky, na základě kterých byl bezpečnostní audit sestaven. V současné době je zmiňovaný soubor kritérií bezpečnostního auditu schválen příslušnými vnitropodnikovými orgány a je součástí dokumentu tak zvané „Příručky zkušebny přistávacích zařízení“, která opravňuje dané pracoviště k provádění příslušných prací.

Jedním z důležitých bodů vedoucích také ke zvýšení bezpečnosti prováděných testů podvozků a minimalizaci rizik, je i návrh opatření pro zlepšení testů uvedených v šesté kapitole. Je zde popsán návrh nového měřícího řetězce sloužícího získání kvalitnějších dat potřebných pro konečné rozhodování o prováděných testech podvozků. Součástí návrhu nového měřícího řetězce byla jeho možná realizace, která byla dokončena a řadou provedených testů podvozků úspěšně i odzkoušena. Naměřená data zvýšila přesnost měření a přispěla mimo jiné k většímu komfortu a rychlosti zpracování dat. Nejzásadnější výhodou nového měřícího řetězce je však mimo jiné i výrazné zvýšení bezpečnosti obsluhy stroje a snížení tak možných rizik práce při provádění testů z pohledu doby strávené v blízkosti dopadové desky stroje. V závěru této kapitoly je také uvede ideový návrh nového dopadového stolu, který by mimo jiné také minimalizoval současné chyby měření.

Dalším opatřením pro zvýšení bezpečnosti prováděných testů podvozků a minimalizace rizik je návrh „Analýzy nebezpečí a rizik při práci Padostroje PS-1“ uvedený v příloze práce. Zmíněná analýza odhaluje možná rizika a informuje uživatele o počátečních rizicích, která je třeba sledovat a mít pro ně připravena nápravná opatření, aby se zvyšovala bezpečnost. Součástí přílohy práce je uveden i širší pohled na problematiku měření neelektrických veličin, neboť současná doba nám dává poměrně mnoho možností ve světě senzorů a měřících ústředen, a je na uživateli, jaké má možnosti a zkušenosti v dané oblasti měřící techniky.

Na závěr práce lze konstatovat, že návrhy bezpečnostního auditu a analýzy nebezpečí a rizik při práci Padostroje PS-1, včetně nového způsobu získávání a zpracování naměřených dat z prováděných testů podvozků jsou již uvedeny do praktického provozu.

Použité zdroje a literatura

[1] Procházková D. *Analýza a řízení rizik*, ČVUT v Praze 2011, ISSN 978-80-01-04841-2

[2] Hruška, Zbyněk; Sviták, Pavel. ČSN 31 0001 aneb o leteckém názvosloví. *Letectví+kosmonautika*. 2007, 83, 1, s. 98. ISSN 0024-1156.

[3] Petrásek, Miloslav, *Základy konstrukce letadel*, VUT, Brno, 1999 [cit. 2012-03-11]

[4] Tůma, Jiří. *Letadla: Pro učební a studijní obory na SOU*, SNTL, Praha, 1981 [cit. 2012-04-15]

[5] Slavětinský, Dušan. O letadlech. *Koncepce přistávacího zařízení* [online]. Dostupné z http://www.slavetind.cz/stavba/koncepce/Koncepce_prist_zar.aspx\

[6] http://lu.fme.vutbr.cz/ucebnice/opory/construction.php

[7] http://www.caa.cz/file/6289/

[8] Zpravodaj VZLÚ 1967

[9] Interní materiály AVA

[10] Marek, J. a kol.; *Management rizik v konstrukci výrobních strojů*. MM Průmyslové spektrum, speciální vydání., 2009; ISSN 1212-2572

[11] Brožek F. a kol.; *Management rizika I*, Brno 1998

[12] Kolektiv IVBP Brno.; *Management rizika II*, Brno 2001

[13] Fy - Balluff GmbH Dostupné z *ww.balluff.com/balluff/MCZ/cs/products/catalogue /products_details.jsp?id=BTL0A16-182781*

[14] Vůjtek M. *Elektronická měření pro aplikovanou fyziku*. [online]. 2010 [04-10-2012]. Dostupné z:<http://fyzika.upol.cz/en/system/files/download/vujtek/texty/elmea.pdf>

Katalogové listy a technická dokumentace firem:

[15] Vishay,

[16] Metraplex,

[17] Racal,

[18] Technicá dokumentace Padostroje PS-1.

Zdroje obrázků:

Obr. 1a http://www.altair.com.pl/news/view?news_id=1908

Obr. 1b http://www.flymag.cz/article.php?id=495

Obr. 1c http://www.pozary.cz/clanek/1831-rusky-obojzivelny-vodni-bombarder-berijev-be-200- altair/

Obr. 1d http://www.north-wrightairways.com/aboutus/ouraircraft/cessna172s.shtml

Obr. 2a http://www.aerospace-technology.com/projects/evektor-ev-55-outback-light-utility-aircraft/

Obr. 2b http://cs.wikipedia.org/wiki/Supermarine_Spitfire
Obr. 2c https://www.google.cz/search?q=harrier&biw=971&bih=897&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=YFweVb7-KcfkUrupgIgP&sqi=2&ved=0CB8QsAQ
Obr. 3a http://technet.idnes.cz/vyzkouseli-jsme-prvni-ceske-porevolucni-dopravni-letadlo-aero-ae270-ibis-1oi-/tec_reportaze.aspx?c=A060502_035704_tec_prakticky_jm
Obr. 3b http://www.lufthansa.com/us/en/Lufthansa-A380-the-new-fascination-of-flight
Obr. 3c http://cs.wikipedia.org/wiki/Convair_B-36
Obr. 4a http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Zlin_Z-50
Obr. 4b http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Let_L-200_Morava
Obr. 4c http://cs.wikipedia.org/wiki/MiG-31
Obr. 4d http://en.wikipedia.org/wiki/LTV_A-7P_Corsair_II
Obr. 5a http://technet.idnes.cz/praskovaci-letadlo-cmelak-09a-/tec_technika.aspx?c=A130628_132746_tec_technika_kuz
Obr. 5b http://www.armyrecognition.com/idet_2013_news_coverage_report_pictures_video/let_aicraft_industries_idef_2013w_with_latest_generation_transport_aircraft_l410 uvp-e20_1505135.html
Obr. 5c http://en.wikipedia.org/wiki/Messerschmitt_Me_163_Komet
Obr. 11a Interní materiály AVA
Obr. 11b Zpravodaj VZLÚ 1967
Obr. 12 Interní materiály AVA
Obr. 16 Interní materiály AVA
Obr. 17 Interní materiály AVA
Obr. 33 Interní materiály AVA
Obr. 34 Interní materiály AVA
Obr. 35 Interní materiály AVA
Obr. 36 Interní materiály AVA
Obr. 37 Fy-Balluff
Obr. 39 Interní materiály AVA
Obr. 40 Interní materiály AVA
Obr. 46 Interní materiály AVA

Seznam obrázků

Obr. 1. Podvozky pro různé povrchy 5
Obr. 2. Podvozky podle konstrukčního uspořádání 5
Obr. 3. Podvozky podle počtu kol na podvozkové noze 6
Obr. 4. Podvozky podle konstrukce 6
Obr. 5. Podvozky podle polohy vůči letounu 6
Obr. 6. Průběh přistání letounu 8
Obr. 7. Rozložení přistávací rychlosti 8

Obr. 8. Pracovní diagramy 10
Obr. 9. Poloha podvozku při přistání na tři body 10
Obr. 10. Poloha podvozku při přistání na dva body (přistání na hlavní podvozek) 11
Obr. 11. Padací stroje 13
Obr. 12. Padostroj PS-1 18
Obr. 13. Pádové zkoušky podvozkových tlumičů 20
Obr. 14. Dopad kola na šikmou rovinu 21
Obr. 15. Smýkáním pneumatiky náhlým roztáčením kola při jeho dotyku se zemí 21
Obr. 16. Popis jednotlivých částí Padostroje PS-1 22
Obr. 17. Popis uchycení podvozku a dopadové desky Padostroje PS-1 23
Obr. 18. Rozměry pro konfiguraci s přední centráží 35
Obr. 19. Řez tlumičem podvozku 41
Obr. 20. Časová závislost měřených veličin *F, $h_{ok,}$ d* 49
Obr. 21. Závislost průběhu svislé síly v ose kola na propérování tlumiče podvozku při jmenovitých podmínkách zkoušky 49
Obr. 22. Návrh měřícího řetězce pro měření síly v ose kola, propérování tlumiče, propérování celého podvozku a statického násobku 63
Obr. 23. Vnitřní uspořádání senzoru polohy MU 615 65
Obr. 24. Vnitřní uspořádání senzoru přetížení MP 95 66
Obr. 25. Ukázka umístnění (nalepení) odporového tenzometru na válcovém „trnu“ 67
Obr. 26. Návrh umístnění senzorů na testovaném podvozku 67
Obr. 27. Senzor absolutního lineárního odměřování BALLUFF BTL5 68
Obr. 28. Základní uspořádání senzoru BALLUFF BTL5 68
Obr. 29. Návrh umístnění senzoru BALLUFF BTL5 na Padostroji PS-1 69
Obr. 30. Hybridní měřící systém Metraplex760 PCM 70
Obr. 31. Ukázka vzorkování analogového signálu 71
Obr. 32. Ukázka kvantování analogového signálu 71
Obr. 33. Ukázka kódování analogového signálu 71
Obr. 34. Kvantizační krok 72
Obr. 35. Konfigurace systému Metraplex760 PCM pro režim Master/Slave 73
Obr. 36. Ukázka vnitřního uspořádání měřícího bloku Metraplex760 PCM 75
Obr. 37. Programovatelný multiplexer 760-AM3 76
Obr. 38. Hlavní funkční prvky programovatelného multiplexeru 760-AM3 76
Obr. 39. Programovatelná dvoukanálová karta 760-PC3 78
Obr. 40. Blokové schéma dvoukanálové programovatelné karty 760- PC3 78
Obr. 41. Ukázka konfigurace systému Metraplex760 PCM prostřednictvím software HDMS 79
Obr. 42. Ukázka možností nastavení měřících karet 80
Obr. 43. Ukázka mapy měřených parametrů 81
Obr. 44. Konfigurace systému 81
Obr. 45. Digitální magnetofon DATaRec-D4 83
Obr. 46. Blokové schéma rekordéru DATaRec-D4 83

Obr. 47. Programy pro zpracování dat 84
Obr. 48. Tří a čtyřvodičové zapojení senzorů s pěti voltovým výstupem..... 85
Obr. 49. Doporučené zapojení senzor-měřící karta 760- AM3..... 85
Obr. 50. Připojení měřeného obvodu k měřícímu přístroji 86
Obr. 51. Realizovaný nový měřící řetězec určený pro dynamické zkoušky podvozků 87
Obr. 52. Ideový návrh nového měřícího dopadového stolu 88

Seznam tabulek

Tabulka 1. Naměřené a vypočtené hodnoty pádové zkoušky hlavního podvozku 47
Tabulka 2. Naměřené a vypočtené hodnoty pádové zkoušky příďového podvozku..... 48
Tabulka 3. Soubor kritérií bezpečnostního auditu pro zajištění bezpečného provádění testů podvozků..... 54

Zkratky

AP	Allied puplications (Spojenecké dokumenty - standardizační dokumenty NATO
AVA	Aero Vodochody Aerospace
CS	Certification specification (Předpis letové způsobilosti vydaný EASA)
ČSN	Česká technická norma
EASA	European Aviation Safety Agency (Evropská agentura pro bezpečnost letectví)
FAR	Federal Aviation Regulation (Federální letecké předpisy USA)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Mezinárodní organizace pro civilní letectví)
JAR	Joint Aviation Requirements (Společné letecké předpisy)
MIL	Military (Normy branných sil Spojených států amerických)
NATO	North Atlantic Treaty Organization (Severoatlantická aliance)
OVL MO	Odbor vojenského letectví Ministerstva obrany ČR
PC	personal computer (osobní počítač)
PCM	Pulse Code Modulation
STANAG	Standardization Agreement (Standardizační dohody)
ÚCL	Úřad pro civilní letectví ČR (Civil Aviation Authority of the Czech Republic (CAA CZ))
VPP	vzletová a přistávací plocha
VZLÚ	Výzkumný a zkušební letecký ústav
BOZP	Bezpečnosti a ochrana zdraví při práci
OOPP	Osobní ochranné pracovní prostředky

A	(J)	práce pohlcená podvozkem při pádové zkoušce provozním zatížením
A_R	(J)	práce pohlcená podvozkem při pádové zkoušce pohlcení zásoby energie
a_R	(m/s)	rotační zrychlení
a_T	(m/s)	translační zrychlení
C	(F)	kapacita kondenzátoru
d	(m)	celkový pokles těžiště podvozku
d_R	(m)	celkový pokles těžiště podvozku při pádové zkoušce pohlcení zásoby energie
E_k	(J)	kinetická energie
E_p	(J)	potenciální energie
E	(Pa)	modul pružnosti
F	(N)	svislá síla v ose kola při pádové zkoušce provozním zatížením
F_D	(N)	svislá síla v ose kola při dynamické zkoušce pozemním zatížením
F_R	(N)	svislá síla v ose kola při pádové zkoušce pohlcení zásoby energie
f_p	(m)	stlačení pneumatiky
f_{tl}	(m)	stlačení tlumiče
G	(kg)	tíha letounu
G_{MLW}	(kg)	pádová hmotnost při maximální přistávací hmotnosti letounu
G_{MTOW}	(kg)	pádová hmotnost při maximální vzletové hmotnost letounu
g	(m/s^2)	tíhové zrychlení
h	(m)	výška volného pádu
h_D	(m)	výška volného pádu při dynamické zkoušce
h_R	(m)	výška volného pádu při zkoušce pohlcení zásoby energie
h_{ok}	(m)	propérování osy kola
h_{pn}	(m)	propérování pneumatiky
h_{okR}	(m)	propérování osy kola při pádové zkoušce pohlcení zásoby energie
h_{pnR}	(m)	propérování pneumatiky při pádové zkoušce pohlcení zásoby energie
i	($kg.m^2$)	poloměr setrvačnosti letounu
L	(1)	poměr předpokládaného vztlaku křídla k hmotnosti letounu (vztlaková síla na letoun)
l	(m)	vzdálenost elektrod kondenzátoru
m	(kg)	hmotnost letounu
n	(1)	násobek zatížení při pádové zkoušce provozním zatížením
n_D	(1)	násobek zatížení při dynamické zkoušce pozemním zatížením
n_R	(1)	násobek zatížení při pádové zkoušce pohlcení zásoby energie
R	(N)	nárazová síla
R_1	(N)	nárazová síla na příďový podvozek
R_2	(N)	nárazová síla na hlavní podvozek
S	(m^2)	plocha elektrod kondenzátoru
V	(N)	vztlaková síla při zkoušce pohlcení nárazů při provozním zatížení
V_R	(N)	vztlaková síla při zkoušce pohlcení nárazů na ověření rezervy pohlcení energie
v_y	(m/s)	svislá složka přistávací rychlosti letounu

v_{yR}	(m/s)	klesací rychlosti při zkoušce pohlcení zásoby energie
W	(kg)	hmotnost připadající na jednotku hlavního podvozku
W_e	(kg)	efektivní hmotnost při pádové zkoušce provozním zatížením
W_{eD}	(kg)	efektivní hmotnost při dynamické zkoušce pozemním zatížením
W_{eR}	(kg)	efektivní hmotnost při pádové zkoušce pohlcení zásoby energie
α	(K^{-1})	teplotní koeficient odporu
R	(ohm)	elektrický odpor
R_t	(ohm)	elektrický odpor v závislosti na teplotě

η	(1)	plnost diagramu podvozku
η_R	(1)	plnost diagramu podvozku zkoušce pohlcení zásoby energie
η_p	(1)	plnost pracovního diagramu pneumatiky
η_{tl}	(1)	plnost pracovního diagramu tlumiče
ε	($F.m^{-1}$)	permeabilita dielektrika kondenzátoru
σ	(Pa)	je mechanické napětí
ρ	(Ωm)	měrný odpor

Přílohy

Příloha 1: Analýza nebezpečí a rizik při práci Padostroje PS-1.

Příloha 2: Problematika měření neelektrických veličin.

Příloha 3: Ukázky měření požadovaných parametrů testovaných podvozků letounů původním způsobem a nově navrženým měřícím řetězcem.

Příloha 4: Ukázka vybraných rizikových částí Padostroje PS-1při analýze rizik.

Příloha 5: CD obsahující diplomovou práci s názvem „Ocenění rizik při testu tlumení nárazu podvozku letounu v okamžiku přistání“.

