

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ  
PRÁCE**

**2022**

**HUU PETR  
PHAM**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pham** Jméno: **Huu Petr** Osobní číslo: **470023**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Výrobní inženýrství**  
Specializace: **Bez specializace**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Optimalizace zařízení pro pádové zkoušky přepravních obalů a airbagů**

Název diplomové práce anglicky:

**Optimization of drop test equipment for transport packaging and airbags**

Pokyny pro vypracování:

1. Popis pádových zkoušek
2. Analýza současného stavu zařízení
3. Návrh mechanické části zařízení - mechanismu výškového nastavení (pádové výšky), případně protizávaží pro zvýšení hmotnosti testovaného dílu
4. Návrh pneumatického pohonu ventilů, elektrického ovládacího zařízení a tlumení sklápěcího mechanismu

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

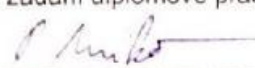
**Ing. Petr Mikeš, Ph.D. ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

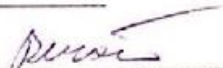
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **21.03.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **29.07.2022**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

  
Ing. Petr Mikeš, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce


  
Ing. Libor Beránek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
prof. Ing. Michael Valášek, Dr.Sc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

25. 4. 2022  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá optimalizací zařízení pro pádové zkoušky modulů volantových airbagů a přepravních balení. V rešeršní části jsou uvedeny normy popisující výkonnostní zkoušky přepravních kontejnerů a systémů, pádové a nárazové zkoušky modulů volantových airbagů. V experimentální části jsou popsány provedené optimalizace a pádová zkouška, zkouška koncentrovaným nárazem přepravního balení a pádová a nárazová zkouška volantového airbagu.

### Klíčová slova:

Pádová zkouška, nárazová zkouška, pádové zařízení, přepravní balení, volantový airbag

## Abstract

This thesis deals with the optimization of drop test machine used for drivers airbag modules and packaging. The research part describes standard practice for performance testing of shipping containers and systems and standard used for impact and drop tests of drivers airbag modules. The experimental contains optimization steps of drop test machine. There are also shown procedure of drop test and concentrated impact test of packaging and drop test and impact test of drivers airbag module.

### Key words:

Drop test, impact test, drop test machine, packaging, drivers airbag



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma Optimalizace zařízení pro pádové zkoušky přepravních obalů a airbagů vypracoval samostatně a veškeré literární prameny a zdroje informací, které jsem použil, cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

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

V Praze dne\_ . . . . .

. . . . .



## Poděkování

Děkuji panu Ing. Petrovi Mikešovi, Ph.D. za odborné vedení rady a trpělivý přístup při zpracování této diplomové práce. Dále děkuji společnosti IDIADA CZ, a.s. za uskutečnění experimentu.



## Obsah

|  |    |
|--|----|
| Seznam zkratek .....   | 8  |
| Úvod .....   | 9  |
| REŠERŠNÍ ČÁST .....  | 10 |
| 1. Úvod do testování.....  | 10 |
| 1.1. Testování výkonnosti přepravních kontejnerů a systémů .....               | 10 |
| 2. Zdroje zkušebních metod .....   | 10 |
| 2.1. Normy ASTM D4169-16 .....   | 11 |
| 2.1.1. Metoda A – Manipulace (ruční a mechanická).....                         | 12 |
| 2.1.2. Metoda B – Skladování ve skladu, metoda C – Skladování ve vozidle<br>16 |    |
| 2.1.3. Metoda D – Vibrace stohu, metoda E – Vibrace ve vozidle .....           | 16 |
| 2.1.4. Metoda F – Vibrace volně uloženého balení.....                          | 16 |
| 2.1.5. Metoda G – přepínání kolejnic .....                                     | 16 |
| 2.1.6. Metoda H – Klimatické a atmosférické podmínky .....                     | 16 |
| 2.1.7. Metoda I – nízký tlak (vysoká nadmořská výška) .....                    | 17 |
| 2.1.8. Metoda J – Koncentrovaný náraz .....                                    | 17 |
| 2.2. Normy ISTA.....   | 22 |
| 3. Aplikace pádových zkoušek .....   | 24 |
| 3.1. ISTA 6-FedEx-A .....  | 24 |
| 3.2. Zkoušky volantových Airbagů [5] .....                                     | 28 |
| 4. Analýza současného stavu zařízení.....                                      | 31 |
| 4.1. Konstrukce.....   | 31 |
| 4.2. Pneumatický obvod.....  | 32 |
| 4.3. Bezpečnost zařízení.....  | 34 |
| 4.4. Zhodnocení provedení zařízení.....  | 34 |



|      |   |    |
|------|---|----|
| 5.   | Konstrukční řešení zařízení pro zkoušky volným pádem .....          | 35 |
|      | Experimentální část.....  | 38 |
| 6.   | Optimalizace pádového zařízení.....                                 | 38 |
| 6.1. | První optimalizace .....  | 38 |
| 6.2. | Druhá optimalizace .....  | 44 |
| 6.3. | Třetí optimalizace.....   | 48 |
| 6.4. | Čtvrtá optimalizace .....   | 52 |
| 7.   | Zařízení pro zkoušky koncentrovaného nárazu .....                   | 53 |
| 7.1. | Zařízení pro zkoušku koncentrovaného nárazu přepravních balení..... | 53 |
| 7.2. | Zařízení pro nárazovou volantových airbagů .....                    | 54 |
| 8.   | Provedení zkoušek přepravního balení .....                          | 58 |
| 8.1. | A – Handling – First Sequence .....                                 | 60 |
| 8.2. | J – Concentrated Impact .....                                       | 62 |
| 8.3. | A – Handling – Second Sequence .....                                | 63 |
| 8.4. | Výsledky zkoušky .....  | 65 |
| 9.   | Provedení zkoušek volantových airbagů .....                         | 68 |
| 9.1. | Nárazová zkouška volantového airbagu.....                           | 68 |
| 9.2. | Pádová zkouška volantového airbagu.....                             | 70 |
| 9.3. | Výsledky zkoušky .....  | 71 |
| 10.  | Přínos optimalizace pádového zařízení .....                         | 74 |
|      | Závěr.....  | 77 |
|      | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....                                     | 80 |
|      | SEZNAM OBRÁZKŮ .....  | 82 |

## Seznam zkratek

ASTM – American Society for Testing and Materials

ISTA – International Safe Transit Association

DC – distribuční cyklus

FedEx – Federal Express Corporation

UPS – United Parcel Service

DHL – Dalsey, Hillblom and Lynn

NFC – Near field communication

PVC – Polyvinylchlorid





## Úvod

Při dodání zboží zákazníkovi musí produkty dorazit na místo určení bezpečně a nepoškozené. Rozbité produkty, kontaminace a úniky mohou ohrozit bezpečnost pacientů, zklamat zákazníka, snížit ziskovost a nakonec vést ke ztrátě budoucího prodeje. Jedním z nejlepších způsobů, jak zajistit, že produkt bezpečně dorazí ke koncovému uživateli, je využít správně navržený a otestovaný systém balení, tím bude zajištěno, že obsah bude chráněn při pohybu přepravním distribučním prostředím.

Obdobně je tomu tak u modulů volantových airbagů. Pro jejich správnou funkci, tím tedy i bezpečnost řidiče je potřeba provést mnoho zkoušek, než se uvedou do výroby. Mezi tyto zkoušky patří mimo jiné pádové zkoušky ověřující bezpečnost a stabilitu modulu volantového airbagu při nesprávně manipulaci s modulem, případně jeho pádu při montáži nebo přepravě a nárazové zkoušky simulující používání klaksonu.

Cílem této diplomové práce je optimalizace současného pádového zařízení používaného ve společnosti IDIADA CZ, a.s. Rešeršní část uvádí popis norem zabývajících se testování výkonnosti přepravních kontejnerů a systémů. Popisuje také pádové a nárazové zkoušky prováděné na modulech volantových airbagů dle normy IEC 60068-2-31. Dále se zabývá možnostmi konstrukčních řešení běžně prodávaných pádových zařízení a analýzou současného stavu zařízení.

Experimentální část se zabývá optimalizací zařízení, řeší problém nevhodně navrhnutého ovládání a s tím související složitější obsluhou. Cílem je úprava pneumatického obvodu pohánějícího pohyblivé části zařízení a přidání elektrického obvodu sloužícího ke spínání elektricky ovládaných pneumatických součástí. Pro ilustraci jsou dále v experimentální části provedeny zkoušky koncentrovaného nárazu pro přepravní balení, nárazové zkoušky pro moduly volantových airbagů a pádové zkoušky pro balení i volantové airbagy.

Vyhodnocení experimentu povede, k jakým optimalizacím pádového zařízení došlo, případně jaké alternativy bylo možné použít a jeho celkový přínos.

Tato diplomová práce byla vypracována ve spolupráci se společností IDIADA CZ, a.s.



# REŠERŠNÍ ČÁST

## 1. Úvod do testování

Lidské chyby mohou způsobit defekt nebo selhání v jakékoli fázi životního cyklu výrobku, ať už se jedná o výrobu nebo provoz. Výsledky jsou klasifikovány jako triviální nebo katastrofické v závislosti na důsledcích chyby.

Testování probíhá v souladu s právními požadavky nebo průmyslovými standardy. Tyto normy a pravidla specifikují, jaké techniky by měly být použity. Například automobilový průmysl, avionika, lékařství a farmaceutický průmysl atd., všechny mají normy pokrývající testování produktu.

### 1.1. Testování výkonnosti přepravních kontejnerů a systémů

Výsledky těchto testovacích metod mohou být návrháři obalů použity několika způsoby. Nejčastěji se používají jako nástroj pro technický vývoj, aby se zjistilo, jak dobře zvolený design a materiál plní svou práci při ochraně produktu. Dále tyto metody mohou sloužit k označení, zda přepravní balení bude fungovat podle očekávání po celý distribuční cyklus. Technické vývojové testy často přetěžují obal, aby určily jeho limity, když je vystaven konkrétnímu zatížení. Výkonnostní testy udávají výsledek o vyhovění nebo neúspěchu se stejným kontejnerem zavřenou přes celou sadu testů. [1], [6], [7]

## 2. Zdroje zkušebních metod

Nejstarším a největším vývojářem metod testování obalů, včetně metod pro přepravní kontejnery, je ASTM International (American Society of Testing and Materials). Testovací metody ASTM, které jsou založeny na smluveném schvalovacím procesu a jsou celosvětově akceptovány. Tyto standardy jsou aktualizovány nejméně každých 5 let. S jejich vývojem začali v roce 1914 a nyní zahrnují více než 130 testovacích metod, specifikací nebo postupů, které jsou zahrnuty ve výroční knize standardů ASTM. [1], [6], [8]



Další asociací, které se zabývá zkouškami obalových materiálů, je The International Safe Transit Association (ISTA), která publikovala sedm typů zkušebních metod, mezi které patří:

- Non-Simulation Tests
- Partial Simulation Tests
- General Simulation Tests
- Enhanced Simulation Tests
- Member Performance Tests
- Development Tests

Značka ISTA Transit Tested na obalu produktu dokazuje, že přepravní obal prošel platným ISTA testem před odesláním. Poskytuje nejvyšší úroveň důvěryhodnosti procesu návrhu, testování a ověřování výkonu zabaleného produktu. [13]

## 2.1. Normy ASTM D4169-16

ASTM D4169 - 16, standardní metoda pro testování výkonnosti přepravních kontejnerů a systémů, byla široce přijata jako národní norma pro měření očekávané výkonnosti přepravních kontejnerů. Je to v soubor testovacích metod, distribučních režimů a úrovní intenzit testování. Jejich spojením ve sledu, který simuluje konkrétní distribuční prostředí, vznikne „distribuční cyklus“ (DC) obsahující určité druh rizik (testy). Pokud přepravní obal a obsah odolají distribučnímu cyklu, pak lze předpokládat, že odolají i skutečné manipulaci a přepravě stejným způsobem distribuce. [1], [2]

Každý druh rizik v distribuci je identifikován v normě D4169 pomocí zkušební metody sloužící pro jeho simulaci. Tabulka 1 uvádí deset druhů rizik uznaných ve výkonnostní normě spolu s odpovídajícími zkušebními metodami, které jsou dále popsány se zaměřením na pádové zkoušky, na které je tato práce zaměřena. V současné době je v D4169 18 distribučních cyklů, z nichž každý obsahuje sekvenci rizik očekávaných touto konkrétní distribuční metodou. [1], [2]



Tabulka 1: Distribuční cykly (upraveno dle [1])

| Kód | Prvek rizika                      | Simulace prvku rizika                 | Označení ASTM                    |
|-----|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| A   | Manipulace – ruční a mechanická   | Pád, náraz, test stability            | D5276, D880, D4003, D6055, D6179 |
| B   | Skladování ve skladu              | Komprese                              | D642                             |
| C   | Skladování ve vozidle             | Komprese                              | D642                             |
| D   | Vibrace stohu                     | Nahodilé vibrace                      | D4728                            |
| E   | Vibrace ve vozidle                | Nahodilé nebo sinusové vibrace        | D4728, D999 Metoda B nebo C      |
| F   | Vibrace volně uloženého balení    | Vibrace (opakující se náraz)          | D999 Metoda A1 nebo A2           |
| G   | Přepínání kolejnic                | Podélný náraz                         | D4003, D5277                     |
| H   | Klimatické, atmosférické podmínky | Teplota, vlhkost (cyklické vystavení) | D4332                            |
| I   | Podtlak                           | Vakuum                                | D6653                            |
| J   | Koncentrovaný náraz               | Náraz tělesem                         | D6344                            |

### 2.1.1. Metoda A – Manipulace (ruční a mechanická)

Existují dva typy manipulace s nebezpečným prvkem, ruční a mechanické. Zkouška ruční manipulace by měla být použita pro menší balíky a jakékoli přepravní kontejnery, se kterými lze manipulovat ručně, do hmotnosti 90,7 kg (200lb). [1], [2]

Mechanická manipulace by se měla používat pro sdružené náklady, velké bedny a jakékoli přepravní kontejnery nebo systémy, kterými bude manipulováno mechanickými prostředky. [1], [2]

Zkušební metody jsou určeny ke stanovení schopnosti přepravní jednotky odolávat rizik vyskytujícím se při ruční manipulaci, jako je nakládání, vykládání, stohování, třídění nebo paletizace. Hlavním nebezpečím těchto operací jsou nárazy způsobené pádem nebo házením. Velikost, hmotnost a tvar přepravní jednotky ovlivní intenzitu těchto rizik. Je povoleno několik možností zkušebních metod, včetně volného pádu a zkoušky simulovaného pádu pomocí šokových strojů.

Metoda mechanické manipulace je obdobná ruční, lze použít, pokud se předpokládá, že manipulace bude pouze mechanická. [1], [2]



## Pádové zkoušky

Náhodné nebo úmyslné shození nebo náraz kontejnerů během manipulace, nakládání a vykládání je hlavním zdrojem poškození většiny balíků do 50 kg (110 lb). Testovací metoda ASTM D5276, Drop Test of Loaded Containers by Free Fall, popisuje vybavení a metodiku pro provádění laboratorních simulací tohoto rizika. Mohou být testovány všechny typy přepravních kontejnerů, včetně krabic, válcových kontejnerů a pytlů. Metoda může být použita pro kontrolu schopnosti kontejneru přestát volný pád, hodnocení ochranné schopnosti kontejneru a vnitřního obalu, porovnání výkonu různých konstrukcí obalů nebo pozorování postupného selhání kontejneru a poškození jeho obsahu. Alternativou k volnému pádu je zkušební metoda ASTM D5487, simulovaný pád naložených kontejnerů pomocí šokového nárazového stroje. Tato metoda poskytuje přesnější umístění balíku při nárazech, zejména při nárazech na plochu, kde je náraz přenášený na obsah balení obvykle největší. Tato zkušební metoda je zvláště vhodná pro obalové materiály, se kterými se běžně manipuluje ručně během určité části jejich distribučního cyklu. Kontejnery, se kterými nelze manipulovat ručně, lze zkoušet podle jiných zkušebních metod ASTM. [1], [3]

## Pádové zařízení

Zařízení pro pádové zkoušky by mělo mít konstrukci, která zaručuje podepření a zajištění zkušební vzorku v orientaci odpovídající dopadu. Musí zajistit přesné nastavení výšky pádu. Mechanismus stroje nesmí po uvolnění uvést vzorek do rotace nebo do jiného pohybu, než je volný pád, také nesmí dojít k bránění pohybu vzorku (ramena uvolňovacího mechanismu se musí sklopit rychleji, než padá vzorek).

Plocha určená k nárazu vzorku musí být vodorovně umístěná a dostatečně tuhá, aby nedošlo k její deformaci. Materiál nárazové plochy je beton, kámen nebo ocel. Pakliže je nárazová plocha ocelová deska, musí mít tloušťku alespoň 13 mm a musí být pevně ukotvena. Délka a šířka dopadající plochy vzorku musí být stejná nebo menší než délka a šířka nárazové plochy. [1], [3]



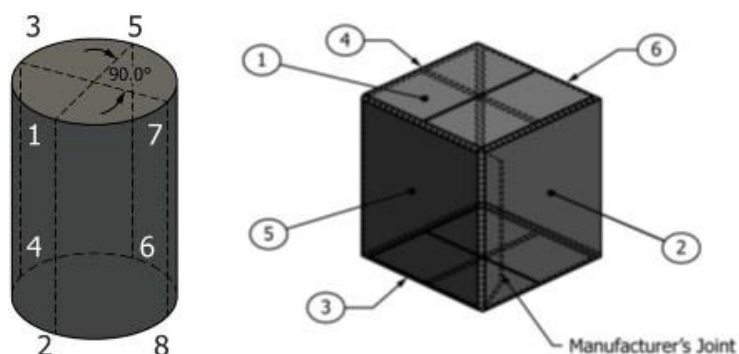
Obr. 1: Vertikální pádové zařízení (převzato z [10])

### Vzorek

Má-li být vyhodnocena ochranná schopnost kontejneru, je vhodnější použít kontejner se skutečným obsahem, pro který byl navržen, nebo nákladem simulujícím obsah. Je důležité uzavřít kontejner stejným způsobem, jaký bude použit při jeho přípravě k odeslání. [1], [3]

Zalepený kontejner je nutné nechat vysušit a nechat stárnout, aby jakékoli lepidlo, ochranné nátěry, těsnicí páska atd. dosáhly svého konečného (normálního) stavu. [1], [3]

Přepravní balení mohou různé tvary, pro vypracování protokolů ze zkoušek a zapsání dopadového místa je potřeba, aby plochy a hrany vzorku byly označeny. Označení rohu dopadu balení tvaru hranolu by mohlo být například 1–2–6, viz obr. 2



Obr. 2: Příklad označování ploch a hran na vzorcích (převzato z [3])



V následujících odstavcích jsou uvedené některé z používaných zkušebních cyklů pádových zkoušek. [1], [3]

#### Postupy za konstantní výšky pádu:

Tyto postupy sestávají z jednoho nebo více pádu vzorku za konstantní výšky. Zkoušku je doporučeno provést vícekrát z důvodů srovnání a pro statistické analýzy.

