



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Návrh pojezdové dráhy a pohonného
mechanismu zkušebního zařízení**

**Design of a track and drive mechanism of test
stand**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2018

Bc. Jan Pokorný

Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: 2301T047 Dopravní letadlová a transportní technika
Vedoucí práce: Ing. Marek Štádler

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci s názvem: „Návrh pojezdové dráhy a pohonného mechanismu zkušebního zařízení“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Marka Štádlera, a použil jsem pouze podklady uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne

Jan Pokorný

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Marku Štádlerovi, za cenné připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval své přítelkyni a rodině za podporu během celé doby mého studia.

Anotační list

Jméno autora: ***Bc. Jan POKORNÝ***

Název DP: *Návrh pojezdové dráhy a pohonného mechanismu zkušebního zařízení*

Anglický název: Design of a track and drive mechanism of test stand

Rok: 2018

Studijní program: *N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ*

Obor studia: *2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika*

Ústav: *Ústav konstruování a částí strojů*

Vedoucí DP: *Ing. Marek Štádl*

Bibliografické údaje:

počet stran	46
počet obrázků	21
počet tabulek	2
počet grafů	1
počet příloh	13

Klíčová slova: urychlovací zařízení, rychlost, zrychlení, nárazové zkoušky, simulace

Keywords: acceleration apparatus, speed, acceleration, crash tests, simulations

Anotace: Tato diplomová práce se zabývá návrhem pojezdové dráhy a pohonného mechanismu zkušebního zařízení. Obsahuje stručnou rešerši na téma urychlovacího zařízení, nárazové zkoušky a legislativních předpisů. Hlavním tématem je konstrukce urychlovacího zařízení, které bude sloužit k simulování nárazových zkoušek, tzn. k simulování různých decelerací ke zjišťování vlivů těchto účinků na bezpečnost posádky vozidla.

Abstract: This diploma thesis deals with the design of the running track and the drive mechanism of the test equipment. It contains a brief research on accelerator, impact tests and legislation. The main topic is the construction of the accelerator, which will serve to simulate the impact tests, to simulate various decelerations to determine the effects of these effects on the safety of the vehicle crew.

Obsah

1 ÚVOD	- 1 -
1.1 TYPY NÁRAZOVÝCH A DECELERAČNÍCH ZKOUŠEK OSOBNÍCH AUTOMOBILŮ	- 1 -
1.1.1 Čelní náraz	- 2 -
1.1.2 Boční náraz	- 3 -
1.1.3 Boční náraz do sloupku	- 4 -
1.2 SIMULÁTORY DECELERAČNÍCH ZKOUŠEK	- 5 -
1.3 ZÁKLADNÍ POJMY	- 9 -
2 LEGISLATIVA	- 11 -
2.1 PŘEDPISY PRO OSOBNÍ VOZIDLA	- 11 -
2.1.1 EHK/OSN č.12 – Ochrana řidiče při nárazu na mechanismus řízení	- 11 -
2.1.2 EHK/OSN č.14 – Kotevní úchyty bezpečnostních pásů	- 12 -
2.1.3 EHK/OSN č.16 – Bezpečnostní pásy	- 13 -
2.1.4 EHK/OSN č.17 – Pevnost sedadel, úchytů a opěrek hlavy	- 13 -
2.1.5 EHK/OSN č.21 – Vnitřní vybavení (výčnělky) vozidel	- 14 -
2.1.6 EHK/OSN č.25 – Opěrky hlav	- 14 -
2.1.7 EHK/OSN č.44 – Dětské zádržné systémy	- 14 -
2.2 FIGURÍNY POUŽÍVANÉ PŘI NÁRAZOVÝCH ZKOUŠKÁCH	- 15 -
2.2.1 Figurína Hybrid III	- 16 -
2.2.2 Figurína Eurosid 2	- 17 -
2.2.3 Dětské figuríny	- 18 -
3 NÁVRH MODELU SIMULÁTORU DECELERAČNÍCH ZKOUŠEK A JEHO KONSTRUKCE	- 19 -
3.1. FYZIKÁLNÍ VELIČINY POTŘEBNÉ PRO VYTVOŘENÍ SIMULÁTORU A VELIČINY POUŽITÉ PŘI SIMULACÍCH	- 19 -
3.2 VÝPOČTY	- 21 -
3.2.1 Dynamika nárazu	- 28 -
3.2.2 Dráha	- 29 -
3.2.3 Dynamická plošina „vozík“	- 30 -
3.2.4 Upevnění kolejnice k podlahové desce	- 33 -

3.2.5 Akcelerace dynamické plošiny „vozíku“.....	- 34 -
3.2.6 Decelerace dynamické plošiny „vozíku“.....	- 37 -
4 ZÁVĚR	- 40 -
5 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ.....	- 41 -
6 POUŽITÉ ZDROJE.....	- 43 -
7 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	- 45 -
7.1 OBRÁZKY:.....	- 45 -
7.2 TABULKY:	- 45 -
7.3 GRAFY.....	- 45 -
8 PŘÍLOHY	- 46 -

1 Úvod

Bezpečnost dopravy je vědní obor, kterému je v současnosti věnována velká pozornost.

Podíl na dopravní nehodě je přisuzován několika subjektům dopravy. Těmi jsou dopravní infrastruktura, dopravní prostředek, systém řízení, osoby jako subjekty i objekty dopravní nehody.

V konstrukci dopravních prostředků jsou vyvíjeny a montovány prvky aktivní i pasivní bezpečnosti. Jejich účinnost je ověřována více způsoby. Nejúčinnější ověření poskytuje nárazová zkouška neboli crash test. [12]

1.1 Typy nárazových a deceleračních zkoušek osobních automobilů

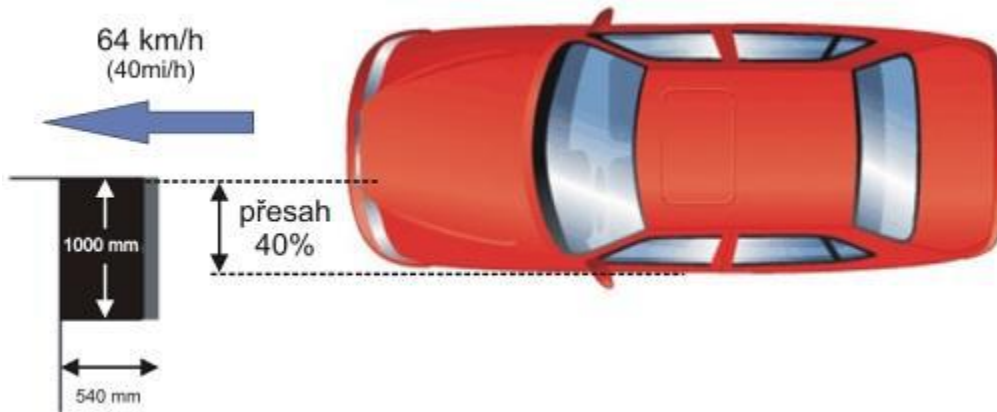
Nárazovými zkouškami se zabývá více organizací. Každá organizace provádí zkoušky s jinými parametry, tzn. s jinou nárazovou rychlostí, jiným offsetem atd. Uvedené nárazové zkoušky jsou dle evropské organizace Euro NCAP, která své testy provádí pomocí 4 figurín: 2 dospělí vpředu a 2 děti vzadu. Nárazové zkoušky zahrnují 3 typy nárazů. Čelní náraz, boční náraz a boční náraz do sloupku. [12]

Před samotnými testy je třeba udělat následující opatření:

- Vypustit palivovou nádrž i palivové soustavy a nádrž naplnit vodou ekvivalentně 90 % objemu paliva
- Pneumatiky nahustit na poloviční zatížení dle technických parametrů vozidla
- Zkontrolovat funkčnost autobaterie a s tím spojenou funkčnost airbagů
- Zkontrolovat hmotnost a rozměry vozidla, světlé výšky u jednotlivých kol
- Dveře vozidla nesmí být uzamčeny

1.1.1 Čelní náraz

Tato zkouška podléhá předpisu EHK/OSN č. 94 a jedná se o druh zkoušky simulující čelní střet dvou vozidel jedoucích 55 km/h.



Obrázek 1: Schéma čelního nárazu s offsetem 40% [3]

Vozidlo je urychleno na rychlost 54 až 56 km/h a nasměřováno na deformovatelnou kovovou bariéru. Na bariéru vozidlo naráží se 40 % offsetem a to z toho důvodu, aby byla věrně napodobena reálná dopravní nehoda, při které nedochází ke střetu celou plochou přídě, ale pouze s částečným překrytím. Na vozidlo, nejméně 5 metrů před střetem s bariérou, nesmí působit žádná vnější síla.

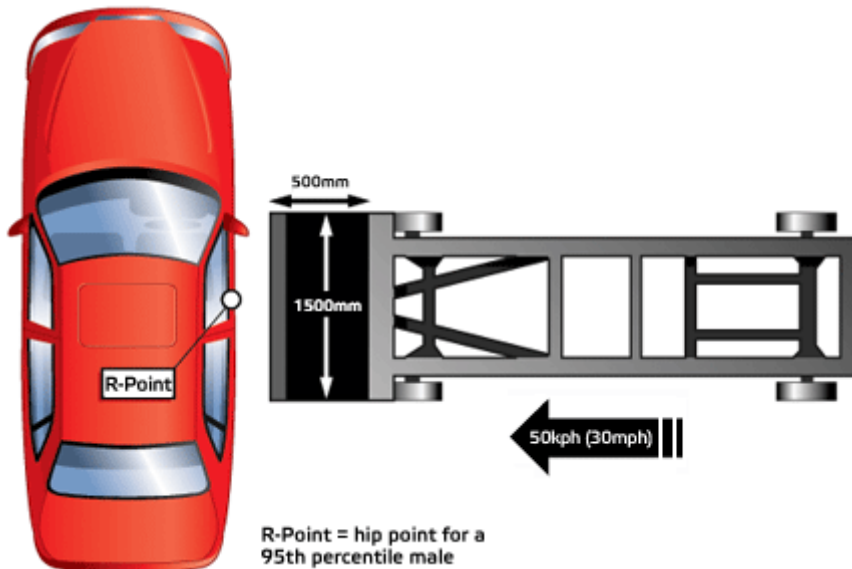
Deformovatelná bariéra se skládá ze dvou částí – hlavní voštinové a nárazníkové části. Při této zkoušce se používá bariéra o rozměrech 1000 mm x 540 mm. [3] [4]

U čelní nárazové zkoušky se hodnotí:

- Kritérium poranění hlavy
- Kritérium poranění krku
- Ohybový moment krku okolo osy y
- Kritérium stlačení hrudníku
- Kritérium viskozity pro hrudník
- Kritérium poranění stehenní kosti
- Kritérium poranění holenní kosti
- Index holenní kosti
- Posun volantů
- Únik kapalného paliva

1.1.2 Boční náraz

Tato nárazová zkouška se řídí předpisem EHK/OSN č. 95 a spočívá v nárazu mobilní bariéry do boku stojícího vozidla, což simuluje boční náraz jiným vozidlem.



Obrázek 2: Schéma boční nárazové zkoušky mobilní bariérou [3]

Nárazová zkouška se provádí při nárazové rychlosti 50 ± 1 km/h. Mobilní bariéra o hmotnosti 950 ± 20 kg je na vozidlo nasměrována tak, aby její střed směřoval do bodu „R“, tedy do místa, kde se nachází kyčelní kloub sedícího pasažéra (určeno dle ISO 6549). Dle statistik se nachází v bodě „R“ kyčelní kloub u 95 % cestujících.

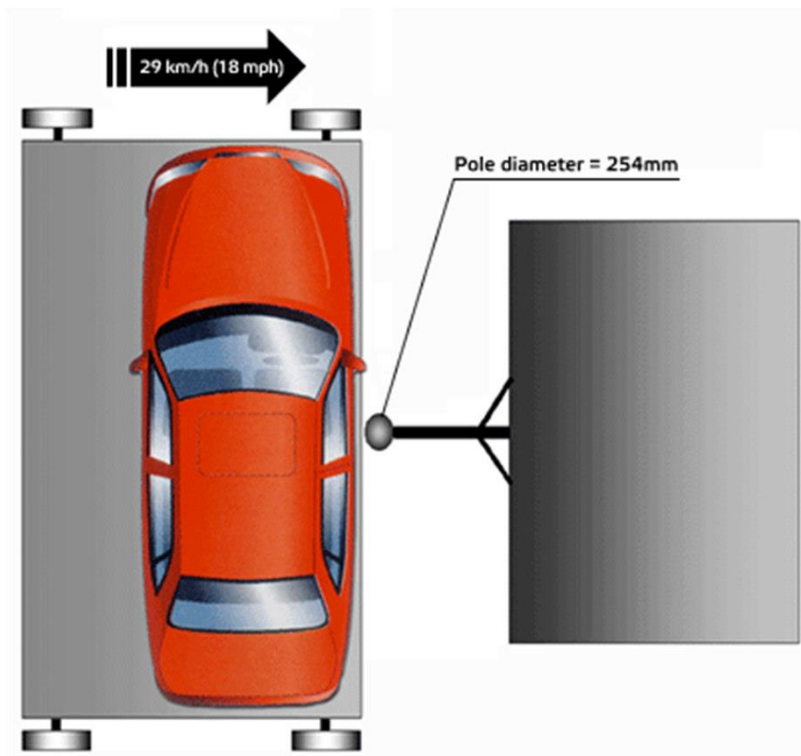
Mobilní bariéra má rozchod kol 1500 ± 10 mm, rozvor 3000 ± 10 mm a deformační blok umístěný na konci mobilní bariéry má rozměry 1500 mm x 500 mm. [3] [4]

U boční nárazové zkoušky se hodnotí:

- Kritérium poranění hlavy
- Deformace žeber
- Viskozita měkké struktury
- Kritérium poranění pánve
- Kritérium poranění břicha
- Vznik nebezpečných výčnělků a hran
- Únik kapalného paliva

1.1.3 Boční náraz do sloupku

Střety vozidel se stromy a objekty jim podobným podél komunikace jsou považovány za nejvíce nebezpečné. V porovnání s jinými mají tyto nehody většinou katastrofické následky. Při této nárazové zkoušce dochází ke střetu boku vozidla se sloupkem, který plní funkci stromu a objektům jemu podobným.



