ČESKÉ VÝSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Oleksiy Bykov

Zkoušky převrácení automobilu

Bakalářská práce

2017

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní
děkan
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K616.....Ústav dopravních prostředků

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Oleksiy Bykov

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Zkoušky převrácení automobilu**

Název tématu (anglicky): Car Rollover Test

Zásady pro vypracování

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

- Rešerše prováděných testů převrácení automobilu
- Legislativa týkající se této problematiky
- Přehled zařízení potřebných pro uskutečnení testu převrácení
- Návrh metodiky zkoušky převrácení vozidla
- Rozpracování technického vybavení vozidla potřebného k jeho ovládání během testu

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: FIRST, Jiří a kol. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Vyd. 1. Praha: S&T CZ, 2008. 348 s. ISBN 978-80-254-1805-5.

Kovanda,J., Šatochin,V. Pasivní bezpečnost vozidel. Praha: ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02235-8

Interní zprávy o crash testech na FD

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří First**

Datum zadání bakalářské práce: **22. října 2014**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **28. srpna 2017**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Oleksiy Bykov
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 2. prosince 2016

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Zkoušky převrácení automobilu

Bakalářská práce

Srpen 2017

Oleksiy Bykov

ABSTRAKT

Cíl bakalářské práce spočívá v prozkoumání prováděných testů převrácení automobilu a legislativy týkající se této problematiky. Kromě toho se bude práce zakládat na přehledu zařízení potřebných pro uskutečnění testu převrácení a rozpravování technického vybavení vozidla potřebného k jeho ovládání během testu. Na závěr bude předložen návrh dálkového ovládání řízení a brzd vozidla při testu převrácení.

KLÍČOVÁ SLOVA

převrácení vozidla, stabilita vozidla, těžiště, zkoušky pevnosti střechy, normy

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

Car Rollover Test

Bachelor Thesis

August 2017

Oleksiy Bykov

ABSTRAKT

The bachelor thesis theme is to study the conducted roll-over tests and legislation related to it. In addition the study is based on equipment required for testing review and development of the vehicle technical equipment needed for its operation during testing. In conclusion, the project of remote control steering and braking system of the vehicle during rollover will be presented.

KEYWORDS

roll-over, stability of the vehicle, centre of mass, roll-over tests, standards

Obsah

1 Úvod 8
2 Problematika Roll-over nehod 9
3 Teorie dynamiky jízdy motorového vozidla 11
3.1 Souřadnicový systém 12
3.2 Příčná dynamika vozidla 14
4 Typy roll-over nehod 15
4.1 Trip-over 15
4.2 Bounce-over 15
4.3 Flip-Over 16
4.4 Fall-Over 16
4.5 Turn-Over 17
4.6 End-Over-End 18
5 Faktory ovlivňující převrácení automobilu 18
5.1 Statický stabilizační faktor 19
6 Typy rollover crash testů osobních automobilů. 21
6.1 Soil-trip test 21
6.2 Embankment roll-over test. 22
6.3 Zkouška manévrování 23
6.4 Dolly roll-over test 23
6.5 Ramp roll-over test 24
6.5.1 Rampa s lineárním stoupáním 25
6.5.2 Rampa s zakřiveným stoupáním 26
6.6 Statická zkouška pevnosti střechy 27
7 Legislativa 28
7.1 EHK OSN 28
7.2 Rollover v EHK 28
7.2.1 Pevnost karoserie autobusů dle EHK 66 29
7.2.2 Pevnost kabin nákladních vozidel dle EHK 29 29
7.2.3 Odolnost zámků a závěsu dveří dle EHK 11 30

7.2.4 Homologace zakotvení bezpečnostních pásů dle EHK 14 a bezpečnostních pásů dle EHK 16 30
7.2.4.1 Homologace zakotvení bezpečnostních pásů dle EHK 14 30
7.2.4.2 Homologace bezpečnostních pásů dle EHK 16 31
8 Návrh metodiky zkoušky převrácení vozidla 31
8.1 Výběr vozidla 32
8.2 Vypočet rychlosti 33
8.3 Poloměr oblouku 35
8.4 Rozměry rampy 36
8.5 Schéma s jednotlivými veličinami 36
9 Přehled zařízení a vybavení vozidla potřebného pro uskutečnění testu převrácení 38
9.1 Systém pro ovládaní řízení 38
9.2 Systémy pro ovládání pohonu 39
9.3 Figuríny (modely osob) 40
9.4 Akcelerometr 41
9.5 Vysokorychlostní kamery 42
10 Doporučené podmínky provádění zkoušky 43
11 Závěr 44
12 Zdroje 45
13 Seznam použitých zkratek 47
14 Seznam tabulek 47
15 Seznam obrázků 48

1 Úvod

V současné době nárůstu osobní dopravy, a s tím souvisejícího nárůstu počtu osobních automobilů, především v ekonomicky vyspělé části světa, hraje bezpečnost dopravních prostředků stále důležitější roli. V průmyslově vyspělých regionech a velkých městech přesahuje hustota dopravy možnosti a kapacity dopravní infastruktury. S tím bezprostředně souvisí růst počtu dopravních nehod. Bezpečnost se stává z marketingového hlediska jedním ze základních rysů automobilu a uživatele často zajímá víc než ostatní vlastnosti vozu. Na bezpečnost posádky má vliv velké množství faktorů. Můžeme je rozdělit na tři základní faktory: psychofyzický stav řidiče, kvalita infrastruktury a vlastnosti vozidla. Dále je zvykem dělit bezpečnostní prvky na prvky aktivní a pasivní bezpečnosti. U automobilů jsou nejdůležitější prvky aktivní bezpečnosti účinné brzdy umožňující bezpečné zpomalení nebo zastavení vozidla, dobrý výhled z vozidla, dobré pneumatiky, přesné a spolehlivé řízení, kvalitní tlumiče zajišťující dostatečný kontakt pneumatik s vozovkou nebo osvětlení vozidla. Mezi další prvky aktivní bezpečnosti patří moderní elektronické systémy jako ABS, ASR, EBA nebo ESP. Pasivní bezpečnost zastupují takové prvky jako bezpečnostní pásy, airbagy a deformační zóny.

Výrobci vozidel se snaží vyvíjet robustní a inteligentní vozidla, která jsou schopna nehodě předejít, případně minimalizovat její následky jak na pasažéry ve vozidle, tak ostatní účastníky silničního provozu. Ve stadiu koncepčních rozhodnuti musí výrobci brát na zřetel také prvky pasivní bezpečnost v interiéru a exteriéru vozidla. K tomu je pak nutné znát mechanismy poranění posádky ve vozidle i mechanismy poranění ostatních účastníků kolize (např. chodců), deformační charakteristiky vozidla, pevností a absorpční charakteristiky vybraných částí vozidla. Jen tak bude možné vyvíjet opravdu bezpečná vozidla, u kterých bude kladen dostatečný důraz na aktivní, ale i pasivní bezpečnost.

Tato bakalářská práce se bude věnovat problematice samostatné skupiny nehod, při kterých dochází k převrácení vozidla přes střechu (z anglického roll-over). Práce se zabývá problematikou uvedeného druhu nehod, provede analýzu statistik nehodovosti a ukáže druhy nehod s převracením vozidla. Také zde budou uvedeny

možnosti provádění zkoušky převracení automobilu a hlavní legislativní požadavky tykající se bezpečnosti vozidel při tomto druhu nehod. Následně bude vybrán jeden ze způsobů provádění zkoušky převraceni vozidla a to převraceni pomocí rampy, na kterou vozidlo vjede jednou stranou a dojde k jeho převržení. Cílem bude navrhnout technické vybavení pro tuto zkoušku a bezpečnostní podmínky průběhu zkoušky.

V roce 2005 v USA, kde je počet vozidel se zvýšeným těžištěm výrazně větší než v Evropě (vozidla typu SUV, dodávky, pick-up) připadala ze všech nehod na silnicích s fatálními následky celá 1/3 na nehody s převrácením automobilu. V roce 2010 roll-over nehody činily jen 2% z celkového počtu nehod. Ale na tento relativně malý podíl nehod připadalo 20% usmrcených ze všech nehod s fatálními následky. Po čelním střetu je to tedy druhý nejvážnější typ nehody. Je zřejmé, že je nutno se této problematice vážně věnovat.

2 Problematika Roll-over nehod

Podle NHTSA přibližně 64 procent z 10 000 smrtelně zraněných cestujících při převrácení částečně nebo zcela vypadnuli. Kolem 53 procent bylo zcela vypadnutých, 72 procent bylo nepřipoutaných. Většina smrtelně zraněných cestujících jsou vysunute přes boční okna nebo boční dveře. U těch, kteři nevypadli z vozu, včetně připoutaných cestujících, došlo ke smrtelným zraněním v důsledku nárazu do prvků interiéra vozidla. [1]

Ročně se ve spojených státech podle policejních zpráv převrátí přibližně 273 000 osobních aut. Z nich 223 000 jsou nehody, pouze jednoho vozidla. V 95 procentech nehod jednoho vozidla byli zapracovány mechanismy jeho převrácení, a to buď silniční, jako jsou výmoly nebo off-road mechanismy, jako jsou obrubníky, měkká půda a zábradlí. K 83 procentům nehod s převrácením došlo poté, co vozidlo opustilo vozovku. V 5 procentech nehod došlo k převrácení bez fyzické překážky v důsledku nevhodné interakce mezi pneumatikami a vozovkou. [1]

NHTSA odhaduje, že 23 793 vážných zranění a 9 942 úmrtí je způsobeno při 272 925 nehodách s převrácením vozidla každý rok. Při hodnocení rizika úmrtí a vážných zranění při nehodách převrácení vozidla, v NHTSA bylo spočítáno, že nehody s převrácením, zahrnující lehká užitková vozidla, představují vyšší riziko zranění v porovnání s čelními, bočními a zadními nárazy. [1]

V letech 1997 až 2002 NHTSA použili Fatality Analysis System Reporting (FARS) ke stanovení průměrného ročního počtu smrtelných nehod v lehkých užitkových vozidlech, a National Automotive Sampling System (NASS-CDS) ke stanovení ročního průměrného počtu těžce zraněných, kteří přežili vypadnutí během nehody. Tyto odhady byly spojeny k vytvoření výsledků v tabulce 1. [1]

Tabulka 1 – Nebezpečí smrtelných nehod a těžkých zranění během různých druhů nehod (NASS-CDS & FARS 1997-2002)[1]

Druh nehody	Celkový počet cestujících	Počet smrtelně zraněných cestujících	Podíl smrtelně zraněných cestujících	Počet těžce zraněných cestujících	Podíl těžce zraněných cestujících
Rollover	467 120	9 942	2,1%	23 793	5,1%
Čelní náraz	2 786 378	12 480	0,4%	45 551	1,6%
Boční náraz	1 218 068	7 932	0,6%	22 032	1,8%
Náraz zezadu	414 711	1 029	0,2%	1 309	0,3%

Ze statistiky je zřejmé, že na nehody s převracením vozidla v porovnání s jinými typy nehod jako je čelní náraz, boční náraz a náraz zezadu, připadá největší relativní procento smrtelných zranění. Ještě větší rozdíl je potom vidět v relativním počtu smrtelně a těžce zraněných cestujících. Nicméně, vyšší riziko zranění při nehodách s převracením může byt do značné míry důsledkem větší pravděpodobnosti úplného vypadnutí cestujícího z vozidla, ve srovnání s ostatními druhy nehod. Dále je to ovlivněno mladšími řidiči, kteří se častěji dostávají do

nehod, při kterých dojde k převracení vozidla. Mezi nimi je také větší míra zanedbávání použití bezpečných pásů. [1]

V souladu s tím, tabulka 2 ukazuje nebezpečí smrtelných a těžkých zranění u připoutaných a nepřipoutaných cestujících, jež vypadli nebo částečně vypadli z vozidla.