Literatura

OBSAH PŘÍLOHY

1 Analýza nebezpečí a rizik při práci Padostroje stroje PS-1 1
1.1. Legislativa 1
1.2. Termíny a definice 2
1.3. Popis Padostroje PS-1 4
1.3.1. Základní technické parametry 5
1.3.2. Příslušenství 5
1.3.3. Použití v praxi 6
1.4. Strategický management rizika 7
1.5. Systémová analýza strojního zařízení 9
1.6. Určení mezních hodnot strojního zařízení 10
1.7. Identifikace nebezpečí a odhad jejich počátečního rizika 13
1.7.1. Výroba 13
1.7.2. Přeprava 14
1.7.3. Montáž, instalace a uvedení do provozu 14
1.7.4. Používání a provoz 15
1.7.5. Používání – údržba, servis a vyhledávání závad 18
1.7.6. Vyřazení z provozu 20
1.8. Hodnocení rizik a opatření snižující rizika 20

2. Problematika měření neelektrických veličin 22
2.1. Seznámení s problematikou senzorů 20
2.2. Rozdělení senzorů 23
2.3. Technické parametry senzorů 23
2.4. Požadavky na vlastnosti senzorů 24
2.5. Senzory polohy 24
2.6. Senzory přímočarého zrychlení 31
2.7. Senzory síly 34

3. Ukázky měření požadovaných parametrů testovaných podvozků letounů původním způsobem a nově navrženým měřícím řetězcem 39

4. Ukázka vybraných rizikových částí Padostroje PS-1při analýze rizik 44

Použitá literatura 47
Seznam obrázků 47
Seznam tabulek 48
Zkratky 49

Příloha 1

Analýza nebezpečí a rizik při práci Padostroje PS-1

Strojní zařízení představují rozsáhlý soubor zdrojů nebezpečí, která mohou být příčinou škody na majetku nebo zranění jak u obsluhy, tak i u nezúčastněné osoby. Aby se tato zařízení mohla používat je třeba mimo jiné zaručit, že je bezpečné a uživatel je informován o rizicích, která mohou nastat. Právě k tomuto slouží analýza rizik provedená na daný výrobek. Předpisy a technické normy zabývající se problematikou managementu rizika obsahují ve většině případů jen všeobecně formulované požadavky týkající se postupů, metod a tvorby související dokumentace. Díky tomuto dochází v praxi k často diametrálně odlišným názorům odborníků z dané oblasti na způsob výkladu základní filozofie a strategie managementu rizika. Na základě výše uvedeného je snahou pokusit se bez osobních zkušeností a za pomoci technického personálu AVA o analýzu rizik u tohoto strojního zařízení a odhad počátečního rizika za pomoci publikace „Marek, J. a kol.; Management rizik v konstrukci výrobních strojů“ [1].

Analýza nebezpečí se podle [1] provádí pro celý životní cyklus sledovaného strojního zařízení, kterým je:

- výroba
- přeprava, montáž a instalace,
- uvedení do provozu,
- používání (seřizování, údržba, řešení závad …),
- vyřazení z provozu.

V první části uvedené kapitoly jsou popsány základní směrnice a normy, které v současné hektické době procházejí často zásadními novelizacemi a je tudíž poměrně velice náročné se v nich orientovat. Dále je uveden výběr termínů a definic z oblasti stanovení a analýzy rizik. Následuje popis Padostroje PS-1 a vymezení jednotlivých nebezpečí a určení zbytkových rizik, o kterých by měl být informován uživatel.

1.1. Legislativa

Evropská směrnice a nařízení vlády:

- Evropská směrnice 2006/42 ES,
- Nařízení vlády (176/2008 Sb.).

Směrnice 2006/42/ES ze dne 17. května 2006 týkající se strojní bezpečnosti Evropského parlamentu a Rady je přiložena do národního práva díky nařízení vlády 176/2008 Sb.

Normy a jejich struktura:

- normy typu A - (základní bezpečnostní normy) uvádějí základní pojmy, zásady pro

konstrukci a všeobecná hlediska, která mohou být aplikovaná na všechna strojní zařízení,

- ČSN EN ISO 12100-1 Norma definuje základní terminologii a metodologii používanou k dosažení bezpečnosti strojního zařízení,

- ČSN EN ISO 12100-2 Norma definuje technické zásady, které mohou konstruktérům dosáhnout bezpečné konstrukce strojního zařízení,

- ČSN EN ISO 14121-1 Norma uvádí mimo jiné postupy k identifikaci nebezpečí a odhadu a zhodnocení rizika.

Tyto výše uvedené normy byly v roce 2011 nahrazeny normou ČSN EN ISO 12100.

- normy typu B - (skupinové bezpečnostní normy) zabývají se jedním bezpečnostním hlediskem nebo jedním typem bezpečnostního zařízení, které může být použito pro větší počet strojních zařízení. Týkají se jednotlivých bezpečnostních hledisek (např. bezpečných vzdáleností, teploty povrchu, hluku),

  - ČSN EN ISO 13849-1 Norma uvádí bezpečnostní požadavky a pokyny ovládacích systémů (SRP/CS), včetně návrhu software,

  - ČSN EN ISO 13849-2 Norma specifikuje postupy a podmínky, které musí být dodrženy při ověřování pomocí analýzy a zkoušení umožněných bezpečnostních funkcí a dosažené kategorie bezpečnostních částí řídícího systému podle ČSN EN ISO 13849-1,

  - normy typu B2 se týkají příslušných bezpečnostních zařízení (např. dvouručních ovládacích zařízení, blokovacích zařízení, zařízení citlivých na tlak, ochranných krytů aj.
- normy typu C - (bezpečnostní normy pro stroje) určují jednotlivá strojní zařízení.

1.2. Termíny a definice

Dle ČSN EN 12100-1 je definována základní terminologie v oblasti stanovení a analýzy rizik [2]:

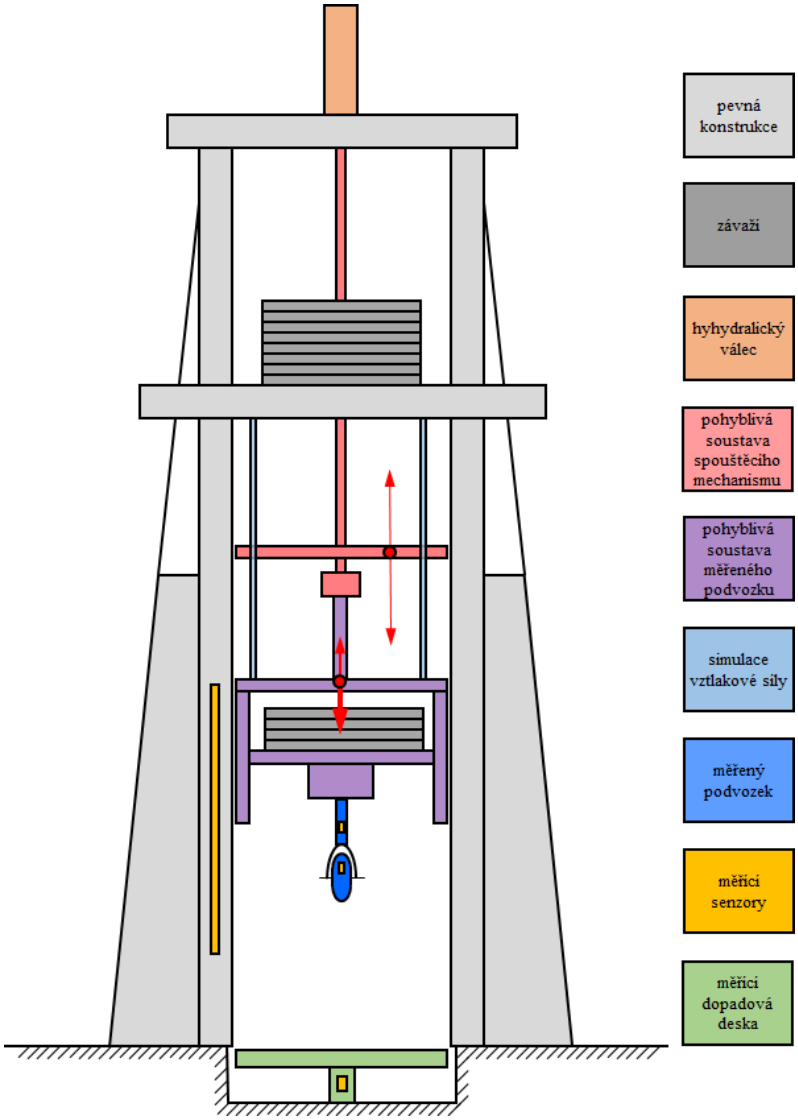
- strojní zařízení - montážní celek sestavený z částí nebo součástí strojů, z nichž je alespoň jedna pohyblivá, s příslušnými pohonnými zařízeními, řídícími a silovými obvody,

vzájemně spojenými za účelem specificky přesně stanoveného použití,

- škoda - fyzické zranění, poškození zdraví nebo majetku,
- nebezpečí - zdroj možného zranění nebo poškození zdraví,
- nebezpečný prostor - jakýkoliv prostor uvnitř nebo vně strojního zařízení, ve kterém může být osoba vystavena riziku nebo poškození zdraví,
- relevantní nebezpečí - nebezpečí, jehož přítomnost je identifikována nebo které je spojeno se strojem,
- významné nebezpečí - nebezpečí, které bylo identifikováno jako relevantní a které vyžaduje specifickou činnost konstruktéra k vyloučení nebo snížení rizika podle posouzení rizika,
- bezpečnostní opatření - prostředky odstraňující nebezpečí nebo snižující riziko,
- riziko - kombinace pravděpodobnosti výskytu škody a závažnosti této škody,
- přípustné riziko - riziko, které je přijatelné v daných souvislostech založených na běžných hodnotách společnosti,
- zbytkové riziko - riziko, které zůstává i po uskutečnění bezpečnostních opatření opatření,
- odhad rizika - vymezení pravděpodobné závažnosti škody a pravděpodobnosti jejího výskytu,
- posuzování rizika - celkový proces zahrnující analýzu a posouzení rizika,
- hodnocení rizika - rozhodnutí na základě analýzy rizika, zda bylo dosaženo cílů snížení rizika,
- analýza rizika - kombinace specifikace mezních hodnot stroje, identifikace nebezpečí a odhadu rizika,

1.3. Popis Padostroje PS-1

Praktická schopnost amortizační soustavy pohltit provozní a maximální práci se ověřuje dynamickými zkouškami na padostroji, schématický obrázek 1. Toto zařízení umožňuje na vertikálně pohyblivý vůz, ke kterému je upnut podvozek, umístit formou zátěže příslušnou redukovanou hmotnost a výškou nastaveného pádu pak jednoznačně stanovit, práci, kterou podvozek při svém propérování musí pohltit. Na vůz působí od okamžiku doteku kola podvozku s měřící plošinou vyvažovací síla (vztlaková síla), jejíž velikost stanoví příslušný letecký předpis. Noha podvozku musí být k vozu upnuta v přípravku, který svými pevnostními parametry odpovídá skutečnému uchycení na letoun. S prvním vyrobeným prototypovým podvozkem se při praktických pádových zkouškách upravují průtokové poměry tlumiče tak, aby působící síla na dopadovou plošinu měla požadovaný průběh. Velikost pohlcené práce vyplývá z podmínky, že na konci přistávacího rázu letounu (při $v_y = 0$) musí být práce vnějších sil pohlcena vnitřní prací při zatlačení tlumiče, deformací pneumatik a nosné konstrukce podvozku.



Obr. 1. Schématický obrázek Padostroje PS-1.

1.3.1. Základní technické parametry Padostroje PS-1 [3]

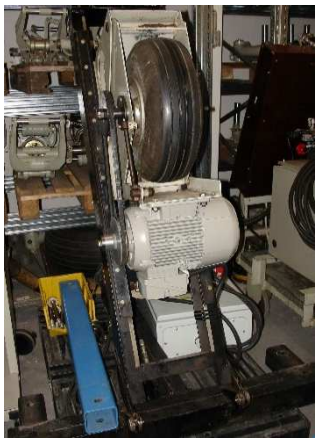
Celková stavební výška padostroje (nad zemí)……..6,8 m
Půdorysná plocha padostroje…… 2,5x4 m
Rozsah váhového zatížení padacího vozu…….100÷4000 kg
Váha přídavného závaží velkého…….....125 kg
Váho přídavného závaží malého…….……...1,5; 10; 20 kg
Minimální vzdálenost padacího vozu od dopadového můstku……..1,2m
Maximální výška odlehčeného zkoušeného podvozku ……2m
Maximální pádová výška pro nejvyšší podvozek……..2m
Maximální propérování zkoušeného podvozku ..……..……0,6m
Maximální zdvih hydraulického zvedáku ……..……. .2,6m
Maximální.dovolená svislá reakce ……..……. 25 000 kg
Maximální výstřednost svislé reakce od osy padostroje:
ve směru dopředném….. ± 150 mm
ve směru bočném…..……± 75 cm

1.3.2. Příslušenství [3]

Součástí Padostroje PS-1 jsou v přípravky pomocí kterých je připevněny testované nohy podvozků k vertikálně pohyblivému vozu. Jak bylo výše poznamenáno, musí každý tento přípravek vyhovovat jak pevnostním parametrům, tak i skutečnému uchycení na letounu, obrázek 2a. Dalším důležitým zařízením je klimatizační box sloužící k temperování podvozků pro zkoušky při teplotách v rozmezí -55°C ÷ +85°C, obrázek 2b a přípravek sloužící k roztáčení podvozkového kola, obrázek 2c.

a)

b)



c)

Obr. 2. Příslušenství k Padostroj PS-1.
a) přípravek k upnutí podvozku, b) klimatizační box, c) přípravek k roztáčení kola

1.3.3. Použití v praxi

Na obrázku 3 můžeme vidět použití Padostroje PS-1 v praxi s instalovaným podvozkem a s využitím simulace vztlakové síly pomocí gumových svazků [3].

Obr. 3. Padostroj PS-1 při praktickém použití.

1.4. Strategický management rizika

Úkolem managementu podniku je třeba kromě celé řady úkolů stanovit také náhled na vnímání rizik. Vzhledem k vysokým nákladům spojeným s pracovní úrazovostí nejen v ČR, ale i v EU jsou neustále zvyšovány nároky na bezpečnost strojních zařízení. Na základě těchto potřeb je třeba vhodně zvolit tým lidí, který bude bezpečnost posuzovat a to odborníky ze všech oblastí, kterých se bude dotýkat analýza rizik. V následujícím textu je popsána metodika pro posouzení rizik vycházející z publikace [1], jejímž základem je tabulka významu rizik, určení hranice velikosti rizik pro hodnocení jejich závažnosti a graf odhadu velikosti rizika.

1. Tabulka 1 významu rizik uvádí možná rizika v návaznosti na jednotlivé důsledky událostí [1].

Tabulka 1. Tabulka významu rizik.

	Technická rizika	**Ekonomická rizika**	**Právní rizika**	**Osobní rizika**
Katastrofální důsledky	Chybný návrh stroje v důsledku nesprávné nebo chybějící identifikace významných nebezpečí.	Stažení výrobku z trhu, placení odškodného a sankcí. Vypovězení pojistných smluv. Ztráta image.	Trestněprávní důsledky.	Smrt více lidí, častá zranění s trvalími následky.
Kritické důsledky	Zanedbané posouzení rizika, nevhodně zvolený tým posouzení rizik.	Placení sankcí a odškodného	Občanskoprávní dásledky.	Smrt nebo zranění s trvalími následky.
Únosné důsledky	Strojní zařízení má rizika snížená na přijatelnou úroveň a je srovnatelné s konkurenčními výrobky na trhu.	Placení poměrného odškodného. Nepatrně vyšší náklady na adekvátní posouzení a redukci rizik u strojního zařízení.	Mimosoudní vyrovnání.	Zranění s lehkými následky.

2. Hranice velikosti rizik pro hodnocení jejich závažnosti podle publikace [1].

Při odhadování velikosti rizik těchto nebezpečí se bere v úvahu pravděpodobnost výskytu škody a závažnost této škody. Pro popis závažnosti škody se používá následující stupnice:

a) míra poškození
   S0 - nehrozí škoda, nejedná se o nebezpečí,
   S1 - lehké zranění,
   S2 - těžké zranění,
   S3 – smrt.

b) doba pobytu v oblasti nebezpečí
   A1 - zřídka až častěji,
   A2 - často až trvale.