Obrázek 3: Schéma boční nárazové zkoušky do sloupku [3]

Vozidlo je umístěné na plošině, která se pohybuje rychlostí $29 \pm 0,5$ km/h pod úhlem 90° proti sloupu. Na tuto rychlost, dle legislativních předpisů, je plošina urychlena se zrychlením $1,5 \text{ ms}^{-2}$. Aby nedocházelo ke tření mezi pneumatikou a plošinou, jsou mezi nimi umístěny podložky vyrobené z teflonu. [3] [4]

1.2 Simulátory deceleračních zkoušek

Abychom se vyhnuli náročným a drahým crash testům, lze zkoušet vozidla, nebo jejich komponenty pomocí simulátorů deceleračních zkoušek. Jedná se o „vozík“, který má své vlastní poháněcí a brzdové ústrojí a pohybuje se po předem definované trase. Na „vozík“ lze umisťovat celá vozidla, jejich výřezy, nebo jejich komponenty např. sedadla, mechanismus řízení aj. Těmito testy lze zkoušet prvky pasivní bezpečnosti. Dále lze pomocí deceleračního zařízení simulovat prudké rozjíždění, brždění a zkoumat pomocí měřicí techniky vliv těchto jevů na posádku vozidla.

Společností, které využívají k testování vozidel urychlovací zařízení, je v České republice celá řada. Nejznámějšími společnostmi jsou TÜV SÜD Czech s.r.o, ÚAMK ČR a DEKRA Automobile a.s. [12]

Zkušebny TÜV SÜD Czech s.r.o

TÜV SÜD je významnou mezinárodní společností a v jejich devíti zkušebnách na našem území probíhá velký výběr nejrůznějších homologačních zkoušek. Ojedinelá je krytá laboratoř nárazových zkoušek se 100 m dlouhou zkušební dráhou, na které vozidla mohou dosáhnout rychlosti až 80 km/h, a kde je možné provádět nárazové zkoušky podle předpisů Euro NCAP i všechny typy nárazů podle předpisů Evropské hospodářské komise - EHK.

Stanice jsou vybaveny měřicí technikou pro měření rychlosti a zpomalení. Na obrázku 4 je vidět urychlovací vozík s vozidlem ve zkušebně. [5]



Obrázek 4: Simulátor nárazu TÜV SÜD [5]

ÚAMK ČR

V případě simulátoru ÚAMK se nejedná o zařízení, které by mohlo provádět jakékoliv homologační zkoušky. Jeho účelem je čistě demonstrační, jedná se o zařízení, v němž si může živá posádka vyzkoušet pocity při nárazu v rychlosti 30 km/h. Přestože se jedná o jednoduché, spíše populárně naučné zařízení, přispívá svou názorností k propagaci bezpečnosti provozu. [6]



Obrázek 5: Simulátor ÚAMK [6]

DEKRA Automobile a.s.

Zkušebna pasivní bezpečnosti společnosti DEKRA v Klíčanech zajišťuje s pověřením Ministerstva dopravy ČR zkoušky automobilových doplňků ovlivňujících bezpečnost. Mezi hlavní činnosti patří zkoušení bezpečnostních pásů a dětských zádržných systémů podle předpisů Evropské hospodářské komise - EHK, zkoušení sportovních bezpečnostních pásů a sportovních sedaček podle předpisů FIA, zkoušení tažných zařízení, lan k vlečení automobilu, vázacích souprav atd. [7]

Kromě jiného testovacího vybavení je tato zkouška vybavena také simulátorem nárazu s dráhou o délce asi 10 m. O zrychlení se zde stará svazek pryžových lan a elektromotor, který před začátkem zkoušky přemístí vozík do výchozí polohy, čímž způsobí v pryžových lanech napětí. Výhodou takového systému je nízká cena a poměrně jednoduchá regulace počátečních podmínek zkoušky pomocí proměnného počtu lan a délky dráhy, do které bude vozík natažen. [8]

Po uvolnění vozíku a urychlení pomocí natažených lan je nutné jej zastavit a simulovat tak nehodový děj. Zpomalení je v této zkušebně vyřešeno pomocí válcových pryží vystupujících z přední části vozíku, do kterých narazí kovové olivy připevněné na konci dráhy. Vnitřní průměr pryžových válců je přitom menší než průměr kovových oliv a vzniklým třením dojde k prudkému zastavení vozíku. Moment prudkého zpomalení při zkoušce na tomto simulátoru je zachycen na *obrázku xx*. Průběh zpomalení lze regulovat výměnou zpomalovacích pryží různých průměrů a z různých materiálů. Nevýhodou je poměrně vysoká cena pryží, které mají navíc omezenou životnost jen na určitý počet nárazů. [8]

Do této zkušebny jsem se jako student Fakulty strojní ČVUT podíval v rámci exkurze a tamní simulátor nárazu je hlavní inspirací při vývoji novější a delší konstrukce nárazového simulátoru.



Obrázek 6: Zkouška na simulátoru nárazu DEKRA [9]

1.3 Základní pojmy

Automobil

Motorové vozidlo, které má 4 nebo více kol, obvykle používané pro dopravu osob a nákladu, nebo tažení přípojných vozidel používaných pro dopravu osob nebo nákladů.

Dle vyhlášky MDCR č. 341/2002 Sb. jsou automobily charakterizovány kategoriemi M a N.

Urychlovací zařízení

Zařízení, které vede a urychluje vozidlo, jeho část, nebo mobilní bariéru na střetovou rychlost dle požadavků jednotlivých zkoušek.

Zrychlení

Zrychlení je definováno jako změna velikosti rychlosti dělená časem, který je potřeba k této změně. Značí se „*a*“ a jednotkou je $\left[\frac{m}{s^2}\right]$.

Bezpečnost

Ochrana života, zdraví a majetku. Preferována je bezpečnost osob (zdraví, života) a teprve za ní bezpečnost zvěře, majetku atd.

Pasivní bezpečnost

Pasivní bezpečností rozumíme souhrn všech konstrukčních a výrobních opatření, jejichž hlavní funkcí je omezení možnosti poranění a ztrát na lidských životech, popř. i snížení hmotných ztrát, dojde-li k nehodě, ať již zaviněné lidským činitelem, vozovkou, či technickým stavem vozidla. [1] [12]

Nárazová zkouška – crash test

Nárazová zkouška je bezpečnostní zkouška, při které se zkoumá vliv vnějších deformačních sil na karoserii vozidla a tím i na bezpečnost posádky vozidla.

Figurína

Trojdimenzionální maketa člověka, která by měla věrně napodobit chování lidského těla při působení vnějších sil.

Bariéra

Bariéra je nárazový modul, který věrně napodobuje kolizního partnera při dopravních nehodách např. před vozidla, strom atd.

Bariéry se při zkouškách pasivní bezpečnosti dělí na tři základní typy. Pevné, pevné s deformačním blokem a mobilní.

2 Legislativa

Zákony stanovují standardy pasivní bezpečnosti vozidel. Legislativní ustanovení týkající se bezpečnosti vozidel se soustřeďují převážně na jejich konstrukci a funkčnost jejich zádržných systémů. Tyto zákony jsou k nalezení v předpisech Evropské hospodářské komise – EHK. Kromě těchto standartních předpisů obsahují ustanovení i striktně danou zkušební metodiku, včetně podmínek pro provádění statických a dynamických nárazových zkoušek, které jsou vykonávány na předepsaných zkušebních zařízeních. Podmínkou pro realizaci těchto testů je i jejich umístění v mezinárodních certifikovaných homologovaných zkušebnách. Zkoušky mohou být prováděny na celém vozidle nebo pouze na konkrétní skupině bezpečnostních prvků. V případě, že výsledky testovaných zařízení budou v souladu s legislativou, obdrží Evropskou homologační značku. [1] [2]

V této diplomové práci se řídíme pouze předpisy zajišťující vnitřní pasivní bezpečnost cestujících EHK/OSN č. 16.

2.1 Předpisy pro osobní vozidla

2.1.1 EHK/OSN č.12 – Ochrana řidiče při nárazu na mechanismus řízení

Kritéria bezpečného řízení jsou uvedena v předpisu EHK-R 12, jenž blíže upřesňuje chování řídicího ústrojí osobních automobilů, je-li vystaveno dvěma druhům sil:

- 1) Silám generovaným při čelním nárazu, jež mohou zapříčinit zpětný pohyb řídicího ústrojí
- 2) Silám vyvolaná setrvačností trupu řidiče ve chvíli nárazu na volant (zkouška nárazem torza).

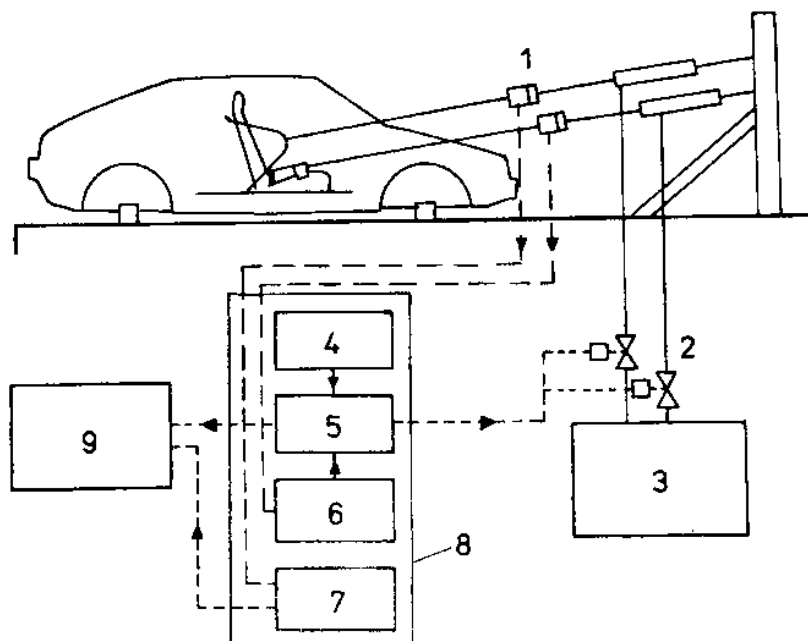
Kritéria se posuzují při bariérové zkoušce, kdy automobil o pohotovostní hmotnosti, bez modelu torza narazí na betonovou bariéru rychlostí 48,3 km/h a zkoumá se zpětný vodorovný posuv horního konce sloupku řízení vůči podélné vozidla, tj. proti potenciálnímu řidiči.

Při zkoušce nárazem torza je specifická část trupu figuríny naražena na volant rychlostí 24,1 km/h a síla působící na figurínu nesmí přesáhnout 11,1 kN. [1] [2]

2.1.2 EHK/OSN č.14 – Kotevní úchyty bezpečnostních pásů

Podmínky pro kontrolu zakotvení bezpečnostních pásů je uvedena v předpisu EHK-R 14, včetně kontroly umístění a odolnosti upevňovacích míst, a podmínek pro zkušební zařízení. Nad vodorovnou rovinou působí tažná síla pod úhlem $10 \pm 5^\circ$ a v co nejkratším čase dojde ke zkušebnímu zatížení, jemuž musí upevnění bezpečnostních pásů odolat nejméně po dobu 0,2 s. Podmínkou zkoušky je i umístění sedadel do nejzadnější polohy a upevňovací místa stejné skupiny sedadel se musí zkoušet současně. Pásy jsou rovněž zatíženy figurínou, blíže specifikovanou předpisy. Dvoubodový břišní pás s upevněním na podlaze se zkouší zatížením silou $22,3 \pm 0,2$ kN. Tříbodový pás se dvěma upevňovacími místy na podlaze a jedním bočním se zatěžuje silou $13,5 \pm 0,2$ kN na každou část pásu tj. břišní a ramenní. Při doplňkové zkoušce se zatěžuje diagonální hrudní pás silou $22,5 \pm 0,2$ kN. [1] [2]

Bezpečnostní pásy a jejich upevnění vyhovují v případě, že jdou rezistentní vůči vyvolaným zatěžovacím silám při zkoušce, popřípadě pokud dojde k jejich poškození až po stanovené zkušební době. [1]



Obrázek 7: Schéma zkušebního stavu pro kontrolu zakotvení bezpečnostních pásů podle předpisu EHK-R 14 [1]

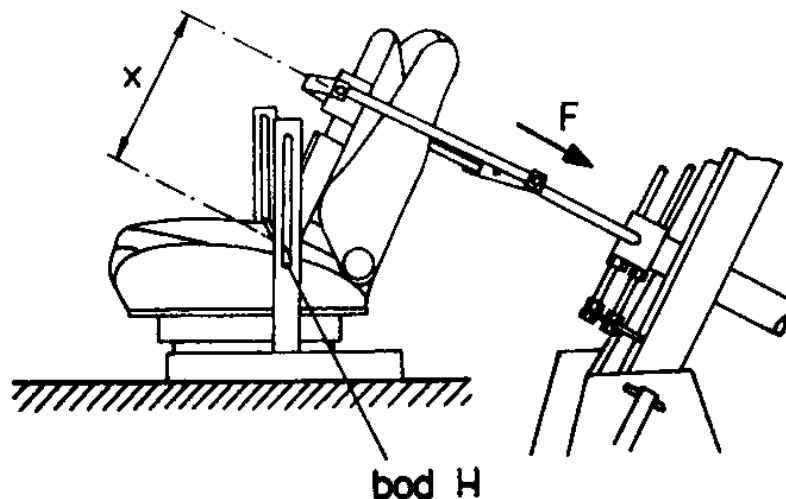
2.1.3 EHK/OSN č.16 – Bezpečnostní pásy

Předpis EHK-R 16 určuje homologační standarty bezpečnostních pásů pro dospělé osoby. Testují se všechny části pásů, tj. uzavírací přezka, seřizovací zařízení, připevňovací kování, popř. další části a vlastní popruhy. U pevných částí se testuje statická pevnost v tahu, spolehlivost a rezistence vůči atmosférickým vlivům. Podmínky statických zkoušek v tahu musí splňovat i popruhy a zároveň odolávat světlu, chladu, teple a účinkům vody. Celý mechanismus bezpečnostního pásu podléhá i dynamickým zkouškám, kdy je zkušební vozík s připoutanou figurínou zabrzděn z rychlosti 50 km/h nárazem tak, aby brzdová dráha vozíku byla 400 ± 50 mm. [1] [2]

2.1.4 EHK/OSN č.17 – Pevnost sedadel, úchytů a opěrek hlavy

Předpis EHK-R 17 stanovuje podmínky pevnosti sedadel a jejich ukotvení do podlahy. Sedadla a opěrky hlavy patří do zádržných systémů. Správným použitím sedadel, úchytů a opěrek spolu s bezpečnostními pásy dochází ke zmenšení setrvačné síly působící na cestující při nárazu a tím pádem k menšímu zranění cestujících.