Na přepravním balení je před provedením zkoušky označena jedna z hran balení, jež poslouží jako orientační hrana, od které se budou odvíjet následující polohy dopadu balení. Po označení hrany následuje samotná zkouška. [1], [3]

Mezi typické typy cyklů zkoušky patří:

#### **Single Drop**

Pád balení ze specifické výšky ve výsledné orientaci. [3]

#### **Ten drop cyklus (pro balení)**

Kontejner se pouští na spodní roh (například 2-3-5), následuje pád na nejkratší hranu vedoucí z tohoto rohu, pád na střední hranu vedoucí z tohoto rohu, poté následuje pád na nejdelší hranu téhož rohu. Pád na dvě nejmenší strany (plochy), na dvě střední strany (plochy) a dvakrát pád na dvě největší strany (plochy) kontejneru. [3]

#### **Cyklus 12 Edge Drop (pro balení)**

Zkouška skládající se z pádu na každou hranu kontejneru tvaru kvádru. [3]

#### **Cyklus 8 Corner Drop**

Zkouška skládající se z pádu na každý roh kontejneru tvaru kvádru. [3]

#### **Repeated Drop Cyklus**

Zkouška se provádí pro předepsaný cyklus do doby, dokud na kontejneru nebo obsahu není zaznamenán specifikovaný typ poškození. Tento postup určuje počet pádů nebo cyklů potřebných k poškození kontejneru nebo jeho obsahu. [3]



### 2.1.2. Metoda B – Skladování ve skladu, metoda C – Skladování ve vozidle

Tyto zkušební metody slouží k určení schopnosti přepravní jednotky odolat tlakovému zatížení, ke kterému dochází během skladování ve skladu nebo při přepravě ve vozidlu. Požadované zatížení musí vzít v úvahu dobu skladování, směr skládání kontejneru, rozdílné pevnosti kontejnerů, vlhkost, teplotu, předchozí manipulaci a přepravu, způsob podepření nákladu a vibrace. [1]

### 2.1.3. Metoda D – Vibrace stohu, metoda E – Vibrace ve vozidle

Metody slouží k určení schopnosti přepravních jednotek odolat prostředí vertikálních vibrací během přepravy a dynamickým tlakovým silám způsobeným stohováním ve vozidlu. Zohledňována je velikost, frekvenční rozsah, trvání a směr vibrací. Použity mohou být metody se sinusovými a náhodnými vibrace. Tyto dvě metody nejsou ekvivalentní a nemusí nutně vést ke stejným výsledkům. Metoda s náhodnými vibracemi vede k lepší simulaci skutečných dopravních prostředí a je preferovanou metodou. Metoda sinusového testu se často používá jako prostředek pro stanovení a pozorování rezonancí systému. [1]

### 2.1.4. Metoda F – Vibrace volně uloženého balení

Tato metoda slouží k určení schopnosti přepravní jednotky odolat opakovaným otřesům, ke kterým dochází během přepravy volně uložených nákladů. Metoda zohledňuje amplitudu, směr a trvání opakujících se otřesů. [1]

### 2.1.5. Metoda G – přepínání kolejnic

Tyto zkušební metody slouží k určení schopnosti přepravní jednotky odolat úrovním zrychlení a tlakovým silám, které se mohou vyskytnout během operací přepojování kolejnic. [1]

### 2.1.6. Metoda H – Klimatické a atmosférické podmínky

Metoda slouží k zajištění očekávaných a často rychlých změn okolních podmínek spojených s vojenskou distribucí materiálu. Tento plán určuje náchylnost celého balení k účinkům vlhkosti, teplotnímu šoku nebo kombinovaným účinkům cyklického vystavení. Výsledkem kondicionování může být pozorování/měření vlhkosti nebo objemu vody





v obalech, známky koroze na balených předmětech nebo poškození integrity krytu do takové míry, že již nelze zajistit fyzickou ochranu. [1]

### 2.1.7. Metoda I – nízký tlak (vysoká nadmořská výška)

Tato metoda slouží k nasimulování očekávaného poklesu tlaku, když jsou balené produkty přepravovány určitými způsoby, jako jsou dopravní letadla nebo pozemní cestou přes horské průsmyky. Tento test by měl být zahrnut pro produkty a obaly, které by mohly být citlivé na prostředí s nízkým tlakem, například utěsněné flexibilní neporézní obaly, nádoby na kapaliny nebo porézní obaly. [1]

### 2.1.8. Metoda J – Koncentrovaný náraz

Metoda poskytuje simulaci očekávaných nízkourovňových koncentrovaných nárazů, ke kterým může dojít během třídění a přepravy. Test je použitelný pouze pro lehké přepravní kontejnery z vlnité lepenky s jednou stěnou a obaly zabalené v plastové fólii a sdružené náklady. [1], [4]

#### Nárazové zkoušky

Tato zkušební metoda je určena k vyhodnocení schopnosti kontejneru odolávat síle soustředěných nárazů vnějších zdrojů, jako jsou ty, s nimiž se setkáváme při různých způsobech dopravy a manipulace. Tyto nárazy mohou být způsobeny nárazem sousedního nákladu do kontejneru v přepravním vozidle, náhodnými nárazy do jiného nákladu při nakládání nebo vykládání z vozidel, narážením kontejnerů do sebe během třídění na dopravnících nebo skluzech nebo mnoha dalšími okolnostmi. [1], [4]

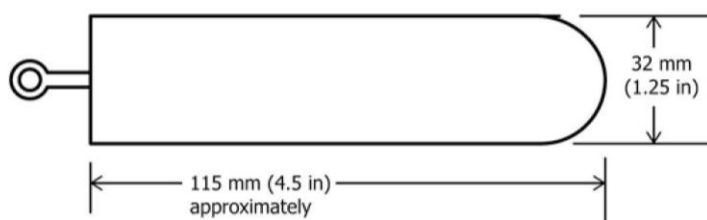
Tato zkušební metoda je určena ke stanovení schopnosti obalu chránit obsah před takovými nárazy a k vyhodnocení, zda je mezi stěnou obalu a jeho obsahem dostatečná vůle nebo podpora. [1], [4]

#### Nástroje k provedení nárazové zkoušky

##### **Válcová tyč s koncem tvaru polokoule**

Jedním z nástrojů pro provedení zkoušky nárazem je ocelová válcová tyč s polokulovým koncem o průměru  $32 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ , přibližně 115 mm dlouhá. Hmotnost impaktoru je  $680 \text{ g} \pm 15 \text{ g}$ . Na vrchní část impaktoru je možné nainstalovat šroub

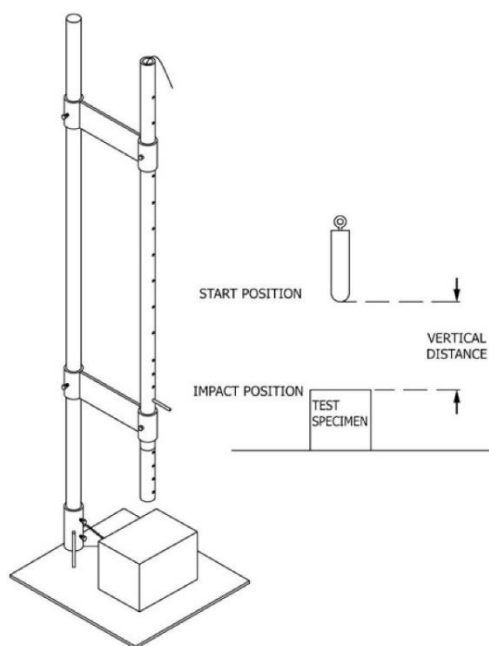
s okem k usnadnění umístění nástroje do požadované výšky, hmotnost šroubu musí být zahrnuta do 680 g (viz obr. 3). Druhým způsobem ustavení impaktoru v požadované výšce je podpěrným kolíkem procházející skrze vodící trubku. Pokud je závaží použito jako kyvadlo, je nutné šrouby s oky upevnit na bok nástroje (viz obr. 5) Hmotnost šroubů musí být opět zahrnuty do hmotnosti 680 g.



Obr. 3: Schéma tělesa s půlkulovým koncem (převzato z [4])

### Řízený volný pád

Válcová tyč je držena ve výchozí poloze v tuhé trubce o průměru alespoň 38 mm, hlavní osa trubky je kolmá v rozmezí 2 stupňů. Konec trubky by měl být umístěn 50 až 100 mm nad zkušebním vzorkem. Tyč může být držena v poloze, ve specifikované výšce, buď provázkem z horní části trubky, nebo podpěrným kolíkem umístěným skrz stranu trubky. [4]



Obr. 4: Schéma provedení nárazové zkoušky volným pádem (převzato z [4])

Závaží se po uvolnění nechá volně padat, aby svým zaobleným koncem narazilo na zkušební vzorek. Volně padající tyč musí narazit na zkušební povrch do 10 mm od požadovaného bodu nárazu. Zkušební plocha musí být kolmá ke směru nárazu. [4]

### Neřízený volný pád

Je-li požadována větší přesnost nárazové rychlosti, může být válcová hmota (tyč) upuštěna bez vedení trubky. Prostředky zavěšení závaží a jeho uvolnění musí být takové, aby nebyla ovlivněna přesnost umístění (výška pádu a bod dopadu).

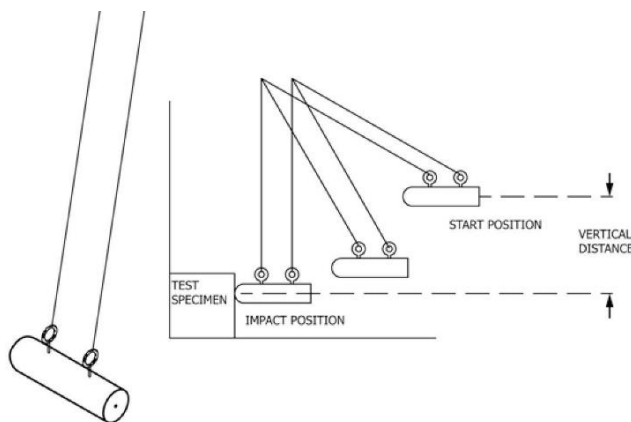
Volně padající tyč musí narazit na zkušební povrch do 10 mm od požadovaného bodu nárazu. Zkušební plocha musí být kolmá ke směru nárazu. [4]

### Kyvadlo

Dvě lanka zavěšují impaktor popsaný v předchozím odstavci tak, že jím lze kývat jako kyvadlem ze stanovené vertikální vzdálenosti. Délka kyvadlových lanek musí být alespoň 2 m. Lanka musí být zajištěna ve šroubech s okem, aby se zabránilo sklouznutí během zkoušky. Impaktor musí narazit na zkušební povrch do 10 mm od požadovaného bodu nárazu. Zkušební plocha musí být kolmá ke směru nárazu.

Vzorek musí být upevněn tak, aby při nárazu nedošlo k jeho pohnutí.

Opět jako při pádových zkouškách je důležité kontejner uvést do stejného stavu, v jakém bude při běžné manipulaci. [4]



Obr. 5: Schéma provedení nárazové zkoušky kyvadlem (převzato z [4])

### Nárazové zkoušky na rovině

Zkušební metoda ASTM D5277 popisuje provádění naprogramovaných horizontálních rázů pomocí šikmého rázového testeru, popisuje požadovanou přepážku vozíku, programovací materiál nebo zařízení a další úpravy, které jsou nezbytné pro simulaci nárazů standardního železničního vagónu. Tato metoda není vhodná pro tažná zařízení s dlouhým zdvihem nebo odpružené podvozky železničních vozů. [4]

### Nárazové zkoušky po nakloněné rovině

U velkých přepravních kontejnerů je alternativní metodou pro provedení nárazu testovací metoda ASTM D880, Impact Testing for Shipping Containers & Systems. Vedený zkušební vozík, nakloněný o  $10^\circ$ , je zatížen zkušebním vzorkem na náběžné hraně a následně vytažen po naklonění do vzdálenosti dostatečné k vytvoření požadované nárazové rychlosti. Vozík se poté uvolní a jede dolů po nakloněné ploše, dokud kontejner nenarazí na nárazovou plochu rovněž nakloněnou o  $10^\circ$ . [4]



Obr. 6: Nárazová zkouška na náběžné hraně (převzato z [12])

Pokud je testovací zařízení, určené pro zkoušku nazývanou „Conburův test“, zkonstruováno s nárazovou plochou o hmotnosti nejméně 50násobku hmotnosti nejtěžšího zkušebního vzorku, je považováno za ekvivalentní zkoušce volným pádem na intenzitu nárazu. ASTM D880 také zahrnuje použití kyvadlového zařízení jako alternativy ke sklonu. Oblíbenou testovací sekvencí a úrovní intenzity pro test nárazu na svahu je postup ISTA 1B pro kontejnery a smykové nebo paletované předměty o hmotnosti nad 150 lb. Specifikuje nárazovou rychlost 5,75 ft/s s dopady na všechny



čtyři strany, po nichž následuje rotační spodní pokles z výšky 8 palců. Nárazové zařízení pro naklonění může být také upraveno tak, aby mohlo reprodukovat otřesy podobné nárazům při přepínání železničních vozů. [4]



Obr. 7: Nárazová zkouška po nakloněné rovině (převzato z [12])

## 2.2. Normy ISTA

Testovací postupy ISTA jsou schváleny technickým oddělením ISTA. Nové postupy dostávají ve fázi implementace označení „Projekt“. Po uplynutí minimálně jednoho roku je „Projekt“ vyhodnocen. Projekt je přijat jako zavedený „Postup“, revidován a udržován jako „Projekt“ po další časové období, nebo zrušen. [9], [13]

### Série 1: Non-Simulation Tests

Testuje výdrž a robustnost kombinace produktu a balení. Metoda není určena k simulaci jevů v prostředí. Užitečné jako rutinní testy, zejména při vývoji produktu. [9], [13]

### Série 2: Partial Simulation Performance Tests.

Testy s alespoň jedním prvkem Série 3: General Simulation performance tests, jako je například kondicionování v atmosférickém prostředí nebo režim náhodných vibrací, aplikovaným k základním prvkům Série 1: Non-Simulation Tests. [9], [13]

### Série 3: General Simulation performance tests

Tyto metody jsou navrženy tak, aby v laboratorních podmínkách simulovaly faktory způsobující poškození produktu. Použit lze například při simulaci transportu balení různými typy vozidel a tras. Charakteristiky budou zahrnovat náhodné vibrace, různé výšky pádu vzorku a klimatickou úpravu. [9], [13]

### Série 4: Enhanced Simulation Performance Tests

Jedná se o zkoušky Série 3: General Simulation performance tests s alespoň jedním prvkem Série 5: Focused Simulation. Tato série obsahuje pouze jednu metodu, 4AB. [9], [13]

### Série 5 Focused Simulation Guides

Tato série se skládá pouze z návodů pro tvorbu laboratorních simulací založených na reálných rizicích poškození produktu při přepravě. [9], [13]



#### Série 6: Member Performance Tests

Testovací metody vytvořené asociací ISTA samotnou, nebo ve spolupráci se sdruženými společnostmi pro splnění jejich konkrétních účelů a aplikací. Tato série zahrnuje testy zcela originální a modifikace ISTA postupů uvedených výše. [9], [13]

#### Série 7: Development Tests

Tyto testy se používají při vývoji přepravních obalů. Mohou být použity k porovnání relativního výkonu dvou nebo více obalů, ale nejsou určeny k hodnocení ochrany poskytované baleným produktům. [9], [13]

### 3. Aplikace pádových zkoušek

Tyto testy mají pomoci zajistit, aby obal při přepravě k příjemci dostatečně chránil a svůj obsah.

Výše uvedené zkoušky jsou nejčastěji využívány přepravními společnostmi jako je FedEx, UPS, Geis nebo DHL. Tyto společnosti pádové zkoušky samy provádí, nebo často vyžadují provedení zkoušek výkonnosti přepravních kontejnerů po zákaznících, jejich přepravní balení převáží.

Jednou z výše zmíněných společností je FedEx, která nabízí možnost provedení zkoušek ve svých laboratořích. Tyto zkoušky jsou rozděleny podle hmotnosti produktu a provádí se dle norem ISTA 6-FedEx-A, ISTA 6-FedEx-B ze Série 6: Member Performance Tests a ISTA 3B ze Série 3: General Simulation performance tests. [3], [9]

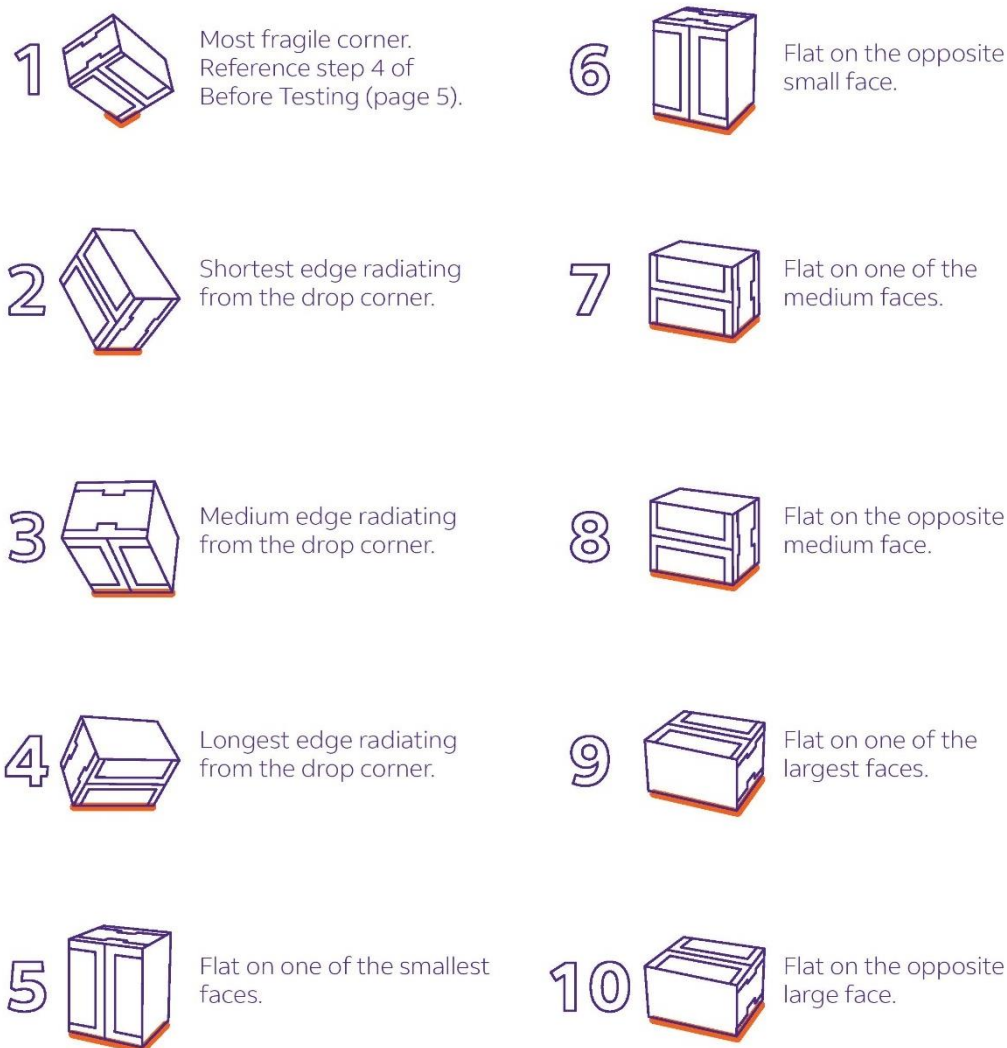
#### 3.1. ISTA 6-FedEx-A

Jedná se o normu pro testování výkonu přepravních balíků FedEx Ground® a FedEx Express® vážící méně než 150 liber (68 kg) a s a obvodem menším než 165" (0,420 m).