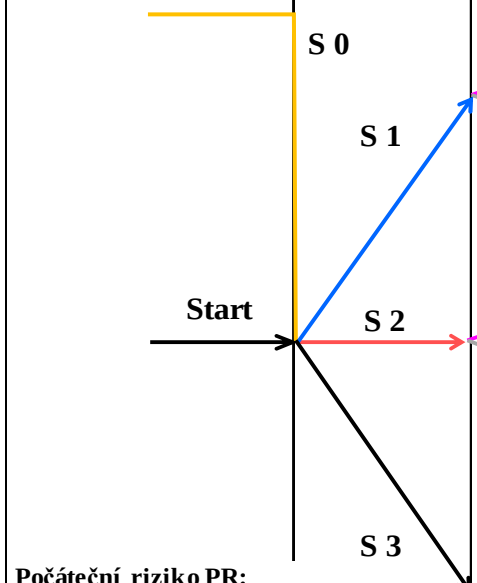
c) Možnost rozpoznání a vyvarování se nebezpečí
   E1 - možné
   E2 - zřídka možné
   E3 - sotva možné

d) Pravděpodobnost vzniku nebezpečné události
   W1 - pravděpodobnost vzniku je malá
   W2 - pravděpodobnost vzniku je střední
   W3 - pravděpodobnost vzniku je velká

3. Velikost odhadovaného rizika se poté určí pomocí grafu pro odhad velikosti rizika, tabulka 2 [1].

Tabulka 2. Graf pro odhad velikosti rizika a matice rizik.

míra poškození	doba pobytu v nebezpečí	rozpoznání a vyvarování se nebezpečí	pravděpodobnost vzniku nebezpečné události
S0 nehrozí škoda **S1** lehké zranění **S2** těžké zranění **S3** smrt	**A1** zřídka až častěji **A2** často až trvale	**E1** možné **E2** zřídka možné **E3** sotva možné	**W1** pravděpodobnost vzniku je malá **W2** pravděpodobnost vzniku je střední **W3** pravděpodobnost vzniku je velká



	W 1	W 2	W 3
E 1	0	0	1
E 2	0	1	2
E 3	1	2	3
E 1	2	3	4
E 2	3	4	5
E 3	4	5	6
E 1	5	6	7
E 2	6	7	8
E 3	7	8	9
E 1	8	9	10
E 2	9	10	11
E 3	10	11	12
E 1	11	12	13
E 2	12	13	14
E 3	13	14	15
E 1	14	15	16
E 2	15	16	17
E 3	16	17	18

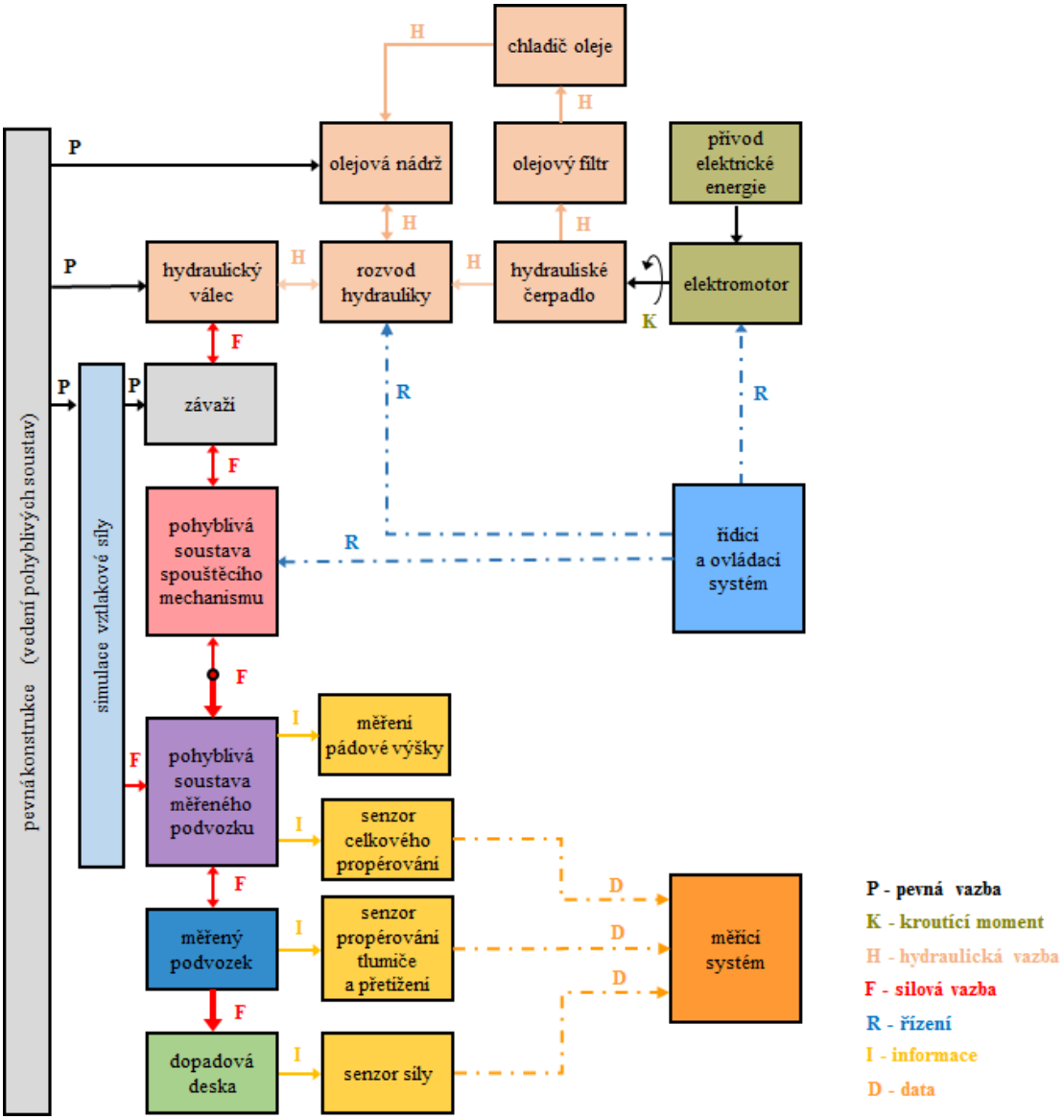
Dle výše uvedené tabulky (matice rizik) může riziko nabývat velikosti od 0 do 18. Pro posouzení rizika je třeba nejprve rozhodnout, jaká velikost rizika je akceptovatelná a jaká nikoliv. V tabulce je barevným rozlišením znázorněn příklad dělení dle jejich velikosti do následujících kategorií [1]:

a) akceptovatelné riziko (PR 0-4),
b) riziko akceptovatelné po prověření (PR 5-6),
c) neakceptovatelné riziko (PR 7-18).

Výše uvedená hranice není v současnosti zatím normalizována a ani nijak legislativně upravena.

1.5. Systémová analýza strojního zařízení

Spočívá hlavně ve vytvoření příslušného blokového diagramu strojního zařízení, na jehož základě máme informaci o vnitřní funkci stroje. V tomto blokovém diagramu by měli být zakresleny všechny důležité interakce mezi jednotlivými prvky, obrázek 4.



Obr. 4. Blokové schéma Padostroje PS-1.

.

1.6. Určení mezních hodnot strojního zařízení

Padostroj PS-1 je určen k provádění pádových zkoušek podvozků při použití řady pomocných přípravků. Celé zařízení je umístěno v budově Zkušebny leteckých přistávacích zařízení AVA. Zkušební zařízení jsou instalována v přízemí s pracovním prostředím, uzpůsobeném k efektivnímu provádění zkoušek. Pracovní prostory pro provádění zkoušek poskytují ochranu před povětrnostními vlivy. Prováděné zkoušky neovlivňují stav životního prostředí. Pracovní prostředí je vhodné k provádění příslušných zkušebních prací a odpovídá zákonným normám, platných v ČR [3].

Při výskytu abnormálních stavů se musí zkušební práce zastavit a to zejména při:

a) překročení teploty pracovního prostředí mimo hodnoty stanovené v podmínkách pro provádění zkoušky a nelze-li teplotu regulovat nebo omezit vhodným způsobem (ventilátor),
b) ohrožení živelnou katastrofou.

O vzniku abnormálního stavu je nutné uvědomit vedoucího zkušebny, který zajistí nápravná opatření, pokud je to možné. Po odstranění příčin vzniku abnormálního stavu je možné ve zkoušce pokračovat. Při přerušení dodávky elektrické energie jsou zkušební zařízení automaticky odpojena. Při obnovení dodávky musí obsluha zkušebny provést nové spuštění zkoušky. Rozsah a druh prováděných zkoušek nevyžaduje klimatizované zkušební prostory pod podmínkou dodržení požadovaných klimatických podmínek.

Upřesňující podmínky:

- teplota, vlhkost a hluk v místnosti umožňují provádění zkoušek bez újmy na zdraví zkušebního personálu,
- prach a jiné formy znečištění nedosahují takových koncentrací, jež by ovlivňovalo průběh a výsledky zkoušky,
- osvětlení odpovídá příslušným normám pro provádění všech prací a zkoušek,
- hladina hluku nedosahuje takové úrovně, která by rozptylovala personál při provádění přípravných prací a vlastních zkoušek. V případech, kdy zdroj hluku nelze ovlivnit, je obslužný personál vybaven osobními ochrannými pomůckami, které zajišťuje vedoucí zkušebny,
- prováděné zkoušky nevyžadují zvláštní podmínky pracovního prostředí.

Provádění zkoušek přistávacích zařízení a jejich podskupin je prováděno na základě Příručky zkušebny. Činnost Zkušebny přistávacích zařízení pro civilní letadla je vymezena v rozsahu daném Oprávněním vydaným ÚCL v souladu se zák. č. 49/97 Sb. (vyhl.č.108/97 Sb.) ve znění pozdějších předpisů a se zák. č. 286/95 Sb. Činnost Zkušebny přistávacích zařízení pro vojenská letadla je vymezena v rozsahu daném Osvědčením ke zkoušení vydaným OVL MO v souladu s metodickými pokyny MP-OVL-ILT-T001.

Rozsah prací

Přistávací zařízení a jejich celky jsou zkoušené v souladu s předpisy FAR 23, FAR 25, JAR 23, CS-23, CS- 25, CS-VLA**,** TP a specifikací:

- zkoušky statického stlačení tlumiče,
- zkoušky statické pevnosti podvozku,
- zkoušky na pohlcení energie (dynamická pádová zkouška),
- zkoušky na opakované pády,
- zkoušky únavové životnosti,
- dílčí statické a dynamické zkoušky součástí přistávacích zařízení,
- zkoušky těsnosti v závislosti na vnější teplotě,
- dílčí zkoušky v závislosti na teplotě.

Ustanovení v této Příručce jsou v souladu s ustanoveními v Příručce podnikové jakosti označené jako QM 01.

Postupy při poškození zařízení během zkoušky

Veškeré opravy zařízení zajišťuje podnikové oddělení údržby ve spolupráci se Zkušebnou podvozků na základě požadavku na opravu. Dojde-li k poškození zařízení v takové fázi zkoušky, při které nebyly narušeny dosavadní výsledky zkoušky, je po opravě zařízení dále pokračováno ve zkoušce. Při poruše zkušebního zařízení, při kterém může, nebo mohly být ovlivněny výsledky zkoušky nebo vznikají pochybnosti o ovlivnění zkoušky, rozhoduje o dalším průběhu zkoušky (pokračování nebo opakování celého nebo části průběhu) komise:

- zadavatel zkoušky,
- vedoucí konstrukce přistávacích zařízení,
- vedoucí řízení jakosti,
- vedoucí zkušebny,
- osvědčující pracovník, pokud je tato činnost v souladu s požadavky Příručky pro projektování držitele/žadatele TC,
- PP OVL MO/ZSOJ.

O výsledcích jednání informuje zadavatel zkoušky ÚCL, v případě vojenské techniky OVL MO.

Systém zajištění jakosti ve zkušebně

Pro systém řízení jakosti je v subjektu zpracována Příručka jakosti. Je zpracována v souladu s normou ISO 9001, AS9100, ČOS051622 a s přihlédnutím k požadavkům předpisů EASA Part 21, EASA Part 145 a požadavkům MO ČR. Evidovanou kopii Příručky jakosti vlastní

ÚCL a OVL MO. Příručka jakosti rozpracovává a popisuje systém řízení jakosti a uvádí jeho základní úroveň. U složitějších činností odkazuje na organizační směrnice, ve kterých jsou stanoveny způsoby zabezpečení jakosti.

Systémy zajištění jakosti ve zkušebně jsou dány především dále uvedenými prvky:

- zkoušky jsou prováděny podle metodik uvedených v Technických podmínkách, Technických specifikacích nebo Technických zadání zkoušky,
- zahájení zkoušek se účastní a jejich průběh sleduje osvědčující pracovník, pokud je tato činnost v souladu s požadavky Příručky pro projektování držitele/žadatele TC,
- měřící a zkušební zařízení je pravidelně ověřováno ve lhůtách stanovených Metrologickým řádem,
- etalony používané k ověřování zkušebních zařízení jsou ve stanovených lhůtách ověřovány v Českém metrologickém institutu (ČMI),
- dokumentace je evidována, archivována, změny se provádějí změnovým řízením,
- pracovníci zkušebny mají pro prováděnou činnost dostatečnou kvalifikaci,
- zkušební zařízení jsou dokumentována způsobem, který umožňuje opakování zkoušky za stejných podmínek,
- o zkouškách jsou zpracovány zprávy, které jsou evidovány a archivovány,
- způsob skladování vzorků neovlivňuje výsledky zkoušek,
- nad probíhajícími zkouškami je prováděn dohled.

Za systém řízení jakosti ve zkušebně odpovídá vedoucí zkušebny. Dohledem nad dodržováním systému řízení jakosti je pověřen vedoucí systému řízení jakosti (QMS) a manažer pro jakost (QM), vedoucí projekční organizace a vedoucí konstrukce přistávacích zařízení.

Obsluha stroje umisťuje potřebná závaží, připojuje zkoušený podvozek a nastavuje potřebné senzory do výchozích poloh pro daná měření. Dále provádí pravidelnou údržbu stroje, která obsahuje mimo jiné i doplňování olejové náplně v horní části stroje.

Obsluha Padostroje PS-1 je poučena a proškolena kvalifikovanou osobou na práci se strojem. Musí být tedy seznámena s činností ve všech režimech, možnými riziky a návodem k použití. Obsluha stroje je zároveň proškolena na údržbu a seřizování stroje včetně doplňování oleje, výměnu olejového filtru a případný rozbor oleje. Tyto činnosti je nutno provádět v pevně stanovených intervalech a obsluha je povinna zapisovat do servisní knihy veškeré servisní práce. Druhou možností je kontaktovat podnikové oddělení údržby. Obsluha dále kontroluje stav používaných přípravků. Obsluha je rovněž informována o zákazu provádění jakýchkoliv úprav na stroji. Z důvodu možného pohybu třetích osob je potřeba vyhrazení nebezpečných prostorů. Pokud se týká prostoru v okolí stroje s ohledem na doplňování oleje a jiné servisní práce, je obsluha povinna udržovat pořádek a čistotu.

1.7. Identifikace nebezpečí a odhad jejich počátečního rizika *(PR)*

Odhad počátečního rizika *PR* se provádí u strojních zařízení v případě, že nejsou použita žádná preventivní opatření snižující rizika.

Pro odhadování velikosti rizik a pro hodnocení jejich závažnosti podle bodu 2. v kapitole 1.4. určíme:

a) hodnotu míry poškození *S*,
b) dobu pobytu v oblasti nebezpečí *A*,
c) možnosti rozpoznání a vyvarování se nebezpečí *E*,
d) pravděpodobnosti vzniku nebezpečné události označeno *W*.

Po zhodnocení všech těchto bodů dostaneme za pomoci grafu pro odhad rizik (tabulka 1) velikost **počátečního rizika *PR*.** Velikost ***PR*** nám pomůže určit, o jak závažné riziko se jedná. Stanovení provádíme v souladu s českými technickými normami *ČSN EN ISO 14121-1, ČSN EN ISO 12100-1, ČSN EN ISO 12100-2* a jsou provedeny pro tyto životní cykly stroje:

- výroba,
- přeprava,
- montáž, instalace a uvedení do provozu,
- používání – provoz,
- používání - údržba, servis a vyhledávání závad
- vyřazení z provozu.

1.7.1. Výroba

V životní fázi výroby (dle výše uvedených skutečností výroba proběhla v padesátých letech minulého století a pro tento případ se spíše jedná o generální opravu zařízení včetně jeho určité modernizace) jednotlivých dílů strojního zařízení by měla být analýze podrobena především rizika týkající se manipulace s jednotlivými díly, tabulka 3.

Tabulka 3. Identifikovaná rizika při výrobě.

	Mechanické nebezpečí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí přimáčknutí nebo rozdrcení částí těla od zavěšených jednotlivých částí stroje určených k manipulaci.	3	1	2	2	**13**
2	Nebezpečí nestability strojních součástí jako je například špatné určení polohy těžiště.	3	1	1	1	**11**
3	Nebezpečí poranění od špatně opracovaných součástí stroje, případně používaných přípravků.	1	1	1	2	**1**
4	Nebezpečí pádu závaží při špatném použití bezpečnostních prvků.	3	2	1	2	**15**

	Nebezpečí spojené s čistotou prostředí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí pádu obsluhy z velké výšky.	3	1	1	1	**11**

1.7.2. Přeprava

S ohledem na velikost, hmotnost a možnosti transportu stroje z předchozího pracoviště do nového působiště identifikujeme rizika, kdy nastává riziko jak při nakládce či vykládce stroje tak i případné riziko, kterému je vystaven řidič při samotném transportu. Riziko se v tomto případě vztahuje na stroj jako celek, tabulka 4.

Tabulka 4. Identifikovaná rizika při přepravě.