Ústrojí pro úhlové nastavení opěradla je kontrolováno pomocí zkušební figuríny zatěžovacím momentem 53 Nm vůči H – bodu. Další statické zkoušky testují seřizovací a blokovací mechanismus sedadel v podélném směru včetně pevnosti kostry vlastního sedadla, jež je zatěžována v těžišti celého sedadla dvacetinásobkem jeho váhy. Tyto testy obsahují i výpočty kontrolující seřizovací a blokovací mechanismus proti samovolnému odjištění při působení přetížení 20 g. [1] [2]



Obrázek 8: Stav pro zkoušky sedadel podle předpisu EHK-R 17 [1]

2.1.5 EHK/OSN č.21 – Vnitřní vybavení (výčnělky) vozidel

Předpis EHK-R 21 se týká vnitřního vybavení vozidla a uspořádání ovládacích orgánů, střechy, opěradel a zadní části opěradel. Předpis určuje tzv. referenční oblasti nárazu hlavy, včetně všech nezasklených ploch interiéru vozidla, jež mohou přijít do styku s maketou hlavy o průměru 165 mm, která je součástí zkušebního zařízení. Veškeré výčnělky nacházející se v přední části prostoru pro cestující včetně referenční oblasti musí být předpisově zaobaleny. Výčnělky musí být zatlačeny do základové desky nebo odděleny a nesmějí mít žádné ostré hrany a jiné nebezpečné výčnělky. Testuje se i míra vstřebané energie přístrojovou deskou v oblastech možného nárazu hlavy cestujících v zadní části vozu. Tento test se dělá stejně jako test opěrek hlavy, tedy že kulová hlavice zkušebního zařízení narazí do opěradla rychlostí 24,1 km/h a její přetížení nesmí přesáhnout 80 g spojitě po dobu maximálně 3 ms. [1] [2]

2.1.6 EHK/OSN č.25 – Opěrky hlav

Předpis EHK-R 25 shrnuje zásady pro pevnost a geometrii opěrek hlavy a je spjatý se zkouškou sedadel. Tyto zásady se týkají všech opěrek, ať jsou trvalou součástí sedadel nebo odnímatelnou. Testuje se velikost a poloha opěrky ve vztahu k H- bodu. Provádí se statická zkouška, při které na opěrku účinkuje přes kulovou hlavici přípravku moment 374 Nm k bodu H, kdy deformace nesmí překročit 102 mm. Zátěž zvyšujeme dokud nedosáhneme síly 885 N. Nejenže se opěrka nesmí poškodit, ale zároveň se kontroluje absorpce nárazové energie, kdy kulovitá hlavice kyvadla nebo jiného zařízení narazí do opěrky v dosedací ploše rychlostí 24,1 km/h a je zaznamenán průběh zpoždění na kulové hlavici, jejíž maximální hodnota může být 80 g po dobu 3 ms. [1] [2]

2.1.7 EHK/OSN č.44 – Dětské zádržné systémy

Předpis EHK-R 44 shrnuje podmínky pro montáž zadržovacích systémů pro děti. Vlivy zádržných systémů na dětský organismus se testují pomocí zkušebních figurín, jež simulují děti ve věku 9 měsíců, 3, 6 a 10 let. [1] [2]

2.2 Figuríny používané při nárazových zkouškách

Figuríny jsou napodobeniny osob, využívané při zkouškách pasivní bezpečnosti. Jejich úlohou je poskytnout důležité informace o zranění pasažérů ve vozidle při zkouškách pasivní bezpečnosti. Při zkouškách bezpečnosti chodců se používají impaktory, které simulují části těla.

Figuríny a impaktory jsou vybavené akcelerometry, které v průběhu nárazu ukládají data různých veličin. Nejčastěji se jedná o veličiny zrychlení, úhlového zrychlení, sil, momentu a posunutí. Tyto data se po nehodě zpracují a porovnají se s biomechanickými kritérii.

Při různých nárazových zkouškách se využívají různé zkušební figuríny. Je to z toho důvodu, že každá zkušební figurína je vybavena snímači, umístěnými na jiných místech dle požadavků zkoušky.

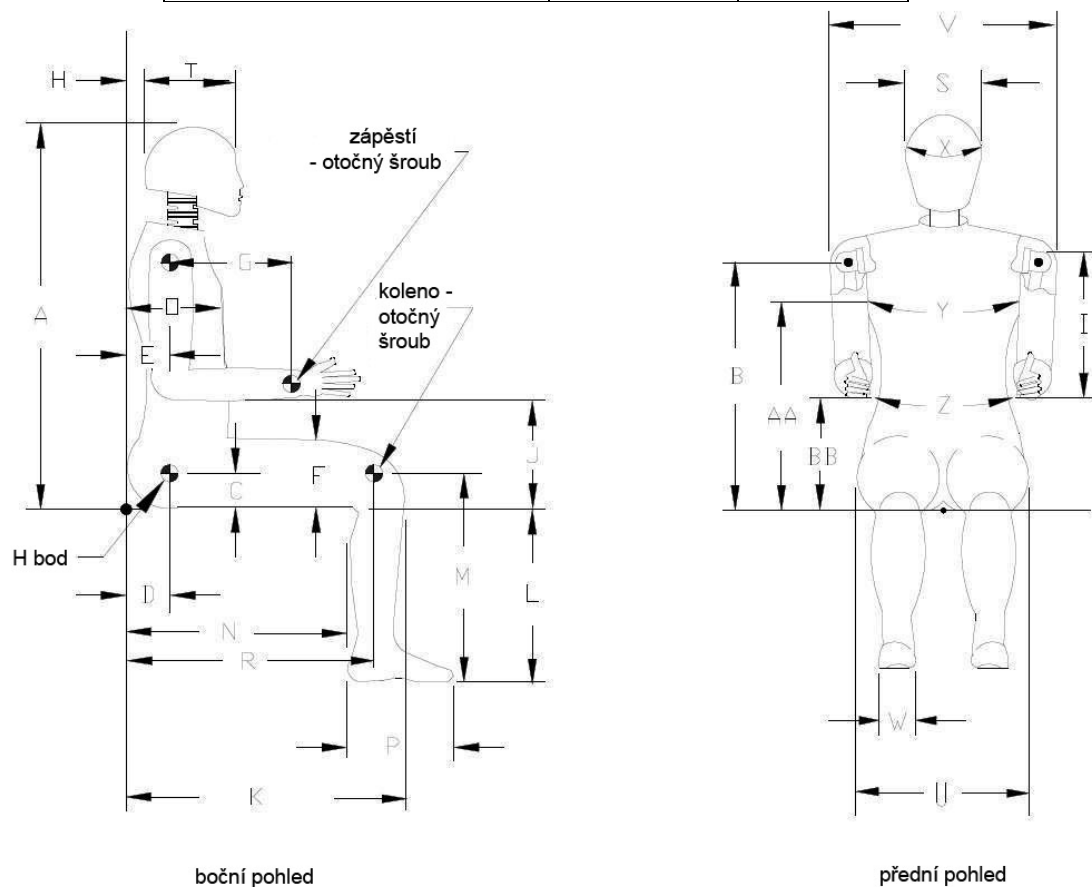
Nejčastěji využívané jsou figuríny *Hybrid III*, *EuroSid 2* a figuríny pro ověřování zůstatkového prostoru. [12]

2.2.1 Figurína Hybrid III

Při zkouškách nárazu podle předpisu EHK/OSN č. 94 se používá figurína typu Hybrid III zobrazená na obrázku 10. Její hmotnost je 77,7 kg a představuje 50 % velikosti a hmotnosti dospělého muže. Ve vnitřku figuríny je umístěno 44 snímačů, které snímají zrychlení působící na tělo při nárazu. Rozměry figuríny Hybrid III jsou popsány v tabulce. [1] [2]

Tabulka 1: Parametry figuríny typu Hybrid III [2]

Parametry	Označení	[mm]
Výška sedací části	A	884
Výška H – bodu	C	86
H – bod od zad	D	137
Délka stehenní kosti	K	592
Výška kolenního kloubu	M	493
Šířka hlavy	S	155
Hloubka hlavy	T	196
Obvod hlavy	X	572



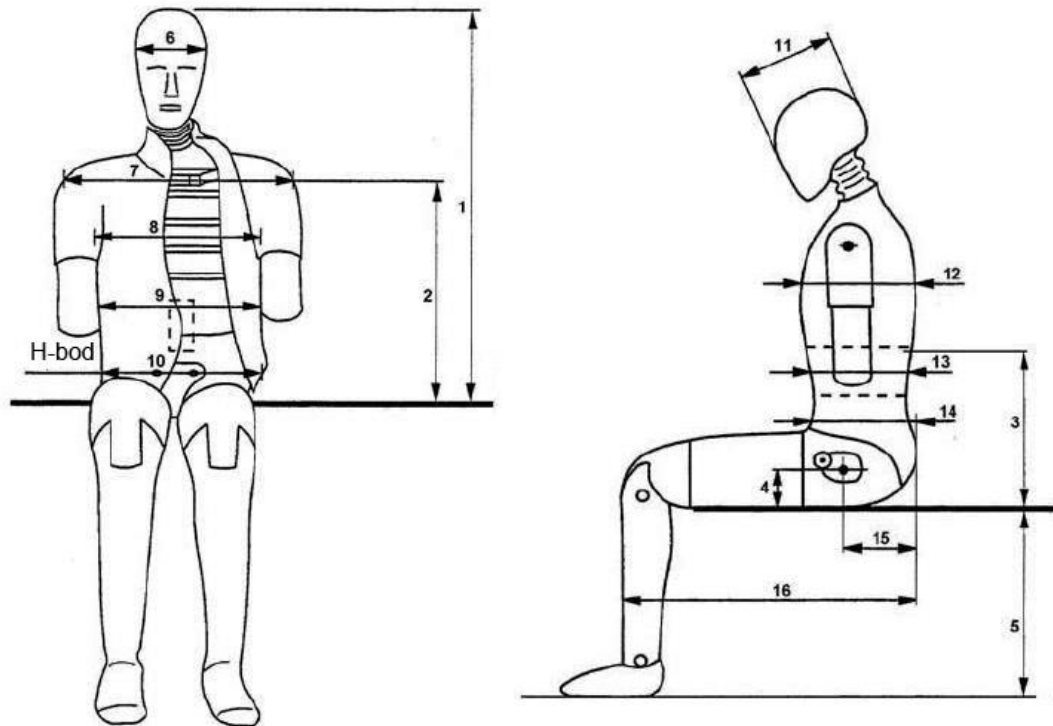
Obrázek 9: Figurína typu Hybrid III [2]

2.2.2 Figurína Eurosid 2

Tato figurína zobrazená na obrázku 11, je používána při bočních nárazech. Její hmotnost je 70,8 až 73,2 kg. Od figuríny Hybrid III se liší menší hmotností, rozměry a vybavením snímačů. Figurína disponuje 24 snímači zrychlení. V tabulce jsou popsány parametry figuríny. [11]

Tabulka 2: Parametry figuríny typu Eurosid 2 [2]

Číslo	Parametry	[mm]
1	Výška figuríny v sedu	909 ± 9
2	Sedadlo – ramenní kloub	565 ± 7
3	Sedadlo – spodní hrudní páteře	351 ± 5
4	Sedadlo – bod H	100 ± 3
5	Sedadlo – chodidlo	442 ± 9
6	Šířka hlavy	155 ± 3
7	Šířka ramen	470 ± 9
8	Šířka hrudního koše	327 ± 5
9	Šířka v oblasti břicha	280 ± 7
10	Šířka pánve	366 ± 7
11	Hloubka hlavy	201 ± 5
12	Hloubka hrudníku	267 ± 5
13	Hloubka břicha	199 ± 5
14	Hloubka pánve	240 ± 5
15	Bod H – záda	155 ± 5
16	Holeň - záda	606 ± 9



Obrázek 10: Figurína Eurosid 2 [1]

2.2.3 Dětské figuríny

Krom figurín, které nahrazují dospělého člověka, se používají i dětské figuríny. Tyto figuríny jsou rozdělené podle věku. Mezi nejznámější dětské figuríny patří figurína typu P. Používá se při předpisu EHK/OSN č. 44 zkoušky dětských zádržných systémů. [10]

Rozdělení:

P0 – novorozenec

P3/4 – 9 měsíců

P1 – 18 měsíců

P3 – 3 roky

P6 – 6 let

P9 – 9 let

3 Návrh modelu simulátoru deceleračních zkoušek a jeho konstrukce

Hlavní předpoklady

Je třeba navrhnout model tak, aby co nejpřesněji napodobil chování reálného urychlovacího zařízení. To znamená, aby bylo možno regulovat rychlost a zrychlení zkoumaného objektu, regulovat tvrdost nárazu. Rovněž je třeba zamezit nechtěnému pohybu zkoumaného objektu ve všech třech osách a tím docílit přesného vedení. Model simulátoru je opatřen měřicí technikou (akcelerometrem pro měření zrychlení resp. zpomalení), vysokorychlostní kamerou, kterou bude možné stanovit rychlost těsně před simulovaným nárazovým dějem. [12]

3.1. Fyzikální veličiny potřebné pro vytvoření simulátoru a veličiny použité při simulacích

Hmotnost m

Hmotnost je vlastnost hmoty, která vyjadřuje míru setrvačných účinků či míru gravitačních účinků hmoty. Tato ekvivalence setrvačných a gravitačních sil je postulována obecnou teorií relativity a je s velkou přesností experimentálně ověřena.

Základní jednotkou je kilogram [kg]. [13]

Rychlost v

Rychlost je fyzikální veličina, která udává, jak se mění poloha tělesa v čase. Je definována vztahem

$$v = \frac{s}{t}$$

Kde s [m] je dráha a t [s] je čas.