Tabulka 2 - Nebezpečí smrtelných a těžkých zranění u připoutaných a nepřipoutaných cestujících, jež vypadli nebo částečně vypadli z vozidla (NASS-CDS & FARS 1997-2002) [1]

Druh nehody	Podíl částečně vypadnutých smrtelně zraněných cestujících (bez ohledu na použití bezpečnostních pásů)	Podíl částečně vypadnutých těžce zraněných cestujících (bez ohledu na použití bezpečnostních pásů)	Podíl připoutaných smrtelně zraněných cestujících (bez ohledu na vypadnutí cestujícího)	Podíl připoutaných těžce zraněných cestujících (bez ohledu na vypadnutí cestujícího)
Rollover	1,1%	3,2%	0,7%	2,8%
Čelní náraz	0,4%	1,6%	0,3%	1,1%
Boční náraz	0,6%	1,7%	0,5%	1,4%
Náraz zezadu	0,2%	0,3%	0,1%	0,2%

3 Teorie dynamiky jízdy motorového vozidla

Kinematika a dynamika spolu tvoří takový obor fyziky jako mechanika. Zatímco kinematika pojednává pouze o prostorových a časových formách pohybu, dynamika se zabývá příčinami vzniku a změn pohybů. Studuje souvislosti mezi pohybem a silami, které pohyb způsobují. Dynamika je založena na třech Newtonových pohybových zákonech.

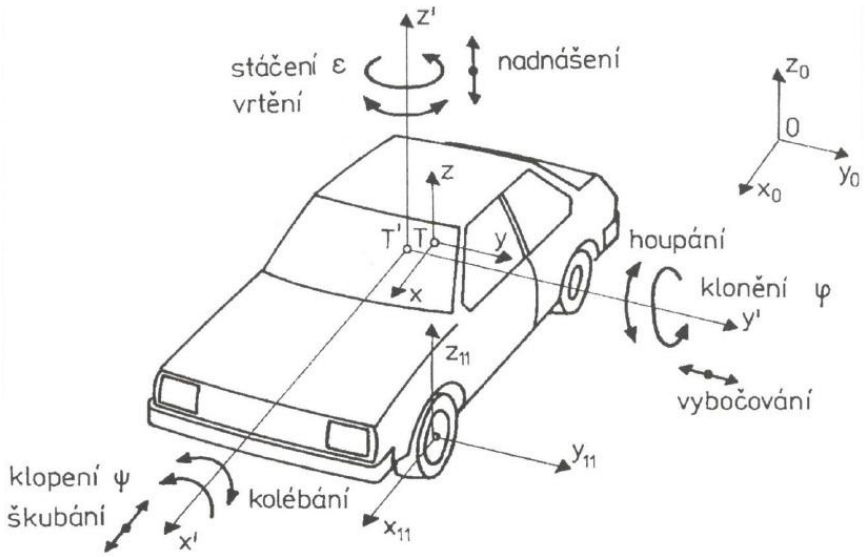
3.1 Souřadnicový systém

Pro popis dynamiky vozidla musíme určit soustavu souřadnic, ke které budeme vztahovat vozidlo. Třírozměrná referenční soustava vozidel je definovaná normou ISO 4130. Jako počátek trojrozměrné souřadnicové soustavy zvolíme těžiště vozidla – referenční bod. Podrobnější popis na obrázku 1.

Při přímé jízdě mají souřadnice osy x a x_0 obvykle stejný směr. Podle těchto souřadnic lze vyšetřovat dílčí problém “Přímá jízda” neboli podélnou dynamiku vozidla a vysvětlit jízdní odpory, jízdní výkony, brzdění a zrychlování automobilů.[11]

Pohyby ve směru osy y_0 popř. osy y udávající výchylky ze směru jízdy x_0, a patří proto zejména k dílčímu problému “Směrová stabilita” tzn. do boční dynamiky.[11]

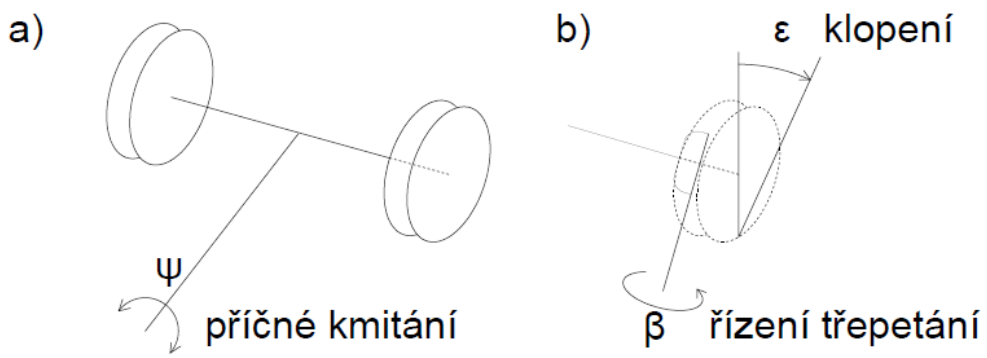
Pohyby ve směru osy z_0 popř. osy z popisující svislé vychylování vozidla, tzn. charakterizují hlavní dílčí problém “Kmitání vozidla” neboli svislou dynamiku.[11]



Obrázek 1 - Souřadný systém k vyjádření pohybu vozidla [11]

Rozdělení pohybu, které jsme povedli pro nástavbu vozidla, může být provedeno také pro kola; přitom pro odlišení je souřadný systém spojený s těžištěm kola jinak označen, např. pro levé přední kolo x_{11}, y_{11}, z_{11} s počatkem souřadnic T_{11} v těžiště

kola T_{11}. Pro kola a nápravy jsou charakteristické některé pohyby a pojmy, které jsou uvedeny v dolní častí tabulky 3 a znazorněny na obrázku 2.[11]



Obrázek 2 – Pohyby nápravy a kola: a) kmitání tuhé nápravy; b) úhlové pohyby kola [11]

Tabulka 3 – Přiřazení dílčích problémů k pohybovým souřadnicím vozidla [11]

Druh pohybu	Úzká vazba s pohybem	Dílčí problém
x_0 přímá jízda		přímá jízda, jízdní odpory, jizdní výkony, brznění, zrychlování
x škubání	φ	vzájemná závislost různých faktorů
y_0, y vybočování	ε, ψ	výchylka z přímého směru (směrová stabilita) příčné kmitání
z_0, z nadnášení	φ, ψ	svislé kmitání
ψ klopení	z_0	kolébání (kmitání kolem osy x)
	y_0	naklápění karoserie při jízdně zatáčkou
φ klonění	z_0	houpání (kolem svislé osy y) předklánění při brzdění, zaklánění při
ε stáčení	y, ψ	vrtění (kmitání kolem osy z) natáčení vozidla k ose z_0 (směrová stabilita)
Náprava ,kolo		
řídící pohyb	y, ψ	jízda zatáčkou, korekce pro přímou jizdu, samořízení
třepetání		kmitáni řídících kol (nucené nebo samobuzené)
otáčení kola		blokování, prokluz, smyk
klopení kola	ψ	naklápění kol při jízdě zatáčkou (směrová stabilita)

3.2 Příčná dynamika vozidla

Základní silou, která vždy působí na jakékoliv těleso, je zemská přitažlivost – tíhová (gravitační) síla.

$$F_g = m * g \tag{2.1}$$

g – je tíhové (gravitační) zrychlení, v našich zeměpisných šířkách g=9,81 m/s^2.

m – je hmotnost tělesa.

Bude-li vozidlo na vozovce, jež má příčný sklon, pak se tíhová (gravitační) síla rozloží na složku kolmou k vozovce a složku s vozovkou rovnoběžnou.

Odstředivá sila je důsledkem působení setrvačné síly, která se snaží udržovat vozidlo v rovnoměrném přímočarém pohybu. Její velikost u vozidla o hmotnosti *m* [kg] při rychlosti *v* [m/s] je dána v zatáčce o poloměru *R* [m] na vodorovné vozovce vztahem:

$$F_O = m * \frac{v^2}{R} \tag{2.2}$$

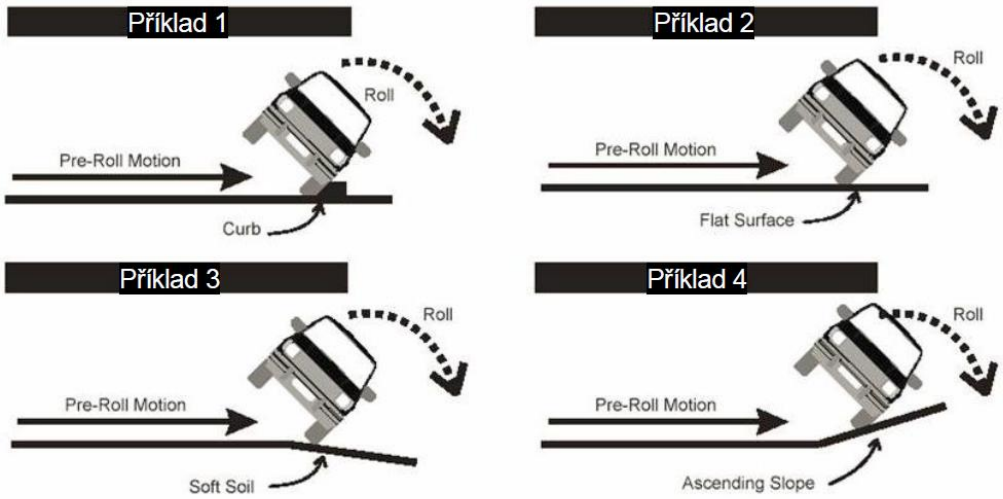
Odstředivá síla vyvolává v příčném směru klopný moment, který způsobuje odlehčení vnitřních kol a přitížení kol vnějších. V hranicím případě může dojít i k úplnému “odlepení” vnitřních kol od vozovky, případně k převrácení.

4 Typy roll-over nehod

Stejně jako dělíme dopravní nehody do několika skupin (čelní, z boku, zezadu atd.), tak rozlišujeme i nehody, při nichž dojde k převrácení vozidla přes střechu. Na začátek pojmenujeme nejčastější typy nehod s převrácením automobilu přes střechu.

4.1 Trip-over

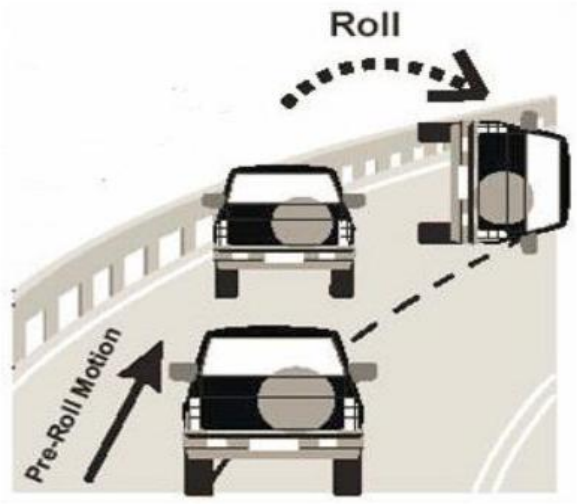
Tento případ nastává po prudké změně směru jízdy nebo následkem vlivu jiných faktorů, které uvedou vozidlo do smyku bočním směrem. Nejčastější příčinou převrácení vozidla je potom náraz na překážku, a následující zpomalení vozu (viz obr. 3). [2]



Obrázek 3 – Trip-over [3]