	Mechanické nebezpečí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí přimáčknutí nebo rozdrcení částí těla při nakládání či vykládání stroje.	3	1	2	2	**13**
2	Nebezpečí uvolnění nebo převrácení částí stroje při samotné přepravě vlivem jeho nedostatečného zajištění.	3	1	1	1	**11**
3	Nebezpečí úniku provozních kapalin při nesprávné poloze nebo nevhodném umístnění částí stroje tyto kapaliny obsahující.	1	1	2	1	**0**

1.7.3. Montáž, instalace a uvedení do provozu

Při této životní fázi se předpokládá složení stroje v místě jeho užívání. Mezi nejdůležitější rizika je třeba zařadit nejrůznější mechanická nebezpečí, dále to jsou nebezpečí spojená s instalaci stroje, z čehož plynou také nebezpečí úrazu elektrickým proudem a také nebezpečí spojená s postupným uvedením do provozu, tabulka 5.

Tabulka 5. Identifikovaná rizika při montáži, instalaci a uvedení do provozu.

	Mechanické nebezpečí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí přimáčknutí nebo rozdrcení částí těla od zavěšených jednotlivých částí stroje určených k manipulaci.	3	1	2	2	**13**
2	Nebezpečí nestability strojních součástí jako je například špatné určení polohy těžiště.	3	1	1	1	**11**
3	Nebezpečí poranění od špatně opracovaných součástí stroje, případně používaných přípravků.	1	1	1	2	**1**
4	Nebezpečí vystříknutí vysokotlaké tekutiny z instalovaných hadic, případně mechanicky porušeného potrubí.	1	1	2	0	**0**
5	Nebezpečí navinutí částí těla na rotující části (hydraulické čerpadlo).	2	1	1	2	**6**
6	Nebezpečí poranění od mechanických částí stroje uvolněných při testování pohyblivých „vozů“ v důsledku jakékoliv poruchy.	2	1	3	2	**8**
7	Nebezpečí poranění od částí uvolněných z testovaného podvozku při uvádění stroje do provozu v důsledku jakékoliv poruchy.	2	1	3	2	**8**
8	Nebezpečí uvolnění (přetržení) pružných lan v případě jejich použití.	1	1	2	2	**1**

	Nebezpečí úrazu elektrickým proudem:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí dotyku osob s vodivými částmi, které jsou při běžném provozu pod napětím (přímý dotyk)	3	1	2	1	**12**
2	Nebezpečí dotyku osob s částmi, které se staly živými následkem závady (nepřímý dotyk).	3	1	2	1	**12**

	Nebezpečí popálení:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí popálení osob při kontaktu s povrchem těles při svářečských pracích.	1	1	1	1	**0**

	Nebezpečí vzniklé při nadměrném hluku:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí vysoké hladiny hluku vedoucí k celkové únavě, nesoustředěnosti, stresu, případně i ke ztrátě sluchu.	2	1	1	2	**6**

	Nebezpečí při zanedbání ergonomických zásad:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí ergonomická vedoucí k chybnému jednání obsluhy (možná záměna barev, tvarů, přípravků, znaků na ovládacím panelu).	2	1	1	1	**5**

	Nebezpečí spojené s čistotou prostředí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí pádu obsluhy z velké výšky.	3	1	1	1	**11**

	Nebezpečí vzniklé při požáru:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí požáru při manipulaci s provozními tekutinami stroje a při jejich doplňování, případně při poruše hydraulického systému.	2	1	2	1	**6**

1.7.4. Používání - provoz

Obsluhu stroje můžeme rozdělit do tří prostorů, které budeme analyzovat a to:

1. Pracovní prostor v horní části stroje, tabulka 6.
2. Pracovní prostor pod pohyblivým stolem stroje, tabulka 7.
3. Oblast vnějšího okolí stroje tabulka 8.

1. Pracovní prostor v horní části stroje.

Tabulka 6. Identifikovaná rizika při provozu v pracovním prostoru v horní části stroje.

	Mechanické nebezpečí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí přimáčknutí, rozdrcení nebo ustřižení částí těla vlivem pohybu "stolu" směrem k závažím.	2	1	1	1	**5**
2	Nebezpečí uvolnění závaží vlivem jeho špatného zajištění nebo vlivem jeho neodpovídající mechanické pevnosti.	3	1	1	1	**11**
3	Nebezpečí uvolnění (přetržení) pružných lan v případě jejich použití.	1	1	2	2	**1**

4	Nebezpečí vystříknutí vysokotlaké tekutiny z instalovaných hadic, případně mechanicky porušeného potrubí.	1	1	2	0	**0**
5	Nebezpečí pádu zajišťujících kolíků závaží z horní části stroje.	2	1	1	1	**5**

	Nebezpečí úrazu elektrickým proudem:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí dotyku osob s vodivými částmi, které jsou při běžném provozu pod napětím (přímý dotyk)	3	1	2	1	**12**
2	Nebezpečí dotyku osob s částmi, které se staly živými následkem závady (nepřímý dotyk).	3	1	2	1	**12**

	Nebezpečí vzniklé při nadměrném hluku:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí vysoké hladiny hluku vedoucí k celkové únavě, nesoustředěnosti, stresu, případně i ke ztrátě sluchu.	2	1	1	2	**6**

	Nebezpečí při zanedbání ergonomických zásad:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí ergonomická vedoucí k chybnému jednání obsluhy (možná záměna barev, tvarů, přípravků, znaků na ovládacím panelu).	2	1	1	1	**5**

	Nebezpečí spojené s čistotou prostředí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí uklouznutí či pádu při manipulaci se závažím, případně při doplňování provozních kapalin.	3	1	1	1	**11**

	Nebezpečí vzniklé při požáru:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí požáru při manipulaci s provozními tekutinami stroje a při jejich doplňování, případně při poruše hydraulického systému.	2	1	2	1	**6**

2. Pracovní prostor pod pohyblivým stolem stroje.

Tabulka 7. Identifikovaná rizika při provozu pod pohyblivým stolem stroje.

	Mechanické nebezpečí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí přimáčknutí, rozdrcení nebo ustřižení částí těla vlivem pohybu "stolu" při instalaci přípravků a testovaného podvozku.	3	1	2	2	**13**
2	Nebezpečí uvolnění závaží vlivem jeho špatného zajištění nebo vlivem jeho neodpovídající mechanické pevnosti.	3	1	1	1	**11**
3	Nebezpečí přimáčknutí nebo rozdrcení částí těla od jednotlivých zavěšených zařízení stroje určených k manipulaci.	3	1	2	2	**13**
4	Nebezpečí poranění od špatně opracovaných součástí stroje, případně používaných přípravků.	1	1	1	2	**1**
5	Nebezpečí vystříknutí vysokotlaké tekutiny z instalovaných hadic, případně mechanicky porušeného potrubí.	1	1	2	0	**0**
6	Nebezpečí poranění od nedostatečně upevněného zkoušeného podvozku, případně používaných přípravků používaných při testech.	2	1	2	2	**7**
7	Nebezpečí poranění od mechanických částí stroje uvolněných při testování pohyblivých „vozů“ v důsledku jakékoliv poruchy.	2	1	3	2	**8**
8	Nebezpečí poranění od částí uvolněných z testovaného podvozku při vlastní zkoušce v důsledku jakékoliv poruchy.	2	1	3	2	**8**
9	Nebezpečí uvolnění (přetržení) pružných lan v případě jejich použití.	1	1	2	2	**1**

	Nebezpečí úrazu elektrickým proudem:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí dotyku osob s vodivými částmi, které jsou při běžném provozu pod napětím (přímý dotyk)	3	1	2	1	**12**
2	Nebezpečí dotyku osob s částmi, které se staly živými následkem závady (nepřímý dotyk).	3	1	2	1	**12**

	Nebezpečí vzniklé při nadměrném hluku:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí vysoké hladiny hluku vedoucí k celkové únavě, nesoustředěnosti, stresu, případně i ke ztrátě sluchu.	2	1	1	2	**6**

	Nebezpečí při zanedbání ergonomických zásad:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí ergonomická vedoucí k chybnému jednání obsluhy (možná záměna barev, tvarů, přípravků, znaků na ovládacím panelu).	2	1	1	1	**5**

	Nebezpečí spojené s čistotou prostředí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí uklouznutí či pádu při manipulaci s přípravky a s testovaným podvozkem.	1	1	2	2	**1**

	Nebezpečí vzniklé při požáru:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí požáru provozních tekutin stroje při poruše hydraulického systému.	2	1	2	1	**6**

3. Oblast vnějšího okolí stroje.

Tabulka 8. Identifikovaná rizika při provozu v pracovním prostoru v okolí stroje.

	Mechanické nebezpečí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí uvolnění závaží vlivem jeho špatného zajištění nebo vlivem jeho neodpovídající mechanické pevnosti.	3	1	1	1	**11**
2	Nebezpečí nestability stroje při nerespektování umístění na vhodné základy stroje.	3	1	2	1	**11**
3	Nebezpečí poranění od nedostatečně upevněného zkoušeného podvozku, případně používaných přípravků používaných při testech.	2	1	2	2	**7**
4	Nebezpečí vystříknutí vysokotlaké tekutiny z instalovaných hadic, případně mechanicky porušeného potrubí.	1	1	2	0	**0**
5	Nebezpečí poranění od mechanických částí stroje uvolněných při testování pohyblivých „vozů“ v důsledku jakékoliv poruchy.	2	1	3	2	**8**
6	Nebezpečí poranění od částí uvolněných z testovaného podvozku při vlastní zkoušce v důsledku jakékoliv poruchy.	2	1	3	2	**8**
7	Nebezpečí uvolnění (přetržení) pružných lan v případě jejich použití.	1	1	2	2	**1**
8	Nebezpečí pádu vkládaného vzorku mimo pracovní prostor stroje.	1	1	2	2	**1**
9	Nebezpečí pádu vkládaného přípravku mimo pracovní prostor stroje.	1	1	2	2	**1**

	Nebezpečí vzniklé při nadměrném hluku:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí vysoké hladiny hluku vedoucí k celkové únavě, nesoustředěnosti, stresu, případně i ke ztrátě sluchu.	2	1	1	2	**6**

	Nebezpečí při zanedbání ergonomických zásad:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí ergonomická vedoucí k chybnému jednání obsluhy (možná záměna barev, tvarů, přípravků, znaků na ovládacím panelu).	2	1	1	1	**5**

	Nebezpečí spojené s čistotou prostředí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí uklouznutí či pádu při manipulaci s přípravky a s testovaným podvozkem.	1	1	2	2	**1**

	Nebezpečí vzniklé při požáru:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí požáru při manipulaci s provozními tekutinami stroje a při jejich doplňování, případně při poruše hydraulického systému.	2	1	2	1	**6**

1.7.5 Používání - údržba, servis a vyhledávání závad

Při údržbě, servisu či vyhledávání závad stroje opět rozdělíme prostory na tři části, které budeme analyzovat a to:

1. Pracovní prostor v horní části stroje tabulka 9.
2. Pracovní prostor pod pohyblivým stolem stroje tabulka 10.
3. Oblast vnějšího okolí stroje tabulka 11.

1. Pracovní prostor v horní části stroje.

Tabulka 9. Identifikovaná rizika při údržbě v pracovním prostoru v horní části stroje.

	Mechanické nebezpečí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí přimáčknutí, rozdrcení nebo ustřižení částí těla vlivem pohybu "stolu" při kontrole volnosti pohybu a jeho údržbě.	2	1	1	1	**5**
2	Nebezpečí uvolnění závaží vlivem jeho špatného zajištění nebo vlivem jeho neodpovídající mechanické pevnosti.	3	1	1	1	**11**
3	Nebezpečí navinutí částí těla na rotující části (hydraulické čerpadlo).	2	1	1	2	**6**
4	Nebezpečí vystříknutí vysokotlaké tekutiny z instalovaných hadic, případně mechanicky porušeného potrubí.	1	1	2	0	**0**
5	Nebezpečí pádu zajišťujících kolíků závaží z horní části stroje.	2	1	1	1	**5**

	Nebezpečí úrazu elektrickým proudem:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí dotyku osob s vodivými částmi, které jsou při běžném provozu pod napětím (přímý dotyk)	3	1	2	1	**12**
2	Nebezpečí dotyku osob s částmi, které se staly živými následkem závady (nepřímý dotyk).	3	1	2	1	**12**

	Nebezpečí při zanedbání ergonomických zásad:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí ergonomická vedoucí k chybnému jednání obsluhy (možná záměna barev, tvarů, přípravků, znaků na ovládacím panelu).	2	1	1	1	**5**

	Nebezpečí spojené s čistotou prostředí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí uklouznutí či pádu při doplňování provozních kapalin.	3	1	1	1	**11**

	Nebezpečí vzniklé při požáru:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí požáru při manipulaci s provozními tekutinami stroje a při jejich doplňování, případně při poruše hydraulického systému.	2	1	2	1	**6**

2. Pracovní prostor pod pohyblivým stolem stroje.

Tabulka 10. Identifikovaná rizika při údržbě v pracovním prostoru pod pohyblivým stolem stroje.

	Mechanické nebezpečí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí přimáčknutí, rozdrcení nebo ustřižení částí těla vlivem pohybu "stolu" při kontrole volnosti pohybu a jeho údržbě.	3	1	2	2	**13**
2	Nebezpečí uvolnění závaží vlivem jeho špatného zajištění nebo vlivem jeho neodpovídající mechanické pevnosti.	3	1	1	1	**11**
3	Nebezpečí přimáčknutí nebo rozdrcení částí těla od jednotlivých zavěšených zařízení stroje určených k manipulaci při kontrole volnosti pohybu.	3	1	2	2	**13**
4	Nebezpečí poranění od špatně opracovaných součástí stroje, případně používaných přípravků.	1	1	1	2	**1**
5	Nebezpečí vystříknutí vysokotlaké tekutiny z instalovaných hadic, případně mechanicky porušeného potrubí.	1	1	2	0	**0**

3. Oblast vnějšího okolí stroje.

Tabulka 11. Identifikovaná rizika při údržbě v pracovním prostoru v okolí stroje.

	Mechanické nebezpečí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí uvolnění závaží vlivem jeho špatného zajištění nebo vlivem jeho neodpovídající mechanické pevnosti.	3	1	1	1	**11**
2	Nebezpečí nestability stroje při nerespektování umístění na vhodné základy stroje.	3	1	2	1	**11**
4	Nebezpečí vystříknutí vysokotlaké tekutiny z instalovaných hadic, případně mechanicky porušeného potrubí.	1	1	2	0	**0**
5	Nebezpečí poranění od mechanických částí stroje uvolněných při kontrole volného chodu pohyblivého „vozu“ v důsledku jakékoliv poruchy.	2	1	2	1	**6**

	Nebezpečí vzniklé při nadměrném hluku:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí vysoké hladiny hluku vedoucí k celkové únavě, nesoustředěnosti, stresu, případně i ke ztrátě sluchu.	2	1	1	2	**6**

	Nebezpečí při zanedbání ergonomických zásad:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí ergonomická vedoucí k chybnému jednání obsluhy (možná záměna barev, tvarů, přípravků, znaků na ovládacím panelu).	2	1	1	1	**5**

	Nebezpečí spojené s čistotou prostředí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí uklouznutí či pádu při kontrole stroje	1	1	2	2	**1**

	Nebezpečí vzniklé při požáru:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí požáru při manipulaci s provozními tekutinami stroje a při jejich doplňování, případně při poruše hydraulického systému.	2	1	2	1	**6**

1.7.6. Vyřazení stroje z provozu

V případě vyřazení z provozu uvažujeme pouze transport do specializované firmy, která likvidaci stroje zajistí, tabulka 12.

Tabulka 12. Identifikovaná rizika při vyřazení stroje z provozu.

	Mechanické nebezpečí:	S	A	E	W	PR
1	Nebezpečí přimáčknutí nebo rozdrcení částí těla při nakládání či vykládání stroje.	3	1	2	2	**13**
2	Nebezpečí uvolnění nebo převrácení částí stroje při samotné přepravě vlivem jeho nedostatečného zajištění.	3	1	1	1	**11**
3	Nebezpečí úniku provozních kapalin při nesprávné poloze nebo nevhodném umístnění částí stroje tyto kapaliny obsahující.	1	1	2	1	**0**

1.8 Hodnocení rizik a opatření snižující rizika

Dle rozlišení bodové škály uvedené v kapitole č. 1.4. dostaneme tři možnosti ***počátečního rizika***:

a) riziko akceptovatelné (PR 0-4),
b) riziko akceptovatelné po prověření (PR 5-6),
c) neakceptovatelné riziko (PR 7-18).

Naší prioritní snahou je snížit nejhůře hodnocená a neakceptovatelná počáteční rizika.

Další odhad rizik se provádí po přijetí preventivního opatření, a takové riziko se potom označuje jako ***snížené riziko***. Riziko, které se u strojního zařízení zůstává po přijetí všech možných preventivních opatření, se nazývá ***zbytkové riziko***. O všech zbytkových rizicích musí být informován uživatel strojního zařízení, protože se jedná o významný výstup pro hodnocení celkové bezpečnosti stroje.