Zároveň platí, že rychlost je 1. derivace polohy podle času

$$v = \frac{ds}{dt}$$

Základní jednotkou je m/s .

Zrychlení a

Zrychlení resp. Zpomalení je definováno jako 1. derivace rychlosti podle času

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Kde dv [m/s] je rozdíl rychlostí a t [s] je čas.

Základní jednotkou zrychlení je ms^{-2} .

Kinetická energie E_K

Kinetická energie je skalární veličina, charakterizující stav tělesa vzhledem ke zvolené inerciální vztažné soustavě.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Kde m [kg] je hmotnost tělesa a v [m/s] je rychlost tělesa.

Jednotkou kinetické energie je joule J .

Síla F

Dle 2. Newtonova zákona je dána vztahem

$$F = m \cdot a$$

Kde m [kg] je hmotnost tělesa a a [ms^{-2}] je zrychlení tělesa.

Jednotkou síly je N .

Tuhost k

Tuhost pružiny je definována vztahem

$$k = \frac{F}{\Delta l}$$

Kde F [N] je velikost síly působící na těleso a Δl je rozdíl délek před protažením a po protažení.

Jednotkou tuhosti je N/m

Útlum b

Útlum je definován jako podíl dvou po sobě následujících výchylek tlumeného kmitání za dobu jedné periody

$$b = \frac{x(t)}{x(t + T_t)}$$

Kde $x(t)$ je velikost výchylky v čase t a $x(t+T_t)$ je velikost výchylky v čase $t+T_t$.

Jednotkou útlumu je $Ns \cdot m^{-1}$.

3.2 Výpočty

Předběžné základní výpočty

Dráha by měla být schopná simulovat náraz z rychlosti 80 km/h, přičemž vozík s testovaným objektem by měl hmotnost 1000 kg. To je maximum a přibližně odpovídá kinetické energii 247 kJ. Při nižších nárazových rychlostech umožní tato energie výrazně zvýšit hmotnost testovaného objektu, např. na nárazovou rychlost 50 km/h dokáže urychlit vozík s testovaným objektem, jejíž celková hmotnost bude 2500 kg. Tomu odpovídá kinetická energie 241 kJ

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 22,22^2 = 246\,864J = 246,8kJ \quad (1)$$

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 2500 \cdot 13,88^2 = 240\,818J = 240,8kJ \quad (2)$$

V zájmu minimalizace rozjezdového zrychlení (aby setrvačnost nezměnila polohu testovaného objektu) se používají dlouhé rozjezdové dráhy. V našem případě počítáme s délkou 35 m.

Potřebná síla pro rozjezd vozíku:

$$F_{v1} = \frac{E_k}{s} = \frac{246864}{35} = 7053N \quad (3)$$

Předpokládáme, že rychlost narůstá lineárně a průměrná rychlost je polovinou požadované nárazové rychlosti.

Dráha s rovnoměrně zrychleného pohybu je:

$$s = \frac{1}{2} \cdot v_{max} \cdot t$$

Z toho doba rozjezdu t pro 80 km/h je:

$$t = 2 \cdot \frac{s}{v_{max}} = 2 \cdot \frac{35}{22,22} = 3,15s \quad (4)$$

Potřebné zrychlení a na 80 km/h je:

$$a = 2 \cdot \frac{s}{t^2} = 2 \cdot \frac{35}{3,15^2} = 7,05ms^{-2}, \text{ tedy zhruba } 0,7g \quad (5)$$

Doba rozjezdu t pro 50 km/h je:

$$t = 2 \cdot \frac{s}{v_{max}} = 2 \cdot \frac{35}{13,88} = 5,04s \quad (6)$$

Potřebné zrychlení a na 50 km/h je:

$$a = 2 \cdot \frac{s}{t^2} = 2 \cdot \frac{35}{5,04^2} = 2,76ms^{-2}, \text{ tedy zhruba } 0,28g \quad (7)$$

Při hmotnosti vozíku s testovaným objektem 1000kg a nárazové rychlosti 50 km/h by potřebná energie byla 96,5 kJ, což je 39% energie pro 80 km/h. Bude tedy zapotřebí přibližně o 61% gumolan méně.

V zájmu minimalizace rozjezdového zrychlení je snaha využít celou rozjezdovou dráhu pro různé hmotnosti vozíku s testovaným objektem. Proto je záměrem rozdělit gumolana na 3 odpojitelné sekce, což umožní dávkovat elastickou energii jejich kombinováním v sedmi stejně velkých stupních. Základní hodnota by zhruba odpovídala nárazu jedné tuny rychlostí 30 km/h. (Obsluha bude mít tabulku optimálního nastavení).

Aerodynamický odpor – odpor vzduchu

Vzdušný odpor – jedná se o sílu, která směřuje proti relativnímu pohybu vozíku. Vzdušný odpor je vyvolaný prostředím, které vozík obklopuje a brání pohybu vozíku. Celkový vzdušný odpor se vypočítá ze vztahu: $O_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_x \cdot c_x \cdot v_r^2$. Rychlost mění velikost vzdušného odporu s druhou mocninou, proto svého významu nabývá při vyšších rychlostech.

Na pohybující se těleso v určitém prostředí působí síla, která se nazývá odpor proti pohybu. Při nízkých rychlostech je odporová síla relativně malá a je považována za přímo úměrnou rychlosti pohybu.

Čelní plocha vozíku S_x je plocha, která se promítne na projekční stěnu vlivem nasvícením vozíku paralelním světlem. Pokud nelze měření čelní plochy provést, tak lze

použít zjednodušený vztah: $S_x = B \cdot H$. V mém případě uvažuji, že na vozíku bude jezdit krychle s čelní plochou 1 x 1m.

Součinitel vzdušného odporu c_x vyjadřuje závislost odporu prostředí na tvaru tělesa. V mém případě uvažuji rovnou desku se součinitelem $c_x = 1,1$. [15]

$$O_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_x \cdot c_x \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 22,22 = 15,276N \quad (8)$$

Valivý odpor

Prostřednictvím pneumatik se vozík stýká s betonovou podlahou. Pneumatiky přenášejí síly z vozíku na podlahu a naopak. Valivý odpor určíme sečtením valivých odporů na jednotlivých kolech vozíku. Pro jedno kolo platí vztah: $O_f = f_K \cdot G$. [16]

Za předpokladu, že všechna kola na vozíku budou mít stejnou hodnotu součinitele valivého odporu, bude platit vztah pro jízdu po rovině:

$$O_f = \sum_i f_K \cdot G = 4 \cdot f_K \cdot m \cdot g = 4 \cdot 0,02 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 784,8N \quad (9)$$

Součinitel valivého odporu guma-beton $f_K = 0,02$.

Jízdni odpory vozíku

Jízdni odpory jsou síly, které působí proti pohybu vozíku. Celkový jízdni odpor se skládá z několika druhů odporů. Patří sem odpor valivý, aerodynamický, od stoupání, zrychlení. Tyto jízdni odpory musí být překonány silou gumolan. V našem případě můžeme mnoho odporů vynechat a celkový jízdni odpor vypočítáme sečtením odporů působících na vozík:

$$O_c = O_v + O_f = 15,276 + 784,8 = 800,076N \quad (10)$$

Celkové jízdni odpory vyšli 800 N, to znamená, že bude zapotřebí více gumolan, pro rozjezd vozíku na požadovanou rychlost na určené dráze. Tuto sílu musíme přičíst k potřebné síle pro rozjezd vozíku:

$$F_{v2} = O_c + F_{v1} = 800,076 + 7053 = 7853,076N \quad (11)$$

Účinnost kladek a kladkostroje

Odpory, které musí síla na kladce překonat, jsou způsobené tuhostí lana při jeho ohýbání a také čepovým třením v uložení. V praxi žádná kladka nemá 100% účinnost,

tak každá kladka v kladkostroji snižuje jeho celkovou účinnost. Při použití jakéhokoli kladkostroje je tedy vždy menší než 100%.

Pevné kladky pouze mění směr a nemá vliv na působící sílu, jako kladky volné. Každá kladka má menší účinnost než 100%. Platí tedy, že každá použitá pevná kladka v kladkostroji pouze snižuje jeho účinnost bez jakéhokoli vlivu na sílu působící v laně. Chceme-li co neúčinnější kladkostroj, je potřeba používat co nejméně kladek pevných a výhradně používat kladky volné.

S počtem kladek klesá účinnost, která u jedné kladky bývá 96% (pro kluzné uložení) a 98% (pro valivé uložení). [17]

Účinnost kladkostroje, který obsahuje 3 kladky:

$$\eta_{KLS} = 0,98^3 = 0,94 \quad (12)$$

Účinnost kladek pro vedení ocelového lana, která obsahuje 3 kladky:

$$\eta_K = 0,98^3 = 0,94 \quad (13)$$

Celková účinnost mechanismu:

$$\eta_C = \eta_B \cdot \eta_K \cdot \eta_{KLS} = 0,95 \cdot 0,94 \cdot 0,94 = 0,83 \quad (14)$$

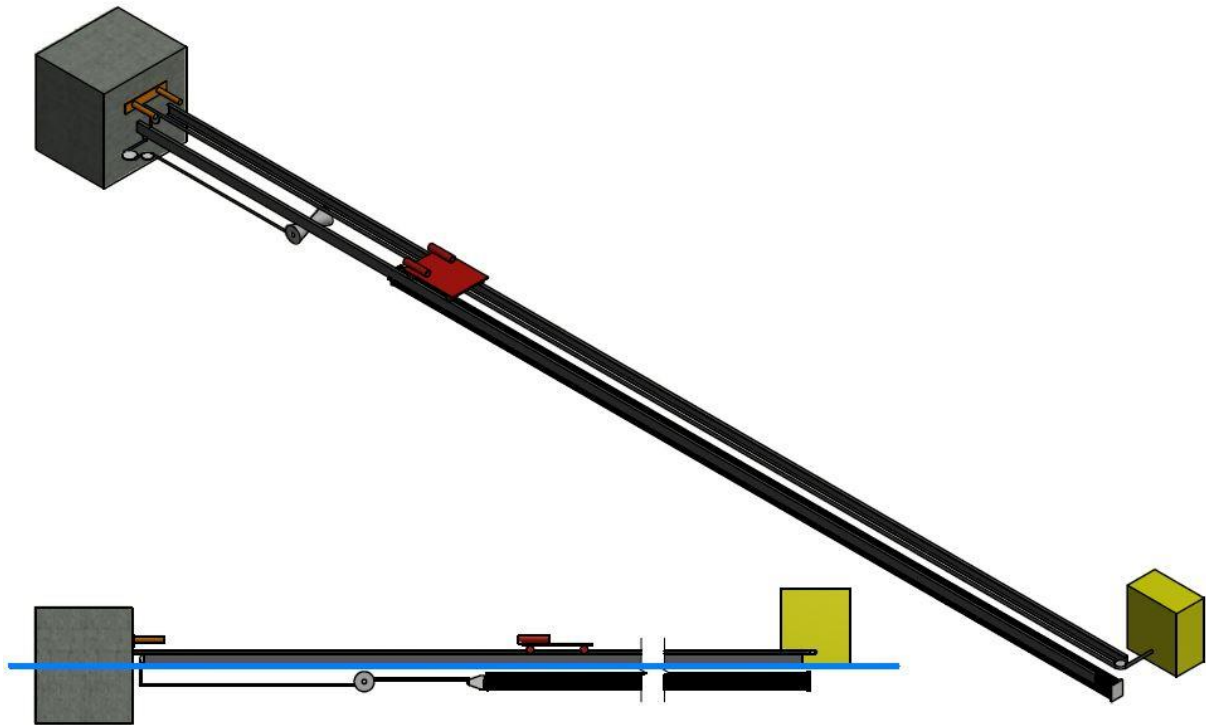
Celková účinnost vyšla 83%, to znamená, že bude zapotřebí o 17% více energie pro rozjezd vozíku na požadovanou rychlost na určené dráze. Tuto účinnost musíme přičíst (zohlednit) k potřebné síle pro rozjezd vozíku:

$$F_{vc} = 7853,076 + (7853,076 \cdot 0,17) = 9188,099N \quad (15)$$

Pro rozjezd vozíku na požadovanou rychlost v požadované vzdálenosti, budou muset gumolana vyvinout sílu 9188,1 N. Což je na dráze 35 m 321,58 kJ.

Po spočítání předběžných výpočtů jsem začal tvořit modely v programu AutoCad Inventor. Vytvořil jsem 3 varianty konstrukce simulátoru decelerační zkoušky.

Varianta 1



Obrázek 11: Konstrukce simulátoru decelerační zkoušky, varianta 1

Dráha je tvořena dvěma kolejnicemi ve tvaru C proti sobě. Vozík má horizontální i vertikální vedení a jeho kladky jsou dotlačovány pomocí pružin ke kolejnicím, aby se vymezila vůle při nárazu.