4.2 Bounce-over

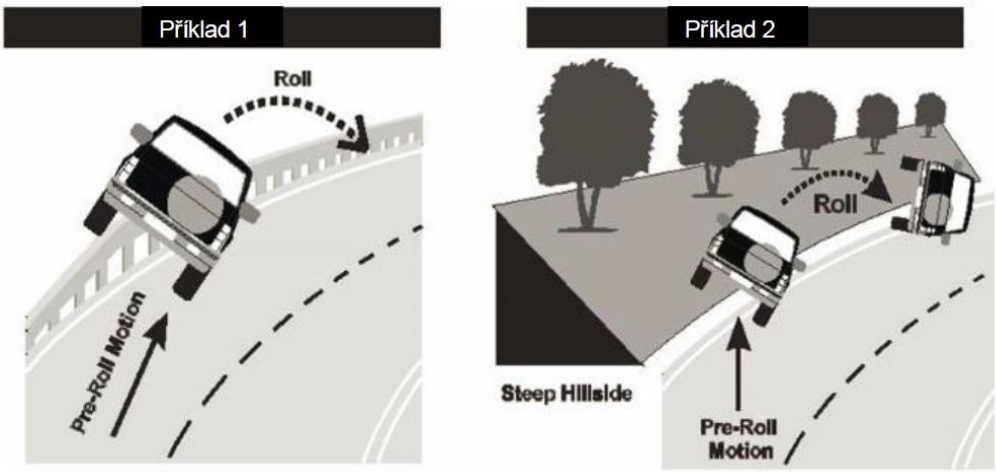
Bounce-over nastává, když vozidlo narazí do pevné bariéry a v důsledku nárazu do překážky se převrátí (viz obr. 4). [3]



Obrázek 4 – Bounce-over [3]

4.3 Flip-Over

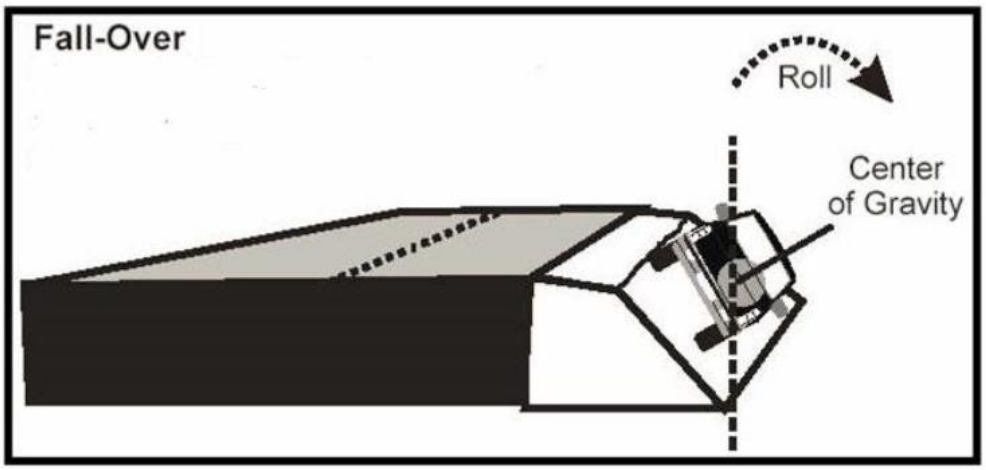
Během nehody řidič najede jednou stranou vozidla na překážku ve tvaru rampy, čímž zapříčiní rotaci kolem jeho podélné osy a převracení vozidla (viz obr. 5). [4]



Obrázek 5 – Flip-over [3]

4.4 Fall-Over

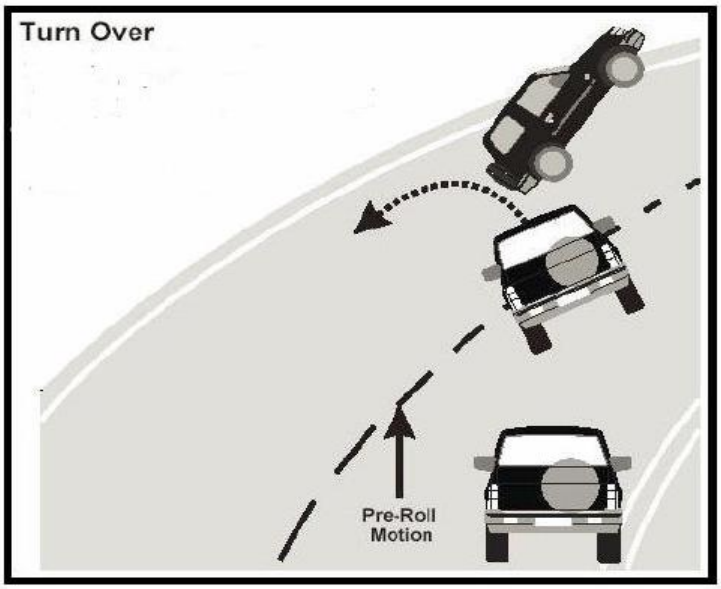
K tomuto typu dochází, pokud se vozidlo pohybuje po povrchu v příčném sklonu, jak je ukázáno na obrázku 6. K převracení vozu dojde, když je těžiště vozu mimo jeho vnější kola. [3]



Obrázek 6 – Fall-over [3]

4.5 Turn-Over

Je způsoben odstředivou silou, která na vozidlo působí při průjezdu směrového oblouku, kdy vozidlo má ještě dostatek adheze a nedochází ke smyku (viz obrázek 7). Odstředivá síla v tomto případě indukuje převržení. Tento typ se vyskytuje hlavně u vozidel s vysokým těžištěm.[3]



Obrázek 7 – Turn-over [3]

4.6 End-Over-End

End-over-end nastává velmi zřídka (v méně než 2 procentech od všech rollover nehod). V tomto případě dochází k otáčení a převržení vozidla kolem jeho příčné osy.

5 Faktory ovlivňující převrácení automobilu

Roll-over nehody, víc než ostatní typy dopravních nehod ukazují interakce řidiče, dopravní infrastruktury, vozidla a okolí. Zatímco typ vozidla hraje významnou roli, převrácení vozidla mohou způsobit také jiné faktory, jako chování řidiče, stav nebo typ vozovky, mohou také způsobit převracení vozidla. [5]

- Typ vozidla – vozidla typu SUV, dodávky, pick-up, vozidla s vysokým umístěním těžiště a úzké automobily jsou na převrácení náchylnější.
- Rychlost – Smrtelné následky při rollover nehodách jsou ve srovnání s jinými nehodami více závislé na rychlosti. Přibližně 40% smrtelných nehod při převrácení je způsobeno vysokou rychlosti.
- Alkohol – téměř polovina nehod se smrtelnými následky při převrácení byla způsobena pod vlivem alkoholu. Snížení reakce může být následkem jakékoliv koncentrace alkoholu v krvi vyšší, než 0,000 (BAC - blood alcohol content). Při tom ve spojených státech úroveň alkoholu v krvi muže dosahovat 0,080.

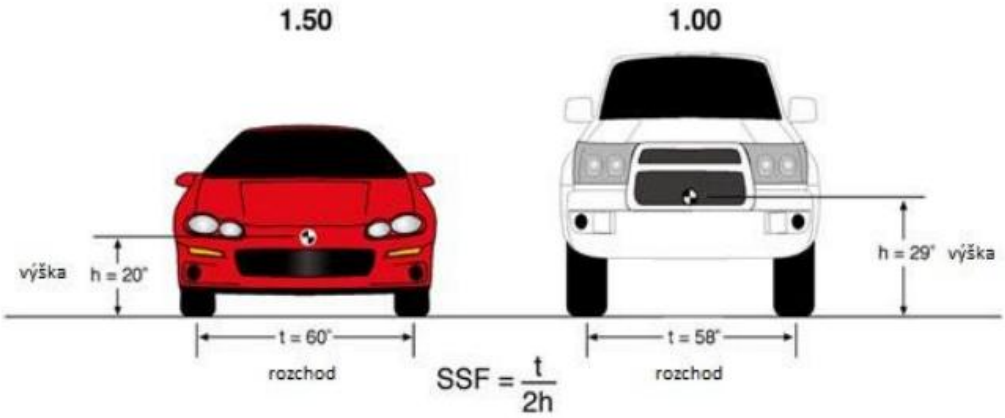
  Ale i malé množství alkoholu bude mít nepříznivý vliv na vnímáni a svalovou koordinaci řidiče.
- Lokalita – k téměř 75% smrtelných nehod s převrácením dochází na venkovských silnicích. Je to ovlivněno vyššími rychlostmi, které řidiči na těchto silnicích dosahují. Také je zde větší přítomnost různých prvků infrastruktury ve tvaru rampy (příkopy, svodidla).
- Řízení - NHTSA data ukazují, že více než 90% nehod s převrácením vozidla, se stalo na rovných úsecích nebo v mírných zatáčkách. Záleží tady na dodržovaní rychlostního režimu, věnovaní řízení, pozornosti řidiče. Téměř 85% smrtelných případů souvisejících s převrácením se stalo pouze s jedním vozidlem, tedy při nehodě nebylo přítomné žádné další vozidlo.[5]

5.1 Statický stabilizační faktor

Je důležité je také zmínit o statickém stabilizačním faktoru (viz obrázek 8). Tento údaj se vypočítá na základě rozchodu (T) a výšky těžiště (H) vozidla ze vzorce: SSF= T/2H.

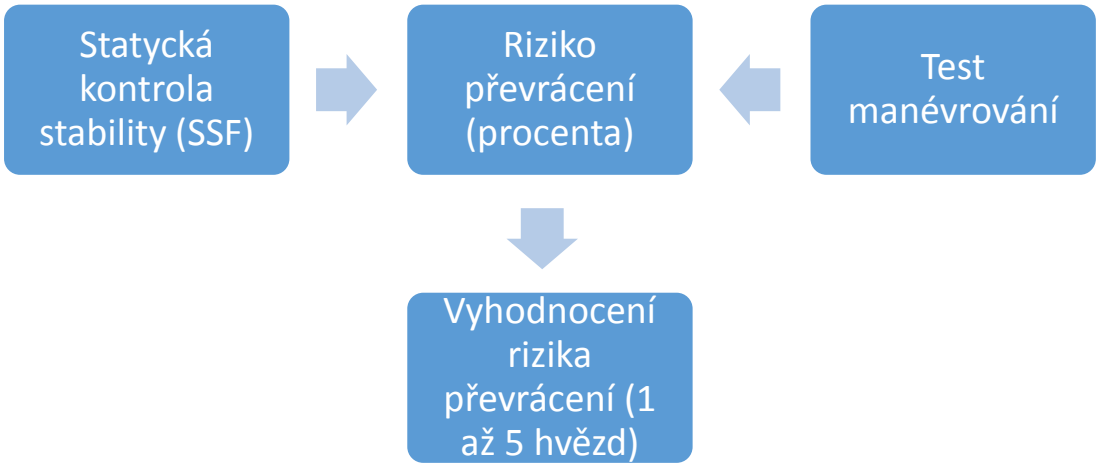
Obrázek 8 – Statický stabilizační faktor [6]

Čím je vyšší hodnota SSF, tím je vozidlo stabilnější. U osobních automobilů se hodnoty pohybují od 1,30 do 1,50 a u SUV, pick-up, dodávek od 1,00 do 1,30 rozsahu.