Zhodnocení a opatření snižující riziko se podle [1] provádí pomocí ***formuláře pro odhad rizika*** a to pomocí:

1. Opatření zabudovaného v konstrukci stroje (dle ČSN EN ISO 12100-1: 2004).
   (např. volba vhodné technologie, použité materiály, konstrukční uzpůsobení pro bezpečné fungování stroje apod.)
2. Bezpečnostního ochranného opatření (dle ČSN EN ISO 12100-1: 2004).
   (např. ochranné kryty nebo ochranná zřízení)
3. Informacemi pro používání strojního zařízení (dle ČSN EN ISO 12100-1: 2004).
   (bezpečnostní sdělení, pracovní postupy, seznam zbytkových rizik)

Na závěr této kapitoly lze říci, že management rizik strojů hraje významnou roli managementu podniku v celkovém procesu posuzování a snižování rizik. Bezpečnosti strojů je potřeba se neustále věnovat a vytvářet podmínky pro její realizaci, neboť nedostatečně ošetřená rizika strojů mohou skončit nebezpečnou událostí vedoucí ke škodě na zdraví, životech nebo majetku.

Příloha 2

Problematika měření neelektrických veličin

Vývoj měření a potažmo i měřící techniky probíhal podle potřeb společnosti v dané době, zejména počátkem tovární výroby. Největší rozmach nastal v době vědecko-technické revoluce, počátkem 20. století. Rychlý rozvoj techniky vyžaduje i velký podíl měření, regulace a automatizace ve všech oborech lidské činnosti. Dostatečné a přesné množství informací o jednotlivých procesech je základní podmínkou pro měření různých, zejména neelektrických veličin. Schopnost měření neelektrické veličiny s dostatečnou přesností je podmínkou pro její další zpracování [4-9].

Z analýzy odborníků z katedry měření Fakulty elektrotechnické na ČVUT v Praze vyplývá, že zařízení, jímž se libovolná fyzikální veličina snímá a transformuje na veličinu jinou, snadněji měřitelnou (např. na mechanický pohyb, sílu a nejčastěji elektrickou) se má nazývat senzor [10]. Obecně je senzor definován jako zařízení reagující na podmět, stav prostředí (měřenou veličinu) a převádějící jej na výslednou odezvu nebo informaci (výstupní veličinu). V technické praxi je pod pojmem senzor chápáno zařízení, které snímá sledovanou fyzikální veličinu a dle určitého definovaného principu ji transformuje na veličinu měřící.

2.1. Seznámení s problematikou senzorů

Senzor (často používané výrazy snímač, převodník, detektor) je vstupní prvek tvořící vstupní blok měřícího řetězce, tj. prvek, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Senzor jako primární zdroj informace měří sledovanou fyzikální, chemickou nebo biologickou veličinu a dle určitého definovaného principu ji transformuje na měřící veličinu a to nejčastěji elektrickou [4-9]. Vlastní citlivá část senzoru je někdy označována jako čidlo, které je v přímém styku s měřeným objektem a přijímá od něj energii. Při každém měření tedy dochází k odčerpání části energie z daného měřeného objektu, a proto nelze teoreticky dosáhnout měření bez chyby.

Výstupní veličina čidla může být, jak neelektrická (např. mechanický pohyb), tak i elektrická. U složitějších senzorů může být neelektrická výstupní veličina ještě několikrát transformována na jiné neelektrické veličiny uvnitř senzoru. Měření neelektrických veličin elektrickou cestou má oproti jiným metodám celou řadu výhod, jako např. větší přesnost i citlivost, možnost dálkového měření včetně záznamu, dále je možnost měření na velkém počtu míst s možností zpracování výsledku měření pomocí počítače. Unifikace analogových signálů je standardizována. Hodnoty pro napěťový signál, který je vhodný pro přenos na krátké vzdálenosti jsou *0-10 V, +/-10 V* a pro proudový signál, vhodný pro dálkový přenos jsou *0-5 mA, 0–20 mA, a 4-20 mA*. Je-li výstup z měřicího řetězce číslicový signál, je nejčastěji používáno rozhraní se sériovým přenosem dat RS-232 a Arinc. Pro náročnější měření nebo specifické podmínky se používají speciální sběrnice.

2.2. Senzory můžeme dělit podle řady kritérií a to:

a) podle měřené veličiny (senzory teploty, tlaku, průtoku…),

b) podle fyzikálního principu (senzory odporové, indukční, kapacitní, piezoelektrické, optické…),

c) podle styku senzoru s měřeným prostředím (bezdotykové, dotykové),

d) podle transformace signálu (aktivní - senzor, který se působením snímané veličiny chová jako zdroj a pasivní - pasivní senzor potřebuje napájení),

e) podle použité výrobní technologie (elektromechanické, elektronické, polovodičové…),

f) podle výstupu (analogový, číslicový, dvoustavový např. polohový, nebo teplotní senzory).

2.3. Technické parametry senzorů

Měřená veličina může mít buď statický, nebo dynamický charakter.

Statické vlastnosti senzorů dle [4-9] jsou:

- citlivost je ideální statická charakteristika, kde $y = K.x$, kde K je konstantou přenosové funkce a současně citlivost,
- práh citlivosti je dán hodnotou snímané veličiny, při níž je na výstupu senzoru signál odpovídající střední kvadratické odchylce šumu senzoru,
- dynamický rozsah je dán intervalem přípustných hodnot snímané fyzikální veličiny, ohraničené prahem citlivosti a maximální hodnotou měřené veličiny,
- reprodukovatelnost (dána odchylkou naměřených hodnot při krátkodobém časovém sledu měření neměnné vstupní veličiny a neměnných rušivých vlivů okolí),
- rozlišitelnost (nejmenší změna snímané veličiny odpovídající absolutní nebo relativní chybě senzoru),
- aditivní chyba (posun nuly nebo-li ofset), je způsobená posunem jmenovité lineární charakteristiky,
- multiplikativní chyba (změna citlivosti K senzoru) je způsobená odlišným sklonem od jmenovité statické charakteristiky),
- chyba hystereze (vyskytuje se zejména u mechanických systémů např. vůle v převodech),
- odolnost vůči prostředí (teplota, vibrace, prašnost, vlhkost, magnetické pole, aj.).

Dynamické vlastnosti senzorů - měřená hodnota fyzikální veličiny se neustále mění s časem a je třeba, aby výstupní signál sledoval s minimálním zkreslením signál vstupní dle [4-9] jsou.

- parametry časové odezvy
- časová konstanta,
- šíře frekvenčního pásma,
- frekvenční rozsah,
- rychlost číslicového přenosu,
- parametry šumu aj.

2.4. Požadavky na vlastnosti senzorů a na měření neelektrických veličin obecně je možno vyjádřit dle [4-9] následujícími základními body:

- co největší přesnost,
- vhodný průběh převodní charakteristiky (linearita, citlivost),
- časová stálost vlastností,
- vhodná časová konstanta (rychlost),
- malá závislost na okolních vlivech (teplota, vlhkost apod.),
- co nejmenší vliv na měřený obvod,
- spolehlivost,
- jednoduchost konstrukce.

Vzhledem k rozsahu dané problematiky je uveden pouze stručný přehled existujících senzorů určených pro dané měření.

2.5. Senzory polohy (výchylek, propérování)

dle [4-9] senzory polohy můžeme dělit na:

a) odporové
b) kapacitní
c) indukčnostní
d) optické
e) ultrazvukové
f) laserové
g) jiné

a) odporové senzory dělíme podle [4-9] **na spojité a nespojité**

odporové senzory - spojité

odporové senzory spojité můžeme rozdělit, obrázek 5:

podle tvaru dráhy na:

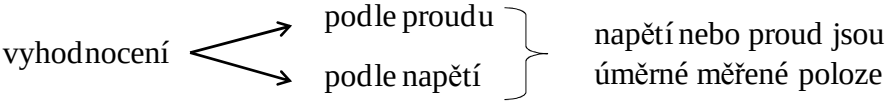
- lineární
- profilové

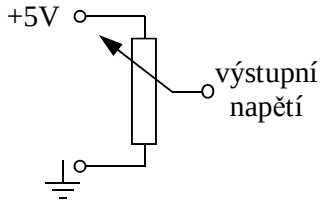
podle pohybu jezdce na:

- posuvné
- rotační jednootáčkové
- rotační víceotáčkové (ARIPOT)

podle použitého materiálu odporové dráhy na:

- kovové
  - drátové
  - vrstvové
- nekovové
  - uhlíkové
  - cermetové
  - elektrovodivé plasty





Obr. 5. Ukázka odporového potenciometru, který má běžec spojený se součástí, jejíž polohu měříme.

odporové senzory - nespojité

- vyhodnocují polohu pouze způsobem „věc je/není přítomna“, tj. výstupem je 0 nebo 1

- rtuťové spínače,
- magnetické spínače, obrázek 6,
- mechanické spínače.

Obr. 6. Magnetický spínač.

Nejdůležitější obecné vlastnosti odporových senzorů jsou:

- *rozlišovací schopnost*, která udává minimální velikost či úhel, který je schopen potenciometr ještě spolehlivě rozlišit. Nejvyšší rozlišení mají vrstvové potenciometry a to až 0.01% ale zase mají nízkou životnost. U vinutých jednootáčkových (270°, 360°) či víceotáčkových (až 10 otáček z čehož vyplývá až 3600°) potenciometrů (Aripotů) se jedná vlastně o změnu danou skokem mezi 2 sousedními závity,

- *linearita* je největší odchylka výstupního napětí od dané vztažné přímky a je dána v % napájecího napětí,

- *životnost*, která je dána jako počet posuvů u posuvných potenciometrů, nebo počet otočení hřídelkou při zadaných provozních podmínkách,

- *provozní moment* či provozní kroutící moment, v obou směrech pro rovnoměrný pohyb v celém mechanickém rozsahu při zadané rychlosti,

- *teplotní koeficient odporů*, který je stanoven na základě změny při změně teploty o 1° C oproti vztažné teplotě a který se vypočítá z následujících vztahů:

$$\alpha = \frac{\left(R_{100} - R_0\right)}{R_0 . \Delta t} \qquad R_t = R_0 + \alpha . t$$

kde:

α je teplotní koeficient odporu a R_t výsledný odpor v závislosti na teplotě.

- *šum*, který vzniká při pohybu jezdce je způsoben jak mechanickými, tak i elektrickými efekty jako je mikroskopické poskakování jezdce.

Pro snímání se používá buď měření proudu či napětí. Měření napětí je často používaná metoda měření, která má již v principu však problém s linearitou. To vyplývá z průběhu zatíženého děliče, kdy se uplatňuje velikost zátěže a platí, úměra – čím větší zátěž, tím větší nelinearita [4-9].

b) kapacitní senzory

Principem kapacitního senzoru polohy je změna buď vzdálenosti mezi elektrodami vzduchového kondenzátoru, nebo změna tloušťky či druhu dielektrika, obrázek 7. Tyto změny se projeví jako změna kapacity kondenzátoru. Tyto senzory tedy převádějí měřenou veličinu na kapacitu kondenzátoru, která je následně převedena na zpracovatelný spojitý či nespojitý signál. Jejich použití je hlavně v oblasti nekovových

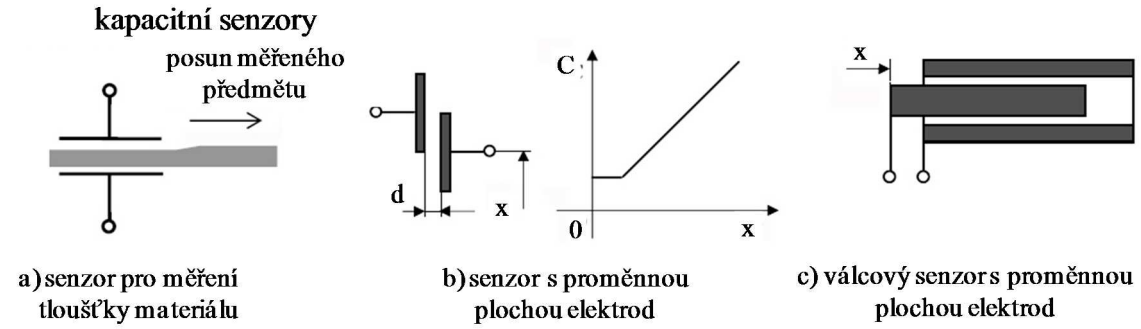
a nevodivých předmětů jako jsou papír, plast, olej, granulát, prášek, aj. Kapacita senzorů bývá jednotky až stovky *pF* a je srovnatelná s kapacitou kabelu [4-9]. Proto nezbytnou podmínkou pro správnou činnost senzorů je minimalizace parazitních kapacit, což lze většinou eliminovat zkrácením přívodů k měřícímu členu nebo použitím integrovaného převodníku.

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d}$$

Kapacita kondenzátoru C je závislá na ploše mezi deskami kondenzátoru, kde S je plocha elektrod, ε permeabilita dielektrika (zkoušeného materiálu), d vzdálenost elektrod.

Bezkontaktní kapacitní čidla reagují prakticky na „jakýkoliv“ materiál [4-9].

Při použití střídavého napájecího napětí 50 Hz vychází reaktance senzoru řádově na desítky MΩ, což vede na použití vysoce citlivých vyhodnocovacích obvodů. Z tohoto důvodu je třeba volit frekvence minimálně v jednotkách kHz [4-9].



Obr. 7. Principy kapacitního senzoru polohy.
(vyhodnocuje polohu na základě změny kapacity kondenzátoru)

c) **indukčnostní senzory**

Princip činnosti indukčních senzorů polohy, obrázek 8 je založen na tom, že se změnou polohy se změní vlastní indukčnost L (tlumivkové senzory) či vzájemná indukčnost M dvou cívek (transformátorové senzory). Indukční senzory tvoří rozsáhlou skupinu senzorů polohy, posunutí, úhlu natočení, otáček, síly, zrychlení atd. [4-9]. Snímací prvky bývají v provedení:

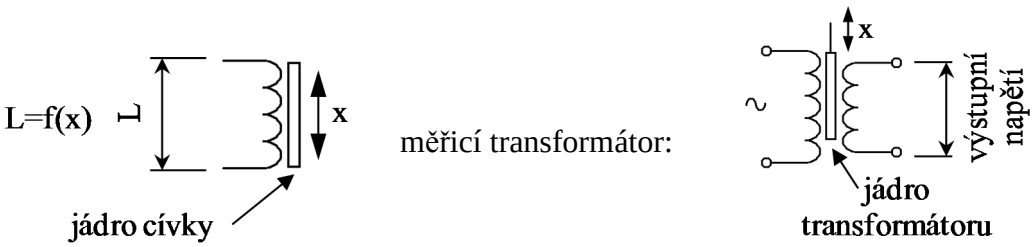
- jednoduchém,
- diferenciálním.

Vlastní měřící prvek může působit:

- na vstupu do cívky,
- na jádro

Indukčnostní senzory se dělí podle [4-9] na:

- senzory s uzavřeným magnetickým polem, které se dále dělí na:
    - tlumivkové - mění svou vlastní indukčnost cívky v závislosti na poloze snímaného předmětu. Ty se dále dělí podle veličiny, která ovlivňuje indukčnost a to na:
        - s proměnnou délkou vzduchové mezery,
        - s proměnnou plochou vzduchové mezery,
        - s proměnnou permeabilitou.
    - transformátorové
- senzory s otevřeným magnetickým polem,
- senzory s potlačeným magnetickým polem,
- senzory bez feromagnetika.



Obr. 8. Principy indukčnostního senzoru polohy.
(vyhodnocuje polohu na základě změny indukčnosti cívky)

Bezkontaktní indukčnostní čidla reagují pouze na „kovové“ předměty.

d) optické senzory

Optické senzory mají oproti řadě senzorů tu výhodu, že jsou necitlivé na elektromagnetická pole, jsou galvanicky oddělené a není zde obava z takovýchto rušivých vlivů. Jako zdroj záření se používají emisní nebo laserové diody a jako snímače fotodiody, fototranzistory, optrony či CCD senzory. Mohou se bezpečně používat v nebezpečných prostředích, jako jsou prostory s hořlavými nebo výbušnými látkami [4-9].