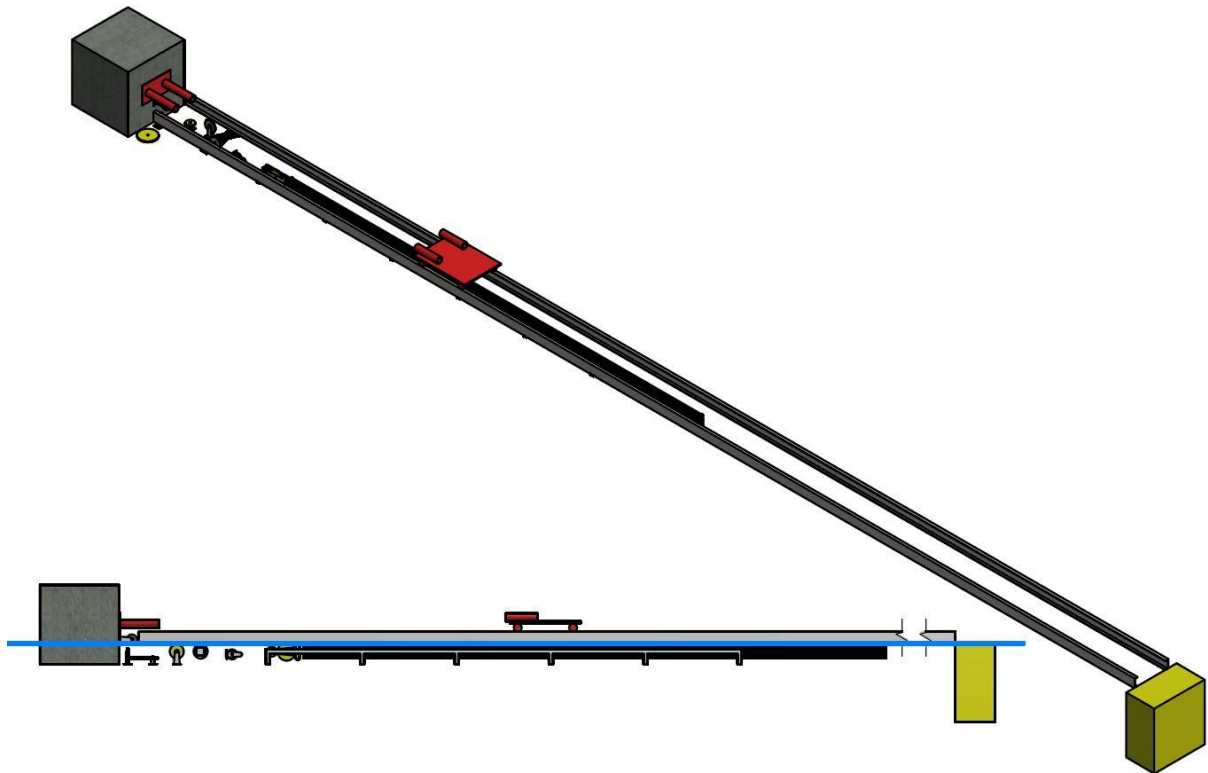
Naviják je umístěn nad zemí a mimo osu dráhu, pro případ že by objekt na vozíku začal hořet a bylo by za potřebí s vozíkem vyjet z haly. Naviják musí být do podlahy dobře zakotven, aby se při napínání gumolan nevytrhl. Podlaha v hale je zobrazena na obrázku 11 modrou čarou.

Gumolana jsou umístěna pod kolejovou dráhou vodorovně. Napnutá délka gumolan je 26,25 m, takže se pod dráhu vejdou.

Do lanovodu je vřazen egalizátor ve tvaru dvojkužele, kvůli nadměrnému zrychlení vozíku na počátku rozjezdu. Ocelové lano, které vede od napnutých gumolan, se začíná odvíjet z malého průměru kužele, a jak klesá síla gumolan, odvíjí se z rostoucího průměru. Naopak lano, které vede k vozíku, se začíná navíjet na velkém průměru a postupně se navíjí na menší průměr. Tímto chceme dosáhnout lineárního průběhu síly od gumolan.

Na konci dráhy je umístěn betonový nárazový blok. Blok je zapuštěn do podlahy a je obložen gumovými deskami, a to i na jeho spodní straně. Tím chceme minimalizovat přenos záchvěvů do okolí. Jeho hmotnost je minimálně 70 t.

Varianta 2



Obrázek 12: Konstrukce simulátoru decelerační zkoušky, varianta 2

Dráha je tvořena dvěma kolejnicemi ve tvaru C proti sobě. Vozík má horizontální i vertikální vedení a jeho kladky jsou dotlačovány pomocí pružin ke kolejnicím, aby se vymezila vůle při nárazu.

Naviják je umístěn pod úroveň podlahy a je v ose dráhy. Tímto naviják nepřekáží při sjíždění vozíku s dráhy. Naviják nemusí být dobře zakotven do podlahy, protože při navijení lana se bude opírat o podloží před sebou. Podlaha v hale je zobrazena na obrázku 12 modrou čarou.

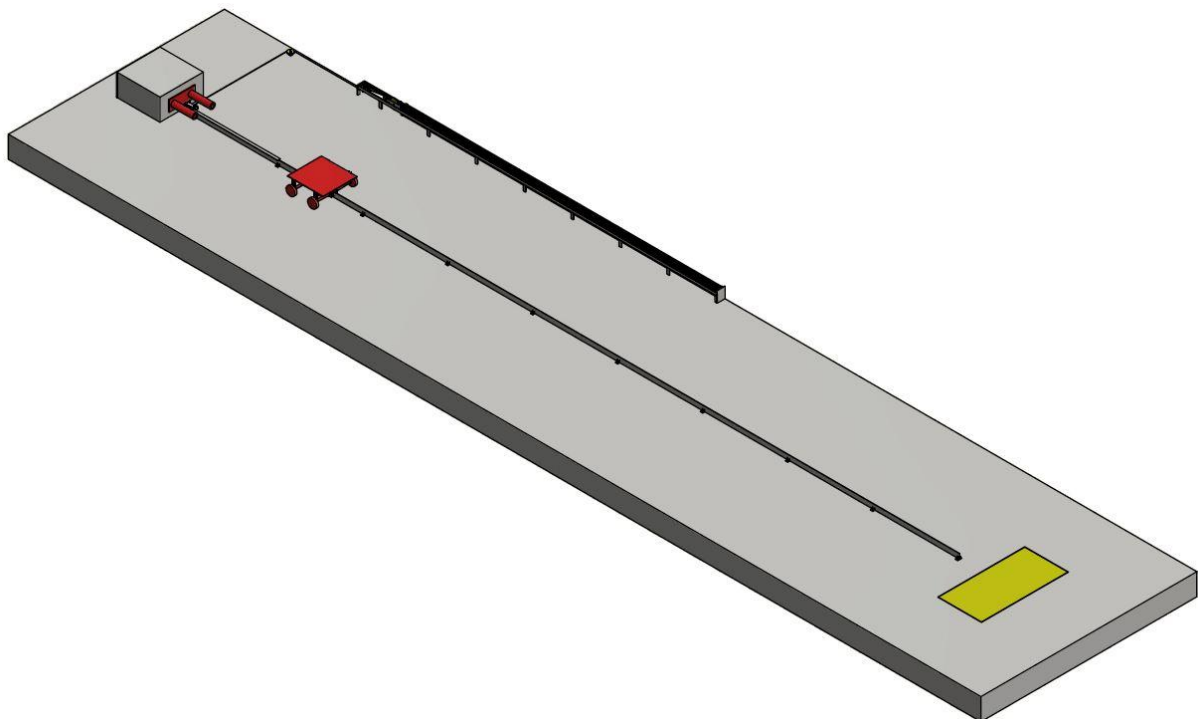
Gumolana jsou umístěna pod kolejovou dráhou vodorovně. Napnutá délka gumolan je 26,25 m, takže se pod dráhu vejdou.

Do lanovodu je vřazen egalizátor ve tvaru dvojkužele, kvůli nadměrnému zrychlení vozíku na počátku rozjezdu. Ocelové lano, které vede od napnutých gumolan,

se začíná odvíjet z malého průměru kužele, a jak klesá síla gumolan, odvíjí se z rostoucího průměru. Naopak lano, které vede k vozíku, se začíná navíjet na velkém průměru a postupně se navijí na menší průměr. Tímto chceme dosáhnout lineárního průběhu síly od gumolan.

Na konci dráhy je umístěn betonový nárazový blok. Blok je zapuštěn do podlahy a je obložen gumovými deskami, a to i na jeho spodní straně. Tím chceme minimalizovat přenos záchvěvů do okolí. Jeho hmotnost je minimálně 70 t.

Varianta 3



Obrázek 13: Konstrukce simulátoru decelerační zkoušky, varianta 3

Dráha je tvořena jednou vodící kolejnicí dlouhou 35,5m. Vozík je na začátku dráhy veden pouze vertikálně, aby držel směr. Na konci dráhy je vozík veden vertikálně i horizontálně kvůli měření při nárazu.

Naviják je umístěn pod úroveň podlahy a je v ose dráhy. Tímto naviják nepřekáží při sjíždění vozíku s dráhy. Naviják nemusí být dobře zakotven do podlahy, protože při navijení lana se bude opírat o podloží před sebou.

Gumolana jsou umístěna mimo dráhu a nad podlahou haly. Jejich délka zůstala stejná jako u předchozích variant, ale v tomto případě se délka gumolan může zvětšit.

V tom případě by kladkostroj nemusel mít tak velký převod. Ale s rostoucí délkou gumolan se zvětšuje jejich gravitační průhyb.

V této variantě byl egalizátor vyřazen, protože lana jsou umístěna mimo dráhu a dají se různě nastavovat pro lepší průběh síly od gumolan.

Na konci dráhy je umístěn betonový nárazový blok. Blok je zapuštěn do podlahy a je obložen gumovými deskami, a to i na jeho spodní straně. Tím chceme minimalizovat přenos záchvěvů do okolí. Jeho hmotnost je minimálně 70 t.

Detailnější zobrazení konstrukce simulátoru decelerační zkoušky je přiloženo v příloze.

3.2.1 Dynamika nárazu

Vzhledem k tomu, že reálné kolize nikdy neprobíhají za „ideálních“ podmínek, je možné děj považovat za stochastický. Struktura kolizních konstrukcí obsahuje téměř vždy prvky pevné, pružné a tlumící. [12]

Hlavní roli v mechanismu nárazu hraje tzv. rovnice rovnováhy kinetické energie a deformační energie. [2]

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \int_0^{\xi} P d\xi \quad (16)$$

Kde P je okamžitá deformační síla [N] a ξ je velikost deformace vozidla [m]

a) Deformační síla je úměrná stlačení přídě $P = c \cdot \xi$ a zároveň $P_{max} = m \cdot a_{max}$ z rovnice rovnováhy získáme vztah:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = \int_0^{\xi_{max}} c \cdot \xi d\xi \quad (17)$$

Po integraci a úpravě

$$\xi_{max} = v_0 \cdot \sqrt{\frac{m}{c}} \quad (18)$$

Kde $\sqrt{\frac{m}{c}}$ je vlastní frekvence

$$\xi_{max} = \frac{v_0^2}{a_{max}} \quad (19)$$

b) Deformační síla je úměrná rychlosti stlačování přídě, $P = b \cdot \dot{\xi}$

Pohybová rovnice pro posuv nedeformovatelné části vozidla má tvar:

$$x = v_0 \cdot \frac{m}{b} \cdot \left(1 - e^{-\frac{b}{m}t}\right), \text{ tedy } \dot{x} = v_0 \cdot e^{-\frac{b}{m}t} \quad (20)$$

Deformační rychlost dosahuje maxima v okamžiku nárazu ($t=0$), kdy $\dot{\xi}_{max} = v_0$.

Pro splnění podmínky $\ddot{x}_{max} = a_{max}$ musí platit $b = \frac{m \cdot a_{max}}{v_0}$, maximální deformace

($t \rightarrow 0$) $\xi_{max} = x_{max}$ je potom $\xi_{max} = v_0 \cdot \frac{m}{b} = \frac{v_0^2}{a_{max}}$. [12]

Tyto rovnice se používají při crash testech celých vozidel.

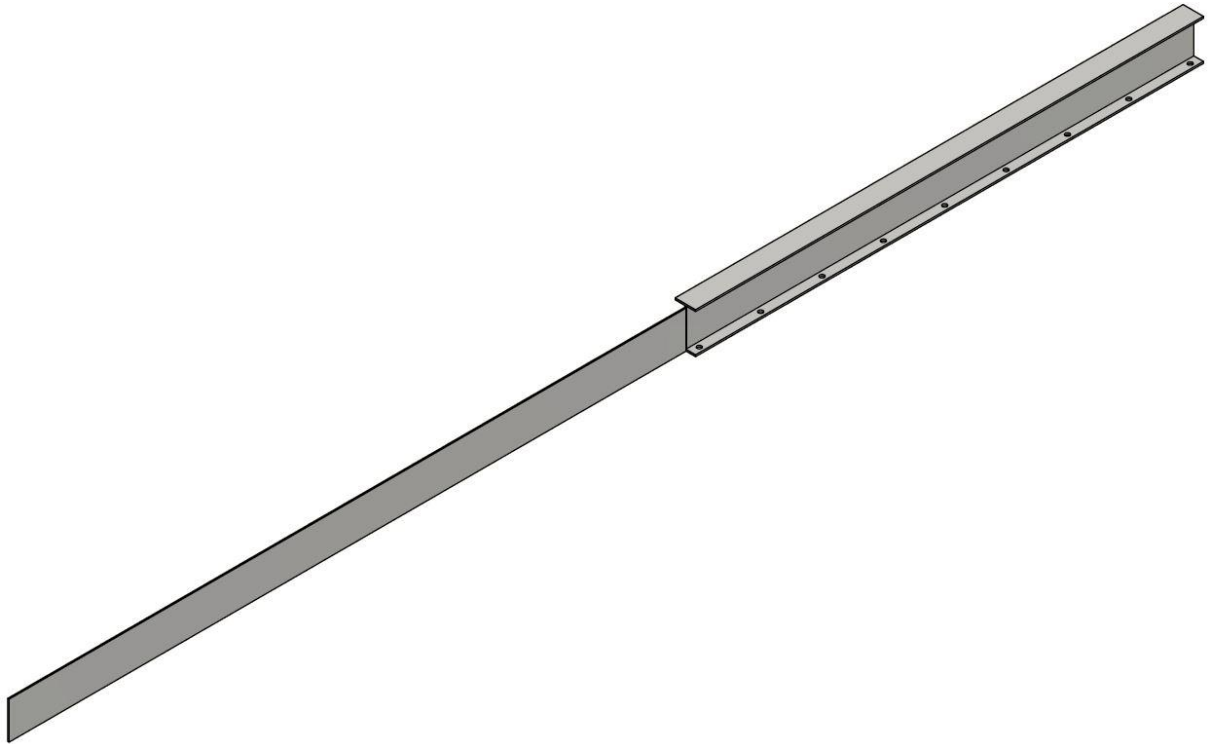
3.2.2 Dráha

Dráha je zkonstruována z jedné vodící kolejnice. V místě nárazu má kolejnice tvar T, kvůli zabránění překlopení vozíku při nárazu. Délka dráhy je 35,5 m, kvůli zmenšení zrychlení při akceleraci.

První část dráhy je tvořena širokou ocelí o výšce $b=220$ mm a šířce $t=6$ mm o délce 31,5 m. ŠIROKÁ OCEL 220x6 ČSN 42 5524.0 – 11 373.0 – ČSN 42 0138.00. V této části je vozík veden pouze příčně, aby držel směr.