V laboratorních podmínkách musí být obalový materiál před vykonáním zkoušek kondicionován, aby dosáhl stejného stavu jako při reálném provozu. Norma ISTA 6-FedEx-A se skládá ze zkoušky volným pádem, komprese, koncentrovaného nárazu (pro ploché balení), Bridge Impact testu, vibračních zkoušek. [9], [13]

**Pádové zkoušky** této normy odpovídají normě ASTM D5276 – 19, Ten drop cyklu, průběh zkoušky je znázorněn níže.





Obr. 8: Pádová sekvence pro zkoušky dle ISTA 6-FedEx-A (převzato z [11])

**Zkouška koncentrovaného nárazu** je prováděna pomocí pádového zařízení. Na zkoušený obalový materiál je spuštěno zkušební těleso tvaru krychle vyrobené ze dřeva o rozměrech stěny 12", což odpovídá 304 mm, a je opatřena ocelovou dopadovou hranou, její hmotnost je 21 lb (9,5 kg).

Zkoušený balík je umístěn na betonovou nebo ocelovou podložku a na jeho střed je spuštěno zkušební těleso z výšky 30" (0,76 m) od plochy dopadu. Dopadová ocelová hrana musí být rovnoběžná s nejkratší hranou na zkoušené straně balíku. [9], [14]



Obr. 9: Concentrated Impact Test Procedures dle ISTA 6-FedEx-A (převzato z [14])

Pro zkoušku **Bridge Impact Test Procedures** se používá stejného zkušebního tělesa jako při zkoušce koncentrovaného nárazu. Zkušební balík je umístěn na dva bloky vysoké 4" (0,1 m). Obdobně jako u předchozí zkoušky je zkušební těleso umístěno do výšky 30" (0,76 m) od plochy dopadu a následně spuštěno nárazovou hranou rovnoběžně na zkoušenou nejkratší hranu na zkoušené straně balíku. [9], [14]



Obr. 10: Bridge Impact Test Procedures dle ISTA 6-FedEx-A (převzato z [14])

**Zkouška komprese** se provádí na kompresním zařízení řízeným počítačem. Hodnota zatížení závisí na konstrukci transportovaného balení a vypočítá se podle vzorce:

$$\text{Kompresní zatížení} = 0,007 \cdot (108 - H) \cdot L \cdot W \cdot F \text{ [lb]} \quad (1)$$

Kde: 0,007 - průměrná hustota nákladu v librách na krychlový

108 – maximální výška stohu balíku v tranzitu

H – výška přepravní jednotky v palcích

L – výška přepravní jednotky v palcích

W – šířka přepravní jednotky v palcích

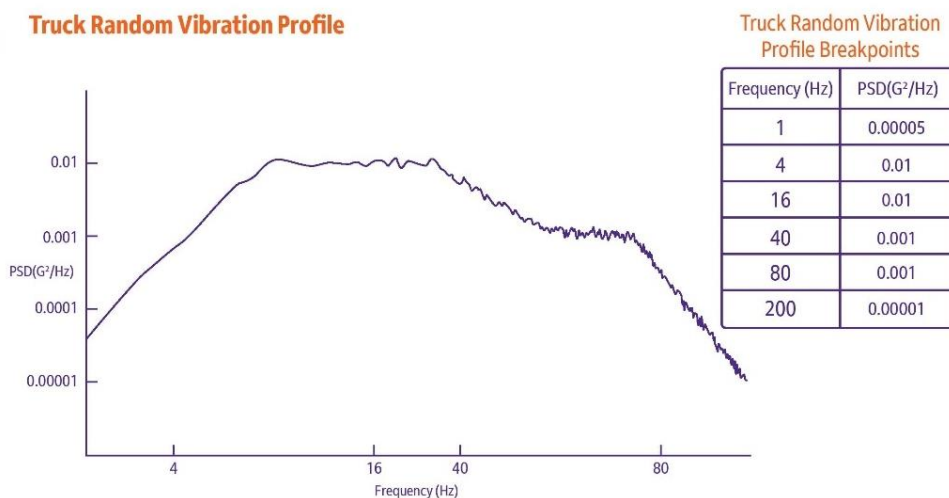
F – faktor pro vlhkost, čas a vzor stohování viz obr. 11

| Shipping Unit Construction  | F-Factors Assurance Level |     |     |
|---|---------------------------|-----|-----|
|   | I                         | II  | III |
| Corrugated, fiberboard or plastic container that may or may not have stress-bearing interior packaging using these materials, and where the product does not support any of the load. | 10.0                      | 7.0 | 5.0 |
| Corrugated, fiberboard or plastic container that has stress-bearing interior packaging with rigid inserts such as wood.   | 6.0                       | 4.5 | 3.0 |
| Containers constructed of materials other than corrugate, fiberboard or plastic that are not temperature- or humidity-sensitive, or when the product supports the load directly.      | 4.0                       | 3.0 | 2.0 |

The F-Factor is normally set to Assurance Level III and may vary as shown.

Obr. 11: F faktor pro zkoušku komprese dle ISTA 6-FedEx-A (převzato z [14])

Vibrační zkoušky jsou prováděny na elektrohydraulickém nebo elektropneumatickém vibračním stroji ovládaným počítačem. Vibrační systém je naprogramován tak, aby reprodukoval tři po sobě jdoucí sekvence náhodných vibračních profilů, simulujících transport. [9], [14]



Obr. 12: Vibrační profil nákladního automobilu pro vibrační zkoušku dle ISTA 6-FedEx-A (převzato z [11])



### 3.2. Zkoušky volantových Airbagů [5]

Volantové airbagy musí ve vývoji splňovat mnoho kritérií mezi které patří například požadavek na hořlavost, prodyšnost tkaniny airbagu, napěťovou izolaci – elektroinstalaci. Tato kapitola se zabývá požadavkem na odolnost proti nárazu, který se stanovuje pádovou zkouškou a nárazovou zkouškou jejíž metodika je popsána podle normy IEC 60068-2-31.

#### Pádové zkoušky volantových airbagů

Tyto zkoušky pokrývají procesy během manipulace, přepravy a instalace, ke kterým dochází ve velmi rané fázi životnosti produktu. Pádová zkouška je charakterizována podmínkami náhodného nárazu, které ji odlišují od zkoušky mechanického nárazu přesně specifikovanými parametry nárazu. Nárazy a mechanické otřesy vznikají zejména při přepravě kolejovými vozidly, kamionem, nakládání vysokozdvíhým vozíkem nebo při provozu ve vozidle.

#### Účel zkoušky

Tato zkouška slouží k tomu, aby se jednoduchým postupem zjistilo, jak se zkoušené zařízení chová s ohledem na volná, tedy neřízená pádová napětí, ke kterým může dojít při hrubém zacházení. Tento test lze také použít k ověření minimální stability modulu. Účelem je minimalizovat riziko úrazu a poškození modulu, ke kterému může dojít při jeho manipulaci. A zajistit plnou funkčnost, při pádu nebo jeho provozu.

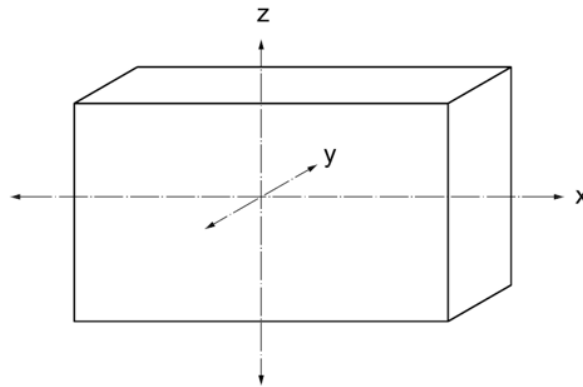
#### Požadavky zkoušky

Vzorek nesmí být aktivován během nárazové zkoušky v jakékoli orientaci pádu, modul nesmí vykazovat žádné funkční poruchy. Jakékoli viditelné poškození musí být zdokumentováno. Požadavky se vztahují jak na nekondicionovaný, tak na kondicionovaný materiál podle požadavku zákazníka.

Kromě výše uvedených požadavků by žádná část airbagu neměla být po zkoušce nijak deformována.

### Průběh zkoušky

Pro provedení jedné zkoušky je potřeba tří zkušebních vzorků, každý je podroben dvěma pádům v jedné ose v kladném a záporném směru. Zkušební vzorek musí být orientován tak, aby padal v jednom ze šesti směrů naznačených na obrázku 13.



Obr. 13: Schéma směrů pádů modulu volantového airbagu dle IEC 60068-2-31 (převzato z [5])

Testovaný objekt je puštěn z výšky stanovené normou, avšak pro volantové airbasy zákazník nejčastěji vyžaduje výšku 1,2 m. Vzorek dopadá na betonový podklad, po provedení každého pádu je modul zkontrolován. Zkouška se opakuje s použitím stejného zkušebního vzorku orientovaného tak, aby dopadl ve stejné ose v opačné orientaci. Následuje zkouška s dalšími vzorky ve zbývajících polohách. Zkouška probíhá za pokojové teploty  $RT (23 \pm 5) ^\circ C$ .



Obr. 14: Poloha pádů modulu volantového airbagu v osách Y, Z, X



## Nárazová zkouška volantových airbagů

Tato zkouška simuluje běžné používání klaksonů a také větší síly při jeho nouzovém použití.

### Požadavky zkoušky

Na krytu volantového airbagu se po zkoušce nárazem nesmí objevit žádné trhliny, praskliny nebo jiné deformace.

### Průběh zkoušky

Modul airbagu se namontuje do volantu a pevně upevní na dopadové místo impaktoru. Poté je nastavena požadovaná nárazová výška, ve které se impaktor ustaví.

Dopadová plocha impaktoru odpovídá středu volantového airbagu, nebo místa emblému na airbagu. Úhel dopadu je kolmý k rovině volantu, ve kterém je zkoušený airbag. Zkouška se provádí za teploty  $+23 \pm 2$  °C

Po provedení zkoušky se provádí vizuální kontrola testovaného vzorku a výsledky se zaznamenávají.

Průběh zkoušky musí být natočen z více úhlů z důvodu vizualizace celého testu. Minimální rychlost záznamu je 3000 snímků za sekundu.

## 4. Analýza současného stavu zařízení

### 4.1. Konstrukce

Optimalizované zařízení slouží pro testování přepravních balení volným pádem, na kterém lze také provádět zkoušku koncentrovaným nárazem. Pádové zařízení, kterým se zabývá tato diplomová práce je sestaveno z hliníkových konstrukčních profilů různých průřezů a spojovacích úhelníků, pohon zařízení je zajišťován pneumaticky. Nastavení výšky kyvného ramena, a tedy i výšky pádu bylo upravováno pomocí šroubového spoje mezi patkovým upevněním kyvného pohonu a kameny zasazenými v drážce nosného konstrukčního profilu.



**Obr. 15:** Upínání kyvného pohonu ke nosnému konstrukčnímu profilu

Na nosném konstrukčním profilu není vyznačena aktuální výška pádu, při každém nastavení výšky pádu bylo nutné použít svinovací metr. Konstrukce neumožňuje ustavení přepravního kontejneru v poloze pádu na hranu nebo roh, pro zkoušku volným pádem je zapotřebí dvou členů obsluhy. Při zkoušení modulů volantových airbagů volným pádem dochází bez pomoci obsluhy k rotaci kolem osy Z vzhledem k nesymetrickému rozložení hmotnosti airbagu, viz obr. 13. Vodorovné vyrovnaní ramena v horní poloze bylo zajištěno hliníkovým profilem s pryžovými dorazy.

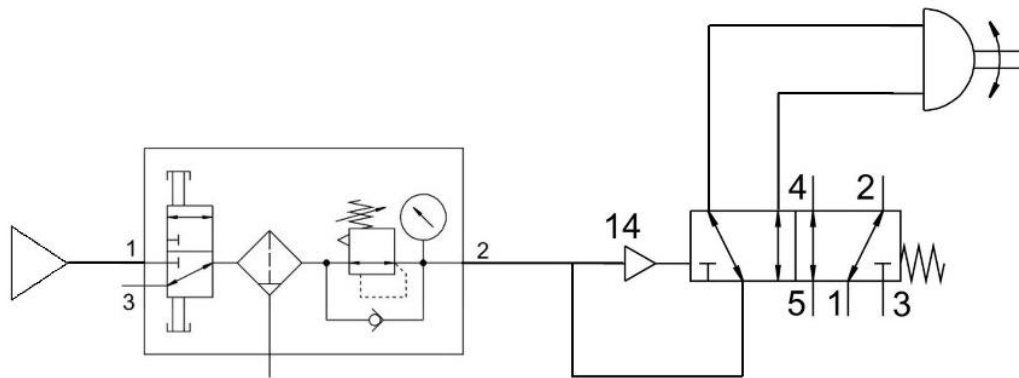


Obr. 16: Původní verze zařízení

#### 4.2. Pneumatický obvod

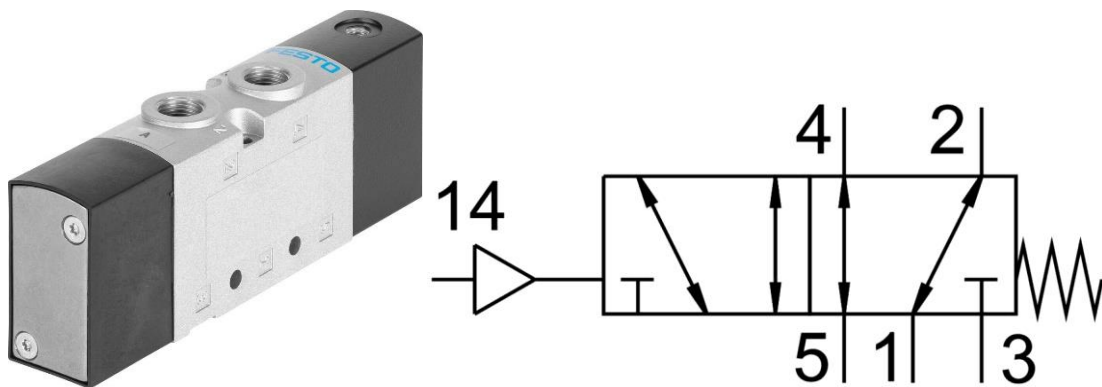
Kyvné rameno pádového zařízení bylo poháněno pneumatickým kyvným pohonem DRVS-40-270-P značky Festo, pohon je opatřen sadou dorazů, patkovým upevněním a nástrčnou přírubou, ke které je připevněno. Prvotní pneumatický obvod se skládal z jednotky stlačeného vzduchu LFR-1/4-DB-7-MINI-KC, pneumatického ventilu VUWS-L20-M52-M-G18 opatřeným dvěma tlumiči hluku, uzavíracím ručním ventilem HE-2-QS-10 a pneumatickým kyvným pohonem. Pro spojení komponentů byly použity vzduchové hadice PUN-H-8X1,25-BL. Na jednotce ovládání tlaku byl nastaven tlak 2,5 baru.





Obr. 17: Schéma pneumatického obvodu zařízení před optimalizací

V uzavřené poloze ventilu bylo kyvné rameno tlakem vzduchu ustáleno ve vodorovné pozici. V tuto chvíli se na rameno se položil testovaný vzorek. Po otevření ručního uzavíracího ventilu došlo k přepnutí pneumatického ventilu a rameno vykonalo pohyb do spodní polohy větší rychlostí než, padal vzorek. Kvůli nevhodnému stavu pneumatického obvodu nebylo zajištěno plynulé dobrzdění kyvného ramena. Docházelo k nárazu ramena do spojovacího úhelníku připevněného k nosné vzpěře skrze molitanovou desku. Po uzavření ventilu se rameno bez brždění vrátilo do vodorovné pozice, zastaveno bylo o pryžové dorazy.



Obr. 18: Pneumatický ventil VUWS-L20-M52-M-G18 (převzato z [15])

### 4.3. Bezpečnost zařízení

Současný stav pádového zařízení neposkytuje žádné bezpečnostní prvky. Hlavní nebezpečí úrazu hrozí po pádu testovaného vzorku, kdy je kyvné rameno sklopeno ve svislé poloze. Při sebrání vzorku by vlivem lidského faktoru mohlo dojít k nechtěnému otevření ručního ventilu, vrácení kyvného ramena do vodorovné polohy a následovnému úrazu.

### 4.4. Zhodnocení provedení zařízení

Pádové zařízení umožňovalo různé výškové nastavení a kyvné rameno dokázalo vyvinout dostatečnou rychlost pro uskutečnění volného pádu zkoušeného vzorku. Zařízení tedy bylo způsobilé k provádění pádových zkoušek. Z uživatelského a bezpečnostního pohledu však bylo nevhodné.