Optické senzory se dělí zásadně podle [4-9] na:

- senzory pro měření polohy
- inkrementální (přírůstkové)

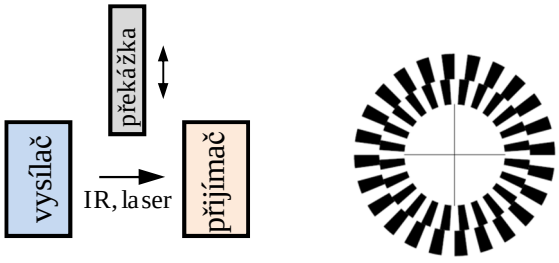
- senzory pro indikaci polohy lze dále rozdělit na:

    - přijímače cizího záření bez vlastního vysílače,
    - jednocestné světelné závory:
        - světelná závora s odděleným zdrojem a přijímačem záření,
        - světelná záclona, pracující s jedním zdrojem a přijímačem, záření, mezi nimi je soustavou zrcadel vytvořena síť paprsků,
        - světelná mříž, sestavená z několika sériových světelných závor.
    - reflexní světelné závory:
        - reflexní světelná mříž,
        - reflexní světelná záclona.
    - reflexní světelné senzory

Optické senzory dělíme podle [4-9] na **nespojité a spojité**

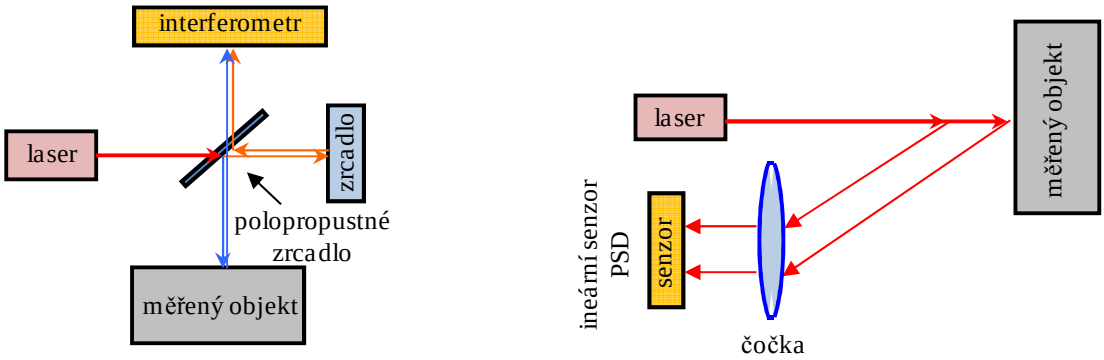
Optické senzory nespojité - vyhodnocují polohu na základě přítomnosti světelného paprsku, obrázek 9.

Inkrementální senzory (inkrement=přírůstek) – poloha se počítá podle počtu impulzů (přerušení) paprsku



Obr. 9. Principy optického senzoru nespojitého.

Optické senzory spojité - vyhodnocuje polohu podle zpoždění paprsku (na základě interference paprsku, obrázek 10.



b) interferometr *a) triangulace*

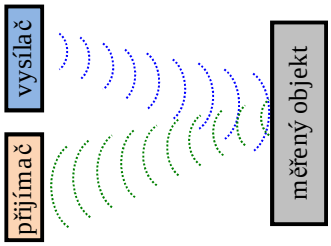
Obr. 10. Principy optického senzoru spojitého.

e) **ultrazvukové senzory**

Ultrazvukové senzory pracují na principu měření času mezi okamžikem vyslání impulsu do doby příjmu odraženého signálu od detekovaného objektu [4-9]. Jsou mimo jiné vhodné pro měření vzdálenosti obrázek 11.

Ultrazvukový senzor se skládá podle [4-9] ze tří funkčních bloků a to:

- ultrazvukový převodník,
- vyhodnocovací jednotka,
- výstupní obvod.



Obr. 11. Principy ultrazvukového senzoru.

f) laserové senzory

Laserové senzory patří díky pokrokové technologii k nejmodernějším metodám měření, kdy přesně fokusovaný paprsek velmi malého průměru dokáže měřit obzvláště malé

součásti, jako jsou například piny integrovaných obvodů, vývody konektorů, samostatné vodiče, velmi drobné díly v hodinářském průmyslu aj. [4-9].

Měření polohy laserem.

Absolutní senzory polohy pracují s odraženým laserovým paprskem a mohou vyhodnocovat vzdálenost, nebo rychlost pohybujícího se objektu. Pokud sledují rychlost objektu, pak pracují na principu interference. Laserové senzory slouží pro velice přesné bezkontaktní měření vzdálenosti. Pokrývají rozsahy od *20 mm* do *1000 mm*. Senzor principiálně pracuje s triangulační metodou měření. Část laserového svazku dopadajícího na objekt je odražena zpět pod určitým úhlem, který se mění v závislosti na vzdálenosti objektu od senzoru a jeho velikost je přepočítána na vzdálenost [4-9].

Výkon laseru je pod hranicí 1mW a proto není potřeba zvláštních bezpečnostních opatření. Integrovaný mikroprocesor eliminuje potřebu externí vyhodnocovací jednotky, provádí linearizaci a umožňuje předávat informace o poloze též v digitální formě prostřednictvím sériového rozhraní.

Aplikace podle [4-9]:

- přesné analogové polohování,
- měření vzdálenosti,
- měření tloušťky aj.

2.6. Statické zatížení (násobek přetížení) - senzory přímočarého zrychlení

Zrychlení se často udává jako násobek gravitačního zrychlení *g (9,81 m/s²*). Všechny senzory měří sílu *F*, která působí na setrvačnou hmotnost *m*.

$$F = m \cdot g$$

Senzory přímočarého zrychlení jsou realizovány pomocí pružného materiálu (planžety či závěsu), na kterém je připevněno závaží. Při zrychlení nebo zpomalení dojde k vratné deformaci materiálu a změna polohy závaží je snímána některým ze senzorů, které již byly výše probrány. Uvedené senzory mohou měřit nejen zrychlení, ale i vibrace.

Senzory přímočarého zrychlení se dělí například podle [4-9] na senzory:

a) elektrodynamické
b) elektromagnetické
c) indukční
d) uhlíkové
e) piezoelektrické senzory,
f) Hallovy sondy.
g) a jiné.

a) elektrodynamické senzory

Elektrodynamické senzory, pracují na principu protínání magnetických siločar závity cívky, která se pohybuje v prstencové vzduchové mezeře permanentního magnetu. Pohybem cívky, která je spojena se seismickou hmotou, se v ní indukuje elektromotorická síla přímo úměrná rychlosti. Jedná se o senzor aktivní. Je to i senzor rychlosti kmitání měřící jen střídavou složku asi *1 Hz* do *1 kHz*, má malý vnitřní odpor (cca *50 Ω*), značnou citlivost, výstupní signál lze používat bez dalšího zesílení. Je citlivý na magnetické pole, teplotu a nárazy [4-9].

b) elektromagnetické senzory

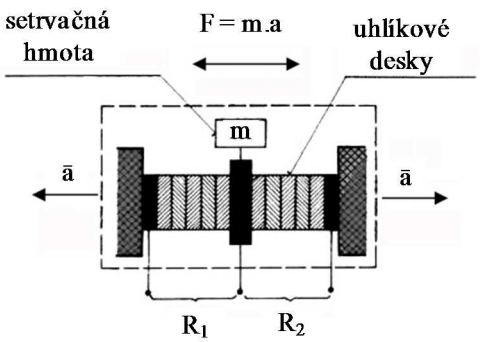
Elektromagnetické senzory vyhodnocují změnu magnetického toku pomocí změny impedance magnetického obvodu. Princip uspořádání senzoru kmitavého pohybu je takový, že na jádře permanentního magnetu je nasazena cívka se závity. V magnetickém poli se pohybuje feromagneticky prvek spojený s odměřovaným předmětem. Napětí ve snímací cívce je dáno časovou změnou toku Φ, řízeného magnetickým odporem vzduchové mezery. Změně její délky či průřezu odpovídá amplituda výstupního napětí. Vzhledem k jednoduchosti elektromagnetických senzorů nevyžadujících vnější napájecí zdroj je jejich hlavní užití při měřeni rychlosti [4-9].

c) indukční senzory

Indukční senzory měří pohyb seismické hmoty na principu změny indukčnosti cívky změnou délky zasunuté části feromagnetického jádra. Pro linearizaci průběhu se používá soustava dvou cívek v diferenciálním zapojení. Jedná se o senzor pasivní [4-9].

d) uhlíkové senzory

Uhlíkové senzory pracující na principu povrchového odporu tenkých destiček uhlíku měnícího se změnou tlaku, kterým jsou destičky přitlačovány, obrázek 12. Stykové odpory R_1 a R_2 jsou závislé na velikosti setrvačné síly F. To znamená, že v případě působením síly v jednom nebo druhém směru tělísko stlačí uhlíkové desky na jedné straně a odlehčí uhlíkové desky na straně druhé. Tím dojde ke změně odporu R_1 a R_2. Porovnáním jejich velikosti se určí hodnota zrychlení [4-9].



Obr. 12. Uhlíkový senzor zrychlení.

Mezi moderní senzory zrychlení patří podle [4-9] například:

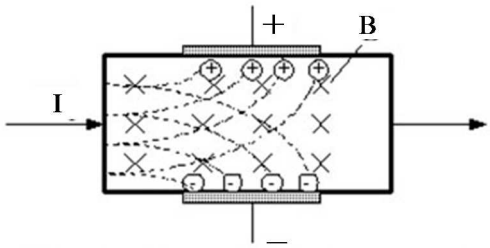
e) piezoelektrické senzory

Nejvýhodněji se používají piezoelektrické senzory, které působením síly vytváří na svém povrchu elektrický náboj. Síla způsobující změnu pohybu nebo vibrace působí na hmotu senzoru stlačující piezoelektrický prvek generující elektrický náboj úměrný stlačení. Protože je elektrický náboj úměrný síle a hmota senzoru je konstantní, pak elektrický náboj je úměrný zrychlení, nebo-li akceleraci. Vzhledem k tomu, že piezoelektrické senzory mají vysoký vnitřní odpor, je doporučeno při snímání výstupního napětí umístit první oddělovací zesilovač co nejblíže k senzoru. Delší přívodní vodiče totiž zkreslují signál svou parazitní kapacitou (působí jako kapacitní dělič napětí), tak i svým parazitním činným odporem. Výhodnější je však použít zesilovač náboje ukládající senzorem vytvářený náboj v kvalitním měřícím kondenzátoru a tím udržuje samotný senzor bez náboje a napětí. V tomto případě je možné škodlivé parazitní vlivy přírodního vedení téměř potlačit, takže zesilovač nemusí být bezpodmínečně integrován se senzorem. Hmotnost akcelerometrů by měla být mnohem menší než hmotnost monitorovaného systému. Dynamický rozsah akcelerometru má být širší než je předpokládaný rozsah amplitudy, je to +/- maximální amplituda, kterou lze změřit, než se senzor poškodí. Je uváděn v násobku *g*. Frekvenční odezva je určena hmotností senzoru, který má piezoelektrické vlastnostmi krystalu a rezonanční frekvencí krytu senzoru. Je to frekvenční rozsah, v němž výstupní hodnota signálu akcelerometru má dovolenou odchylku +/-5%. Frekvenční rozsah akcelerometru musí odpovídat předpokládanému rozsahu frekvence. Horní frekvenční limit je frekvence, kdy výstupní signál překročí dovolenou odchylku, což souvisí s mechanickou rezonancí senzoru. Citlivost akcelerometru musí být dostatečná, aby výstupní signál byl kompatibilní s měřícími přístroji. Teplotní rozsah je limitován integrovaným obvodem převádějícím elektrický náboj na nízkoimpedanční výstup. Síla způsobující změnu pohybu nebo vibrace působí na hmotu senzoru, která pak stlačuje piezoelektrický prvek generující elektrický náboj úměrný stlačení. Protože je elektrický náboj úměrný síle a hmota senzoru je konstantní, pak elektrický náboj je úměrný zrychlení [4-9].

f) Senzory s Hallovou sondou

Senzory s Hallovou sondou jsou založeny na tzv. Hallovu jevu, což je článek tvořený tenkou polovodičovou obdélníkovou destičkou, která je opatřena dvěma páry kontaktů, obrázek 13 [4-9]. Široké kontakty slouží pro přívod proudu, úzké a příčně uložené, slouží k odvádění výstupního Hallova napětí U_h. Pokud na destičku nepůsobí magnetické pole, jsou proudové čáry v destičce rozloženy rovnoměrně a Hallovo napětí U_h nevzniká. V magnetickém poli pak působí magnetická indukce na pohybující se nosiče náboje silou, která je kolmá ke směru jejich pohybu a stlačuje proudové čáry k jedné straně destičky. Následkem toho vzniká na úzkých kontaktech rozdíl potenciálů,

což je Hallovo napětí U_h. Charakteristický je lineární vzrůst velikosti Hallova napětí naprázdno.



Obr. 13. Princip činnosti Hallovy sondy.

Čím je tenčí destička, tím je Hallova sonda citlivější. Proto jsou Hallovy sondy realizovány jako velmi tenké polovodičové pásky nebo polovodičové vrstvy nanesené na podložce. Příkladem akcelerometru je použití v systému vozidla s protiblokovacím systémem ABS, regulací prokluzu ASR, které mají kromě senzorů kol Hallův senzor zrychlení k měření podélného a příčného zrychlení vozidla. V Hallově senzoru zrychlení se používá „elastické“ upevnění systémem pružina – hmota, což znamená pásková pružina umístěná nastojato, která je na jednom konci pevně upnuta. Na jejím volném konci je nasazen trvalý magnet jako seizmická hmotnost. Nad trvalým magnetem se nachází vlastní Hallův senzor s vyhodnocovací elektronikou. Pod magnetem je malá tlumící destička z mědi. Vychýlení je měřítkem pro zrychlení. Magnetický tok F vycházející z pohybující se magnetu vytváří v Hallově senzoru Hallovo napětí U_h. Vyhodnocovací elektronikou z něj odvozené výstupní napětí stoupá lineárně se zrychlením (rozsah cca *1 g*) [4-9].

2.7. Měření svislé sily v ose kola

Tenzometry

Tenzometry jsou senzory, které jsou používány zejména při zjišťování pružných deformací (vnitřní napjatostí) například v mostních konstrukcích, konstrukcích letadel, pro měření síly, tlaku, vibrací, zrychlení, geometrických rozměrů aj. Pružnými deformacemi se podle [4-9] rozumí síly působící v mezích platnosti Hookova zákona a jsou vyvolány tlakem nebo tahem. Hookův zákon pružné deformace:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

kde:

σ je mechanické napětí, $\varepsilon = \Delta L/L$ relativní prodloužení a E modul pružnosti.

Výhodou tohoto měření spočívá ve zjišťování pružných deformací v konstrukci bez jejího porušení. Navíc je možno současně měřit jednoduchými senzory ve dvou osách, pokud jsou nalepeny pootočeně o 90° proti sobě, nebo speciálními konstrukcemi, které to zvládnou najednou. Tenzometry vyhodnocují změnu odporu, která vzniká změnou geometrických rozměrů nebo krystalografické orientace snímacího tenzometru a to vlivem deformace pružícího měrného prvku se kterém je tenzometr pevně spojen. Jejich výhodou jsou malé rozměry.

Tenzometry můžeme dělit podle [4-9] na:

- kovové, které jsou realizovány z tenkých drátků o průměru 10 – 40 μm a jsou vyráběny ze slitin Cu-Ni (konstantanu), Ni-Cr (Nichrom) aj. Elektrický odpor je 120 až 600 Ω.

  - Podle provedení mohou být:
    - lepené na podložce např. na pevný speciální papír,
    - fóliové (fotolitografická technologie), které jsou vyráběny na plastové podložce odleptáním napařené fólie, kde tloušťka fólie je 1 – 10 μm a tloušťka podložky od 10 μm výše. Povrch je pak pasivován krycí fólií. Tenzometrické senzory složitých tvarů se vyrábějí odleptáváním tenké odporové fólie jako plošné spoje. Takto zhotovené tenzometrické senzory mají lepší vlastnosti než senzory drátkové,
    - napařované (tenkovrstvá technologie).

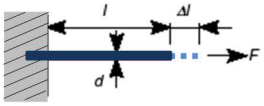
- polovodičové, které jsou založeny piezorezistivního jevu a které se vyrábějí z křemíku opracováním (řezáním a broušením) monokrystalu, nebo planární technologií na nějakém substrátu (např. křemíkovém aj.) Jsou vždy citlivější než tenzometry založené na kovových drátcích, avšak vykazují nelineární závislosti odporu, jak na deformaci, tak i na teplotě.

  - Ohmický odpor polovodičového tenzometru může být 60 až 1000 Ω. Podle provedené mohou být:
    - monokrystalické lepené na podložce, nebo na měřeném mechanickém členu,
    - polykrystalické,
    - integrované na křemíkovém substrátu.

Odporové tenzometry

Princip odporového tenzometrického senzoru lze vysvětlit na deformaci odporového drátku o délce l, průřezu S *(průměru d)* a měrném odporu ρ, na který působí síla F tak, že se drátek prodlouží o délku Δl, obrázek 14 [4-9]. Odpor vodiče v klidové poloze je roven:

$$R = \rho.l/S$$



Obr. 14. Deformace odporového vodiče.

Působením síly F se změní odpor vodiče o ΔR, protože se změní jeho délka o Δl a plocha o ΔS. Díky změnám struktury vznikne též změna $\Delta\rho$. Pro uvedené změny bude pak platit:

$$\Delta R/R = (\Delta\rho/\rho) + (\Delta l/l) + (\Delta S/S)$$

Pokud se bude uvažovat relativní deformace (poměrné prodloužení):

$$\varepsilon = \Delta l/l$$

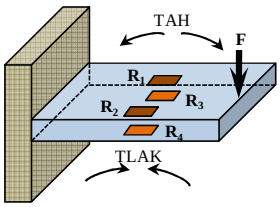
pak pro relativní změnu odporu pružné deformace z toho vyplývá:

$$\Delta R/R = k.(\Delta l/l) = k.\varepsilon,$$

kde:

k je koeficient deformační citlivosti závisící na materiálu vodiče. Tato hodnota se v praxi určuje experimentálně.