Druhá část dráhy je tvořena tyčí profilu IPE o výšce $h=240$ mm a šířce $b=120$ mm o délce 4 m. IPE 240 ČSN 42 5553 – 11 373.0 – ČSN 42 0135.00. V této části musí být vozík veden co nejpřesněji a pokud možno bez vůle jak ve vertikálním směru, tak i horizontálním napříč ke směru pohybu.

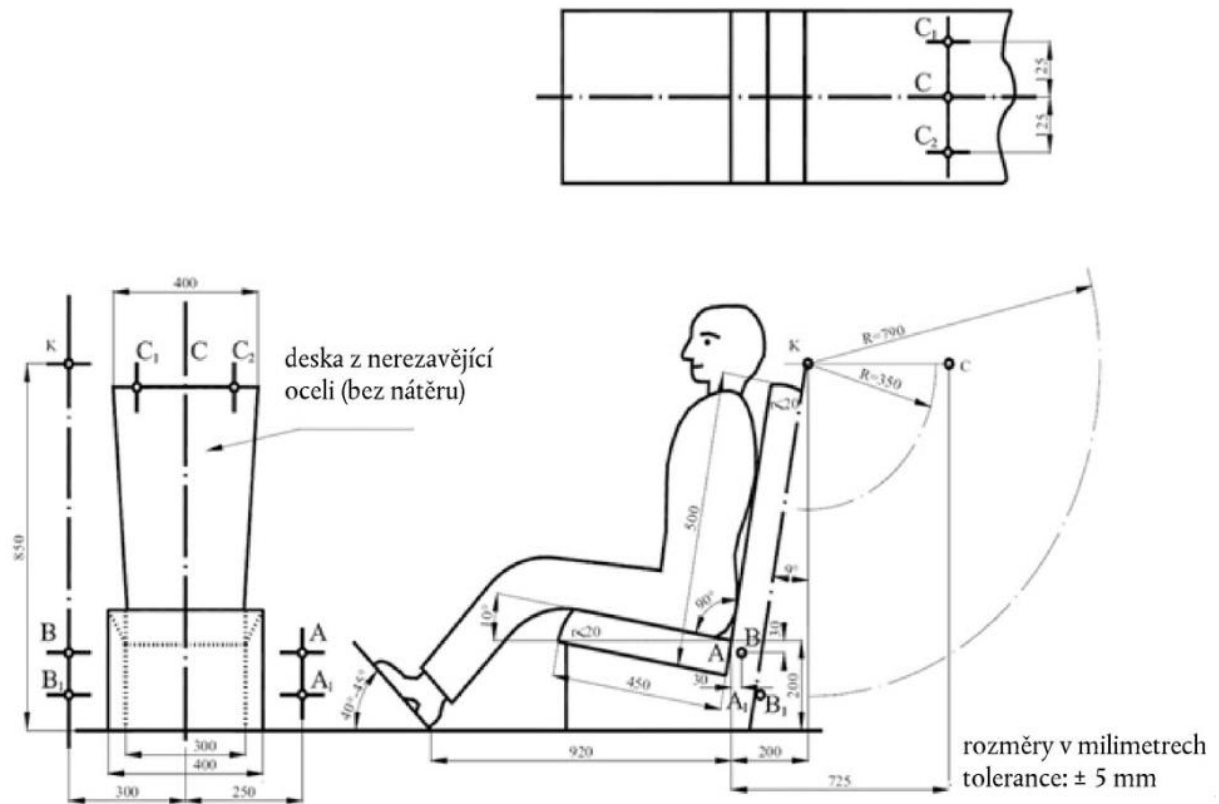
Detailnější zobrazení kolejnice je přiloženo v příloze.



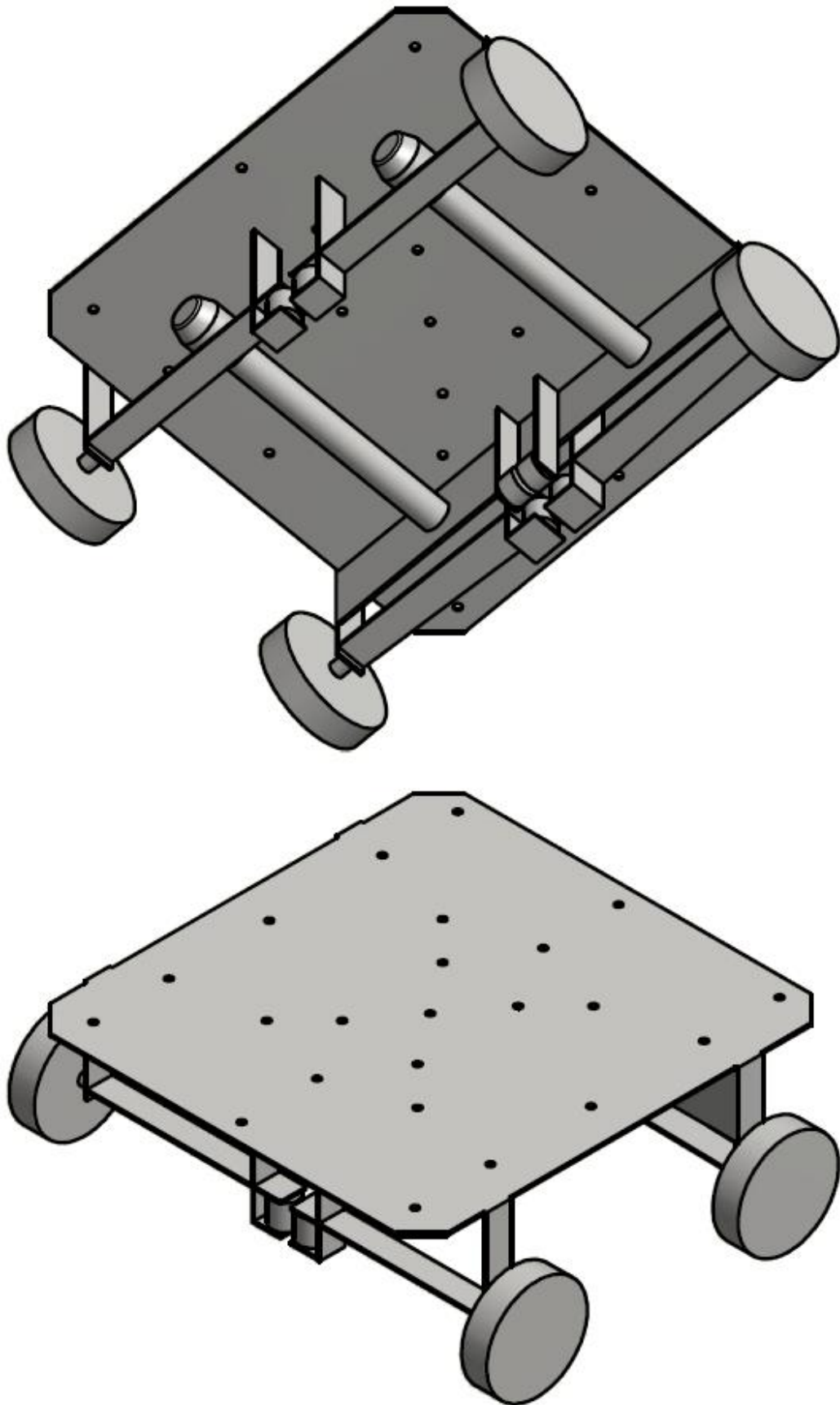
Obrázek 14: Kolejnice vymodelovaná v programu AutoCad Inventor

3.2.3 Dynamická plošina „vozik“

Dynamická plošina je složena z ocelové desky o rozměrech 1650 x 1580 x 8 mm, která je opatřena otvory dimenzovanými pro upevnění různých komponentů vozidla, sedaček, atd. Dále musíme dbát na to, aby žádná kovová část nepřišla do styku s pásem. Rozvor předních a zadních kol je 1000 mm. Rozchod kol je 1800 mm. Na plošinu jsou dále přivařeny dva trny v zadní části plošiny, které jsou na koncích opatřeny kulovými objekty různých tvarů. V našem případě se jedná o tvary oliv. Tyto trny se podílejí na deceleraci plošiny. [12]



Obrázek 15: Kotevní úchyty na vozíku podle normy EHK OSN č.16 [14]



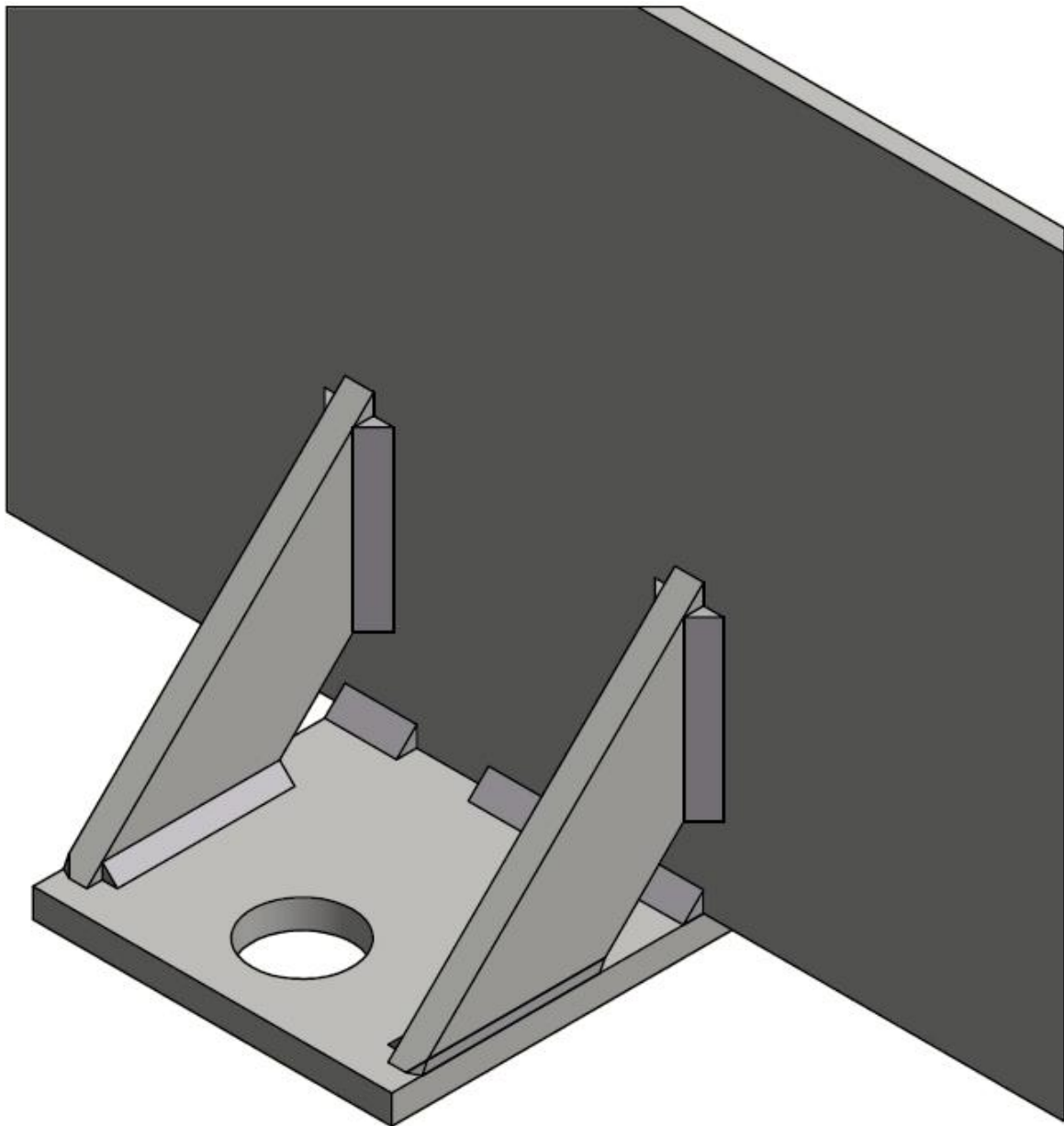
Obrázek 16: Dynamická plošina vymodelovaná v programu AutoCad Inventor

3.2.4 Upevnění kolejnice k podlahové desce

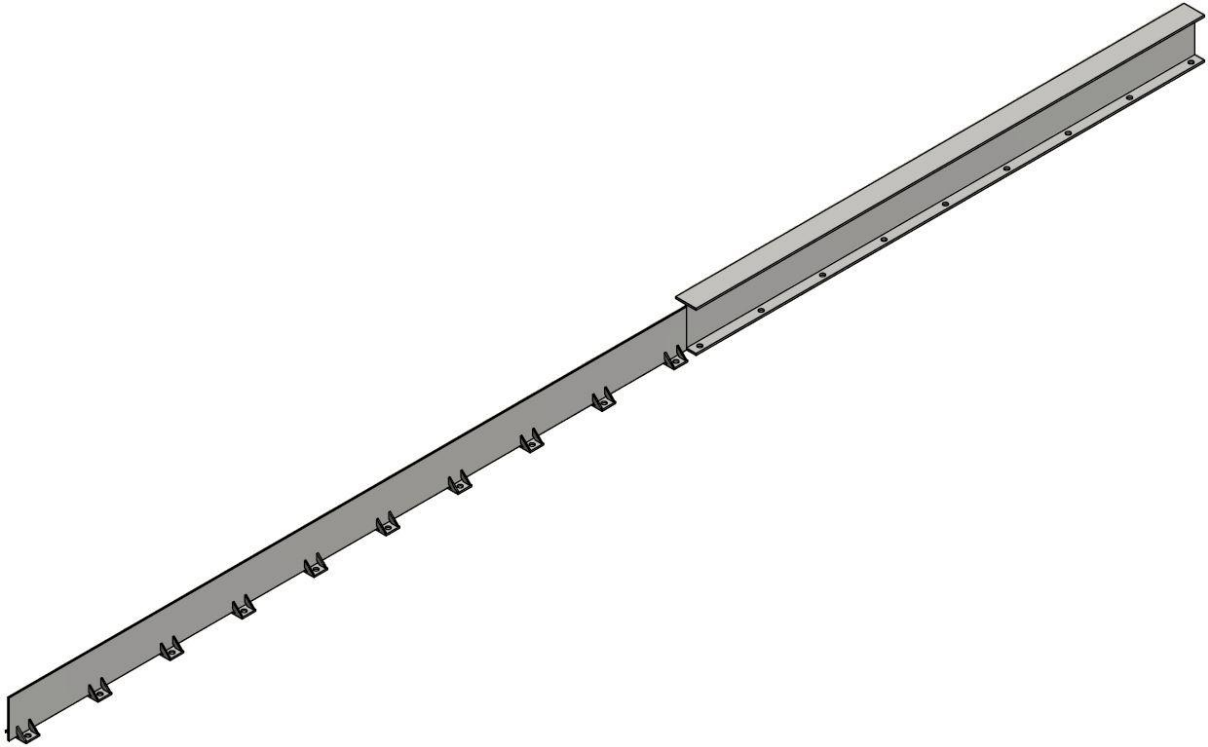
Kolejnice je svárem připevněna k 20 ocelovým podpěrám. Výška kolejnice je 240 mm, vrchní plocha kolejnice tvaru IPE je ve výšce 288 mm nad podlahou. V prostoru pod kolejnicí vznikl teda prostor pro seštelování kolejnice do roviny.