Při spuštění zařízení docházelo k prudkému a nebržděnému pohybu kyvného ramena směrem do dolní úvratě, následnému nárazu do provizorního dorazu ze spojovacího úhelníku a molitanové desky, což mělo za následek ohnutí hliníkových vzpěr kyvného ramena. Opakovanými nárazy docházelo také k postupnému povolování šroubových spojů v kyvném rameni a posouvání konstrukčních profilů ramena mimo jejich rovinu. Dalším důsledkem opakovaných nárazů bylo poškození páky dorazu. V neposlední řadě bylo zařízení příliš hlučné.



Obr. 19: Poškozené dorazová páka

Zařízení bylo schopné zkoušku volným pádem provést, avšak při dlouhodobějším používání bylo nutné utáhnout šroubové spoje na pohyblivých částech zařízení. Opětovné otevírání ručního ventilu umístěného volně na vzduchových hadicích, potřeba dvou operátorů při zkoušení obalových materiálu volným pádem na hranu nebo na roh a hluk zařízení dělalo zařízení uživatelsky nepřívětivé.

## 5. Konstrukční řešení zařízení pro zkoušky volným pádem

Pádová zařízení jsou nejčastěji konstruována dvěma způsoby, a to s jedním nebo s dvěma rameny. U zařízení s jedním ramenem dochází ke sklopení ramena ve směru nosného rámu, zkoušený vzorek je umístěn na ploše ramena, nebo v otvoru ramena, který bývá velmi často jeho součástí. [3], [16]



Obr. 20: Pádové zařízení s jedním ramenem (převzato z [16])

Pádové zařízení s dvěma kyvnými rameny má rovině umístěné dvě pneumaticky ovládaná ramena (desky). Testované přepravní balení je umístěno na kyvné ramena, přičemž střed balení by měl být na středu ramen. Při uvolnění balení konají ramena na rozdíl od zařízení s jedním ramenem pohyb do stran. [3], [16]



**Obr. 21: Pádové zařízení s dvěma rameny (převzato z [16])**

Pro velké balíky nebo paletizované produkty se často používá pádové zařízení s padajícím kontejnerem vedeným ložisky na vodícím nosníku. Během pádu je kontejner zrychlen směrem dolů, což testovanému vzorku umožní padat volným pádem. [3], [16]



**Obr. 22: Pádové zařízení s padajícím kontejnerem (převzato z [16])**

Další konstrukční možností pádového zařízení pro větší balíky (do 1300 kg) je pomocí mechanismu s rychlým uvolněním. Zařízení se skládá z mechanismu rychlého uvolnění, zvedacího kroužku, a nožního spínače. V čelistech mechanismu je upnutý zvedací kroužek, na který je nasazen třmen s popruhy, kterými je zajištěn vzorek. Po nastavení testovací výšky je kroužek uvolněn z čelistí mechanismu nožním ovladačem. [3], [16]



**Obr. 23: Pádové zařízení s mechanismem rychlého uvolnění (převzato z [16])**

Výškové nastavení je nejčastěji provedeno pomocí kladkostroje poháněným elektromotorem, nebo pohybovým šroubem ovládaným ručním ovladačem nebo počítačem. U levnějších zařízení běžné ruční nastavení výšky pádu pomocí pohybového šroubu. [3], [16]

## Experimentální část

### Cíl experimentální části

Cílem experimentální práce je optimalizace již zhotoveného pádového zařízení sloužící ke zkoušení převážně přepravních balení a modulů volantových airbagů. Zařízení bylo sestaveno ve společnosti IDIADA CZ, a.s. v Bezděčíně.

Hlavními částmi, které je nutné optimalizovat jsou především ovládání zařízení, nastavení výšky pádu a bezpečnostní prvky zabraňující úrazu obsluhy. Cílem je uvést zařízení do podoby, která bude funkční, snadná pro obsluhu a také bezpečná.

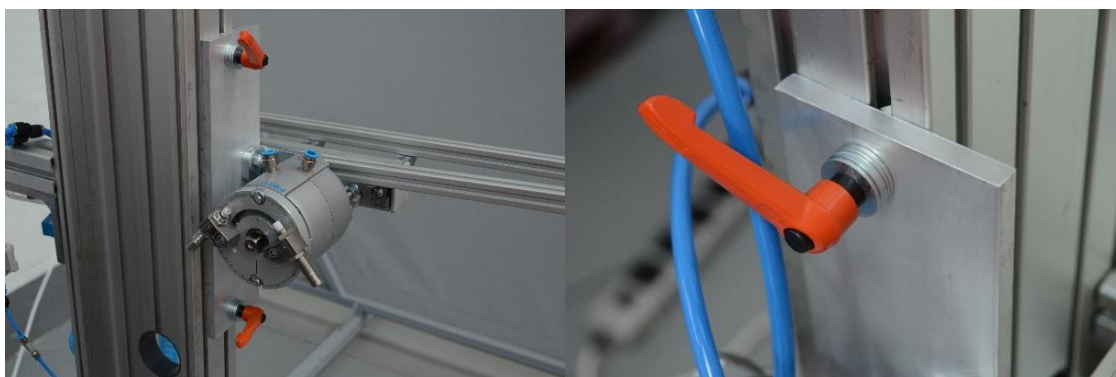
## 6. Optimalizace pádového zařízení

### 6.1. První optimalizace

Tato optimalizace se zabývá především funkčními nedostatky původního řešení pádového zařízení, mezi které patří nastavení výšky pádu a nebrzděný pohyb kyvného ramena.

#### Konstrukční úpravy

Hlavním konstrukčním nedostatkem bylo složité nastavení výšky. Patkové upevnění bylo zaměněno za desku z hliníkové slitiny, která byla posuvná vůči nosné vzpěře. Spojení hliníkové desky a nosného konstrukčního profilu bylo vyřešeno šroubovým spojem upínací páky s kamenem zasazeným do drážky sloupku.



Obr. 24: Výškové nastavení kyvného ramena pomocí hliníkové desky

Geometrie desky je zvolena podle potřeby dostatečného prostoru pro otáčení páky, kdy při umístění otvorů blíže ke kyvnému válci docházelo ke kolizi upínací páky se vzduchovými hadicemi a pneumatickými adaptéry.

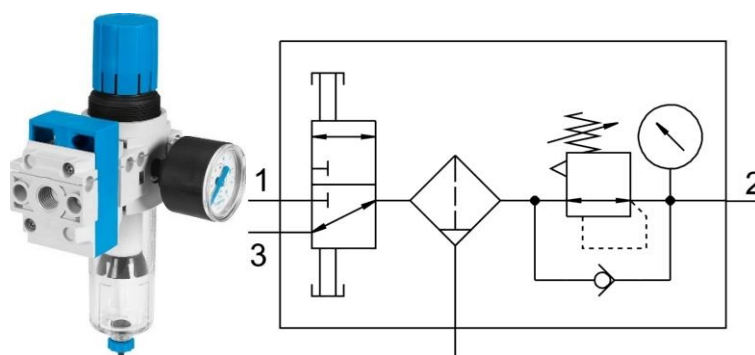
### Ovládání kyvného ramena

Před optimalizací byl pohyb kyvného ramena zcela nekontrolovaný. V horní pozici bylo zastaveno pryžovými dorazy a v dolní úvratí molitanovou deskou do které rameno narazilo plnou rychlostí.

Cílem optimalizace této části je především zabránění prudkého nárazu molitanové desky a dorazů.

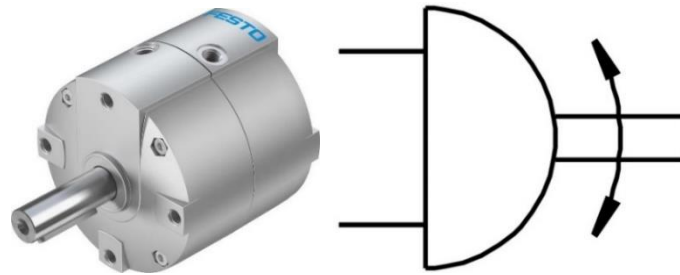
### Pneumatický obvod

Tlak v pneumatickém obvodu se reguluje pomocí jednotek pro úpravu stlačeného vzduchu LFR-1/4-DB-7-MINI-KC, kde byl nastaven tlak na 4 bary. Jednotka se skládá z redukčního ventilu s filtrem a manometrem, ručně ovládaného spínacího ventilu.



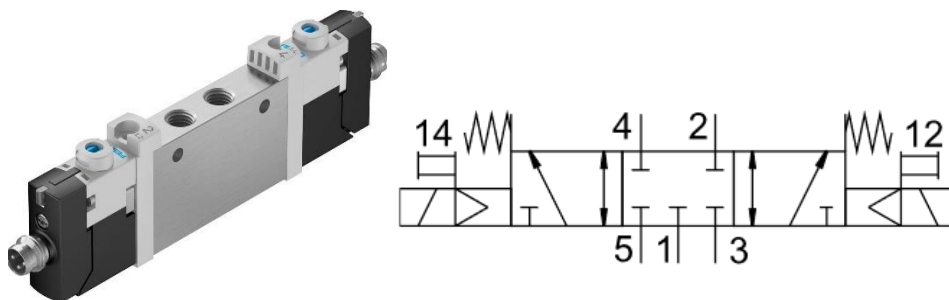
**Obr. 25: Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu (převzato z [15])**

Zdrojem pohybu kyvného ramena zůstal pneumatickým kyvným pohon DRVS-40-270-P.

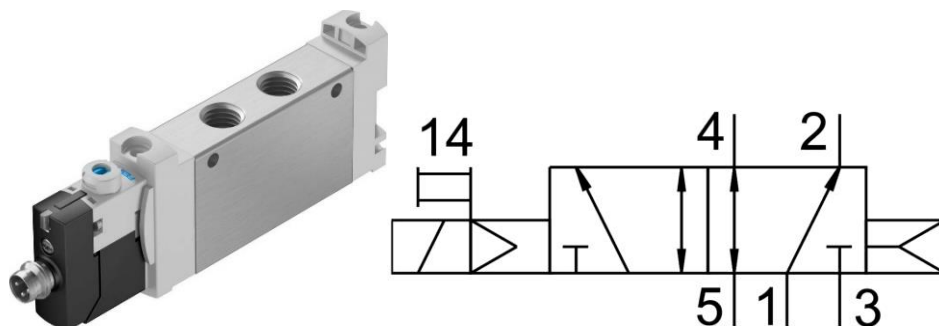


Obr. 26: Kynný pohon optimalizovaného zařízení (převzato z [15])

Místo pneumatického ventilu VUWS-L20-M52-M-G18 jsou použity dva elektromagnetické ventily VUVG-LK14-M52-AT-G18-1R8L-S a VUVG-L14-P53C-T-G18-1IP3 s tlumiči hluku, které zajišťují průtok vzduchu při proti pohybu kyvného ramena blížícího se do úvratě, což způsobí zpomalení kyvného ramena před dorazy a kontrované zastavení. Elektromagnetické ventily jsou ovládány pomocí programovatelných relé Lovato.



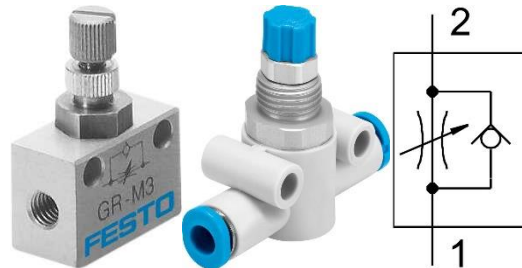
Obr. 27: Elektromagnetický ventil VUVG-LK14-M52-AT-G18-1R8L-S (převzato z [15])



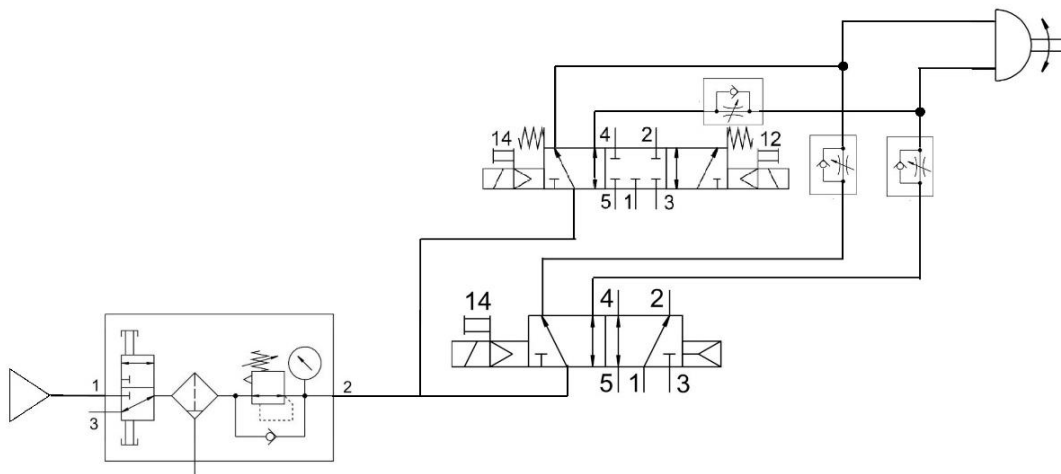
Obr. 28: Elektromagnetický ventil VUVG-L14-P53C-T-G18-1IP3 (převzato z [15])



Použity jsou také jednosměrné škrťací ventily GR-M3 a GR-QS-3, kterými se nastavuje tlak a rychlost brždění ramena, součástí škrťacích ventilů je aretační matice sloužící k zafixování pozice ventilu.



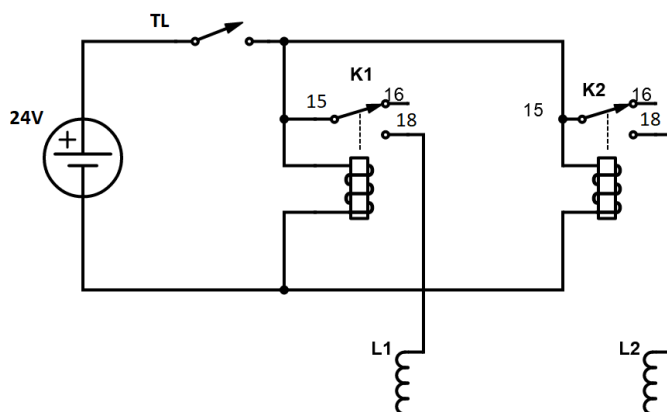
Obr. 29: Škrťací ventily GR-M3 a GR-QS-3 (převzato z [15])



Obr. 30: Schéma pneumatického obvodu zařízení – první optimalizaci

### Elektrický obvod

Ovládání elektromagnetických ventilů je provedeno programovatelnými relé TM M1 NFC značky LOVATO Electric. Použity jsou dvě relé, každé spíná jeden elektromagnetický ventil. Spouštění zařízení bylo prováděno vypínačem na prodlužovacím kabelu.



Obr. 31: Schéma zapojení elektrického obvodu zařízení - první optimalizace

|    |       |  |  |    |    |
|----|-------|--|--|----|----|
| K1 | 15-16 |  |  |    |    |
|    | 15-18 |  |  |    |    |
| K2 | 15-16 |  |  |    |    |
|    | 15-18 |  |  |    |    |
|    |       |  |  | T1 | T2 |

Obr. 32: Časové schéma programovatelného relé Lovato (převzato z [17])

Relé označené K1 má naprogramovanou funkci Dc2 blikáč a spíná elektromagnetický ventil VUVG-L14-P53C-T-G18-1IP3, K2 je naprogramované na monostabilní omezovač a spíná ventil VUVG-LK14-M52-AT-G18-1R8L-S. [17]

Po počtu nastavených sepnutí funkce monostabilního omezovače, v tomto případě nula sepnutí, zablokuje časovač. Pro opětovné provedení funkce je potřeba vypnout a resetovat časovač.

Dc2 blikáč má obdobnou funkci jako monostabilní omezovač, rozdílem je možnost nastavení režimu resetu.

- V režimu INP se při každém sepnutí příkazového vstupu S provede funkce.
- V režimu PWR se funkce provádí pouze jednou. [17]



|        |                 |   |        |                 |              |
|--------|-----------------|---|--------|-----------------|--------------|
| P01.01 | FUNKCE          | M- Monostabilní omezovač počtu vybavení | P01.01 | FUNKCE          | Dc2 - Blikač |
| P01.02 | ČAS T1          | 1 s                                     | P01.02 | ČAS T1          | 100 ms       |
| P01.03 | NÁSOBITEL T1    | 1                                       | P01.03 | NÁSOBITEL T1    | 1            |
| P01.04 | ČAS T2          | 1 s                                     | P01.04 | ČAS T2          | 1 s          |
| P01.05 | NÁSOBITEL T2    | 1                                       | P01.05 | NÁSOBITEL T2    | 5            |
| P01.06 | RESETOVACÍ MÓDY | VSTUP vstup                             | P01.06 | RESETOVACÍ MÓDY | PWR napájení |

Obr. 33: Programovatelné relé Lovato (převzato z [17])

### Zhodnocení první optimalizace

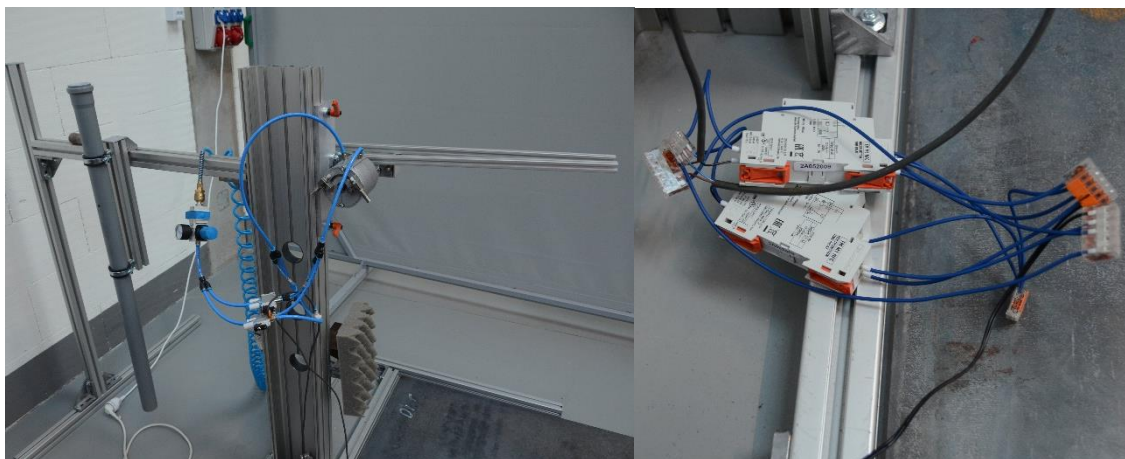
Touto optimalizací bylo vyřešeno nepraktické nastavení pádové výšky a potřeba maticového klíče. Díky úpravě pneumatického a přidání elektrického obvodu nedochází k prudkým nárazům kyvného ramena do molitanové desky a pryžových dorazů a tím i k poškozování hliníkových konstrukčních profilů kyvného ramena.