Základním úkolem odporového tenzometru je reagovat příslušnou změnou odporu na mechanickou deformaci vyvolanou působící silou. Často využívaným zařízením je tzv. siloměrný člen, tvořený vetknutým nosníkem s nalepenými tenzometry, přičemž síla působí na volný konec nosníku, obrázek 15. Působící silou F je nosník namáhán v oblasti pružných deformací, a to na straně působící síly tahem (tenzometry s odpory R_1, R_2 se natahují) a na straně odvrácené tlakem (tenzometry s odpory R_3, R_4 se smršťují). Zapojením tenzometrů do různých větví můstku roste citlivost siloměrného členu a současně se kompenzují závislosti odporu tenzometrů na teplotě [4-9].



Obr. 15. Siloměrný člen.

V měřicím můstku jsou tenzometry zapojeny tak, že tenzometry namáhané stejným směrem jsou umístěny v protilehlých větvích můstku. Výsledná citlivost je potom čtyřnásobná ve srovnání s použitím jednoho tenzometru je třeba jistit senzor proti přetížení.

Polovodičové tenzometry

Polovodičové tenzometry se vyrábějí z křemíku, a to buď řezáním, broušením či leptáním monokrystalu, nebo planární technologií na nějakém křemíkovém substrátu. Tenzometry z monokrystalu se buď lepí na vhodnou podložku, nebo přímo na měřicí mechanický člen. Působením mechanického namáhání v určité krystalografické ose monokrystalu polovodiče dochází ke změně elektrické vodivosti. Změna odporu závisí na typu polovodiče i na koncentraci příměsí. Bohužel polovodičové tenzometry vykazují nelineární závislosti odporu jak na deformaci, tak i na teplotě [4-9]. Závislost relativní změny odporu na relativní deformaci je vyjádřena vztahem:

$$\Delta R/R = C_1\varepsilon + C_2\varepsilon^2,$$

kde koeficient citlivosti k u polovodičového tenzometru je vyjádřen vztahem:

$$k = C_1 + C_2\varepsilon^2$$

Protože lze tyto senzory realizovat na vodivosti typu jak *N*, tak i *P* platí:

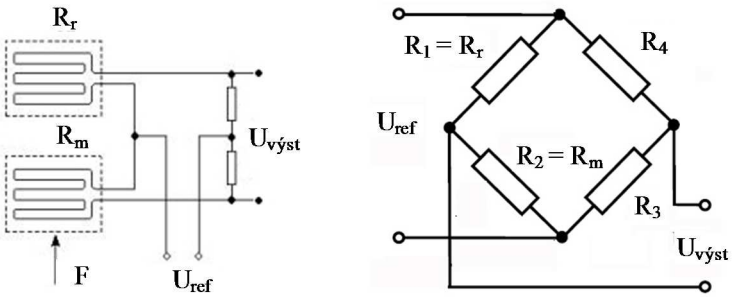
- u polovodiče typu *N* je konstanta C_1 záporná a odpor s namáháním klesá,
- u polovodiče typu *P* je konstanta C_1 kladná a odpor s namáháním stoupá.

Koeficient citlivosti k se u polovodičových tenzometrů pohybuje v rozmezí $50 – 175$. Stejně jako u kovového tenzometru je vhodné používat zapojení ve Wheatsonově můstku v němž vhodným zapojením lze kompenzovat změny teplot, zvýšit citlivost měření a potlačit nelinearitu senzoru.

Použití polovodičových tenzometrů dle [4-9]:

- měření deformací objektů (mostů a podobných konstrukcí),
- měření síly, tlaku, krouticího momentu, momentu síly, mechanického napětí spojů,
- přesné váhy, přesné senzory zatížení aj.,
- součást některých integrovaných senzorů tlaku, síly, váhy,
- měření vibrací a deformací apod.,
- váhy pro měření v aerodynamickém tunelu,
- přesné senzory zatížení.

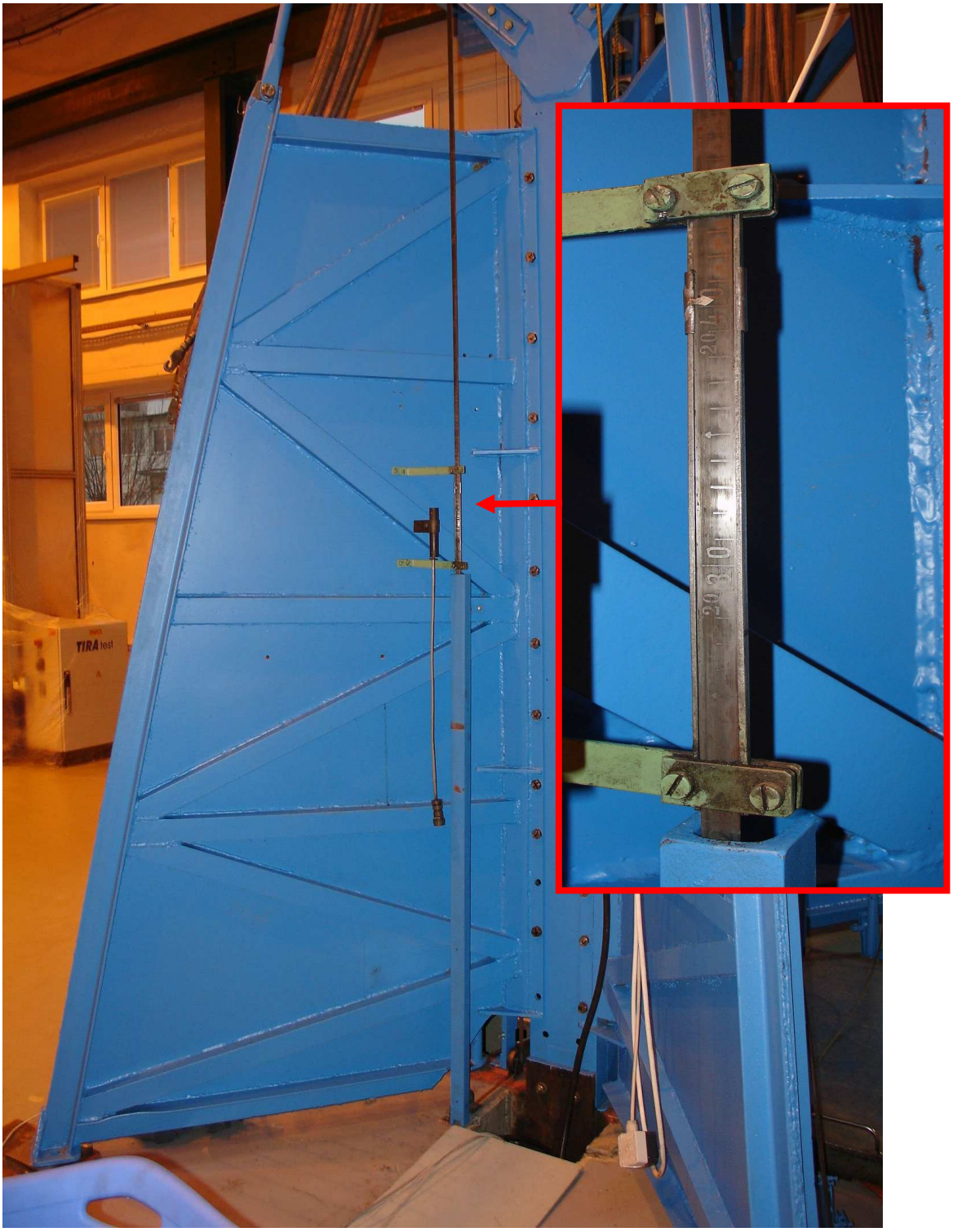
Na obrázku 16 je ukázka možného zapojení teplotně kompenzovaného odporového tenzometru ve Wheatsonově můstku. V jedné větvi je tenzometrický senzor R_m, vystavený účinkům síly F. V druhé větvi je srovnávací tenzometr R_r, který eliminujeme vliv teploty. Tenzometr R_r musí mít naprosto stejné vlastnosti jako tenzometr R_m, musí být nalepen v jeho blízkosti, aby měl shodnou teplotu, ale nesmí být mechanicky namáhán. Tenzometry jsou realizovány odporovým drátkem, který může být jednoduchý nebo vícenásobný, často používaný ve formě ploché cívky nalepené na podložku. Při napínání odporového drátu se mění jeho odpor, který je vyhodnocován ve Wheastnově můstku [4-9].



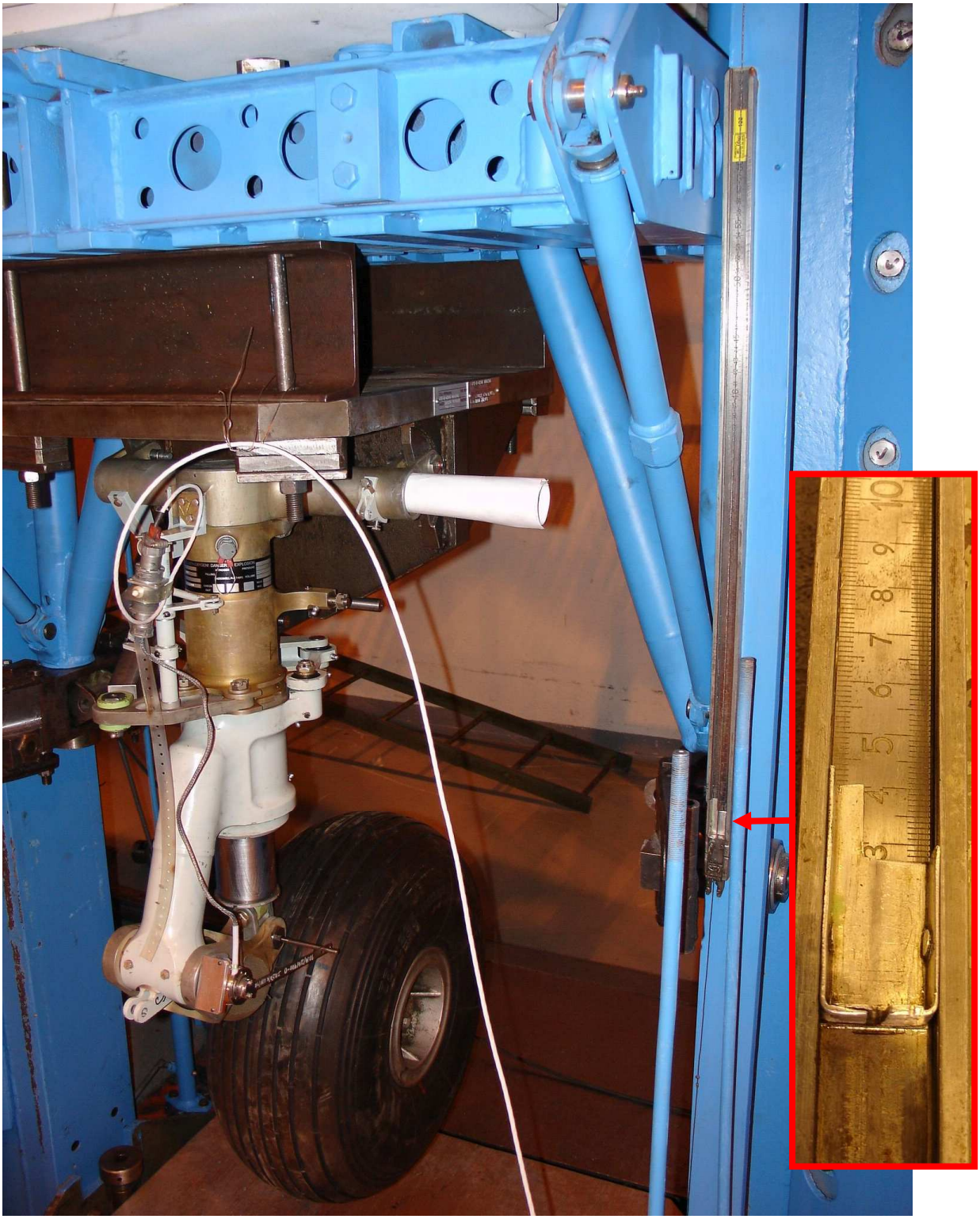
Obr. 16. Ukázka zapojení teplotně kompenzovaného odporového tenzometru ve Wheatsonově můstku.

Příloha 3

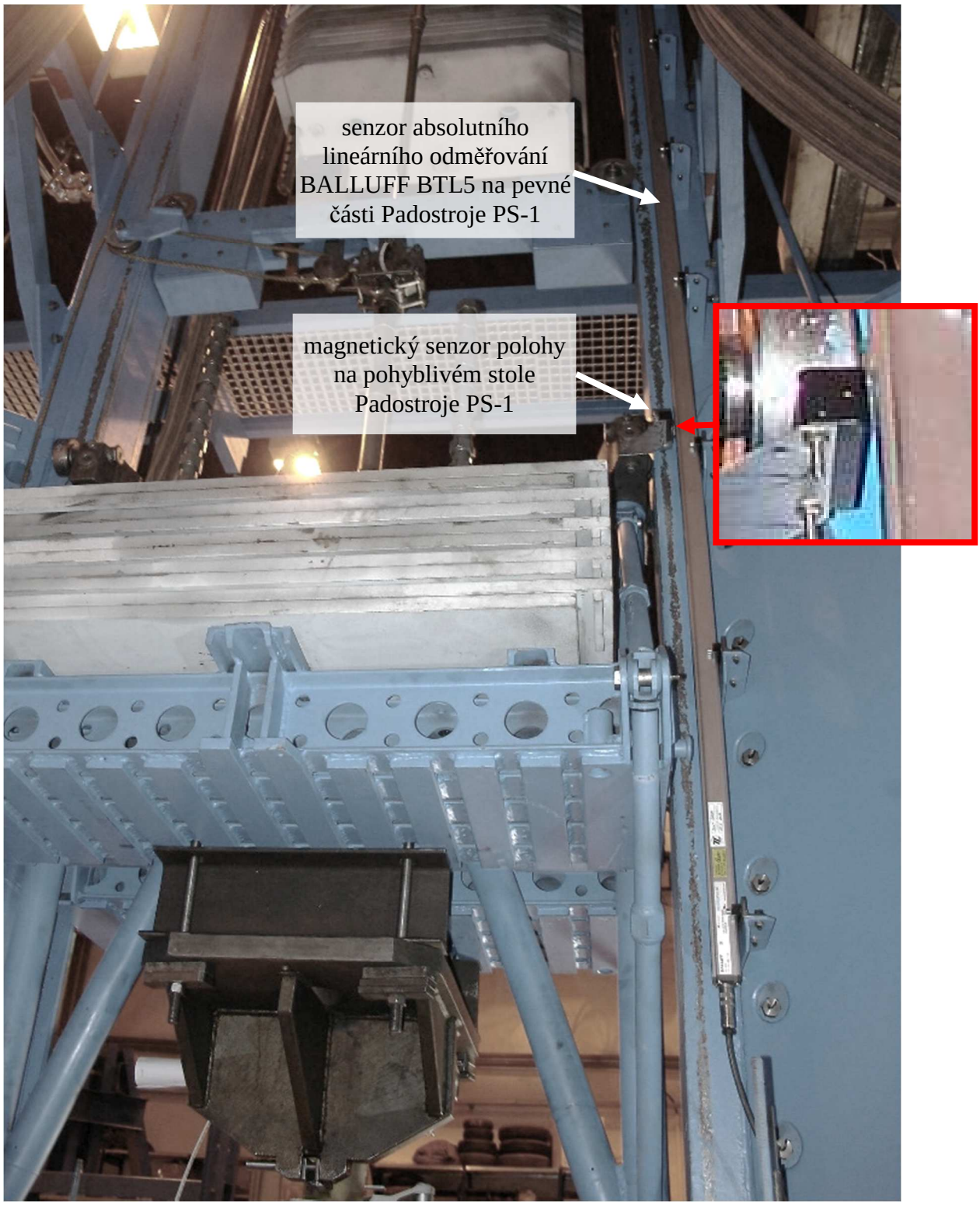
Ukázky měření požadovaných parametrů testovaných podvozků letounů původním způsobem a nově navrženým měřícím řetězcem.