Pro upevnění podpěr k podlaze budou použity závitové tyče M24. Tyto tyče budou do podlahy v hale zabetonovány v řadě. Mezi podlahou a podpěrami bude dvojice matic kvůli štelování dráhy do roviny. Nad podpěrami bude další dvojice matic k upevnění kolejnice k podlaze.

Detailnější zobrazení upevnění kolejnice je přiloženo v příloze.



Obrázek 17: Detail přivaření ocelové podpěry ke kolejnici



Obrázek 18: Držáky kolejnice přivařené ke kolejnici

3.2.5 Akcelerace dynamické plošiny „vozíku“

Gumolana

Zrychlení dynamické plošiny zajišťují pryžová lana o průměru 14 mm. Počet lan se může měnit v závislosti na rychlosti, které chceme dosáhnout a hmotnosti testovaného objektu. Zrychlení dosáhneme natažením pryžových lan a jejich následným uvolněním, čímž dojde k předání potřebného impulzu dynamické plošině.

Z diagramů poskytnutých firmou Sandow Technic na obrázku 19 lze odečíst elastickou energii odevzdanou při doporučeném smrštění ze 180% na 120% volné délky v hodnotách 1 m gumolana. Z grafu Sandow Technic byly pro gumolana $\varnothing 14$ mm odečteny hodnoty 700 N při 180% natažení a 400 N při 120% natažení.

Pro gumolano $\varnothing 14$ mm je elastická energie 1 metru lana 180 J. Sandow Technic uvádí pro tyto hodnoty toleranci $\pm 15\%$. Vezmeme spodní hranici, takže pro $\varnothing 14$ mm je elastická energie lana 153 J. Pro elastickou energii 321,58 kJ by tedy bylo zapotřebí 2102 m gumolana. Dráha vozíku v délce 35 m by při převodu 1:1 vyžadovala tutéž délku mezi využívaným 120% a 180% napnutím gumolan. Představuje-li tento 60% rozdíl 35 m délky, pak 100% je 58,33 m volné délky.

$$l_{1:1}^{100} = \frac{35}{0,6} = 58,3\bar{3}m \quad (21)$$

Napnutá délka (180%) by byla 105 m, tedy delší než dráha.

$$l_{1:1}^{180} = 58,3\bar{3} + (58,3\bar{3} \cdot 0,8) = 105m \quad (22)$$

Proto je vřazen mezi gumolana a ocelové lano kladkostroj s převodem 4:1. Napnutá gumolana mají pak délku 26,25 m, takže se do haly vejdou.

$$l_{4:1}^{180} = \frac{105}{4} = 26,25m \quad (23)$$

Totálně uvolněná gumolana mají délku 14,58 m.

$$l_{4:1}^{100} = \frac{58,3\bar{3}}{4} = 14,58m \quad (24)$$

Dal by se použít i kladkostroj s převodem 3:1 s délkou napnutých gumolan 35 m a uvolněných gumolan 19,44 m, ale jejich gravitační průhyb by už byl přílišný.

Počet gumolan musí být dělitelný sedmi, aby skupiny byly celočíselné v poměru 1:2:4

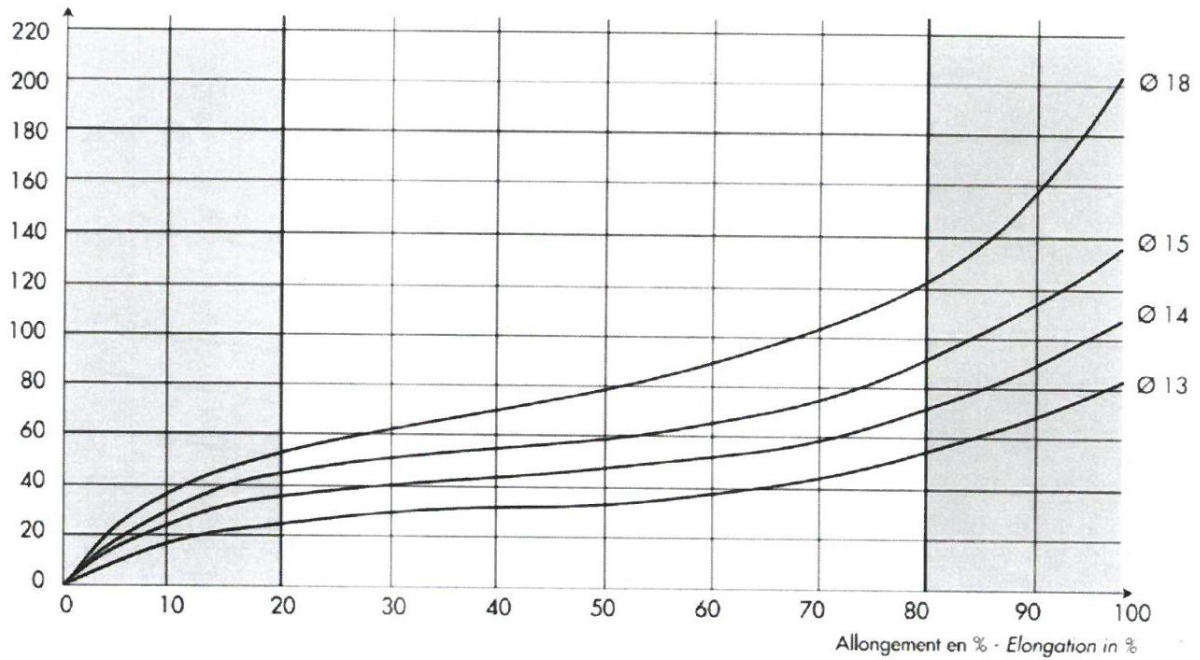
$$n = \frac{2102}{14,58} = 144,17 \quad (25)$$

Dělitelnost sedmi u počtu 144,17 nevychází přesně, proto počet zvýšíme o tři na 147.

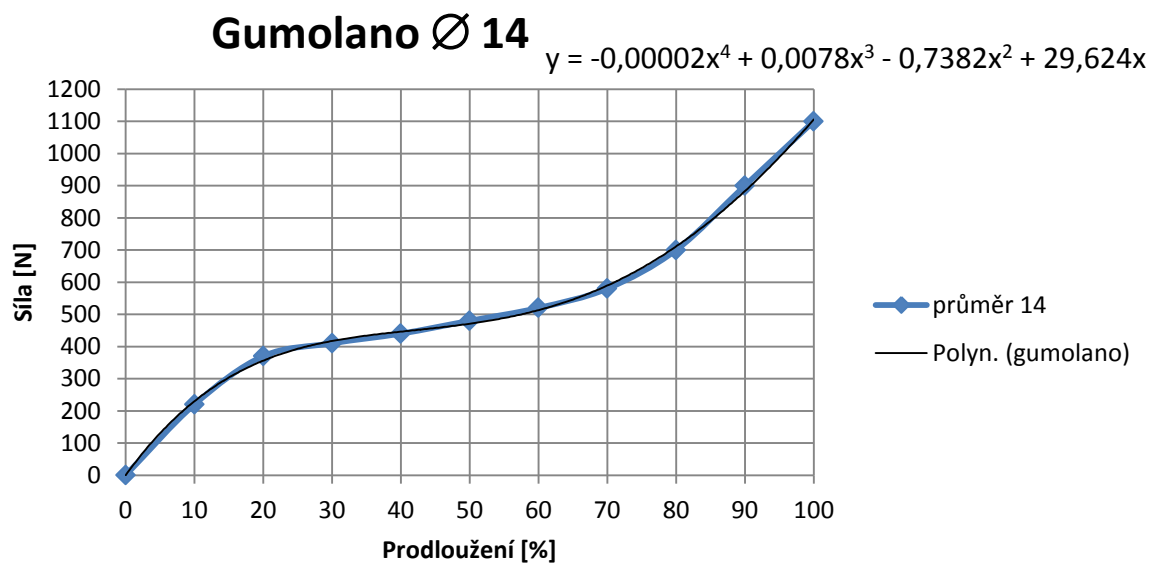
$$N = \frac{n}{7} = \frac{147}{7} = 21 \quad (26)$$

V zájmu symetrického upnutí gumolan na ráhno bude schéma rozdělení: 42-21-21-21-42 (21:42:84)

Abychom byli schopni charakterizovat a předvídat chování pryžových lan při různých zatíženích, je třeba udělat tzv. zatěžovací charakteristiky, které nám poslouží k určení jejich tuhostí a podle toho upravit provedené výpočty.



Obrázek 19: Graf pryžových lan od firmy Sandow Technic



Graf 1: Určení tuhosti pryžového lana

Po přenesení grafu do Excelu a proložení polynomem 4. řádu, jsme získali rovnici spojnice trendu. Z předpisu spojnice trendu jsme získali funkci hnací síly na dráze vozíku:

$$F_{vc} = -0,00002x^4 + 0,0078x^3 - 0,7382x^2 + 29,624x$$

Ocelové lano

Při akceleraci se vozík od ocelového lana odpoutá po odvinutí 35 m. Tažné lano je volně vedeno pod vozíkem. Do startovací polohy je vozík navijákem přitažen na začátek dráhy. Ocelové lano je tam zcela navinuto (gumolana jsou napnutá na 180%). K ocelovému lanu je přidělán kovový unášec. Ten je vybaven západkou, která je při napínání gumolan mechanicky spojena s nástavcem pod vozíkem, takže je při napínání gumolan tažen vozík na začátek akcelerační dráhy. Po napnutí gumolan obsluha západku rozpojí, neboť lanový pohon zůstává zablokován brzdou elektromotoru.

Katapultáž se spustí rozpojením elektromagnetické spojky, přičemž unášec vložený do lana se opírá o konec trubky spojené s vozíkem a vozík je urychlován. Spojení vozíku s lanem je tedy jednosměrné.

Po zabrzdění navijáku pokračuje vozík setrvačností k polyuretanovým trubkám na nárazovém bloku. Gumolana zůstala po zabrzdění navijáku napnutá na 120% volné délky.

Maximální síla, jakou je vozík tažen bez odporů a účinností, je

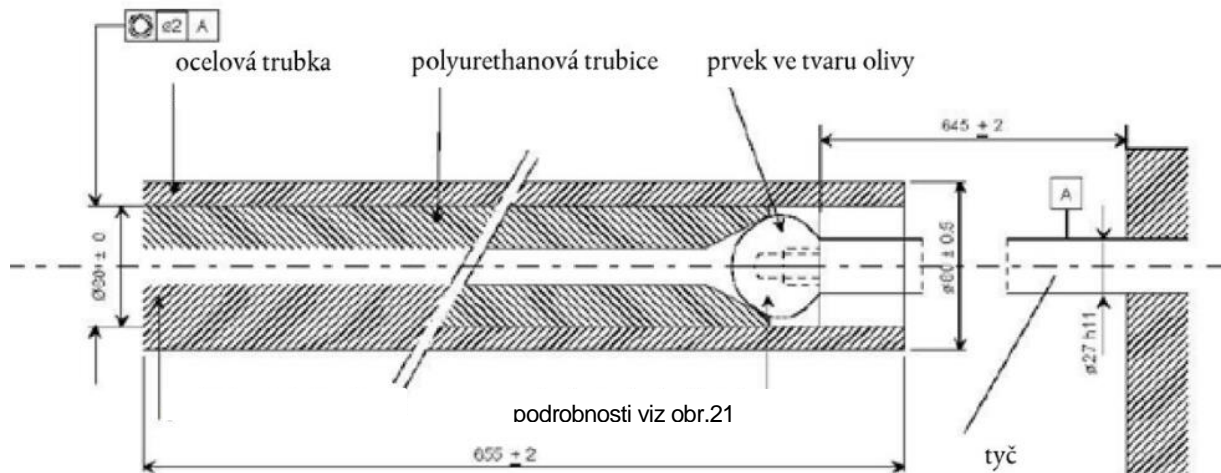
$$F = a \cdot m = 7,05 \cdot 1000 = 7050N \quad (27)$$

Tato síla je přenášena šestipramenným ocelovým lanem SEAL 6x19S – FC Ø8 mm o pevnosti 41,4 kN. Poloměr zakřivení drážek na navijáku a kladkách by měl být $0,6 \cdot d$.