Obrázek 9 – Hodnocení možnosti převracení [6]

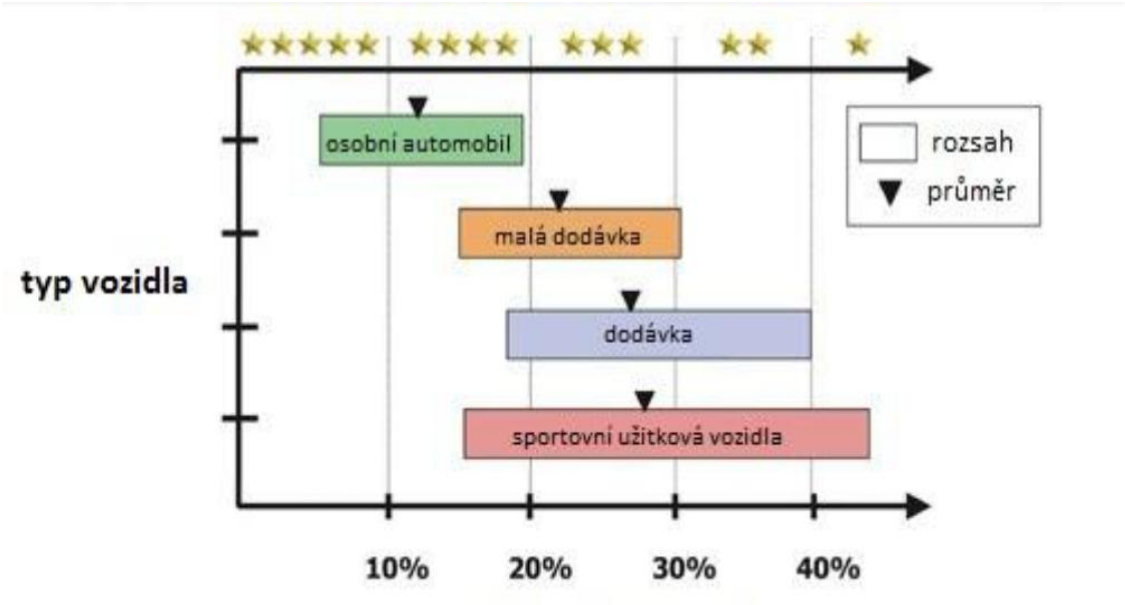
Hodnocení podle NHTSA od roku 2004 závislé na SSF a dynamické zkoušce manévrování ukazuje riziko převrácení vozidla ukazují obrázky 10,11 a tabulka 4.



Obrázek 10 – Schéma vyhodnocení rizika převracení [6]

Tabulka 4 – Klasifikace rizika převracení podle NHTSA [6]

Hodnocení možnosti převrácení	Riziko převrácení
★★★★★	Méně než 10%
★★★★	Mezi 10 a 20%
★★★	Mezi 20 a 30%
★★	Mezi 30 a 40%
★	Více než 40%



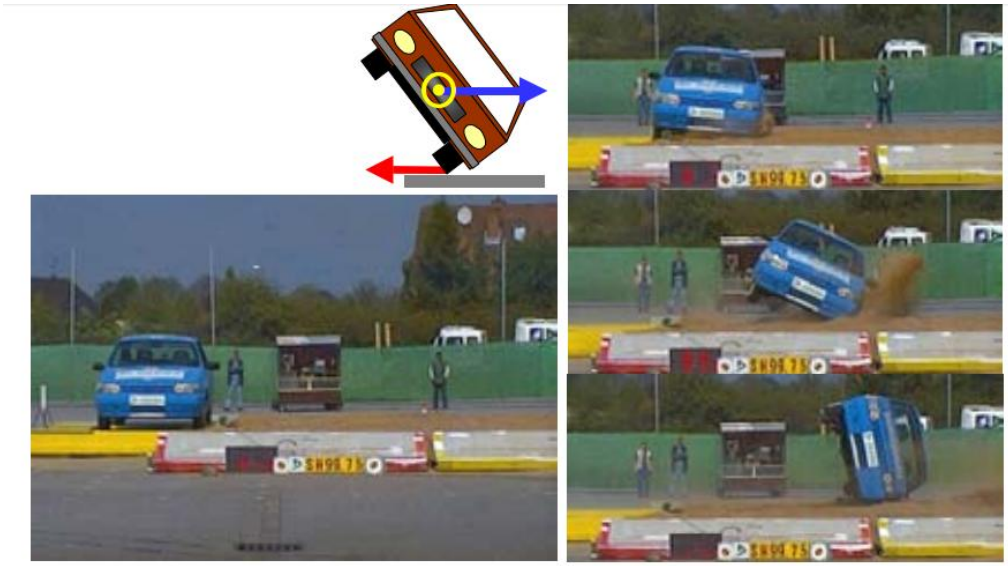
Obrázek 11 – Grafické vyjádření možnosti převrácení [6]

6 Typy rollover crash testů osobních automobilů.

Existuje celá řada zkušebních metod převrácení automobilu, které se používají ke studiu dynamiky vozidla a cestujících, strukturálního výkonu vozidla a prvků sloužících k ochraně pasažérů. Rollover crash test je velmi náročný na analýzu dat. Variace interakce pneumatik s kolem, pneumatik s vozovkou a vozidla s vozovkou mají tendenci produkovat nepředvídatelné a neopakovatelné vlivy na střechu vozidla. Další problém spočívá v tom, že neexistují normy, které by přesně definovaly jednotlivé zkoušky. Proto různé společnosti zabývající se touto problematikou provádějí testy dle vlastních zkušenosti a uvážení. Dále budou uvedeny varianty nejčastěji prováděných zkoušek.

6.1 Soil-trip test

Soil-trip test je test bočního převracení vozidla do pískového či hlínového lože o šířce 6 m a délce 12 m. Vůz se umisťuje na plošinu a pomocí urychlovacího zařízení se navede rychlosti v 48 km/h do prostoru s pískem nebo hlínou. Tento test vyvolá prudkou deceleraci, což má za následek převrácení automobilu (viz obrázek 12). [7]



Obrázek 12 – Soil-trip test [7]

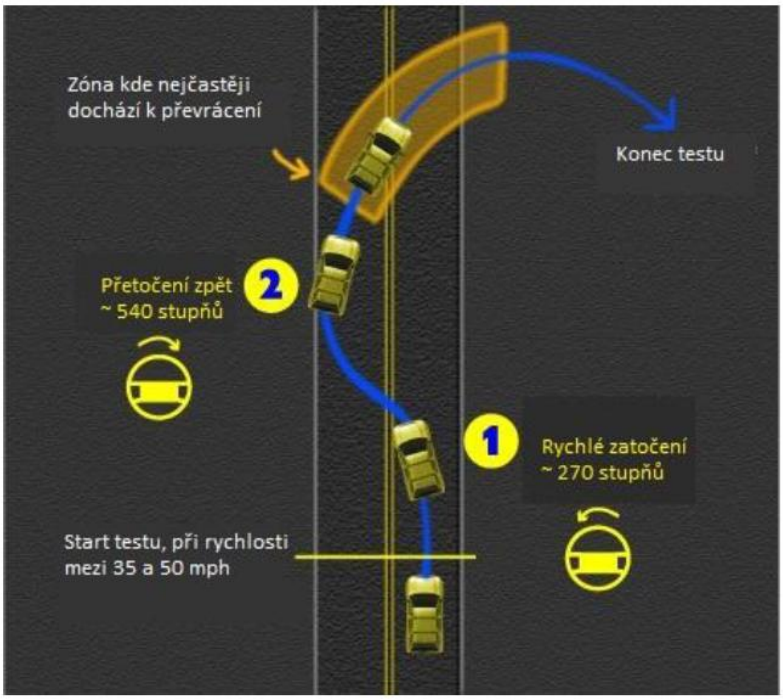
6.2 Embankment roll-over test.

Tento typ roll-over testu se provádí následujícím způsobem: vozidlo sjíždí ze silnice a pohybuje se na náspu. V prvním kroku se pohybuje po klesajícím terénu náspu. V druhém kroku dojde ke stačení automobilu směrem proti klesajícímu terénu náspu, což ve výsledku muže, ale nemusí vést k převržení vozidla (viz obrázek 13). [4]

Obrázek 13 – Embankment roll-over test [7]

6.3 Zkouška manévrování

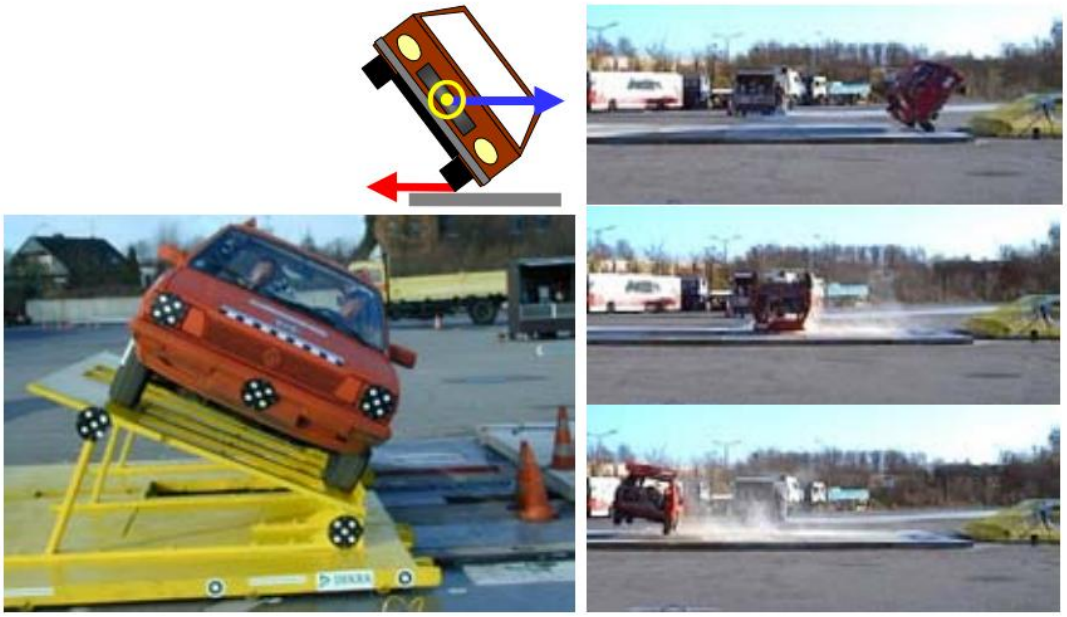
Dynamická zkouška manévrování (viz obrázek 14) se provádí, když je vozidlo plně obsazeno pasažéry, je naplněna palivová nádrž a vozidlo je opatřeno přídavnými koly. Vozidlo simuluje vyhýbající manévr, kdy je řízeno v jednom směru a prudce přejde do směru druhého. [8]



Obrázek 14 – Dynamická zkouška manévrovaní [8]

6.4 Dolly roll-over test

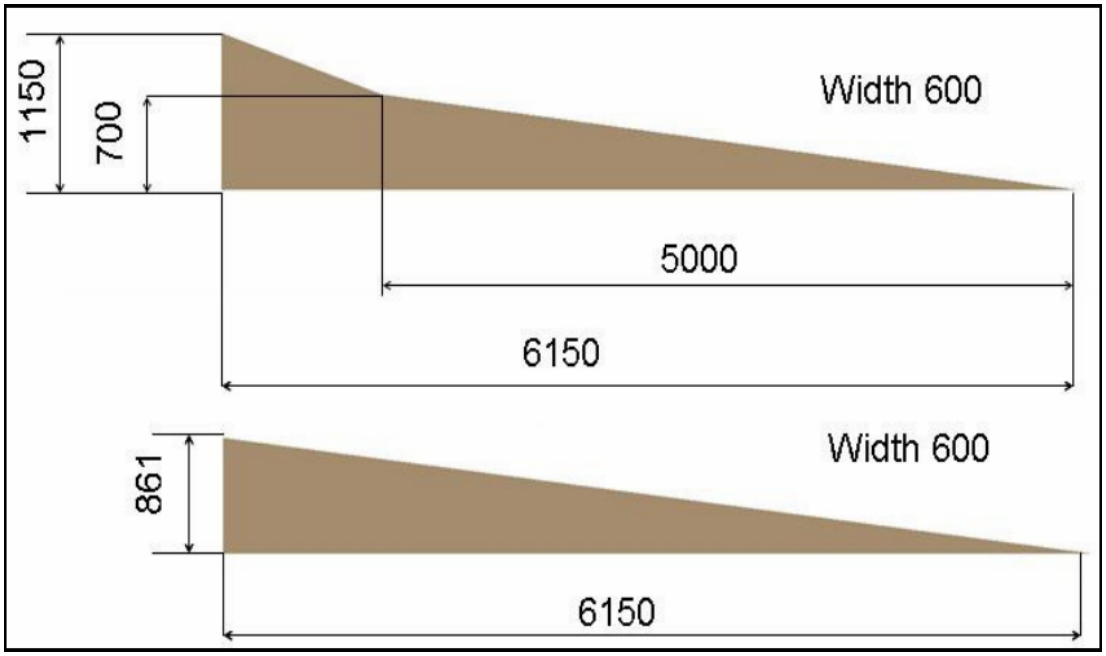
Tento roll-over test se provádí podle předpisu FMVSS 208 (Federal Motor Vehicle Safety Standard No. 208). Je to jeden z nejpoužívanějších testu převrácení. Při této metodě se vozidla se bočně umísťují na urychlovací zařízení, které představuje pohyblivý vozík s nakloněnou plošinou. Úhel náklonu plošiny oproti vodorovné rovině stanoví 23°. Aby nedošlo k předčasnému uvolnění vozidla z vozíku, boční kola v přední části jsou zajištěna cca 10 cm vysokými přírubami. Vozidlo je pomocí urychlovacího zařízení uvedeno na rychlost 48 km/h. Po prudké deceleraci vozíku a díky částečné fixaci předních bočních kol dojde k rotaci testovaného vozidla (viz obrázek 15). [7]