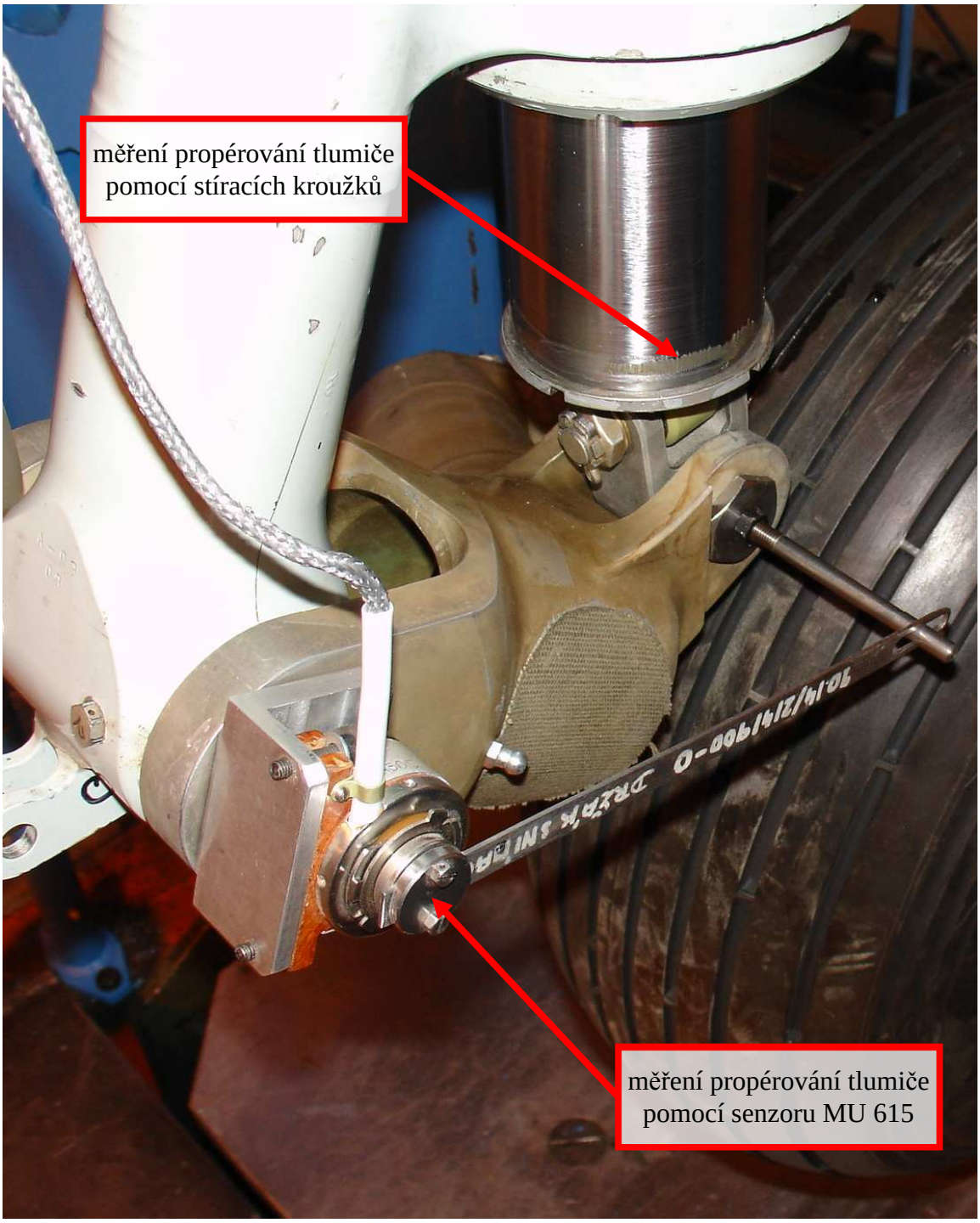
Obr. 17. Měření pádové výšky - původní způsob.
(měřítko)



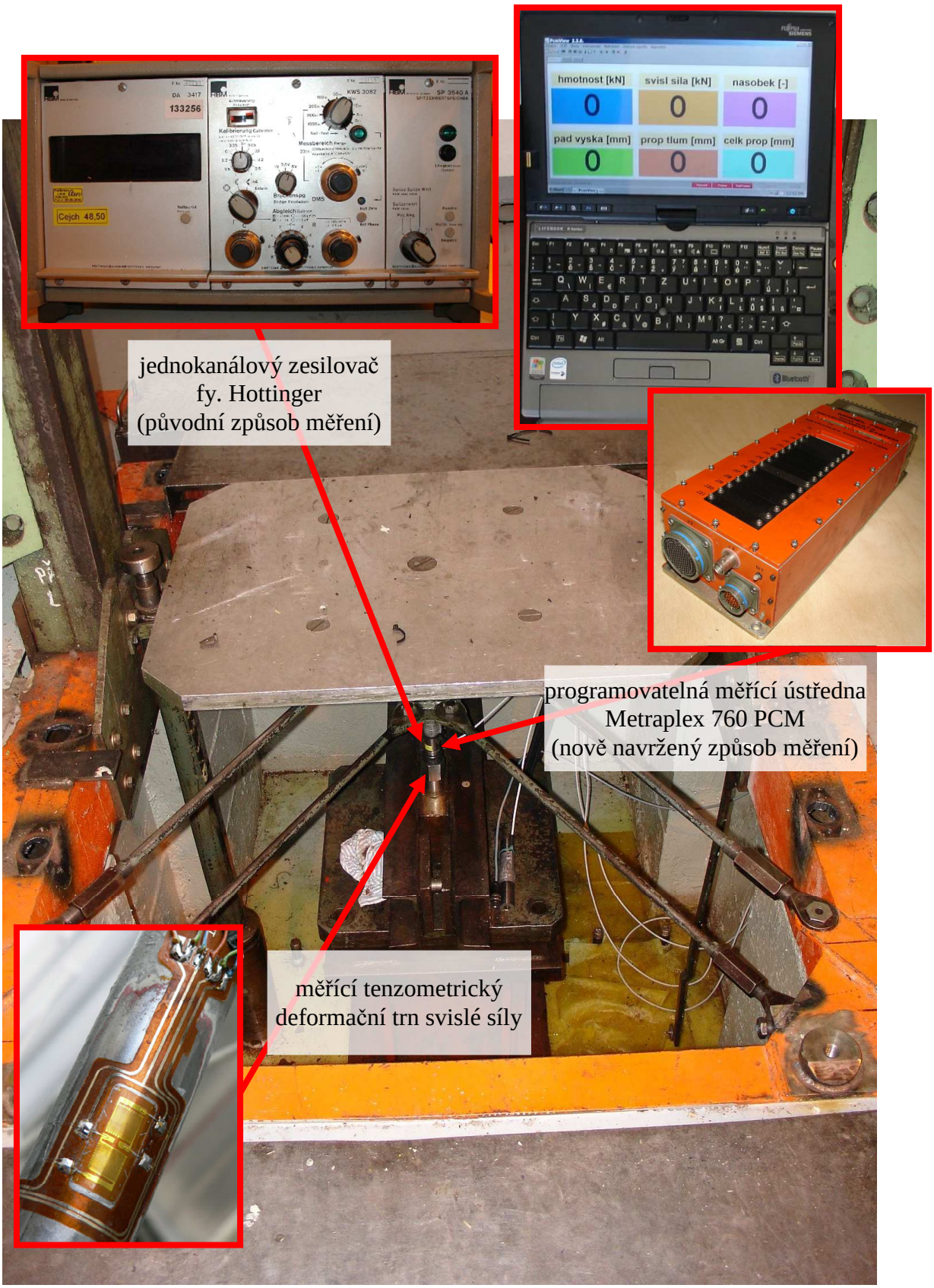
Obr.18. Měření celkového propérování - původní způsob.
(měřítko)



Obr. 19. Měření pádové výšky a celkového propérování - nově navržený způsob. (senzor BALLUFF)



Obr. 20. Měření propérování tlumiče - původní způsob.
(měřítko)
Měření propérování tlumiče - nově navržený způsob.
(senzor MU 615)



Obr. 21. Měření svislé síly- původní způsob.
(jednokanálový zesilovač)
Měření svislé síly - nově navržený způsob.
(programovatelná měřící ústředna Metraplex 760 PCM)

Příloha 4

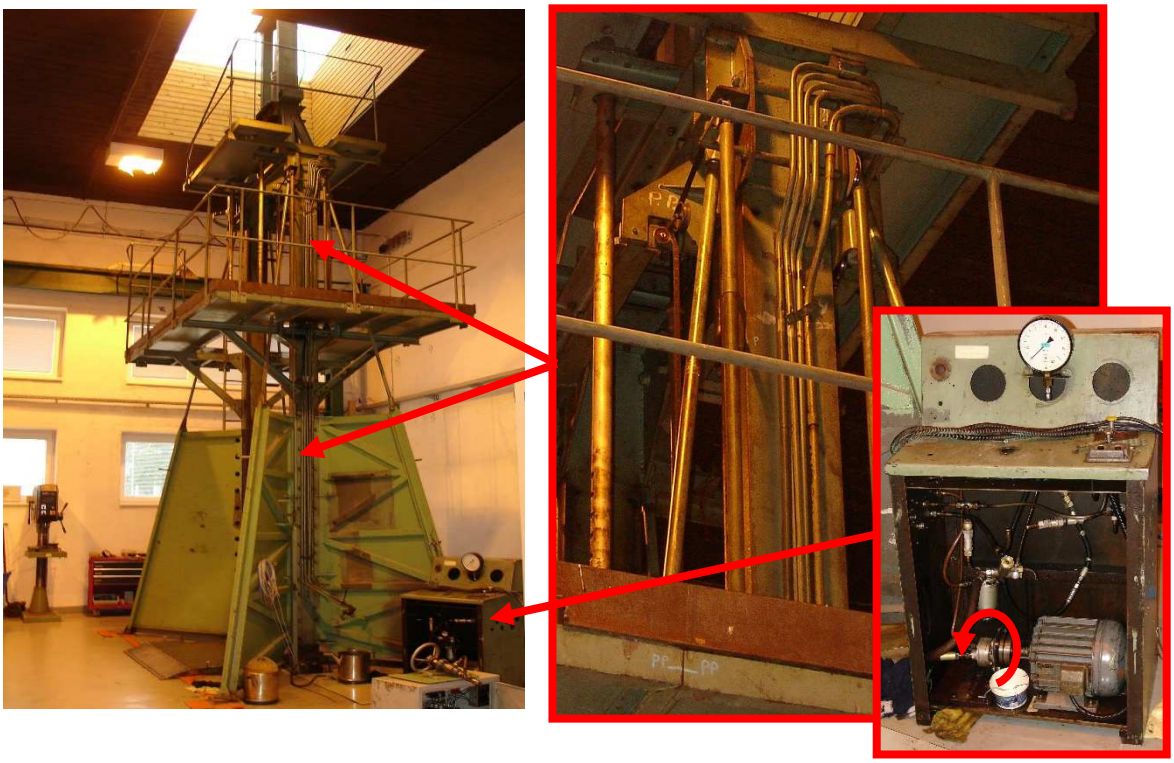
Ukázka vybraných rizikových částí Padostroje PS-1 při analýze rizik.

Obr. 22. Padostroj PS-1.

Obr. 23. Nebezpečí nestability strojních součástí při rekonstrukci Padostroje PS-1.

Obr. 24. Nebezpečí pádu závaží při špatném použití bezpečnostních prvků.
Nebezpečí pádu obsluhy z velké výšky.

Obr. 25. Nebezpečí přimáčknutí nebo rozdrcení částí těla od zavěšených jednotlivých částí stroje určených k manipulaci.



Obr. 26. Nebezpečí vystříknutí vysokotlaké tekutiny.
Nebezpečí navinutí částí těla.

Použité zdroje a literatura v uvedené příloze

[1] Marek, J. a kol.; *Management rizik v konstrukci výrobních strojů*. MM Průmyslové spektrum, speciální vydání., 2009; ISSN 1212-2572

[2] ČSN EN ISO 12100-1: *Bezpečnost strojních zařízení-Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci,* - část 1. Základní terminologie, metodologie. ČNI červen 2004

[3] Interní materiály AVA

[4] Kreidl, M.: *Senzory.* Vydavatelství ČVUT Praha, 1992.

[5] Jenčík, J. – Volf, J. a kol. *Technická měření.* Vydavatelství ČVUT Praha, 2000. ISBN 80-01-02138-6

[6] Zehnula, K. *Snímače neelektrických veličin.* SNTL, Praha, 1983.

[7] Ďaďo, S. – Kreidl, M. *Senzory a měřící obvody.* Vydavatelství ČVUT Praha, 2000 ISBN 80-01-02057-6.

[8] Ripka, P. *Senzory a převodníky*. Vydavatelství ČVUT Praha, 2005. ISBN 80-01-03123-3

[9] Úředníček, Z. *Elektromechanické akční členy.* Zlín, 2009. ISBN 978-80-7318-835-1

[10] Kreidl, Ďaďo. *Jak správně používat termíny v senzorice. Automa* [online].2005,4 [10-12-2010]. Dostupné z: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=632>

[11] Vůjtek M. *Elektronická měření pro aplikovanou fyziku*. [online]. 2010 [04-10-2012]. Dostupné z:<http://fyzika.upol.cz/en/system/files/download/vujtek/texty/elmea.pdf>

[12] Brožek F. a kol.; *Management rizika I,* Brno 1998

[13] Kolektiv IVBP Brno.; *Management rizika II,* Brno 2001

Zdroje obrázků:

Obr. 2 Interní materiály AVA
Obr. 3 Interní materiály AVA

Seznam obrázků

Obr. 1. Schématický obrázek Padostroje PS-1 4
Obr. 2. Příslušenství k Padostroj PS-1 5
Obr. 3. Padostroj PS-1 při praktickém použití 6
Obr. 4. Blokové schéma Padostroje PS-1 9
Obr. 5. Ukázka odporového potenciometru, který má běžec spojený se součástí, jejíž polohu měříme 25
Obr. 6. Magnetický spínač 25

Obr. 7. Principy kapacitního senzoru polohy 27
Obr. 8. Principy indukčnostního senzoru poloh 28
Obr. 9. Principy optického senzoru nespojitého 29
Obr. 10. Principy optického senzoru spojitého 30
Obr. 11. Principy ultrazvukového senzoru 30
Obr. 12. Uhlíkový senzor zrychlení 32
Obr. 13. Princip činnosti Hallovy sondy 34
Obr. 14. Deformace odporového vodiče 36
Obr. 15. Siloměrný člen 36
Obr. 16. Ukázka zapojení teplotně kompenzovaného odporového tenzometru ve Wheatsonově můstku 38
Obr. 17. Měření pádová výšky 39
Obr. 18. Měření celkového propérování 40
Obr. 19. Měření pádová výšky a celkového 41
Obr. 20. Měření propérování tlumiče 42
Obr. 21. Měření svislé síly 43
Obr. 22. Padostroj PS-1 44
Obr. 23. Nebezpečí nestability strojních součástí při rekonstrukci Padostroje PS-1 45
Obr. 24. Nebezpečí pádu závaží při špatném použití bezpečnostních prvků 45
Obr. 25. Nebezpečí přimáčknutí nebo rozdrcení částí těla od zavěšených jednotlivých částí stroje určených k manipulaci 46
Obr. 26. Nebezpečí vystříknutí vysokotlaké tekutiny 46

Seznam tabulek

Tabulka 1 Význam rizik 7
Tabulka 2. Graf pro odhad velikosti rizika a matice rizik 8
Tabulka 3. Identifikovaná rizika při výrobě 13
Tabulka 4. Identifikovaná rizika při přepravě 14
Tabulka 5. Identifikovaná rizika při montáži, instalaci a uvedení do provozu 14
Tabulka 6. Identifikovaná rizika při provozu v pracovním prostoru v horní části stroje 15
Tabulka 7. Identifikovaná rizika při provozu pod pohyblivým stolem stroje 16
Tabulka 8. Identifikovaná rizika při provozu v pracovním prostoru v okolí stroje 17
Tabulka 9. Identifikovaná rizika při údržbě v pracovním prostoru v horní části stroje 18
Tabulka 10. Identifikovaná rizika při údržbě v pracovním prostoru pod pohyblivým stolem stroje 19
Tabulka 11. Identifikovaná rizika při údržbě v pracovním prostoru v okolí stroje 19
Tabulka 12. Identifikovaná rizika při vyřazení stroje z provozu 20

Zkratky

AVA	Aero Vodochody Aerospace
CS	Certification specification (Předpis letové způsobilosti vydaný EASA)
ČSN	Česká technická norma
EASA	European Aviation Safety Agency (Evropská agentura pro bezpečnost letectví)
FAR	Federal Aviation Regulation (Federální letecké předpisy USA)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Mezinárodní organizace pro civilní letectví)
JAR	Joint Aviation Requirements (Společné letecké předpisy)
MIL	Military (Normy branných sil Spojených států amerických)
NATO	North Atlantic Treaty Organization (Severoatlantická aliance)
OVL MO	Odbor vojenského letectví Ministerstva obrany ČR
PC	personal computer (osobní počítač)
PCM	Pulse Code Modulation
ÚCL	Úřad pro civilní letectví ČR (Civil Aviation Authority of the Czech Republic (CAA CZ))
VZLÚ	Výzkumný a zkušební letecký ústav
BOZP	Bezpečnosti a ochrana zdraví při práci
OOPP	Osobní ochranné pracovní prostředky

C	(F)	kapacita kondenzátoru
E	(Pa)	modul pružnosti
g	(m/s^2)	tíhové zrychlení
l	(m)	vzdálenost elektrod kondenzátoru
S	(m^2)	plocha elektrod kondenzátoru
α	(K^{-1})	teplotní koeficient odporu
R	(ohm)	elektrický odpor
R_t	(ohm)	elektrický odpor v závislosti na teplotě

ε	($F.m^{-1}$)	permeabilita dielektrika kondenzátoru
σ	(Pa)	je mechanické napětí
ρ	(Ωm)	měrný odpor