Zaměněním spojení pomocí patkového upevnění k nosnému sloupku za spojení pomocí desky bylo usnadněno nastavení výšky, problém se vyskytl při potřebě nastavení výšky pádu 1,2 m. Docházelo k vysunutí kamene z drážky konstrukčního profilu.

Přidání elektrického obvodu vyřešil problém s manipulací kyvného ramena, avšak do obvodu není zakomponován spínač.

## 6.2. Druhá optimalizace

Druhá optimalizace navazuje na nedostatky uvedené v předchozí kapitole a zabývá se především nepřehledné zapojení relé a pneumatického obvodu.



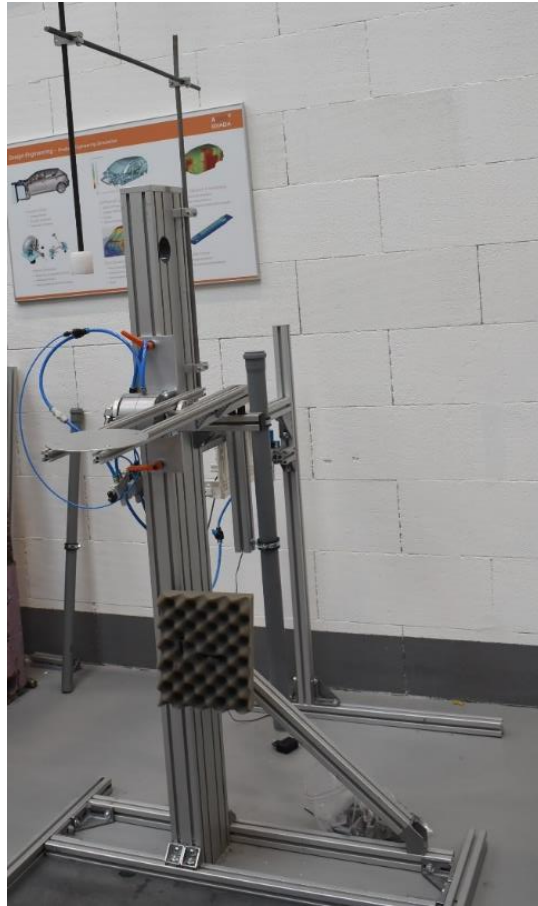
Obr. 34: Zapojení pneumatického obvodu a programovatelných relé

### Konstrukční úpravy

Po úpravě mechanismu nastavení výšky nastal problém při nastavení výšky pádu 1,2 m a výše, kdy nebyl horní upínací kámen desky zasunut do drážky nosného konstrukčního profilu. Tento problém byl vyřešen výměnou za delší konstrukční profil.

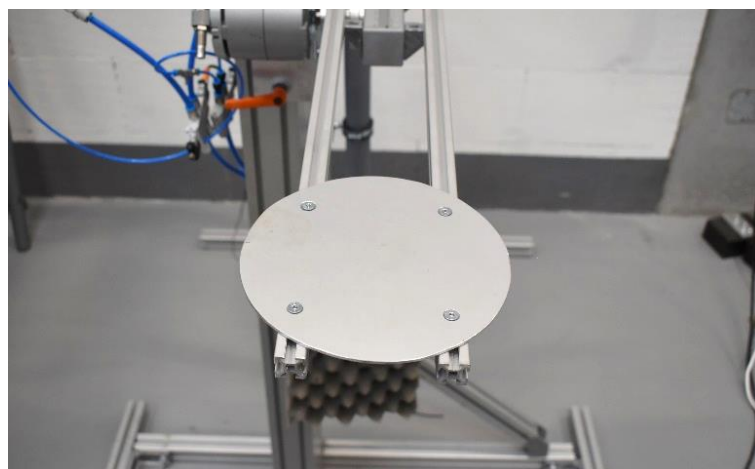
Běžně prodávané zařízení pro pádové zkoušky disponují přidržovačem, který slouží k ustavení vzorku v pozici například na rohu nebo hraně. Jsou sestaveny ze dvou nebo tří tyčí s kloubovým spojením, zajištění přepravního balení je provedeno součástí, do které hrana nebo roh balení ustavena, tak aby nedošlo k dalšímu pohybu vzorku. Tato součást je upevněna na konec přidržovače.

Na mnou optimalizovaném zařízení je přidržovač vyroben z tří ocelových tyčí o průměru 12 mm a 10 mm, dvou hliníkových upínek, dvou hliníkových posuvných bloků a polypropylenové dosedací části.



**Obr. 35: Konstrukční úpravy zařízení druhé optimalizace**

Při ustavení přepravního balení na roh docházelo k propadu rohu mezi vzpěrami a tím posunutí výšky pádu. Na vzpěry byla upevněna hliníková deska o průměru 190 mm a tloušťce 3 mm. Připevněna je pomocí čtyř šroubů M5 se zápusťnou hlavou a upínacích kamenů.

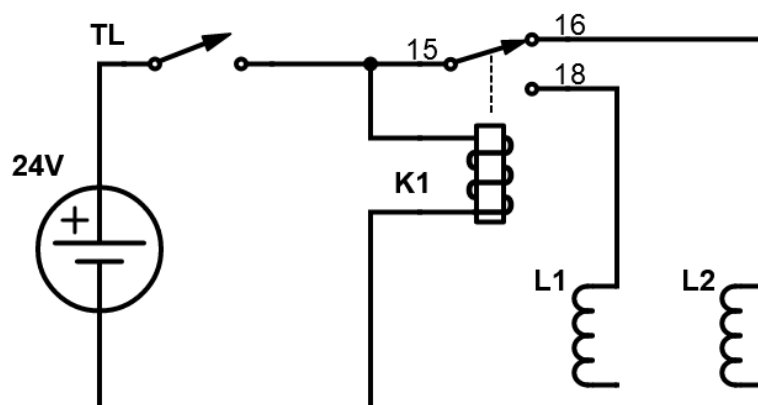


**Obr. 36: Ustavovací deska kyvného ramena**

## Úpravy elektrického a pneumatického obvodu

Obvod bylo potřeba uspořádat do přehlednějšího systému, byla proto zvolena rozvodná krabice. Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu byla upevněna rámpádového zařízení společně s rozvodnou krabicí.

Z obvodu bylo odstraněno relé s funkcí monostabilního omezovače. Spínání elektromagnetického ventilu VUVG-LK14-M52-AT-G18-1R8L-S bylo realizováno pomocí relé s funkcí Dc2 Blikač.



Obr. 37: Schéma zapojení elektrického obvodu zařízení - druhá optimalizace

|    |       |  |    |    |
|----|-------|--|----|----|
| K1 | 15-16 |  |    |    |
|    | 15-18 |  |    |    |
|    |       |  | T1 | T2 |

Obr. 38: Časové schéma programovatelného relé Lovato (převzato z [17])

Do rozvodné krabice byly umístěny programovatelné relé společně s elektromagnetickými ventily a držáky svorek. Do vrchní části rozvodné krabice je umístěn otočný spínač, kterým je zařízení spouštěno.

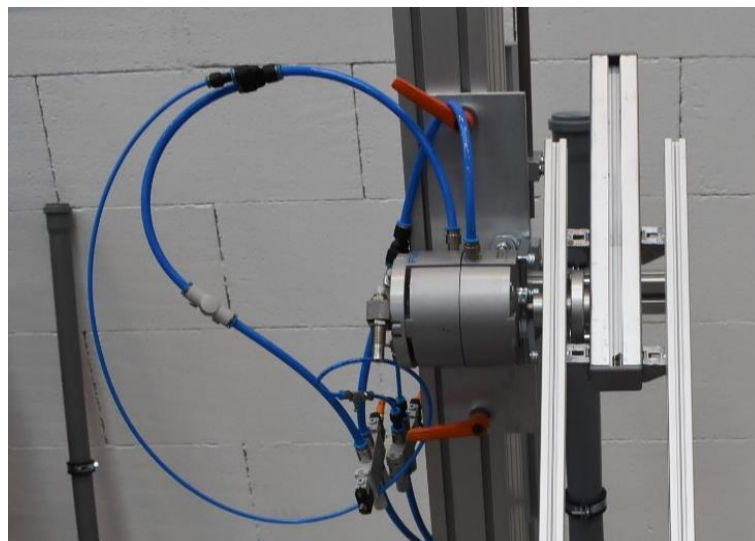


Obr. 39: Uložení ventilů a relé v rozvodné krabici

### Zhodnocení druhé optimalizace

Přidržovač určený převážně pro obalové materiály odstranil potřebu obsluhy zařízení dvěma osobami. Zároveň při opakovaném zkoušení hran a rohů ušetří obsluze čas při ustavování vzorku do polohy pádu.

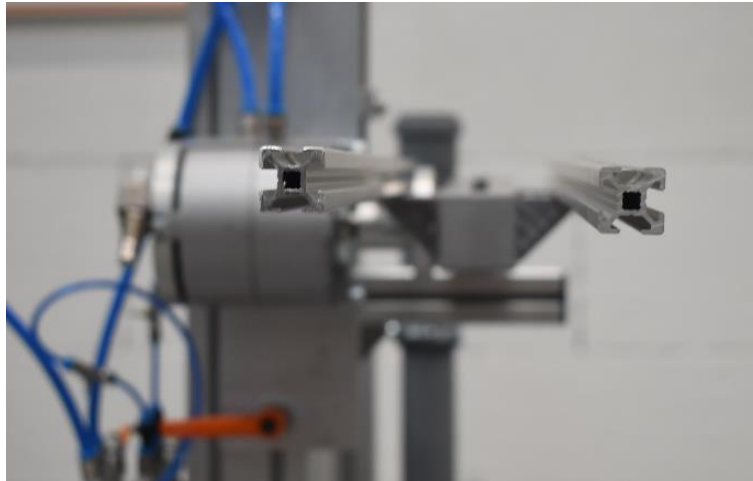
Vlivem původní polohy kyvného válce docházelo k ohýbání a lámání vzduchových hadic.



Obr. 40: Lámání vzduchových hadic ústících z kyvného pohonu

Lámání hadic bylo vyřešeno otočením válce kolem osy rotace ramena o 180°. Dále byly použity dostatečně dlouhé vzduchové hadice pro nastavení výšky pádu větší než 1,2 m.

Nainstalováním hliníkové ustavovací desky došlo k srovnání nerovnoběžné vzájemné polohy vzpěr, jejich spojením zvýšila tuhost kyvného ramena a usnadnila ustavování vzorku do cílové polohy.



Obr. 41: Nesouosé upevnění konstrukčních profilů na kyvném rameni

Uspořádáním relé a elektromagnetických ventilů do rozvodné krabice došlo ke zlepšení přehlednosti zapojení. Díky otočnému spínači odpadá potřeba využití prodlužovacího kabelu s vypínačem a tím usnadnění obsluhy zařízení.

### 6.3. Třetí optimalizace

V rámci této optimalizace došlo ke změně nedokonale navrhnuté polypropylenové dosedací části, návrhu a výrobou náhrady za poškozenou dorazovou páku.

Konce profilů směřující mimo zařízení byly z estetických a bezpečnostních důvodů opatřeny krytkami konců profilů, vzpěry kyvného ramene byly opatřeny pryžovou krytkou, spojovací úhelníky byly také opatřeny krytkami úhelníků.



Obr. 42: Krytky konců profilů a spojovacích úhelníků

Pro ulehčení nastavení orientační výšky pádu byla na nosný profil zařízení šrouby s vnitřním šestihranem upevněna část svinovacího metru. Na nosnou desku byl

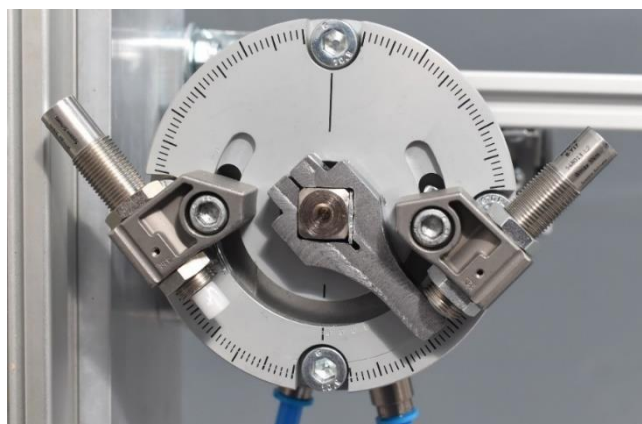


namontován ukazatel výšky, odpovídající výšce kyvného ramena, vyrobený z ocelového plechu tloušťky 1 mm. Toto ocelové měřítko slouží k urychlení nastavení orientační výšky pádu, kontrola musí proběhnout kalibrovaným nebo akreditovaným měřidlem.



**Obr. 43: Část svinovacího metru upevněná na nosný profil**

Poškozená dorazová páka byla zaměněna za nově vymodelovanou ocelovou páku, která byla vyrobena plazmovou řezačkou z plechu tloušťky 10 mm. Škrťícím ventilem byl vhodně nastaven proud vzduchu vháněný do kyvného pohonu po dobu 100 ms od prvního sepnutí ventilu VUVG-LK14-M52-AT-G18-1R8L-S, čímž bylo dosaženo ideálního zpomalení kyvného ramena. Dorazovou pákou a pneumatickým tlumičem nárazu DYSC-4-4-Y1F je dosaženo šetrné zabrzdění kyvného ramene ve spodní pozici.



**Obr. 44: Ocelová dorazová páka kyvného pohonu**

Na kyvném pohonu bylo původně použité přímé šroubení s nástrčnou koncovkou QS-G1/8-8-I zaměněno za šroubení QSL-3/8-8 tvaru „L“, tím byly z obvodu vyřazeny dvě nástrčné spojky QSL-8.



Obr. 45: Šroubení tvaru L ústící z kyvného pohonu

Polypropylenová dosedací část přídržovače uvedená v druhé optimalizaci, sloužící pro ustavení přepravního balení na hranu nebyla dostačující z důvodu deformace ručně vytvořeného vnitřního závitu M10, kdy při opakované montáži a demontáži přídržovače docházelo k přetvoření závitu v přídržovači závitem ocelové tyče. Dalším důvodem změny konstrukčního řešení přídržovače je nedostačující velikosti dosedací plochy a s tím i související složitosti ustavení přepravního balení.



Obr. 46: Polypropylenová dosedací část přídržovače

Polypropylenová dosedací část přidržovače byla vyměněna za ocelovou vyrobenou z tyče profilu tvaru L o délce 100 mm, na které je vyfrézovaná drážka o délce 16,8 mm. Do této drážky je přivařena matice M10, pomocí které je dosedací část upevněna na přidržovač.



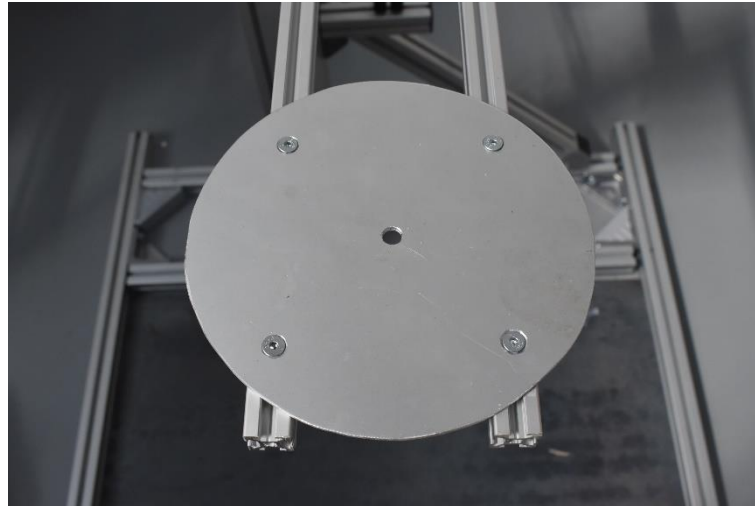
**Obr. 47: Dosedací část přidržovače**

Pro ustavení přepravního balení na roh byla ustavovací část svařena ze tří plechů tloušťky 3 mm a matice M10, kterou je součást připevněna k přidržovači. Obě dosedací součásti byly po výrobě nalakovány.



**Obr. 48: Dosedací část přidržovače**

Při opakovaném pádu přepravního balení na roh, dochází k deformaci a změnám tvaru rohu, to způsobuje obtížné ustavení balení na hliníkovou ustavovací desku. Do hliníkové desky byla z tohoto důvodu na stolní vrtačce vyvrtána díra o průměru 9 mm sloužící pro usnadnění ustavení rohu vzorku.



Obr. 49: Otvor pro ustavení rohu přepravního balení

Výsledkem jsou přidržovače se závitem, který bude odolnější proti opotřebení a deformacím. Pevnější a rychlejší ustavení přepravního balení do požadované polohy pádu než u předchozí verze přidržovače.

#### 6.4. Čtvrtá optimalizace

Tato optimalizace se věnuje bezpečnosti zařízení. Momentálně nejsou pro uskutečnění optimalizace k dispozici bezpečnostní optické závory určené k přerušení obvodu v případě vstupu obsluhy do prostoru ocelové desky, tedy dopadového místa.

Použity budou bezpečnostní optické závory YCA-50R4-3400-G012 značky Contrinex. Pro umístění závor budou na rám zařízení upevněny dva hliníkové konstrukční profily umístěné před kyvným ramenem pádového zařízení, mezi kterými bude obsluha vstupovat do prostoru zařízení. Z boku zařízení bude umístěno zábradlí z konstrukčních profilů zamezující vstupu do prostoru dopadu testovaného vzorku. [18]

Do obvodu bude přidáno druhé programovatelné relé Lovato, které přeruší obvod v případě přerušení paprsku mezi závorami.



Obr. 50: Bezpečnostní optická závora YCA-50R4-3400-G012 (převzato z [18])

## 7. Zařízení pro zkoušky koncentrovaného nárazu

### 7.1. Zařízení pro zkoušku koncentrovaného nárazu přepravních balení

Zařízení sloužící pro provedení zkoušky koncentrovaného nárazu přepravních balení je součástí pádového zařízení. Skládá se z PVC trubky o průměru 50 mm nebo 40 mm, připevněné objímkami k hliníkovému konstrukčnímu profilu, který je upevněn spojovacím úhelníkem k rámu pádového zařízení. Do trubky se při provádění zkoušky vloží impaktor, který při uvolnění dopadá na testované přepravní balení ze stanovené výšky. Uvolnění impaktoru může být provedeno lankem upevněným na šroub s okem nebo pomocí podpěrného kolíku průchozího trubkou. Mnou optimalizované zařízení využívá podpěrného kolíku o průměru 7 mm vloženého do otvoru vyvrtaného v PVC trubce. [4]



**Obr. 51: Pádové zařízení pro přepravní balení**

Nastavení kolmosti dopadu impaktoru vůči dopadové ploše je docíleno kruhovou vodováhou upevněnou na krytku konce hliníkového profilu, na který je PVC trubka upevněna.