Obrázek 15 – Dolly roll-over test [7]

6.5 Ramp roll-over test

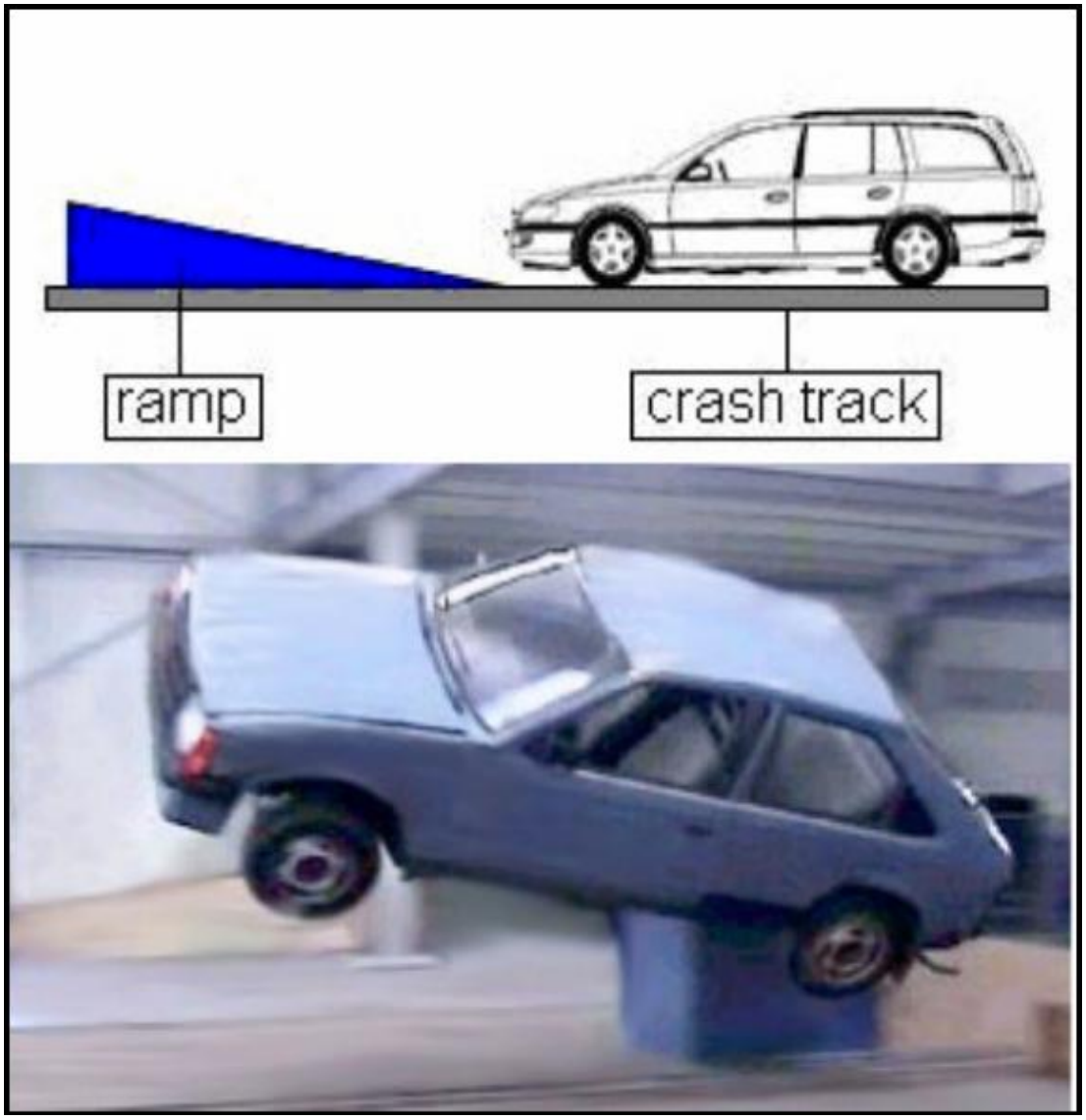
Ze všech testů převracení vozidla je tento test nejvíce variabilní z hlediska podmínek provádění. Během zkoušky najede urychlené vozidlo jednou stranou na rampu. V důsledku, na rozdíl od předešlých testů vozidlo může, ale nemusí dojít k převrácení vozidla. V daném typu testu se pro dosažení různých následků používá několik druhů ramp. Nejčastěji používanou je rampa s lineárním stoupáním a rampa se zakřiveným či spirálovitým povrchem. Jednu z variant používaných ramp ukazuje obrázek 16.



Obrázek 16 – Rampy s lineárním a zakřiveným povrchem [4]

6.5.1 Rampa s lineárním stoupáním

Rampa je navržena tak, aby spodní část vozidla (mimo pneumatik) nepřišla do kontaktu s okrajem rampy. V opačném, případě toto může být zdrojem nepřesností v testu. Tento problém velmi spolehlivě řeší spirálovitá rampa, o které bude další kapitola. Příklad takové rampy, která se používá pro testování vozidel, je na obrázku 17. Tato rampa se dá použít pro testování jak menších vozidel, tak i pro dodávky či SUV.



Obrázek 17 – Roll-over test s rampou s lineárním stoupáním [4]

6.5.2 Rampa s zakřiveným stoupáním

V tomto testu, stejně jako v předchozím vyjíždí rozjeté vozidlo jednou stranou na rampu. V tomto testu má rampa zakřivený nebo spirálový povrch. Rychlost vozidla při nájezdu na rampu činí 48 km/h. Na obrázku 18 je znázorněna rampa, která byla použita pro test převrácení vozidla společnosti NHTSA.

Obrázek 18 – Roll-over test s rampou se zakřiveným povrchem [9]

6.6 Statická zkouška pevnosti střechy

Při dopravní nehodě s převrácením vozidla je pro ochranu posádky zásadní přítomnost bočních airbagu, použiti bezpečnostních pásů. Nicméně aby tyto prvky pasivní bezpečnosti byly maximálně efektivní, musí být střecha dostatečně pevná a to tak, aby zůstal prostor pro přežití. Pevnější střechy se deformují méně, čímž se snižuje riziko, že cestující budou zraněni bezprostředně při kontaktu se střechou.

Obrázek 19 – Statická kontrola [12]

Statická zkouška pevnosti střechy spočívá v tom, že na střechu vozidla z jedné strany v šikmém směru tlačí metalická deska nízkou, ale konstantní rychlosti (viz obrázek 19). Velikost síly působící na střechu se vyjadřuje v poměru k hmotnosti vozidla. Během zkoušky se poměr (síla ku hmotnost vozidla) zvětšuje, dokud nedosáhne promáčknuti střechy od počátečního stavu 5 palců (12,7cm). Zde je zaznamenaná maximální hodnota poměru „síla-váha“. Tato hodnota je důležitý údaj, sloužící porovnání odolnosti jednotlivých modelů vozidel.[12]

Dobré hodnocení vyžaduje hodnotu poměru 4. To znamená, že střecha musí unést více než 4 násobek hmotnosti vozidla, než dojde k promáčknutí o 5 palců. Za přijatelné hodnocení se považuje hodnota poměru 3,25. Pro nízké hodnoceni je hodnota 2,5. Veškeré hodnoty poměru nižší, než 2,5 jsou špatné.[12]

7 Legislativa

Uvedení nových vozidel do provozu je podmíněno splněním značně náročného schvalovacího procesu na základě mezinárodně platných předpisů. V Evropě jsou pro konstrukce vozidel normy Evropského hospodářského společenství OSN. Značná část z celkového počtu 140 předpisů EHK pokrývá problematiku pasivní bezpečnosti vozidel.

7.1 EHK OSN

Členské státy Evropské hospodářské komise OSN uzavřely v roce 1958 v Ženevě “Dohodu o přijetí jednotlivých podmínek pro homologaci a o vzájemném uznávání homologace výstroje a součásti motorových vozidel”. Tento dokument stanovuje rámcové podmínky. Konkrétní předpisy jsou řešeny přílohami. Mezinárodní předpisy EHK – OSN obsahují řadu předpisů z oblasti pasivní bezpečnosti, jejichž požadavky musí vozidla splnit, aby mohla být v rámci smluvních stran Ženevské dohody připuštěna do silničního provozu. Tyto předpisy nespecifikují přímo konstrukční řešení, ale požadují předepsané účinky a vlastnosti.[10]

7.2 Rollover v EHK

Z důvodu, že se dopravní nehody s převrácením osobních automobilů v Evropě vyskytují vzácněji, než v Amerických Státech, a proto nejsou jejich následky v poměru ostatním dopravním nehodám tak významné, předpisy EHK neřeší přímo problém převracení osobních vozidel. Toto se však netýká autobusů a nákladních

vozidel, pro které jsou ve spisu norem EHK předpisy pevnosti karoserie a pevnosti kabin. Dále budou uvedeny předpisy EHK, které definují normy segmentu vozidel, které přímo nebo nepřímo ovlivňují pasivní bezpečnost posádky během převrácení vozidla.

7.2.1 Pevnost karoserie autobusů dle EHK 66

Pokud se podíváme na celkovou problematiku pasivní bezpečnosti autobusu, je zde oproti osobním automobilům jeden výrazný nedostatek a tím je absence dostatečných deformačních zón na karoserii. Tyto deformační zóny mají za úkol pohltit co nejvíce energie, vnikající při nehodách, např. při čelním nárazu nebo převrácení.

Tento předpis se vztahuje na zkoušení a schvalování typu velkých autobusů z hlediska pevnosti jejich konstrukce. Předpis platí pro jednopodlažní tuhá nebo kloubová vozidla konstruovaná a vyrobená pro dopravu více než 22 osob, ať sedících nebo stojících, mimo řidiče a posádky. [10]

Předpis stanovuje několik ekvivalentních způsobů zkoušení pevnosti nosné konstrukce:

- zkouška převrácením úplného vozidla
- zkouška převrácením části karosérie
- zkouška kvazistatickým silovým zatížením částí karosérie
- zkouška kvazistatickým silovým zatížením částí karosérie
- výpočetní simulace převrácení úplného vozidla

7.2.2 Pevnost kabin nákladních vozidel dle EHK 29

Při převrácení nákladního vozidla hraje klíčovou roli pevnost kabiny. Ta musí být konstruována a upevněna tak, aby riziko zranění cestujících při dopravní nehodě bylo omezeno na minimum. Tento předpis se vztahuje na zkoušení a schvalování typu nákladních automobilů, které jsou určeny pro přepravu zboží z hlediska ochrany osob v jejich kabině. Předpis neplatí pro traktory a zemědělské stroje.