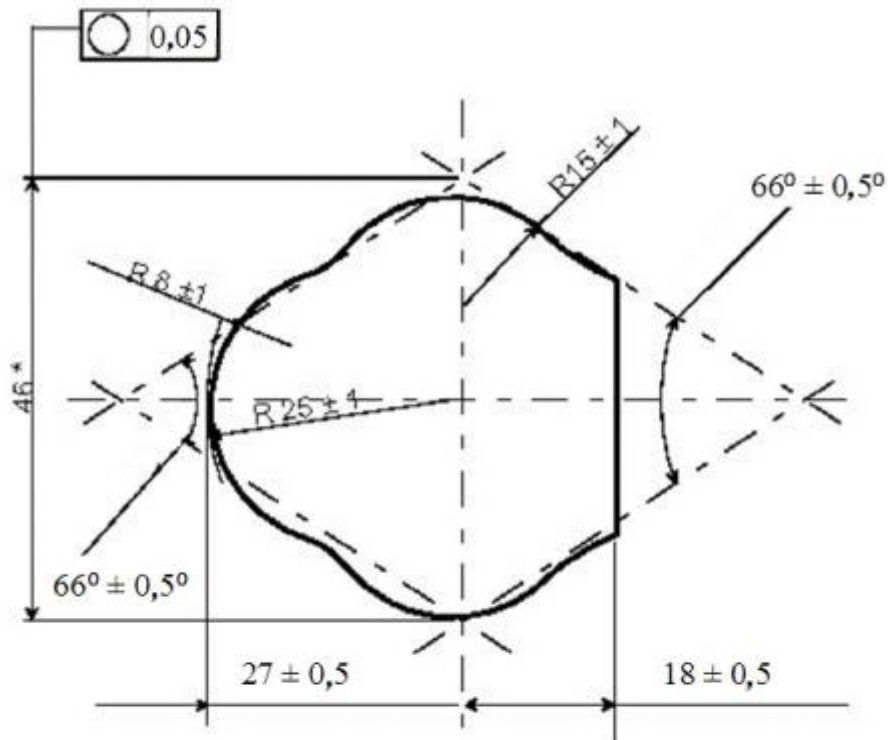
3.2.6 Decelerace dynamické plošiny „vozíku“

Decelerace plošiny je realizována vtlačováním ocelových trnů (oliv) do ocelových tubusů menšího průměru, které jsou uvnitř opatřeny gumovou vložkou. K dispozici je více sad ocelových kulových objektů (oliv) s různými průměry, pro různé druhy zkoušek. Při pronikání oliv do trubek dochází ke tření, dokud trubky nepohltí veškerou pohybovou energii dynamické plošiny. Průměr trubek je možné regulovat, čímž ovlivníme velikost zpomalení dle požadavků jednotlivých zkoušek. Nevýhodou této decelerační metody je opotřebení gumové vložky při opakovaných pokusech. Vložka se bude muset často měnit pro dosažení přesných výsledků. [12]

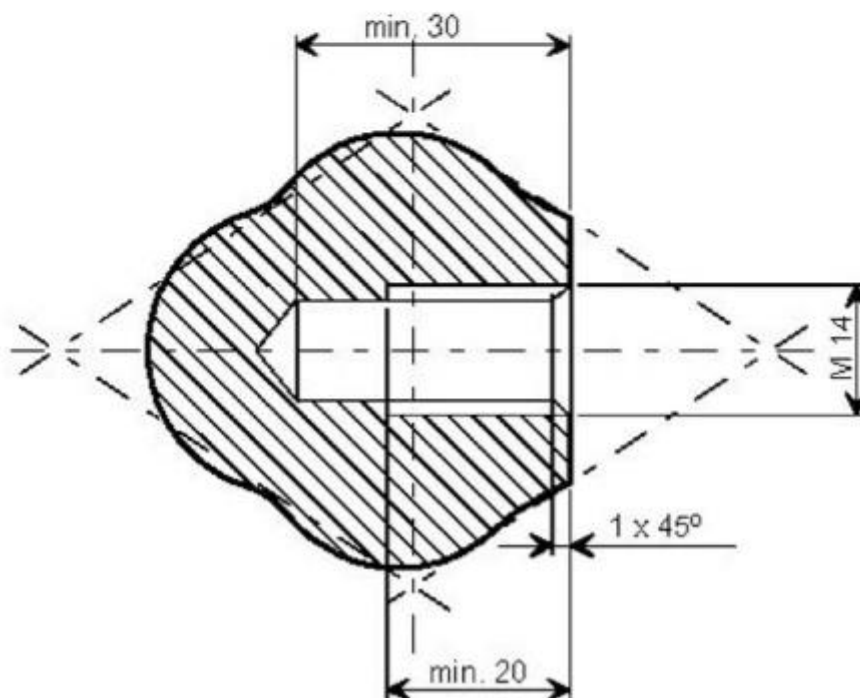
Ocelové trubky jsou přidělány na nárazovém betonovém bloku. Jeho uložení v zemi by mělo být aspoň trochu pružné, aby byl minimalizován přenos záchvěvů do okolí (jde o velmi malé amplitudy dokmitávání po nárazu). Nejlepším řešením je obložení bloku gumovými deskami, a to i na jeho spodní straně.



Obrázek 20: Smontované brzdné zařízení [14]



- * Tento rozměr se může pohybovat v rozmezí 43 až 49 mm
 Rozměry v mm



Obrázek 21: Brzdné zařízení, prvek ve tvaru olivy [14]

4 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout pojezdovou dráhu a pohonný mechanismus zkušebního zařízení pro decelerační zkoušky bezpečnostních pásů.

Práce je zaměřena především na konstrukci a pohon deceleračního zařízení. Ze začátku byly probrány druhy nárazů a jejich hodnocení. Dále zkušebny v České republice, které provádějí tyto decelerační zkoušky. Dále legislativy a normy, které musí decelerační zařízení splňovat. Po zvážení požadavků a vypočtení základních výpočtů byli vytvořeny různé varianty deceleračního zařízení. Po zvážení možností jednotlivých provedení byla jako nejvhodnější varianta zvolena dráha s jednou vodící kolejnici, nadzemními gumolany a podzemním navijákem ocelového lana. Byly zkonstruovány důležité uzly pohonu i konstrukce dráhy. Jako pohon bude použito energie vytvořené pomocí napnutých gumolan. Jejich počet byl dimenzován pro provoz v zadaných podmínkách. Při návrhu deceleračního zařízení byly voleny především normalizované části pro jednoduchost a případnou údržbu. Vodící dráha pro vozík byla navržena ze snadno svařitelných normalizovaných profilů a plechů.

Konstrukce navijáku a vedení ocelového lana podél dráhy je předmětem jiné závěrečné práce jiného studenta.

K vytvoření 3D CAD modelu konstrukčního návrhu byl použit systém Autodesk Inventor 2015, ve kterém byl vytvořen i výkres sestavení a kusovník. Výkresy sestavení i kusovník jsou přílohou práce.

Cíle stanovené v úvodu práce byly splněny

5 Seznam použitých symbolů

symbol	jednotka	význam
<i>ČSN</i>		Česká státní norma
<i>EKH</i>		Evropská hospodářská komise
<i>OSN</i>		Organizace spojených národů
<i>ÚAMK</i>		Ústřední AutoMoto Klub
m	[kg]	hmotnost vozíku
v	[m/s]	rychlost vozíku
a	[m/s ²]	zrychlení vozíku
E_k	[J]	kinetická energie
F	[N]	síla
k	[N/m]	tuhost
b	[Ns/m]	útlum
s	[m]	délka dráhy
F_{v1}	[N]	síla pro rozjezd bez odporů a účinností
F_{v2}	[N]	síla pro rozjezd bez účinností
F_{vc}	[N]	celková síla pro rozjezd vozíku
t	[s]	doba rozjezdu
S_x	[m ²]	čelní plocha vozíku
c_x	[1]	součinitel vzdušného odporu
O_v	[N]	aerodynamický odpor
O_f	[N]	valivý odpor
O_c	[N]	celkové jízdní odpory
ρ	[kg/m ³]	hustota

f_K	[1]	součinitel valivého odporu
G	[N]	tíhová síla vozíku
g	[m/s ²]	tíhové zrychlení
η_{KLS}	[1]	účinnost kladkostroje
η_K	[1]	účinnost kladky
η_B	[1]	účinnost bubnu
η_C	[1]	celková účinnost mechanismu
n	[1]	celkový počet gumolan
N	[1]	počet gumolan ve skupině
$l_{1:1}^{100}$	[m]	délka volného gumolana při převodu 1:1
$l_{1:1}^{180}$	[m]	délka napnutého gumolana při převodu 1:1
$l_{4:1}^{100}$	[m]	délka volného gumolana při převodu 4:1
$l_{4:1}^{180}$	[m]	délka napnutého gumolana při převodu 4:1

6 Použité zdroje

- [1] Vlk, František. *Karoserie motorových vozidel*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2000. ISBN 80-238-5277-9
- [2] First, Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů – Příručka pro konstruktéry*. Praha: S&T CZ s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-1805-5
- [3] *Bezpečnost posádky vozidla. Vysoké učení technické v Brně*. [Online]. [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: <http://www.vutbr.cz/usi/dokumenty/dokumenty-ke-stazeni-f23776/bezpecnost-vozidel-silnicniho-provozu-materialy-k-predmetu-d75943/08-bezpecnost-posadky-vozidla-pdf-p67169>
- [4] Průšek, Ondřej. *Analýza metod měření deformací na vozidlech při nárazových zkouškách*. Digitální knihovna Univerzity Pardubice. [Online]. [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: <https://dspace.upce.cz/bitstream/10195/29697/1/text.pdf>
- [5] Pasivní bezpečnost. *Tuv-Sud*. [Online]. [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: http://www.tuv-sud.cz/uploads/images/1295447599350026720602/pl_pasivni_bezp_a4_cj.pdf
- [6] *ÚAMK bezpečnost silničního provozu – Simulátory nárazu*. Svět v bezpečí. [Online]. [cit. 2018-06-27]. Dostupné z: <http://svetvbezpeci.cz/2013/02/uamk-bezpecnost-silnicniho-provozu-simulatory-narazu/>
- [7] *Zkušebna pasivní bezpečnosti*. [Online]. [cit. 2018-06-27]. Dostupné z: <http://www.dekra-automobil.cz/index.php?file=zpb.php>
- [8] PILECKÝ, J.: *Simulátor nárazu – konstrukce*. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. 2014. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří First
- [9] *Nárazová zkouška DEKRA*. [Online]. [cit. 2018-06-27]. Dostupné z: <http://www.dekra-solutions.com/2017/09/crash-test-with-electric-cars/?lang=en>
- [10] Saab pro-active restraint system. [Online]. [cit. 2018-06-27]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/go/1615/>
- [11] *ES-2 Side Impact Dummy*. *Humanetics innovative solutions*. [Online]. [cit. 2018-06-27]. Dostupné z: <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/side-impact/es-2>
- [12] SUK, P.: *Kabina simulátoru decelerační zkoušky*. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. 2015. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří First
- [13] *Hmotnost Wikipedie* [Online]. [cit.2018-06-27]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hmotnost>



- [14] *EHK OSN č. 16, esipa* [Online]. [cit. 2018-07-18]. Dostupné z:
<https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=42018X0629>
- [15] *Autolexicon* [Online]. [cit. 2018-07-23]. Dostupné z:
<https://cs.autolexicon.net/articles/aerodynamika>
- [16] *Autolexicon* [Online]. [cit. 2018-07-23]. Dostupné z:
<https://cs.autolexicon.net/articles/odpor-valivy>
- [17] *Off-limits.cz* [Online]. [cit. 2018-07-23]. Dostupné z: [https://www. Off-limits.cz/teorie/kladkostroj](https://www.off-limits.cz/teorie/kladkostroj)

7 Seznam obrázků, tabulek a grafů

7.1 Obrázky:

Obrázek 1: Schéma čelního nárazu s offsetem 40% [3]	- 2 -
Obrázek 2: Schéma boční nárazové zkoušky mobilní bariérou [3].....	- 3 -
Obrázek 3: Schéma boční nárazové zkoušky do sloupku [3]	- 4 -
Obrázek 4: Simulátor nárazu TÜV SÜD [5]	- 6 -
Obrázek 5: Simulátor ÚAMK [6].....	- 7 -
Obrázek 6: Zkouška na simulátoru nárazu DEKRA [9]	- 8 -
Obrázek 7: Schéma zkušebního stavu pro kontrolu zakotvení bezpečnostních pásů podle předpisu EHK-R 14 [1]	- 12 -
Obrázek 8: Stav pro zkoušky sedadel podle předpisu EHK-R 17 [1].....	- 13 -
Obrázek 9: Figurína typu Hybrid III [2]	- 16 -
Obrázek 10: Figurína Eurosid 2 [1]	- 18 -
Obrázek 11: Konstrukce simulátoru decelerační zkoušky, varianta 1	- 25 -
Obrázek 12: Konstrukce simulátoru decelerační zkoušky, varianta 2	- 26 -
Obrázek 13: Konstrukce simulátoru decelerační zkoušky, varianta 3	- 27 -
Obrázek 14: Kolejnice vymodelovaná v programu AutoCad Inventor	- 30 -
Obrázek 15: Kotevní úchyty na vozíku podle normy EHK OSN č.16 [14]	- 31 -
Obrázek 16: Dynamická plošina vymodelovaná v programu AutoCad Inventor	- 32 -
Obrázek 17: Detail přivaření ocelové podpěry ke kolejnici.....	- 33 -
Obrázek 18:Držáky kolejnice přivařené ke kolejnici	- 34 -
Obrázek 19: Graf pryžových lan od firmy Sandow Technic	- 36 -
Obrázek 20: Smontované brzdné zařízení [14].....	- 38 -
Obrázek 21: Brzdné zařízení, prvek ve tvaru olivy [14].....	- 39 -

7.2 Tabulky:

Tabulka 1: Parametry figuríny typu Hybrid III [2].....	- 16 -
Tabulka 2: Parametry figuríny typu Eurosid 2 [2].....	- 17 -

7.3 Grafy

Graf 1: Určení tuhosti pryžového lana.....	- 36 -
Návrh jezdové dráhy a pohonného mechanismu zkušebního zařízení	- 45 -

8 Přílohy

Příloha 1: Výkres sestavy simulátoru decelerační zkoušky

Příloha 2: Výkres sestavy dráhy

Příloha 3: Výkres sestavy kladkostroje

Příloha 4: Kusovník sestavy kladkostroje

Příloha 5: Výkres sestavy kotvení ocelového lana

Příloha 6: Svařenec držáku ocelového lana

Příloha 7: Výkres domku pro ložiska

Příloha 8: Výkres držáku PLO

Příloha 9: Výkres hřídele pro kladkostroj

Příloha 10: Výkres hřídele v kotvení ocelového lana

Příloha 11: Výkres IPE240

Příloha 12: Výkres PLO s držáky

Příloha 13: CD obsahující diplomovou práci v elektronické podobě, 3D model v systému Autodesk Inventor 2015, a přílohy v elektronické podobě.