Rozměry a hmotnost impaktoru odpovídá normě ASTM D6344-04, Concentrated Impacts to Transport Packages. [4]

## 7.2. Zařízení pro nárazovou volantových airbagů

Pro nárazové zkoušky volantových airbagů slouží obdobné zařízení, lišící se v parametrech zařízení a mechanizaci uvolnění impaktoru.

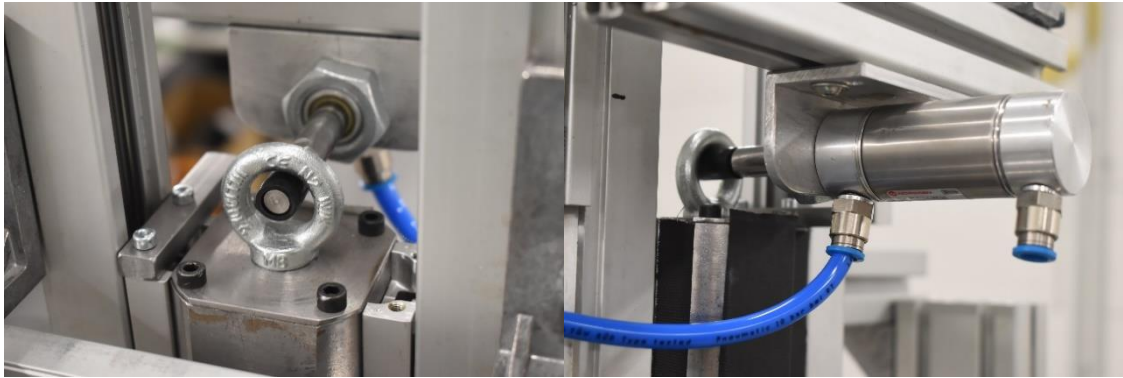
Vzhledem k nutnosti upnutí volantu v přípravku a většímu počtu modulů airbagů a tím i opakování nárazových zkoušek je zařízení určené pro moduly airbagů sofistikovanější.

Jedná se také o vertikální pádové zařízení se skládající se z rámu a vedení impaktoru z hliníkových konstrukčních profilů a spojovacích úhelníků. V místě nárazu je k rámu zařízení pomocí spoje šroubu s T hlavou N10 M8x25 a matice připevněn přípravek, do kterého je volant s modulem airbagu namontován.



**Obr. 52: Pádové zařízení pro moduly volantových airbagů**

V ose impaktoru je namontován šroub s okem, sloužící k ustavení impaktoru v požadované výšce. Uvolnění impaktoru je provedeno pomocí pneumatického dvojčinného pohonu RT/57232/MF/25 značky NORGREN. Pneumatický pohon je ovládaný spínacím ventilem MS4-EM1-1/4 značky Festo opatřeným tlumičem hluku.

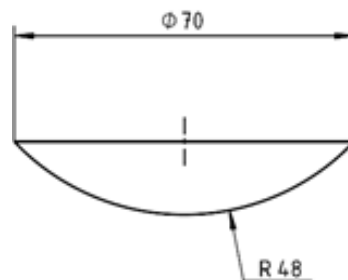


Obr. 53: Výškové ustavení impaktoru

Impaktor na nárazovou zkoušku airbagu se od impaktoru používaného pro přepravní balení liší v následujících parametrech:

Tabulka 2: Impaktor pro pádové zkoušky volantových airbagů (převzato z [5])

| Impaktor pro pádové zkoušky volantových airbagů |    |
|---|----|
| Hmotnost [kg]                                   | 5  |
| Průměr [mm]                                     | 70 |
| Rádus dopadové plochy [mm]                      | 48 |
| Energie dopadu [J]                              | 25 |



Obr. 54: Schéma dopadové části impaktoru pro moduly volantových airbagů (převzato z [5])

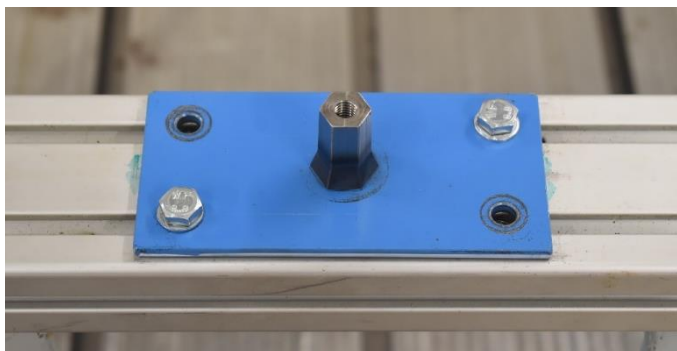
Zákazníky nejčastěji požadovaná hodnota dopadové energie je 25 J. Z hmotnosti, dopadové energie a gravitačního zrychlení lze stejným způsobem jako u výpočtu výšky pádu impaktoru pro nárazové zkoušky přepravních balení dopočítat výšku pádu impaktoru podle vzorce:

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (2)$$

$$h = \frac{E_p}{m \cdot g} \quad (3)$$

Výsledná výška pádu impaktoru odpovídá 510 mm. [5]

Volanty, do kterých jsou mouly airbagu upnuty jsou k hliníkovému konstrukčnímu profilu připevněny pomocí přípravku vyrobeného z ocelové desky, na kterou je navařena tyč šestihranného průřezu, ve které je vyroben závit M8.



**Obr. 55: Nevyhovující přípravek pro ustavení volantu**

Volant, který byl použit v rámci této práce je upínaný na volantovou tyč s drážkováním, šestihranná tyč původního přípravku má větší příčný rozměr než průměr díry volantu. Na původní přípravek tedy nebylo možné volant upnout.

Pro účel zkoušky v rámci diplomové práce v byl vyroben nový přípravek z ocelového plechu o rozměrech 100x70 mm tloušťky 3 mm, do kterého byly vyvrtány dvě díry o průměru 8,5 mm, které slouží k upevnění přípravku k hliníkovému konstrukčnímu profilu rámu zařízení a tyče kruhového průřezu o průměru 15 mm. Do tyče byla vyvrtána neprůchozí díra hloubky 20 mm průměru 7 mm, v díře byl ručně vytvořen závit M8. Tyč byla následně přivařena k ocelové desce metodou MAG. Volant s modulem airbagu byl k přípravku upevněn šroubem M8 a podložkou obdobně





jako u původní verze přípravku. Přípravek je k hliníkovému konstrukčnímu profilu připevněn šrouby s T hlavou M8.



**Obr. 56: Nově zhotovený přípravek pro ustavení volantu**



## 8. Provedení zkoušek přepravního balení

V této kapitole diplomové práce je provedena pádová zkouška a zkouška koncentrovaného nárazu přepravního balení na optimalizovaném zařízení. Ve společnosti IDIADA CZ, a.s. se nejčastěji provádí sekvence testů podle ASTM D4169 – 16 skládajících se z:

1. Kondicionování podle ASTM D4332 - 14
2. Zkušební sekvence podle ASTM D4169 - 16 Distribution cycle 13
  - A – Handling – First Sequence
  - C – Vehicle Stacking
  - F – Loose-Load Vibration
  - I – Low Pressure
  - E – Vehicle Vibration
  - J – Concentrated Impact
  - A – Handling – Second Sequence [3], [4]

V rámci této práce bude provedena pádová zkouška (A – Handling) skládající se ze dvou sekvencí a zkouška koncentrovaného nárazu (J – Concentrated Impact).

### Vzorek

Materiálem přepravního balení je karton s vlnitou lepenkou tloušťky 4 mm. Do balení byla vložena bublinová fólie kvůli simulaci výplně balení a také byla zpevněna lepicí páskou. Po výplni a zpevnění byla hmotnost balení 0,28 kg. Rozměry přepravního balení jsou uvedeny v následující tabulce.



Obr. 57: Testovaný vzorek

**Tabulka 3: Rozměry přepravního balení**

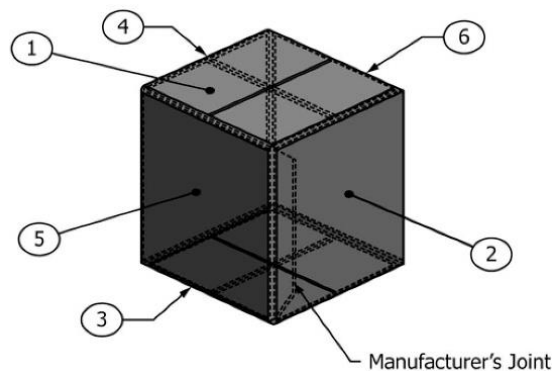
| Rozměry přepravního balení |      |
|----------------------------|------|
| Výška [mm]                 | 105  |
| Šířka [mm]                 | 265  |
| Délka [mm]                 | 290  |
| Hmotnost [kg]              | 0,28 |

Výška pádu je zvolena dle tabulky v normě ASTM D4196 – 19, ve které se výška volí podle úrovně zabezpečení a hmotnosti přepravního balení. Úroveň zabezpečení určuje úroveň zkoušky podle předpokládané intenzity zatížení v distribučním cyklu. Zvolena byla první (nejpřísnější) úroveň zabezpečení, které odpovídá výška pádu 610 mm.

| Shipping Weight, lb (kg)  | Drop Height, in. (mm)<br>Assurance Level |          |         |
|---------------------------|--|----------|---------|
|                           | I  | II       | III     |
| 0 to 20 (0 to 9.1)        | 24 (610)                                 | 15 (381) | 9 (229) |
| 20 to 40 (9.1 to 18.1)    | 21 (533)                                 | 13 (330) | 8 (203) |
| 40 to 60 (18.1 to 27.2)   | 18 (457)                                 | 12 (305) | 7 (178) |
| 60 to 80 (27.2 to 36.3)   | 15 (381)                                 | 10 (254) | 6 (152) |
| 80 to 100 (36.3 to 45.4)  | 12 (305)                                 | 9 (229)  | 5 (127) |
| 100 to 200 (45.4 to 90.7) | 10 (254)                                 | 7 (178)  | 4 (102) |

**Obr. 58: Úrovně zabezpečení (převzato z [1])**

V tabulkách 3 a 5 jsou postupně znázorněné sekvence pádových zkoušek včetně popisu místa dopadu přepravního balení označených podle ASTM D5276 -19.


**Obr. 59: Označení dopadových míst přepravního balení (převzato z [3])**

## Postup zkoušky

Přepravní balení bylo před provedením zkoušky zváženo na laboratorní váze Platform scale DE 60 značky KERN, vizuálně zkontrolováno ze všech stran a vyfoceno. Pro usnadnění orientace je na přepravním balení červeným fixem označena jedna hrana, podle které se určují následující polohy dopadu přepravního balení.

První provedenou zkouškou je první sekvence pádové zkoušky skládající se ze šesti pádů přepravního balení v různých polohách, po které následuje zkouška koncentrovaného nárazu. Poslední zkouškou je druhá sekvence pádové zkoušky obsahující opět šest pádů balení.

Pokud je pád prováděn na stranu (pád č. 1, 6), je balení položeno na ustavovací desku kyvného ramena v dané výšce. V polohách pádu na hranu (pád č. 2, 3) je použit přidržovač, obdobně je tomu tak při pádu na roh balení (pád č. 4, 5), kdy je roh určený k dopadu ustaven do otvoru na ustavovací desce z důvodu lepší stability balení.

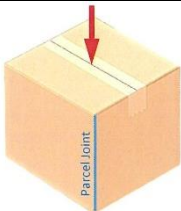
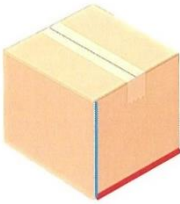

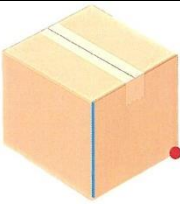

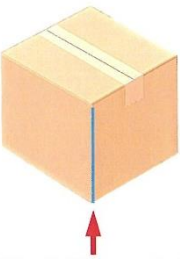
### 8.1. A – Handling – First Sequence

Drop Sequence 1 se běžně provádí po kondicionování přepravního balení, před ostatními zkouškami. Sekvence se skládá z dvou pádů na stranu, dvou pádů na hranu a dvou na roh přepravního balení, celkem tedy ze šesti pádů znázorněných v tabulce 4. Po provedení každého pádu byl pořízen snímek přepravního balení v poloze dopadu na podložce a detail místa dopadu na přepravním balení. [1], [3]



Obr. 60: Příklad ustavení přepravního balení

**Tabulka 4: A – Handling – First Sequence (převzato z [3])**

| Pád č. | Místo dopadu            |  | Výška pádu |
|--------|-------------------------|--|------------|
| 1      | Vrchní strana S1        |    | 610 mm     |
| 2      | Horizontální hrana E2-3 |    | 610 mm     |
| 3      | Horizontální hrana E3-5 |    | 610 mm     |
| 4      | Spodní roh C2-3-6       |  | 610 mm     |
| 5      | Spodní roh C3-4-5       |  | 610 mm     |
| 6      | Spodní strana S3        |  | 1220 mm    |

## 8.2. J – Concentrated Impact

Testované přepravní balení bylo umístěno pod PVC trubku, ve které byl ustaven impaktor odpovídající normě ASTM D6344 – 04. Vzdálenost konce trubky od dopadového místa byla zkontrolována ocelovým měřítkem a byla rovna 66 mm, kolmost vůči dopadové ploše byla kontrolována kruhovou vodováhou. Do trubky byl umístěn impaktor ve výšce 800 mm od plochy dopadu, tedy dopadové roviny balení. Impaktor byl uvolněn pomocí ustavovacího kolíku a následně byl pořízen snímek dopadového místa. [1], [4]



Obr. 61: Impaktor pro zkoušku koncentrovaným nárazem

Výpočet výšky pádu se vypočte podle rovnice:

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (4)$$

$$h = \frac{E_p}{m \cdot g} \quad (5)$$

kde:

$E_p$  = potenciální energie

$m$  = hmotnost impaktoru

$g$  = tíhové zrychlení 9,81 m/s<sup>2</sup>

$h$  = výška pádu impaktoru [1], [4]

Kdy zadaná energie dopadu dle normy ASTM D4169 – 19 odpovídá 5,4 J a gravitační zrychlení 9,81 m/s<sup>2</sup>. Hmotnost impaktoru je 680 g. Výsledná výška pádu odpovídá 0,8 m.

Tabulka 5: Parametry impaktoru

| Parametry impaktoru      |          |
|--------------------------|----------|
| Výška ustavení impaktoru | 800 mm   |
| Délka impaktoru          | 115 mm   |
| Průměr impaktoru         | 32 mm    |
| Hmotnost impaktoru       | 680±15 g |
| Dopadová energie         | 5,4 J    |




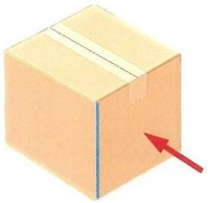
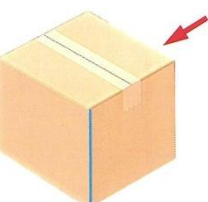
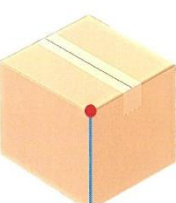
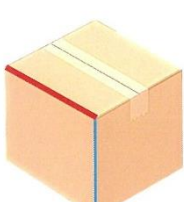
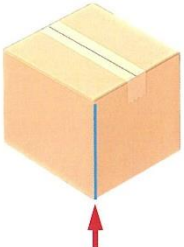
Obr. 62: Zkouška koncentrovaným nárazem přepravního balení

### 8.3. A – Handling – Second Sequence

Drop Sequence 2 se dle normy ASTM D5276 provádí jako poslední zkouška po zkoušce koncentrovaného nárazu. Zkouška se opět skládá z šesti pádu, na rozdíl od Drop Sequence 1 padá přepravní balení na roh (pád č. 4) pouze jednou a třikrát na stranu (pád č. 2, 3, 6). Poslední pád se provádí z dvojnásobné výšky oproti ostatním pádům, v tomto případě 1220 mm. Před provedením zkoušky byl pořízen snímek ze všech stran přepravního balení sloužící pro porovnání se snímky po zkoušce, následně byla provedena sekvence pádů podle tabulky č. 5 uvedené níže. Po provedení každého pádu byl opět pořízen snímek přepravního balení v poloze dopadu na podložce a detail místa dopadu na přepravním balení. [1], [3]



Tabulka 6: A – Handling – Second Sequence (převzato z [3])

| Pád č. | Místo dopadu             |  | Výška pádu |
|--------|--------------------------|--|------------|
| 1      | Vertikální hrana E2-6    |    | 610 mm     |
| 2      | Boční strana S2          |    | 610 mm     |
| 3      | Sousední boční strana S6 |    | 610 mm     |
| 4      | Vrchní roh C1-2-5        |  | 610 mm     |
| 5      | Horizontální hrana E1-5  |  | 610 mm     |
| 6      | Spodní strana S3         |  | 1220 mm    |



#### 8.4. Výsledky zkoušky

##### A – Handling – First Sequence

Po A – Handling – First Sequence byly zjištěny očekávané deformace na rozích a hranách přepravního balení. Nedošlo však k žádným závažným poškozením balení.