Tento předpis stanovuje rozsah a postup zkoušek typu vozidla a požadavky na jeho vlastnosti z hlediska pevnosti kabin nákladních automobilů.[10]

Pevnost kabiny je ověřována třemi druhy zkoušek:

- Zkouška čelním nárazem kyvadla
- Zkouška pevnosti střechy
- Zkouška pevnosti zadní strany

7.2.3 Odolnost zámků a závěsu dveří dle EHK 11

Při nehodě s převrácením vozidla vzniká odstředivá sila, která působí jak na posádku, tak i na různé segmenty vozidla např. dveře. Role odolnosti zámku dveří je ještě větší, v případech, kdy nejsou cestující během nehody připoutáni.

Tento předpis se vztahuje na zámky a součásti upevnění dveří, jako např. závěsy a jiné nosné prostředky na bočních dveřích vozidel kategorií M1 a N1, užívaných nebo použitelných k nastupování a vystupování cestujících.

Reálná trhací zkouška se provádí až do destrukce dílů. Proto je její nahrazení simulací finanční úsporou. Jedním z požadavků je to, že zámek musí jít otevřít po provedení testu pomocí vnější i vnitřní kliky.

Test je prováděn s nastavením zařízení podle dané normy. Je využito pomocného plechu o tloušťce 3 nebo 1,5 mm z uhlíkové oceli. Napětí na testovacím plechu nesmí přesáhnout 350 MPa. Zámky jsou na testovací plech uchycovány v jejich konstrukčních pozicích. Zkouška se provádí při těchto teplotách: -40°C, 24°C a 82°C. [10]

7.2.4 Homologace zakotvení bezpečnostních pásů dle EHK 14 a bezpečnostních pásů dle EHK 16

Při dopravní nehodě s převrácením vozidla hraje důležitou roli pevnost bezpečnostních pásů a pevnost jejich zakotvení. Jak je vidět ze statistiky, vypadnutí cestujícího z vozidla během nehody převrácení prudce zvyšuje pravděpodobnost velmi těžkých nebo smrtelných zranění. Je proto důležité, aby bylo tělo cestujícího během nehody tělo cestujícího zafixováno v sedadle bezpečnostmi pásy.

7.2.4.1 Homologace zakotvení bezpečnostních pásů dle EHK 14

Tento předpis se vztahuje na zkoušení a schvalování typu kotevních úchytů bezpečnostních pásů pro dospělé osoby na sedadlech směřujících dopředu nebo

dozadu ve vozidlech kategorií M a N. Aplikuje se také na systémy ukotvení ISOFIX a horní kotevní úchyty ISOFIX určené pro dětské zádržné systémy ISOFIX instalované ve vozidlech kategorie M1. Vozidla kategorie N1 vybavené ukotvením ISOFIX musí také vyhovět ustanovením tohoto předpisu. [10]

Rozsah a postup zkoušek typu kotevních úchytů a požadavky na jejich vlastnosti:

- umístění efektivních kotevních úchytů,
- minimální počet kotevních úchytů,
- pevnost kotevních úchytů statickou zkouškou pomocí napínacího přípravku,
- alternativní dynamické zkoušky kotevních míst zkušební figurínou
- systému kotevních úchytů ISOFIX

7.2.4.2 Homologace bezpečnostních pásů dle EHK 16

Tento předpis se vztahuje na zkoušení a schvalování typů bezpečnostních pásů a zádržných systémů určených pro montáž do vozidel a sloužící k jednotlivému používání, tj. jako individuální zařízení pro osoby dospělého vzrůstu sedících na sedadlech orientovaných dopředu nebo dozadu. Vztahuje se také na dětské zádržné systémy a dětské zádržné systémy ISOFIX navržené pro montáž do vozidel kategorie M1 a N1. [10]

Tento předpis stanovuje následující zkoušky:

- Korozní zkouška
- Zkouška mikro prokluzu
- Kondicionování popruhů a zkouška meze pevnosti
- Zkouška součástí soupravy pásu zahrnující tuhé části
- Doplňkové zkoušky bezpečnostních pásů s navíječi
- Dynamická zkouška soupravy pásu nebo zádržného systému
- Zkouška rozepínání spony
- Doplňkové zkoušky bezpečnostních pásů s předepínacím zařízením

8 Návrh metodiky zkoušky převrácení vozidla

V této kapitole bude navrhnuta metoda provádění zkoušky převracení osobního vozidla pomoci rampy s lineárním stoupáním. Budou také provedené výpočty, určující jednotlivé pokyny k provádění zkoušky.

Aby k převrácení vozidla došlo, musí na něj působit dostatek příčných sil. Před nájezdem na rampu vozidlo se bude pohybovat v oblouku, což způsobí nárůst odstředivé síly.

8.1 Výběr vozidla

Ke zkoušce převrácení vozidla byl vybrán automobil Tesla Model S (viz obrázek 20). Tento automobil je plně elektrický fastback sedan. Výkon elektromotoru 310 kW s jednostupňovou převodovkou s pevným převodem. Maximální točivý moment je 601 N*m. Třífázový asynchronní elektromotor je chlazený vodou. Model S začal vyrábět v roce 2012.

Obrázek 20 – Tesla Model S [17]

Vozidlo dosahuje rychlost 100 km/h během 4.4 vteřin. Maximální rychlost činí 210 km/h [17].

Asynchronní elektromotor funguje od nuly do třetiny celkového rozsahu svých otáček v režimu konstantního maximálního momentu a dosahuje maxima výkonu. Potom moment až do nejvyšších otáček postupně klesá.

Praktickým důsledkem je, že v nízkých rychlostech má auto nejvyšší tažnou sílu i zrychlení a poměrně rychle dosáhne maxima výkonu, které si pak s určitou tolerancí drží až do nejvyšších rychlostí [17]. Vozidlo je vybráno pro tuto zkoušku z důvodu, že díky prudkému zrychlení dosáhne brzy kritické rychlosti pro převrácení, tím pádem zkrátí dráhu rozjezdu a ušetří místo.

Li-ion baterie o kapacitě 85 kWh napájející elektromotor, je uložena v podlaze vozu a zajišťuje tak nízké těžiště, stanovené 450 milimetrů [18].

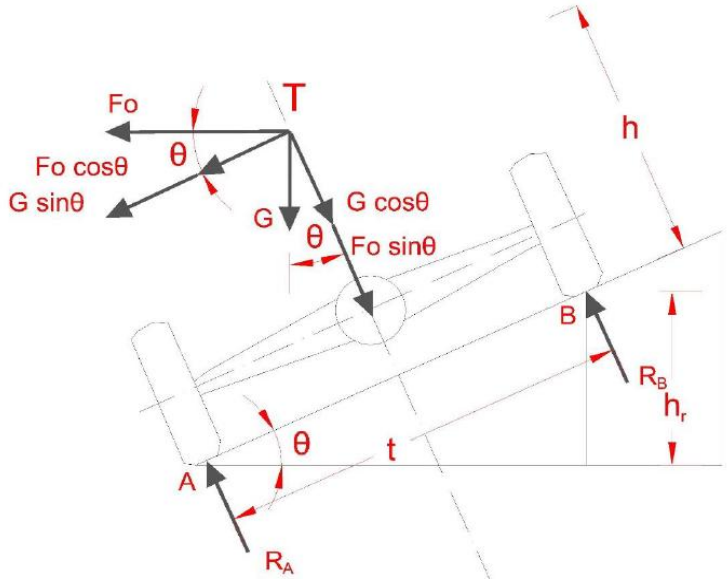
8.2 Vypočet rychlosti

Pro vypočet rychlosti budeme potřebovat některé technické údaje, které jsou uvedené v tabulce 5.

Tabulka 5 – Základní technické charakteristiky vozidla

Rok výroby	2015	
Výkon motoru	310	[kW]
Druh pohonu	Pohon zadních kol	
Celková hmotnost	2108	[kg]
Délka	4976	[mm]
Šířka	1963	[mm]
Výška	1676	[mm]
Rozvor	2959	[mm]
Rozchod vpředu/vzadu	1660/1700	[mm]
Světla výška	155	[mm]

Abychom mohli spočítat rychlost, při které dojde k převrácení vozidla, potřebujeme sestavit rovnice rovnováhy na základě obrázku 21 a tabulky 6.



Obrázek 21 – Schéma vozidla a působící síly při jízdě ve směru osy y v příčném sklonu [3]

Tabulka 6 – Popis zkratek schématu vozidla a působící síly při jízdě ve směru osy y v příčném sklonu

Zkratka	Popis	Jednotka
F_0	Odstředivá sila	[N]
G	Gravitační zrychlení	[m/s]
h	Výška těžiště	[m]
θ	je úhel, který svírá rovina vozovky s rovinou kol v místě styku vozovky a rampy	[°]
T	Poloha těžiště vozidla	[-]
h_r	Výška rampy	[m]
t	Rozchod vozidla	[mm]
R_A,R_B	Reakce na kola	[mm]
Rozchod vpředu/vzadu	1660/1700	[mm]
Světla výška	155	[mm]

První rovnice rovnováhy:

$$G * \cos\theta + F_O * \sin\theta = R_A + R_B \tag{7.1}$$

Druha rovnice rovnováhy je sestavena kolem bodu, který leží na průsečíku roviny rampy a kolmé roviny procházející přes těžiště vozidla:

$$F_o * \cos\theta * h + G * \sin\theta * h + R_B * \frac{t}{2} = R_A * \frac{t}{2} \tag{7.2}$$

Do rovnice můžeme dosadit F_o a G, které jsou určené v rovnicích 2.1 a 2.2 v kapitole 2.2. Rovnice bude mí následující tvar:

$$m * \frac{v^2}{R} * \cos\theta * h + m * g * \sin\theta * h + R_B * \frac{t}{2} = R_A * \frac{t}{2} \tag{7.3}$$

V době, kdy se vozidlo začne převracet, ztratí pravé kolo kontakt s rampou síla R_B tedy přestane působit. Z rovnice 7.1 vyjádříme silu R_A a dosadíme do rovnice 7.3. Po matematických úpravách dostaneme:

$$2 * \frac{h}{t} * \left(\frac{v^2}{R} * \cos\theta + g * \sin\theta\right) = g * cos\theta + \frac{v^2}{R} * \sin\theta \tag{7.4}$$

Vynásobíme obě časti rovnice na $\frac{t}{2*cos\theta}$

$$\frac{v^2}{R} * h + \frac{v^2 * t}{2 * R} * tg\theta = g * h * tg\theta + g * \frac{t}{2} \tag{7.5}$$

Tady můžeme vyjádřit rychlost, při které se vozidlo převrátí.

$$v_{př} = \sqrt{g * R * \left(\frac{h * tg\theta + \frac{t}{2}}{h + \frac{t}{2} * tg\theta}\right)} \tag{7.6}$$

Jak vidíme z rovnice 7.6, na rychlost májí vliv tři faktory: úhel mezi rovinou vozovky a rovinou kol v místě styku rampy a vozovky, poloměr oblouku a rozchod kol. Poslední veličina je dána od výrobce vozidla. Ostatní dvě veličiny tedy určíme.

Je důležité zmínit, že v rovnici pro rychlost převrácení bude použit užší rozchod kol vozidla, tedy rozchod předních kol.

Čím větší je úhel θ a čím menší je poloměr oblouku, tím menši je rychlost, při níž dojde k převrácení vozidla. Tedy je možnost přizpůsobit rychlost převrácení vozidla konkrétním okolnostem.

8.3 Poloměr oblouku

Během testu bude vozidlo zrychlovat v přímém směru. Po dosazení rychlosti převrácení značné se pohybovat v oblouku. Poloměr oblouku zvolíme 30 m.

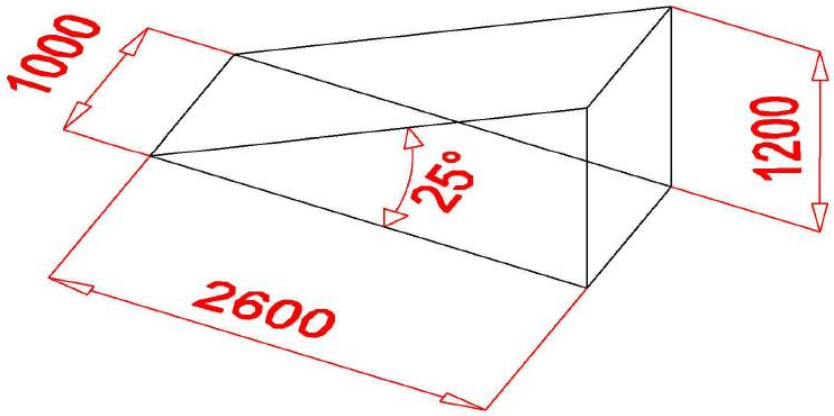
8.4 Rozměry rampy

V této kapitole určíme rozměry rampy. Určíme nejvyšší bod rampy 1.2 m. Spočítáme délku rampy s podmínkou, že rampa bude svírat úhel s rovinou vozovky 25°.

$$L = \frac{h_r}{tg25°} = \frac{1.2}{0.577} = 2.6\ \mathrm{m}$$

Dle [4] je šířka rampy 600 mm. Jelikož v našem případě vozidlo najíždí na rampu v oblouku, zvětšíme šířku na 1000 mm.

Obrázek 24 demonstruje rozměry navržené rampy.



Obrázek 22 – Rozměry rampy

8.5 Schéma s jednotlivými veličinami

Na základě schématu na obrázku 3 spočítáme úhel θ.

$$sin\theta = \frac{h_r}{t} = \frac{1200}{1660} = 0.7228$$

$$\theta = 46.29°$$

Do rovnice (7.6) dosadíme údaje a spočítáme rychlost převrácení.

$$V_{p\check{r}} = \sqrt{9{,}81 * 30 * \left(\frac{0.45 * tg46.29° + \frac{1.66}{2}}{0.45 + \frac{1.66}{2} * tg46.29°}\right)} = 17\frac{m}{s} = 61.2\ km/h$$

Nyní můžeme spočítat dráhu, kterou vozidlo ujede do dosažení rychlosti převrácení.

$$S = \frac{a * t_{p\check{r}}^2}{2} + v_{p\check{r}} * t_{p\check{r}}, \text{ kde}$$

a- zrychlení vozidla,

$t_{p\check{r}}$ - čas, za který vozidlo dosáhne rychlost převrácení,

$v_{p\check{r}}$ - rychlost převrácení.

Od výrobce víme, že rychlosti 100 km/h nebo 27.77 m/s vozidlo dosáhne během 4.4 s. Můžeme tedy spočítat zrychlení vozidla.

$$a = \frac{v}{t} = \frac{27.77}{4.4} = 6.31\ m/s^2$$

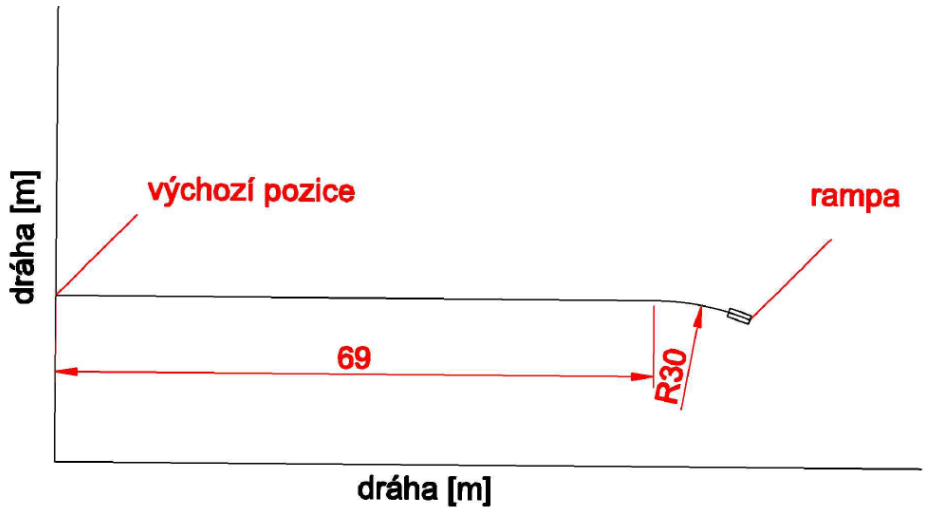
Spočítáme čas, za který vozidlo dosáhne rychlosti převracení

$$t_{p\check{r}} = \frac{V_{p\check{r}}}{a} = \frac{17}{6.31} = 2.7\ s$$

Dosadíme do rovnice pro dráhu veličiny $V_{p\check{r}}$ a $t_{p\check{r}}$

$$S = \frac{a * t_{p\check{r}}^2}{2} + v_{p\check{r}} * t_{p\check{r}} = \frac{6.31 * 2.7^2}{2} + 17 * 6.31 = 69\ m$$

Schéma zkoušky demonstruje obrázek 25.



Obrázek 23 – Schéma zkoušky

9 Přehled zařízení a vybavení vozidla potřebného pro uskutečnění testu převrácení

Z bezpečnostních důvodů nesmí během testu vozidlo řídit člověk. Použiti urychlovacího zařízeni je problematické kvůli tomu, že vozidlo musí během testu změnit pohyb v příčném směru a najet na rampu s dostačující přesností. Řešením mohou byt robotické systémy.

Během testu je potřeba ovládat dva pedály a volant vozidla. Díky tomu, že je vozidlo vybaveno jednostupňovou převodovkou s pevným převodem, není potřeba řešit problém řazení a spojkový pedál.

9.1 Systém pro ovládaní řízení

Pro ovládání řízení je možné použit výkonný řídící robot SR60 od společnosti AB Dynamics. Tento řídící robot se používá v testech s vyhýbacím manévrem (FMVSS126 / EuroNCAP ESC). Maximální točivý moment 70 Nm, což přesáhuje lidské možnosti. Tento robot se dá namontovat za krátkou dobu bez demontáže standartního volantu. Další výhodou je to, že po montáže robota je možné ovládat vozidlo standartním způsobem [15]. Konstrukce robota a jeho aplikace je znázorněna na obrázku 24.

Obrázek 24 – Konstrukce robota a jeho aplikace [16]

9.2 Systémy pro ovládání pohonu

Pro ovládaní pohonu je vhodné použit kombinovány robot CBAR (viz obrázek 25), který díky servopohonu a spojce muže působit na pedál brzdy a akcelerátoru a tím dává možnost přesně kontrolovat rychlost vozidla. Maximální sila 200 kN, rychlost pohybu 650 mm/s a rozsah pohybu 125 mm[17].

Obrázek 25 – Konstrukce robota a jeho aplikace [16]

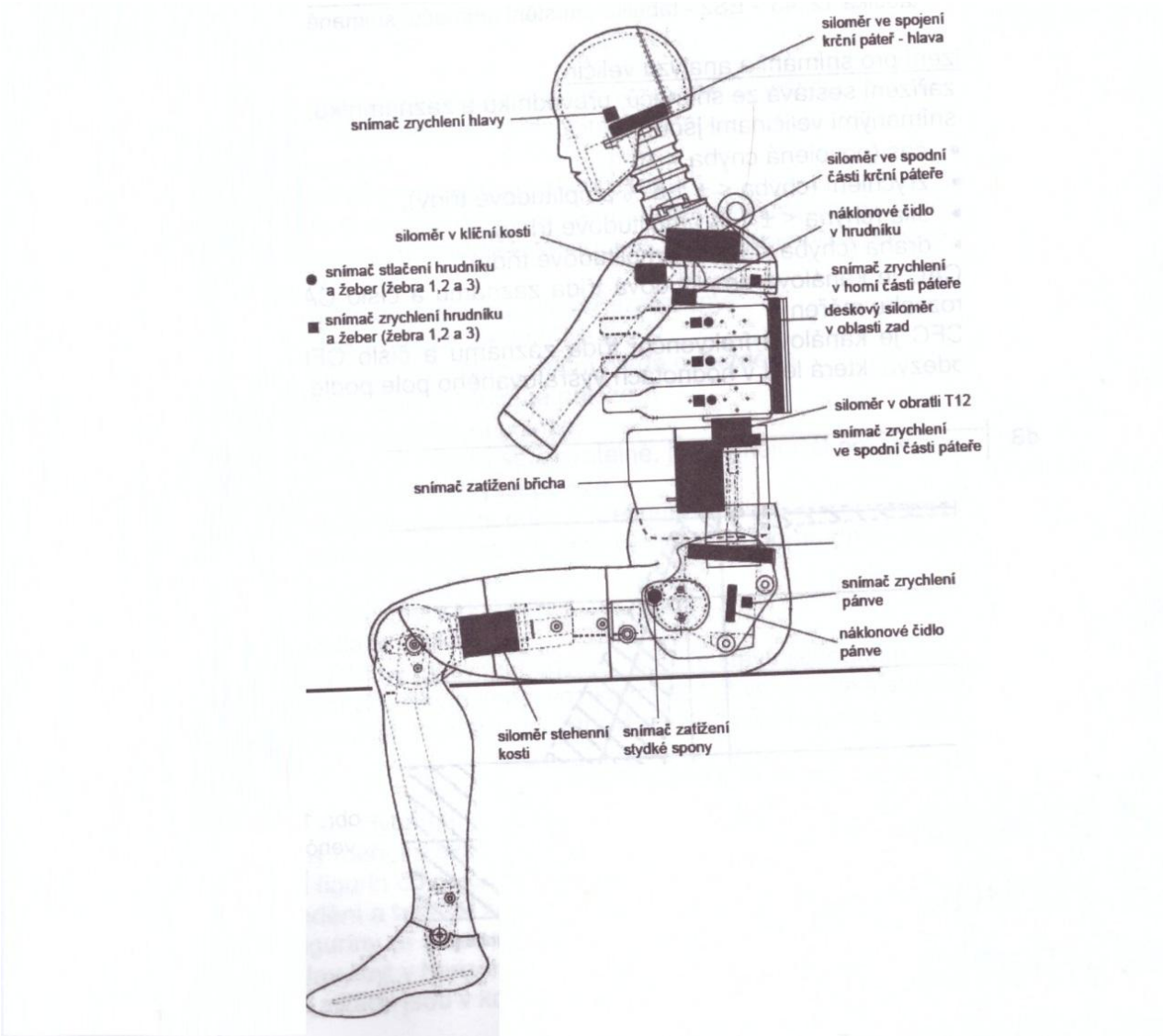
9.3 Figuríny (modely osob)

Figuríny jsou napodobeniny osob využívané pro více účelů. Hlavními důvody náhrady reálných osob umělými jsou:

- bezpečnost (zkoušky pasivní bezpečnosti)
- unifikace (zkoušky geometrických charakteristik)

Pro zkoušku převrácení použijeme figurínu EuroSid 2, která představuje dospělého muže odpovídajícího 50% velikosti a hmotnosti populace. Její hmotnost je 72±1.2 kg [18]. Tato figurína se používá pro zkoušku bočním nárazem, což vyvolává zrychlení v příčném směru. Jelikož se v našem testu vozidlo bude otáčet kolem své podélné osy, tedy zrychlení působí v příčném směru, figurína plně vyhovuje.

Pro vyhodnocení zkoušky bezpečnosti je potřeba zaznamenat různé veličiny jako síly, čas, dráha a zrychlení. K tomu slouží akcelometry, umístěné uvnitř figuríny (viz obrázek 26).



Obrázek 26 – Umístění snímačů uvnitř figuríny EuroSid 2 [18]

9.4 Akcelerometr

Akcelerometr je součástka nebo přístroj měřící zrychlení. Z pravidla je akcelerometr setrvačná hmota, která je ukotvena k základně. V testu budou použity dva akcelerometry měřící zrychlení ve třech osách. Je to model 356A25 od firmy PCB

Piezotronics(viz obrázek 27). Rozsah měření je ±1960m/s^2.[19]

Obrázek 27 – Akcelerometr 356A25 [19]

První akcelerometr umístíme na místo snímače zrychlení hlavy, které je zobrazeno na obrázku 28, aby bylo možné naměřit jedno z nejdůležitějších kritérií. Je to kritérium poranění hlavy HPC, podle vztahu [18]:

$$HPC = (t_2 - t_1) * \left[\frac{1}{t_2 - t_1} * \int_{t_1}^{t_2} a(t)dt\right]^{2.5}, \text{ kde}$$

$t_{1,2}$ –čas pro počátek a konec sledovaného děje. Interval $t_2 - t_1$ je doba od počátku kontaktu hlavy do konce záznamu, pro který je hodnota HPC maximální,

a – zrychlení.