Obr. 63: Testované přepravní balení po A – Handling – First Sequence

## J – Concentrated Impact

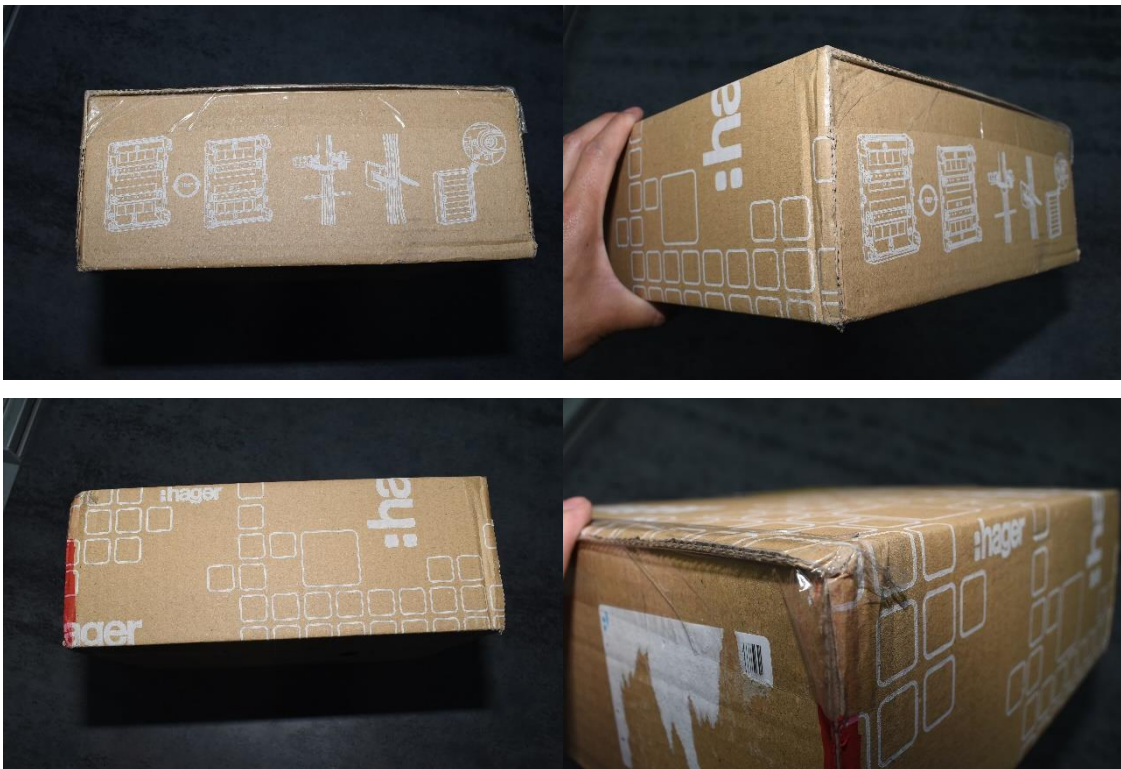
Přepravní balení podrobené zkoušce J – Concentrated Impact nevydrželo náraz impaktoru. Do stěny z kartónu s vlnitou lepenkou byl vytvořen otvor, impaktor se zastavil o výplň balení.



Obr. 64: Testované přepravní balení po J – Concentrated Impact

## A – Handling – Second Sequence

Po zkoušce A – Handling – Second Sequence nedošlo obdobně jako u první sekvence k žádným závažným deformacím, pouze k očekávaným menším deformacím na rozích a hranách balení.





Obr. 65: Testované balení po A – Handling – Second Sequence

V praxi se přepravní balení mohou proti poškození nárazem opatřit dvouvrstvou stěnou vlnité lepenky, bublinkovou fólií z vně balení nebo například zevnitř výplní ze zpěňovatelného polystyrenu (EPS). Také je možné přepravované zboží zabalit do dvou přepravních balení mezi kterými je výplň, jako je tomu znázorněno v dokumentu Testing Packages for FedEx Small Parcel Networks společnosti FedEx.



Obr. 66: Příklad výplně přepravního balení pro výkonnostní zkoušky (převzato z [14])

## 9. Provedení zkoušek volantových airbagů

Tato část se zaměřuje na provedení pádové a nárazové zkoušky modulu volantového airbagu dle normy IEC60068-2-31. Před zkouškou i po zkoušce se běžně provádí test parametrů jako například měření odporů a indukce, pro účely této práce je provedena pouze nárazová a pádová zkouška modulu. [5]

### Vzorek

Jako vzorek pro tuto zkoušku byl použit modul volantového airbagu z vozu Transporter T4 značky Volkswagen. Modul nepodstoupil před zkouškou žádné úpravy, jedná se tedy o nekondiciovaný stav.

Materiálem obalu modulu volantového airbagu a volantu je Polyvinylchlorid. Na obalu modulu je připevněn hliníkový Emblém.

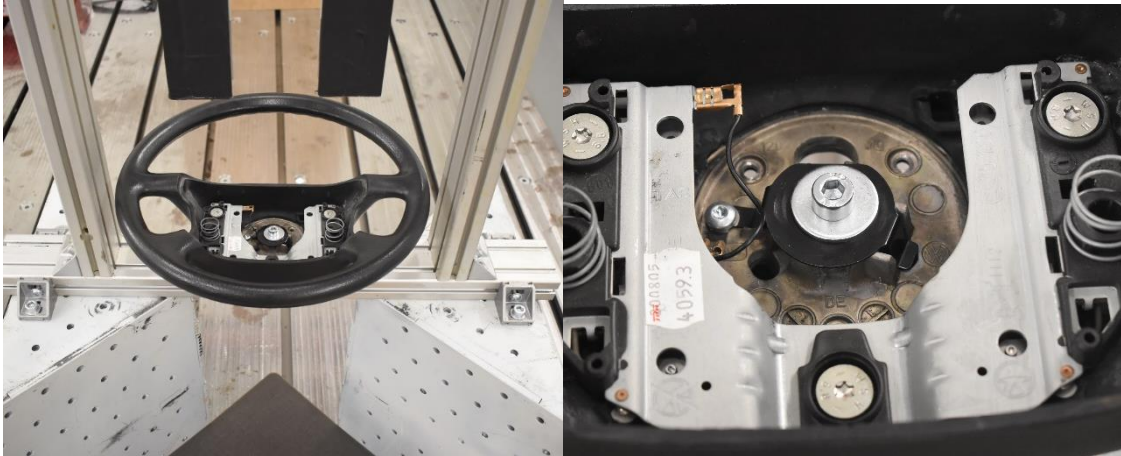


Obr. 67: Testovaný modul volantového airbagu a volant

### 9.1. Nárazová zkouška volantového airbagu

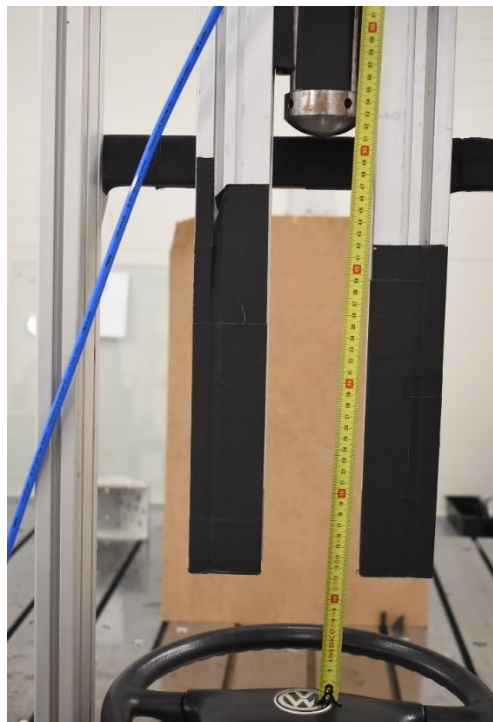
#### Postup

Modul byl před zkouškou vizuálně zkontrolován a vyfocen. Volant byl nasazen na přípravek, ke kterému byl upnut šroubem s vnitřním šestihranem M8 x 20. Do upnutého volantu byl následně nainstalován modul airbagu.



Obr. 68: Volant upnutý na přípravek zařízení pro nárazové zkoušky

Impaktor byl na vodící liště ustaven do výšky vypočítané dle rovnice 5 a zkontrolované svinovacím metrem. Impaktor byl v dané výšce ustaven a zajištěn pístem pneumatického pohonu. Pneumatickým spínacím ventilem byl impaktor uvolněn volným pádem dopadl na emblém modulu. Po provedení zkoušky byl modul airbagu vyfocen a následně vyjmut z volantu. Modul byl opět vizuálně zkontrolován a vyfocen detailněji.



Obr. 69: Nárazová zkouška modulu volantového airbagu

Tabulka 7: Parametry nárazové zkoušky

| Teplota                        | Impaktor   | Výška impaktoru | Úhel dopadu                   | Místo dopadu | Hmotnost impaktoru | Dopadová energie |
|--------------------------------|--|-----------------|-------------------------------|--------------|--------------------|------------------|
| +23<br>$\pm 2^{\circ}\text{C}$ | Sférický $\varnothing 70$<br>mm, radius<br>48 mm | 510 mm          | Kolmo na<br>plochu<br>volantu | Emblém       | 5 kg               | 25 J             |

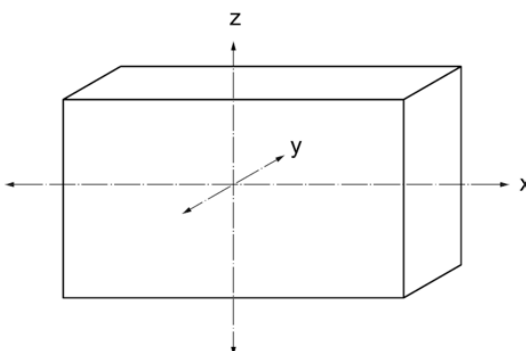
## 9.2. Pádová zkouška volantového airbagu

Modul volantového airbagu byl před zkouškou vizuálně zkontrolován a vyfocen. Na pádovém zařízení byla nastavena výška 1,2 m a airbag byl umístěn na ustavovací desku kyvného ramene. Testovaný vzorek byl orientován tak, aby padal v jednom ze šesti směrů naznačených na obrázku 69. Test byl opakován s použitím stejného testovacího vzorku orientovaného tak, aby padal v opačném směru. Obdobně byly provedeny pády v dalších polohách. Po každém pádu byl modul airbagu zkontrolován a vyfocen. [5]

Zkouška se běžně provádí na více vzorcích, v rámci této diplomové práce byl použit pouze jeden modul.

Tabulka 8: Parametry pádové zkoušky

| Teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ] | Výška pádu [m] | Orientace pádu vzorku      |
|--------------------------------|----------------|----------------------------|
| +23 $\pm$ 2                    | 1,2            | +X, -X<br>+Y, -Y<br>+Z, -Z |



Obr. 70: Schéma směrů pádů modulu volantového airbagu dle IEC 60068-2-31 (převzato z [5])

### 9.3. Výsledky zkoušky

Při provedení nárazové zkoušky modulu volantového airbagu nedošlo k samovolné aktivaci. Na modulu byly zjištěny mírné deformace v oblasti emblému, na zbylé polyvinylchloridové části krytu modulu bylo zjištěno mírné prohnutí, nevznikly trhliny ani praskliny žádného druhu. Modul bylo po provedení zkoušky a vizuální kontrole možné opět nainstalovat do volantu.



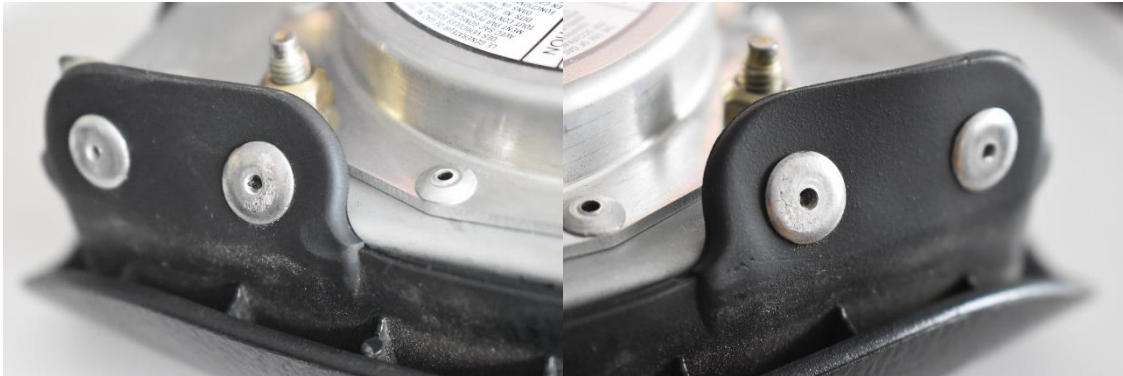
Obr. 71: Modul volantového airbagu po nárazové zkoušce

Při provedení pádové zkoušky modulu volantového airbagu nedošlo k samovolné aktivaci modulu. Již při prvním pádu v poloze (+Z) došlo k odření krytu modulu, k deformaci plechové části krytu modulu, ke které je přinýtován polyvinylchloridový kryt modulu.



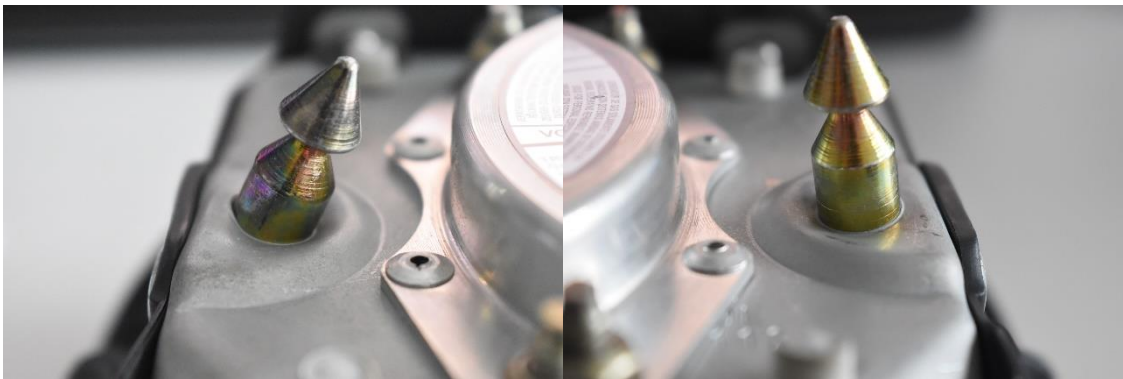
Obr. 72: Modul volantového airbagu po pádové zkoušce ve směru +Z

Při druhém pádu v orientaci -Z došlo opět k deformaci plechu zadního krytu modulu v místech nýtového spojení krytů. Dále došlo k odření polyvinylchloridové části a nýtů.



**Obr. 73: Modul volantového airbagu po pádové zkoušce ve směru -Z**

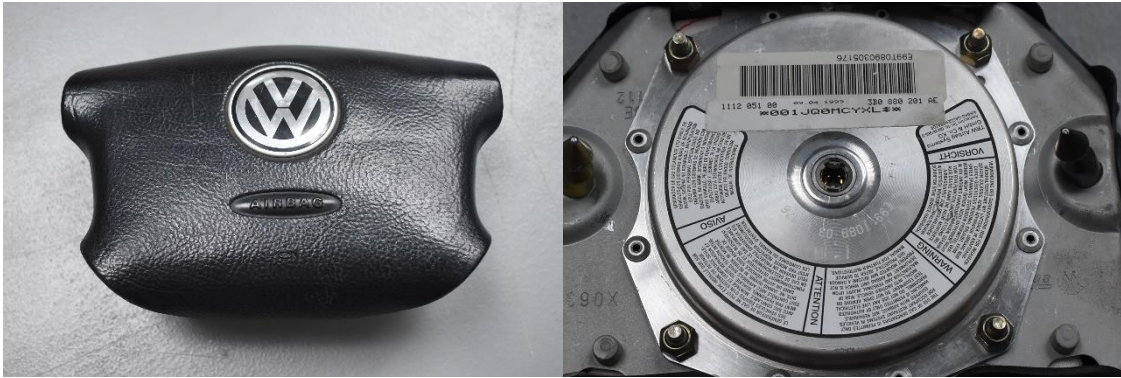
Po pádu v orientacích -X a +X byly zjištěny deformace převážně na trnech na zadní straně modulu. Oba trny byly ohnuty směrem do středu modulu, pád v poloze -X způsobil značně větší deformaci než poloha +X. Pády na obě polohy způsobily deformaci boční strany krytů modulu a odření polyvinylchloridového krytu.



**Obr. 74: Modul volantového airbagu po pádové zkoušce v ose X**

Pád v polohách -Y a +Y nezpůsobil žádné okem viditelné deformace, došlo pouze k poškrábání jak polyvinylchloridového krytu obalu, emblému modulu a zadní strany inflátoru.





Obr. 75: Modul volantového airbagu po pádové zkoušce v ose Y

Modul volantového airbagu po pádové zkoušce již nebylo možné nainstalovat do volantu, modul byl nevratně poškozen.



## 10. Přínos optimalizace pádového zařízení

### Přidržovač

Jedním z hlavních nedostatků zařízení před optimalizací byla potřeba více operátorů při provádění zkoušky, kdy jeden z operátorů přidržoval přepravní balení v požadované pádové poloze a druhý spínal pneumatické ventily uzavíracím ventilem. Díky přidání přidržovače a ustavovací desky je k provedení zkoušek potřeba pouze jedna osoba snížilo se tak riziko úrazu obsluhy kyvným ramenem sepnutým jinou osobou.

### Ovládání zařízení

Díky elektrickému obvodu využívaného programovatelného relé TM M1 NFC značky LOVATO a elektricky ovládaných pneumatických ventilů je dosaženo optimálního pohybu kyvného pohonu a tím i kyvného ramena. Zpomalení kyvného ramena v horní a spodní pozici zařízení díky pneumatických ventilů a zabrzdění skutečně dorazovou pákou a pneumatickými tlumiči upevněnými na kyvném pohonu zvyšuje bezpečnost zařízení. Kyvné rameno nebrzdí v úvratích pouze o systém dorazů, jak tomu bylo u předchozí verze. Na rozdíl od ní je aktuální plynulé zastavení kyvného ramena mnohem šetrnější k zařízení. Upnutí jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu, kterou je do obvodu vpouštěn vzduch a zároveň regulován tlak, k rámu zařízení také obsluze usnadňuje přípravu pádového zařízení pro provoz.

Do elektrického obvodu byl také přidán otočný spínač, obsluha tak pohodlně spíná zařízení ze stoje, nemusí již používat spínač na prodlužovacím kabelu položeným u pádového zařízení.

K nastavení výšky pádu není potřeba maticový klíče, jako u předchozí verze, utahování nosné desky v požadované poloze pomocí upínacích pák je snazší a značně rychlejší.

### Vzhled zařízení

Funkčnost je samozřejmě nejdůležitější vlastnost zařízení, další důležitou stránkou je i jeho vzhled. Zdokonalením brzdění byla odstraněna potřeba dorazu ve spodní poloze v podobě hliníkového konstrukčního profilu a molitanové desky. V horní poloze byl gumový doraz nahrazen pneumatickými tlumiči upnutými



na kyvném pohonu. Při nastavování různých výšek pádu již není potřeba nastavovat i výšku dorazů, což obsluhu šetří čas při přípravě zkoušky a v neposlední řadě zdokonaluje vizuální stránku, zařízení působí přehledněji a sofistikovaněji.

Přidáním rozvodné krabice, do které jsou umístěny elektricky ovládané ventily a programovatelné relé je značně zlepšena přehlednost pneumatického i elektrického obvodu zařízení. Po pootočení kyvného pohonu již nedochází k nadměrnému ohýbání vzduchových hadic, čemuž obsluha dále nemusí věnovat pozornost.

### Bezpečnost zařízení

Na rozdíl od předchozí verze je zařízení po optimalizaci opatřeno několika bezpečnostními prvky. Nejprostšími jsou krytky konců profilů a spojovacích úhelníků, které zakrývají ostré rohy a hrany zařízení. Ustavovací deska kyvného ramena je z obdobných důvodů kruhového tvaru, cílem bylo vyhnout se ostrým rohům v místech případného styku obsluhy se zařízením (ohýbání se pro vzorek po zkoušce, nastavování přídržovače). Dalšími bezpečnostními prvky jsou již výše zmíněné dorazy, snižující rychlost pohybu v krajních polohách ramena. Poslední úpravou zařízení bude nainstalování bezpečnostních optických závor do systému zařízení. Díky zábradlí podél zařízení a bude jediný možný vstup do pracovního prostoru zařízení právě přes bezpečnostní optické závory, což zamezí riziku zranění obsluhy.

### Uplatnění pádového zařízení

Zkoušení přepravních balení, které zahrnuje i pádovou zkoušku a zkoušku koncentrovaným nárazem bylo ve společnosti IDIADA CZ, a.s. prováděno již dříve, pádové zkoušky byly nejprve prováděny ručně, později na původní verzi zařízení, po optimalizaci v rámci této diplomové práce udělil Český institut pro akreditaci společnosti IDIADA CZ, a.s. akreditaci na provádění zkoušek přepravních balení podle normy ASTM D4169-16, Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems.

Pádové zařízení lze použít i pro jiné vzorky než pouze přepravní balení a moduly volantových airbagů. Pádové zkoušky jsou často prováděny i na výrobcích jako například



elektronika (chytré telefony, osobní počítače, tablety), laboratorní vybavení, lékařské přístroje, léčiva, velké balení potravin, nebo vojenské vybavení.

Elektronika, na kterou se vztahuje standard GR-63-CORE, musí splňovat kritéria pádových a šokových zkoušek pro zařízení bez obalu a v kontejnerech. Metody pádových zkoušek zahrnují volný pád, pád na roh a pád na hrany.

Pro vojenské vybavení se vztahuje norma MIL-STD-810 Spojených států amerických, která specifikuje podmínky environmentálních testů pro stanovení životnosti zařízení. Postup IV této normy specifikuje kritéria pro zkoumání materiálu mimo přepravní bednu nebo v ní, když je nakládán, vykládán, přemísťován z regálu, umísťován do přepravní bedny nebo vyjímán z přepravní bedny. Během procesu test simuluje náhodný pád nebo nárazový šok vyžadující volný pád z 18 až 48 palců (46 až 122 cm) v závislosti na hmotnosti a velikosti balíku.



## Závěr

V rešeršní části byly uvedeny normy ASTM D4169-16 a ISTA 6-FedEx-A zabývající se testování výkonnosti přepravních kontejnerů a systémů. Pro zkoušky přepravních balení je kladen důraz na normy ASTM D5276 – 19 popisující pádové zkoušky, ASTM D6344 – 04 popisující zkoušku koncentrovaného nárazu a ISTA 6-FedEx-A se zaměřením na pádové zkoušky. Dále jsou popsány pádové a nárazové zkoušky modulů volantových airbagů dle normy IEC 60068-2-31. Rešeršní část také uvádí stav pádového zařízení před optimalizací, jeho zhodnocení a jiné možné konstrukční řešení zařízení.

V experimentální části byly uvedeny tři provedené a jeden plánovaný optimalizační kroky na pádovém zařízení.

Cílem první optimalizace byla převážně úprava pneumatického obvodu a přidání elektrického obvodu sloužícího k spínání elektricky ovládaných součástí. Během první optimalizace bylo pomocí dvou programovatelných relé docíleno ideálního zpomalení kyvného ramena. Pomocí hliníkové nosné desky, na které byl namontován kyvný pohon a upínacích pák, bylo docíleno snazší nastavení výšky pádu bez potřeby maticového klíče.

Druhá optimalizace měla za cíl odstranit nedostatky vzniklé po první optimalizaci. Došlo k výměně nosného hliníkového konstrukčního profilu za delší, který umožňoval nastavení větší výšky pádu. Dalším krokem byla úprava elektrického obvodu, kdy bylo odebráno jedno programovatelné relé, při zachování funkce obvodu. Konstrukční profily tvořící kyvné rameno byly spojeny ustavovací deskou, čímž došlo i ke zlepšení pevnosti ramena.

Během třetí optimalizace došlo k nahrazení první verze polypropylenové dosedací části přídržovače za ocelové, čímž došlo ke zlepšení stability ustaveného balení i rychlosti ustavení. Dalším krokem byla snaha zlepšit estetickou stránku zařízení. Na konce profilů byly přidány krytky konců konstrukčních profilů a spojovacích úhelníků. Díky nově vyrobené dorazové páce bylo možné nastavit zastavení kyvného ramena bez pomoci dorazů v podobě hliníkových konstrukčních profilů a nevzhledné molitanové desky.



Čtvrtá optimalizace se věnuje bezpečnosti. Cílem je maximalizovat bezpečnost zařízení. Z hliníkových konstrukčních profilů bude vytvořeno zábradlí po stranách pádového zařízení, čímž se zamezí přístupu k pracovní ploše zařízení ze stran. Před kyvným ramenem budou umístěny bezpečnostní optické závory spínající programovatelné relé Lovato, které obvod přeruší v případě přerušení paprsku závor.

Následně byly v experimentální části provedeny výkonnostní zkoušky přepravních balení a modulu volantového airbagu.

První byly provedeny dvě sekvence pádové zkoušky a zkouška koncentrovaného nárazu. Obě sekvence se skládaly ze šesti pádů v různých orientacích balení. Použito bylo balení vyplněné bublinkovou fólií a vyztužené lepící páskou.

Po provedení pádové zkoušky (obou sekvencích) provedených podle normy ASTM D5276 – 19 nebyly zjištěny žádné neočekávané deformace. Došlo pouze k mírným deformacím na rozích a hranách balení.

Po provedení zkoušky koncentrovaného nárazu odpovídající normě ASTM D6344 – 04 došlo k poškození přepravního balení v místě nárazu impaktoru.

Dalšími provedenými zkouškami byly nárazová zkouška a pádová zkouška provedené dle normy IEC 60068-2-31 na nekondiciovaném modulu volantového airbagu vozidla Transporter T4.

Na modulu airbagu byly po nárazové zkoušce nalezeny pouze mírnému prohnutí v místě emblému a na polyvinylchloridové části krytu. Na modulu nebyly nalezeny žádné trhliny, praskliny a poškození podobného typu.

Pádová zkouška byla provedena na stejném modulu airbagu jako nárazová zkouška. Modul byl podroben šesti pádům ve třech na sebe kolmých osách. Po pádech v osách Z a X byly zaznamenány značné deformace na ocelovém krytu a na trnech modulu. Při pádech v ose Y nedošlo k žádným viditelným deformacím, pouze k odření polyvinylchloridového krytu a inflátoru modulu.



Optimalizací bylo dosaženo nejen zlepšení funkčnosti zařízení, ale také pohodlí pro obsluhu. Zařízení je nyní bezpečnější a v reprezentativním stavu pro budoucí potenciální zákazníky.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ASTM D4169-16: Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems. Pensylvánie: American Society for Testing and Materials, 2016.
- [2] ASTM D7386 – 16: Standard Practice for Performance Testing of Packages for Single Parcel Delivery Systems. Pensylvánie: American Society for Testing and Materials, 2016
- [3] ASTM D5276 -19: Standard Test Method for Drop Test of Loaded Containers by Free Fall. Pensylvánie: American Society for Testing and Materials, 2019.
- [4] ASTM D6344-04: Standard Test Method for Concentrated Impacts to Transport Packages. Pensylvánie: American Society for Testing and Materials, 2017.
- [5] IEC60068-2-31: Enviromental testing – Part 2-31: Test – Test Ec: Rough handling shocks, promarily for equipment-type specimens. 2nd ed. Švýcarsko: International Electrotechnical Commission, 2008.
- [6] Package & Product Drop Testing. Westpak [online]. [cit. 2022-07-27]. Dostupné z: <https://www.westpak.com/testing-services/package-testing/drop/>
- [7] Drop Testing. NTS [online]. [cit. 2022-07-27]. Dostupné z: <https://nts.com/services/testing/dynamics/drop/>
- [8] YAM a L. KIT. Wiley Encyclopedia of Packaging Technology (3rd Edition). 3rd ed. Hoboken: John Wiley, 2009. ISBN 978-0-470-08704-6.
- [9] GUIDELINES FOR SELECTINGAND USING ISTA® TEST PROCEDURES& PROJECT. In: Mičigen: International Safe Transit Association, 2017.
- [10] Free Fall Drop Test Machine. Labtone [online]. [cit. 2022-07-27]. Dostupné z: <https://www.labvibrationtest.com/product/free-fall-drop-test-machine.html>
- [11] Testing Packages for FedEx Small Parcel Networks. In: . Arkansas, 2022. Dostupné také z: [https://www.fedex.com/content/dam/fedex/us-United-states/services/PKG\\_Testing\\_Under150Lbs.pdf](https://www.fedex.com/content/dam/fedex/us-United-states/services/PKG_Testing_Under150Lbs.pdf)





- [12] Packaging test benches - Inclined impact tester. CGP [online]. [cit. 2022-07-27].  
Dostupné z: <https://www.cgp-coating.com/packaging-test-benches-inclined-impact-tester-a-10.html>
- [13] Test Procedures. ISTA [online]. [cit. 2022-07-27]. Dostupné z: <https://ista.org/>
- [14] Testing Packaged Products Weighing up to 150 Lbs. In: . Arkansas: FedEx, 2011.  
Dostupné také z: <https://www.newtechpackaging.com/wp-content/uploads/2017/08/Packaging-Testing-Under-150lbs.pdf>
- [15] Festo [online]. [cit. 2022-07-27]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/>
- [16] Drop Test Systems. LAB [online]. [cit. 2022-07-27]. Dostupné z:  
<https://www.labequipment.com/drop-test-systems/>
- [17] Lovato electric [online]. Itálie [cit. 2022-07-27]. Dostupné z:  
<https://www.lovatoelectric.cz/default.aspx?lovatoglobal=1>
- [18] Conrad [online]. Itálie [cit. 2022-07-27]. Dostupné z:  
<https://www.conrad.com/p/contrinex-630-100-038-yca-50r4-3400-g012-506433>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

|  |    |
|--|----|
| Obr. 1: Vertikální pádové zařízení (převzato z [10]) .....   | 14 |
| Obr. 2: Příklad označování ploch a hran na vzorcích (převzato z [3]) .....                                     | 14 |
| Obr. 3: Schéma tělesa s půlkulovým koncem (převzato z [4]) .....   | 18 |
| Obr. 4: Schéma provedení nárazové zkoušky volným pádem (převzato z [4]).....                                   | 18 |
| Obr. 5: Schéma provedení nárazové zkoušky kyvadlem (převzato z [4]) .....                                      | 19 |
| Obr. 6: Nárazová zkouška na náběžné hraně (převzato z [12]).....   | 20 |
| Obr. 7: Nárazová zkouška po nakloněné rovině (převzato z [12]) .....   | 21 |
| Obr. 8: Pádová sekvence pro zkoušky dle ISTA 6-FedEx-A (převzato z [11]) .....                                 | 25 |
| Obr. 9: Concentrated Impact Test Procedures dle ISTA 6-FedEx-A (převzato z [14])..                             | 26 |
| Obr. 10: Bridge Impact Test Procedures dle ISTA 6-FedEx-A (převzato z [14]).....                               | 26 |
| Obr. 11: F faktor pro zkoušku komprese dle ISTA 6-FedEx-A (převzato z [14]) .....                              | 27 |
| Obr. 12: Vibrační profil nákladního automobilu pro vibrační zkoušku dle ISTA 6-FedEx-A (převzato z [11]) ..... | 27 |
| Obr. 13: Schéma směrů pádů modulu volantového airbagu dle IEC 60068-2-31 (převzato z [5]) .....                | 29 |
| Obr. 14: Poloha pádů modulu volantového airbagu v osách Y, Z, X .....  | 29 |
| Obr. 15: Upínání kyvného pohonu ke nosnému konstrukčnímu profilu .....   | 31 |
| Obr. 16: Původní verze zařízení .....  | 32 |
| Obr. 17: Schéma pneumatického obvodu zařízení před optimalizací.....   | 33 |
| Obr. 18: Pneumatický ventil VUWS-L20-M52-M-G18 (převzato z [15]).....  | 33 |
| Obr. 19: Poškozené dorazová páka .....   | 34 |
| Obr. 20: Pádové zařízení s jedním ramenem (převzato z [16]) .....  | 35 |
| Obr. 21: Pádové zařízení s dvěma rameny (převzato z [16]) .....  | 36 |
| Obr. 22: Pádové zařízení s padajícím kontejnerem (převzato z [16]) .....                                       | 36 |
| Obr. 23: Pádové zařízení s mechanismem rychlého uvolnění (převzato z [16]) .....                               | 37 |
| Obr. 24: Výškové nastavení kyvného ramena pomocí hliníkové desky.....  | 38 |
| Obr. 25: Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu (převzato z [15]) .....  | 39 |
| Obr. 26: Kyvný pohon optimalizovaného zařízení (převzato z [15]) .....   | 40 |



|   |    |
|---|----|
| Obr. 27: Elektromagnetický ventil VUVG-LK14-M52-AT-G18-1R8L-S (převzato z [15])<br>.....          | 40 |
| Obr. 28: Elektromagnetický ventil VUVG-L14-P53C-T-G18-1IP3 (převzato z [15]) .....                | 40 |
| Obr. 29: Škrtkící ventily GR-M3 a GR-QS-3 (převzato z [15]).....                                  | 41 |
| Obr. 30: Schéma pneumatického obvodu zařízení – první optimalizaci.....                           | 41 |
| Obr. 31: Schéma zapojení elektrického obvodu zařízení - první optimalizace .....                  | 42 |
| Obr. 32: Časové schéma programovatelného relé Lovato (převzato z [17]) .....                      | 42 |
| Obr. 33: Programovatelné relé Lovato (převzato z [17]).....                                       | 43 |
| Obr. 34: Zapojení pneumatického obvodu a programovatelných relé.....                              | 44 |
| Obr. 35: Konstrukční úpravy zařízení druhé optimalizace.....                                      | 45 |
| Obr. 36: Ustavovací deska kyvného ramena.....   | 45 |
| Obr. 37: Schéma zapojení elektrického obvodu zařízení - druhá optimalizace .....                  | 46 |
| Obr. 38: Časové schéma programovatelného relé Lovato (převzato z [17]) .....                      | 46 |
| Obr. 39: Uložení ventilů a relé v rozvodné krabici.....   | 47 |
| Obr. 40: Lámání vzduchových hadic ústících z kyvného pohonu .....                                 | 47 |
| Obr. 41: Nesouosé upevnění konstrukčních profilů na kyvném rameni.....                            | 48 |
| Obr. 42: Krytky konců profilů a spojovacích úhelníků .....  | 48 |
| Obr. 43: Část svinovacího metru upevněná na nosný profil .....                                    | 49 |
| Obr. 44: Ocelová dorazová páka kyvného pohonu .....   | 49 |
| Obr. 45: Šroubení tvaru L ústících z kyvného pohonu .....   | 50 |
| Obr. 46: Polypropylenová dosedací část přidržovače.....   | 50 |
| Obr. 47: Dosedací část přidržovače .....  | 51 |
| Obr. 48: Dosedací část přidržovače .....  | 51 |
| Obr. 49: Otvor pro ustavení rohu přepravního balení.....  | 52 |
| Obr. 50: Bezpečnostní optická závora YCA-50R4-3400-G012 (převzato z [18]).....                    | 52 |
| Obr. 51: Pádové zařízení pro přepravní balení .....   | 53 |
| Obr. 52: Pádové zařízení pro moduly volantových airbagů.....                                      | 54 |
| Obr. 53: Výškové ustavení impaktoru .....   | 55 |
| Obr. 54: Schéma dopadové části impaktoru pro moduly volantových airbagů (převzato<br>z [5]) ..... | 55 |
| Obr. 55: Nevyhovující přípravek pro ustavení volantu.....   | 56 |



|  |    |
|--|----|
| Obr. 56: Nově zhotovený přípravek pro ustavení volantu .....                                       | 57 |
| Obr. 57: Testovaný vzorek .....  | 58 |
| Obr. 58: Úrovně zabezpečení (převzato z [1]) .....   | 59 |
| Obr. 59: Označení dopadových míst přepravního balení (převzato z [3]) .....                        | 59 |
| Obr. 60: Příklad ustavení přepravního balení .....   | 60 |
| Obr. 61: Impaktor pro zkoušku koncentrovaným nárazem.....  | 62 |
| Obr. 62: Zkouška koncentrovaným nárazem přepravního balení.....                                    | 63 |
| Obr. 63: Testované přepravní balení po A – Handling – First Sequence .....                         | 65 |
| Obr. 64: Testované přepravní balení po J – Concentrated Impact.....                                | 66 |
| Obr. 65: Testované balení po A – Handling – Second Sequence .....                                  | 67 |
| Obr. 66: Příklad výplně přepravního balení pro výkonnostní zkoušky (převzato z [14])<br>.....      | 67 |
| Obr. 67: Testovaný modul volantového airbagu a volant .....  | 68 |
| Obr. 68: Volant upnutý na přípravek zařízení pro nárazové zkoušky .....                            | 69 |
| Obr. 69: Nárazová zkouška modulu volantového airbagu .....   | 69 |
| Obr. 70: Schéma směrů pádů modulu volantového airbagu dle IEC 60068-2-31<br>(převzato z [5]) ..... | 70 |
| Obr. 71: Modul volantového airbagu po nárazové zkoušce.....  | 71 |
| Obr. 72: Modul volantového airbagu po pádové zkoušce ve směru +Z.....                              | 71 |
| Obr. 73: Modul volantového airbagu po pádové zkoušce ve směru -Z .....                             | 72 |
| Obr. 74: Modul volantového airbagu po pádové zkoušce v ose X .....                                 | 72 |
| Obr. 75: Modul volantového airbagu po pádové zkoušce v ose Y .....                                 | 73 |