Působení sil v těžišti vozidla je také důležitém faktorem. Proto druhý akcelerometr umístíme v bodě T (viz obrázek 1).

9.5 Vysokorychlostní kamery

Vysokorychlostní (rychlostní, rychloběžná) kamera, je přenosné optoelektronické zařízení pro vytváření obrazového záznamu velmi vysokou frekvencí snímání. Výraznou předností digitálního záznamu je, že je použitelný nejen ke kvalitativní analýze zobrazeného děje nebo jevu, ale umožňuje i analýzu kvantitativní, tj. hodnocení s využitím aktuálních hodnot fyzikálních veličin. Vzhledem k tomu, že

k jednotlivým obrázkům záznamu lze přiřadit reálný relativní čas, je možné porovnáním sousedních obrázků stanovit vektory rychlosti a zrychlení pohybujících se prvků, rychlosti změny tvaru těles.[20]

Pro test převrácení vozidla je nejlepší použít čtyři rychlostních kamer. Kamery budou umístěny na stativech na testovací ploše a budou sledovat převrácení z každé strany.

V testu se použije rychlostní kamera, která jíž byli použita fakultou dopravní v testech bezpečnosti. Je to kamera Redlake MotionXtra HG-100K, kapacita snímání do 100 tis. obr/s, reálná rychlost snímání 1000 obr/s (viz obrázek 28).

Obrázek 28 – Rychlostní kamera Redlake MotionXtra HG-100K [21]

10 Doporučené podmínky provádění zkoušky

Zkoušku převrácení vozidla je nutno provádět na tvrdém suchém povrchu, aby docházelo k nejlepší adhezi pneumatik.

Během testu musí být jasné počasí pro dostatečné osvětlení snímané scény. Je to důležitý faktor pro rychlostní kamery.

Také je nutné dodržet minimální rychlost větru, aby jím bylo vozidlo během převrácení co nejméně ovlivněno.

Doporučené místo pro provádění zkoušky je na území státní zkušebny strojů, která jako odborná nezávislá společnost nabízí širokou škálu odborných činností formou služeb pro výrobce a distributory výrobků strojírenského charakteru.

11 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout metodiku zkoušky převrácení vozidla. Rozpracovat jednotlivé stanovení a předložit přehled zařízení a vybavení vozidla potřebného pro uskutečnění testu převrácení. Pomocí statistiky nehod převrácení a porovnáním se statistikami ostatních typů dopravních nehod byla odhalena problematika roll-overu. Potom byla provedena rešerše užívaných testů převrácení automobilu.

V kapitole 7 byla představena legislativa EHK, která nepřímo řeší problematiku pasivní bezpečnosti tykající se nehod převrácení vozidel. Také byli uvedeny normy a homologační zkoušky jednotlivých časti interiéru a exteriéru vozidla.

V následné kapitole byla vybrána jedna metoda využívající převracecí rampy s lineárním stoupáním. Jako testovací vozidlo byl vybrán současný elektromobil americké společnosti Tesla model S. Dále byli sestaveny rovnice rovnováhy při pohybu vozidla na rampě v přímém a podélném směru. Následně byla vypočítaná rychlost, při které vozidlo se převrátí, určeny rozměry rampy a navrhnuta trajektorie pohybu elektromobilu.

Rychlost převráceni je závislá na různých faktorech jako je rozchod kol vozidla, poloměr oblouku, výška těžiště vozidla a výška rampy. Přesto že vozidlo najíždí na rampu pravým předním kolem, byl pro vypočet rychlosti převrácení použit úzký rozchod předních kol vozidla. Je také důležité, aby sklon rampy nebyl vyšší, než jaký je použit v této bakalářské práci, jinak hrozí ztráta velké části kinetické energie při nárazu o rampu o velkém sklonu.

Na závěr byl představen přehled zařízení a vybavení vozidla potřebného pro uskutečnění testu převrácení. Pomocí robotů bude možné kontrolovat pohon a směr vozidla. Figuríny vybavené akcelometry, měřicími důležitá data budou nahrazovat člověka ve vozidle. Je možné využít i další akcelometry a jiné snímače např. siloměry, pro měření dalších veličin souvisících s ochranou cestujících: kritérium poranění krku, ohybový moment v krku, kritérium komprese hrudníku, kritérium síly na stehenní kost, kritérium síly na pánev. Důležitými prvky pro další analýzu zachyceného děje jsou také vysokorychlostní kamery. Bylo by vhodné zde použít také gyroskop, pro měření náklonu kabiny v čase, ale tento údaj se dá odhadnout pomocí rychlokamer.

Doufám, že tato práce přispěje k dalšímu rozvoji pasivní bezpečnosti vozidel a pomůže zvýšit pozornost věnovanou problematice nehod s převrácením osobních vozidel.

12 Zdroje

[1] Overall Rollover Problem and the Agency's Comprehensive Response [online]. 2009. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: https://one.nhtsa.gov/cars/rules/rulings/RoofCrushNotice/216NPRM-to-FR.html#III_A

[2] National Highway Traffic Safety Administration [online]. 2003. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: https://www.safercar.gov/Vehicle-Shoppers/Rollover/Types-of-Rollovers

[3] Štěpán Hanke. Zkouška bezpečnosti při převrácení vozidla, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Praze.

[4] Test and simulation tools in a rollover protection development process [online]. 2009. [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv19/05-0122-O.pdf

[6] The Counterintuitive Truth About Roof Crush Standards. . [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: http://www.thetruthaboutcars.com/2006/06/the-counterintuitive-truth-about-roof-crush-standards/

[5] National Highway Traffic Safety Administration [online]. 2003. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: https://www.safercar.gov/Vehicle-Shoppers/Rollover/Causes

[7] Rollover crashes – real world studies, tests and safety systems [online]. 2003. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/cd/files/18ESV-000368.pdf

[8] Jan Svatoň. Hodnocení pasivní bezpečnosti osobních automobilů, 2010. Bakalářská práce. Mendelova Univerzita V Brně.

[9] NHTSA research on improved restraints in rollovers [online]. 2003. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv22/22ESV-000213.pdf

[10] Evropská hospodářská komise. 2016. Praha.

[11] Vlk, František. Dynamika motorových vozidel. Vyd. 2. Brno: František Vlk, 2003.432 s. ISBN 80-239-0024-2.

[12] Roof strenght test. Insurance institute for highway safety [online]. [cit. 2017-07-28]. Dostupné z: http://www.iihs.org/iihs/ratings/ratings-info/roof-strength-test

[13] Výkon vs. točivý moment [online]. [cit. 2017-08-08]. Dostupné z: http://www.autoforum.cz/technika/vykon-vs-tocivy-moment-konecne-srozumitelne-tak-o-co-jde-predevsim/?4

[14] Tesla model S [online]. [cit. 2017-08-08]. Dostupné z: http://autotesla.ru/auto-tesla/model-s/tesla-model-s-texnicheskie-xarakteristiki-i-osobennosti.html

[15] Steering Robot Systems [online]. [cit. 2017-08-08]. Dostupné z: http://www.abd.uk.com/en/driving_robots/steering_robots

[16] Repeatable vehicle testing [online]. [cit. 2017-08-18]. Dostupné z: http://www.oxts.com/technical-notes/repeatable-vehicle-testing-2/

[17] Repeatable vehicle testing [online]. [cit. 2017-08-18]. Dostupné z: http://www.abd.uk.com/upload/files/2017-06-22_11-48-25_SP6031-%20Pedal%20robots%20outline-%20issue%204.pdf

[18] FIRST, Jiří a kol. Zkoušení automobilů a motocyklů – příručka pro konstruktéry. Vyd. 1.Praha: S&T CZ, 2008. 348 s. ISBN 978-80-254-1805-5

[19] General Purpose Triaxial Accelerometers [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: http://www.pcb.com/products.aspx?m=356A25

[20] Co je vysokorychlostní kamera? [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: http://www.rucevzhuru.cz/index.php/component/content/article/53-rychlokamery/133-kamery.html

[21] Visual Instrumentation Corporation [online]. [cit. 2017-08-22]. Dostupné z: http://visinst.com/avatar-10-5mm-hi-g-lens/

13 Seznam použitých zkratek:

ABS Anti-lock braking systém

ASR Antriebsschlupfregelung (traction control system)

EBA Emergency brake assist

ESP Electronic stability program

SUV Sportovní užitkové vozidlo

NHTSA National highway traffic safety administration

ISO International organization for standardization

SSF Static stability factor

EHK Evropská hospodářská komise

OSN Organizace spojených národů

FMVSS Federal Motor Vehicle Safety Standards

Euro NCAP European New Car Assessement Programe

ESC Electronic stability control

14 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Nebezpečí smrtelných nehod a těžkých zranění během různých druhů nehod (NASS-CDS & FARS 1997-2002)[1] 10

Tabulka 2 - Nebezpečí smrtelných a těžkých zranění u připoutaných a nepřipoutaných cestujících, jež vypadli nebo částečně vypadli z vozidla (NASS-CDS & FARS 1997-2002) [1] 11

Tabulka 3 – Přiřazení dílčích problémů k pohybovým souřadnicím vozidla [11] 14

Tabulka 4 – Klasifikace rizika převracení podle NHTSA [6] 20

Tabulka 5 – Základní technické charakteristiky vozidla 33

Tabulka 6 – Popis zkratek schématu vozidla a působící síly při jízdě ve směru osy y v příčném sklonu 34

15 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Souřadný systém k vyjádření pohybu vozidla [11] 12
Obrázek 2 – Pohyby nápravy a kola: a) kmitání tuhé nápravy; b) úhlové pohyby kola [11] 13
Obrázek 3 – Trip-over [3] 15
Obrázek 4 – Bounce-over [3] 16
Obrázek 5 – Flip-over [3] 16
Obrázek 6 – Fall-over [3] 17
Obrázek 7 – Turn-over [3] 17
Obrázek 8 – Statický stabilizační faktor [6] 19
Obrázek 9 – Hodnocení možnosti převracení [6] 19
Obrázek 10 – Schéma vyhodnocení rizika převracení [6] 20
Obrázek 11 – Grafické vyjádření možnosti převrácení [6] 21
Obrázek 12 – Soil-trip test [7] 22
Obrázek 13 – Embankment roll-over test [7] 22
Obrázek 14 – Dynamická zkouška manévrovaní [8] 23
Obrázek 15 – Dolly roll-over test [7] 24
Obrázek 16 – Rampy s lineárním a zakřiveným povrchem [4] 25
Obrázek 17 – Roll-over test s rampou s lineárním stoupáním [4] 26
Obrázek 18 – Roll-over test s rampou se zakřiveným povrchem [9] 27
Obrázek 19 – Statická kontrola [12] 27
Obrázek 20 – Tesla Model S [17] 32
Obrázek 21 – Schéma vozidla a působící síly při jízdě ve směru osy y v příčném sklonu [3] 34
Obrázek 22 – Rozměry rampy 36
Obrázek 23 – Schéma zkoušky 38

Obrázek 24 – Konstrukce robota a jeho aplikace [16]..... 39
Obrázek 25 – Konstrukce robota a jeho aplikace [16]..... 39
Obrázek 26 – Umístění snímačů uvnitř figuríny EuroSid 2 [18]..... 41
Obrázek 27 – Akcelerometr 356A25 [19]..... 42
Obrázek 28 – Rychlostní kamera Redlake MotionXtra HG-100K [21]..... 43