



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Lukáš Popovič

Zhodnocení bezpečnosti mobilní nabíjecí jednotky

Bakalářská práce

2023

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):

Lukáš Popovič

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Zhodnocení bezpečnosti mobilní nabíjecí jednotky**

Název tématu (anglicky): Mobile Charging Unit Safety Evaluation

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Zpracujte rešerši známých informací o nabíjecích jednotkách pro elektromobily
- Podrobněji charakterizujte mobilní nabíjecí jednotku Nimbee a její konstrukci
- Definujte možné nebezpečné situace, které mohou nastat při manipulaci s jednotkou a při jejím používání
- Vhodným způsobem ověřte bezpečnost Vámi zvolené situace a proveďte diskusi nad výsledky s doporučeními na její případná zlepšení.



TECHNICKÉ V PRAZE



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího BP

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

Seznam odborné literatury: FIRST, Jiří. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry.
FRIVALDSKÝ, Michal. Elektromobilita
Technická dokumentace k nabíječce jednotce Nimbee

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Josef Mík, Ph.D.

Ing. Michal Cenkner

Datum zadání bakalářské práce:

22. června 2022

(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:

30. listopadu 2023

- 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

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



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Lukáš Popovič
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 9. srpna 2023

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval panu Ing. Josefu Míkovi, Ph.D. a Ing. Michalu Cenknerovi za odborné vedení a konzultování bakalářské práce. V neposlední řadě patří můj dík všem pedagogům, kteří mě provedli studiem. Na závěr bych rád poděkoval svým rodičům a celé rodině za morální a materiální podporu během celého studia.

PROHLÁŠENÍ

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne 30. 11. 2023

.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

ZHODNOCENÍ BEZPEČNOSTI MOBILNÍ NABÍJECÍ JEDNOTKY

bakalářská práce

listopad 2023

Lukáš Popovič

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá zhodnocením bezpečnosti mobilní nabíjecí jednotky pro elektromobily. Je řešen průzkum trhu nabíjecích jednotek, konstrukce a charakter nabíjecí jednotky Nimbee a možné nebezpečné situace při jejím používání. V praktické části práce je řešeno ověření bezpečnosti v provozu jednotky v simulačním programu LS Dyna. Provedeny byly simulace nárazu přídě vozidla do boku nabíjecí stanice.

Klíčová slova: elektromobil, nabíjecí stanice, bezpečnost, simulace

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with evaluation of safety of mobile charging unit for electric vehicles. It consists of research of current market with portable charging stations for electric vehicles, construction and character of Nimbee charging unit and possible dangerous situations during everyday usage. Conclusion of this thesis is a practical evaluation of safety in a simulation programme LS Dyna. Carried simulations focused on frontal crash of vehicle to the side of a charging station.

Keywords: electric vehicle, charging station, safety, simulation

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	6
1 Úvod	7
2 Začlenění elektromobilů do systému a průzkum trhu.....	8
2.1 Problematika elektromobilů.....	8
2.2 Mobilní nabíjecí stanice a nabíječky	11
2.2.1 ZipCharge Go.....	12
2.2.2 Freewire Mobi.....	12
2.2.3 SparkCharge Roadie	13
2.2.4 Porovnání výše zmíněných nabíjecích stanic.....	14
2.3 Mobilní nabíjecí jednotka Nimbee	14
3 Potenciální nebezpečné situace.....	15
3.1 Nebezpečné situace při manipulaci s jednotkou	16
3.1.1 Situace 1 – nerovnost na vozovce	16
3.1.2 Situace 2 – náraz do boku nabíjecí jednotky.....	17
3.2 Nebezpečné situace při používání jednotky.....	18
3.2.1 Situace 3 – náraz do čela nabíjecí jednotky	18
3.2.2 Situace 4 – náraz do boku nabíjecí jednotky.....	19
4 Simulace pomocí programu LS Dyna	21
4.1 Simulace nárazu automobilu do nabíjecí stanice	22
4.1.1 Verze 1 – rigidní automobil a skořepinová stanice	23
4.1.2 Verze 2 – rigidní automobil a stanice s reálnými hmotnostmi.....	24
4.1.3 Verze 3 – Automobil a stanice z pružného materiálu, s reálnými hmotnostmi .	26
4.2 Videozáznam z reálného crashtestu	29
4.3 Přímé porovnání reálného crashtestu a simulace	33
5 Diskuse výsledků	35
6 Závěr.....	36

POUŽITÉ ZDROJE.....	37
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	40
SEZNAM TABULEK.....	41
SEZNAM PŘÍLOH	42
Příloha 1 – Simulace verze 1 - rigidní automobil a skořepinová stanice	43
Příloha 2 – Simulace verze 2 – rigidní automobil a stanice s reálnými hmotnostmi	45
Příloha 3 – Simulace verze 3 - automobil a stanice z pružného materiálu, s reálnými hmotnostmi	47

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

EV – anglicky „electric vehicle“ – elektrické vozidlo

EU – Evropská unie

AC – střídavý elektrický proud

DC – stejnosměrný elektrický proud

FEA – anglicky „finite element analysis“ – analýza metodou konečných prvků

EHK - Evropská hospodářská komise OSN

USA – Spojené státy americké

1 Úvod

V posledních letech se můžeme v běžném životě stále častěji setkat s elektromobily. Ty jsou poháněny elektromotorem, či více elektromotory, a energii čerpají z baterie. Díky absenci spalovacího motoru neprodukují žádné lokální emise. Jejich provozem nevzniká lokální znečištění ovzduší a postupným přechodem na elektromobilitu by mělo dojít ke zmírnění klimatické krize. [3]

Elektromobily používají k pohonu elektrickou energii uloženou v baterii, kterou je potřeba dobíjet. Lze použít základní nabíječku dodávanou k vozidlu, nabíjecí box, stacionární dobíjecí stanice nebo mobilní nabíjecí stanice. Stacionární dobíjecí stanice bývají nejrychlejší v nabíjení vozidla a již se vyskytují u obchodních center, na veřejných parkovištích, čerpacích stanicích, či dedikovaných nabíjecích místech. Mobilní nabíjecí stanice může sloužit jako placená služba nabití vozidla na objednávku, vybavení autoservisu, či odtahové služby, nebo jako záloha stacionární stanice v případě technických potíží. Jak již vyplývá z názvu, mobilní stanice má své výhody v pohyblivosti a díky zabudované baterii může dobít vozidlo i v místech, kde není dostupná elektrická síť. Její nevýhodou může být, že se jedná o překážku v provozu, kterou mohou ostatní účastníci přehlédnout.

Koncepce mobilní nabíjecí jednotky není v rámci světového trhu nikterak nová. Nicméně běžný uživatel se s ní moc často neseťká. To by se mělo v blízké budoucnosti změnit. Existují společnosti, které uživateli nabídnou možnost objednat si dobití elektromobilu kdekoli a kdykoliv. Skutečnost takového komfortu by mohla přesvědčit více řidičů zvolit elektromobil při výběru nového vozu.

Cílem této bakalářské práce je ověření bezpečnosti mobilní nabíjecí jednotky v běžném provozu. Pro účely této práce bylo uvažováno s maketou mobilní nabíjecí stanice o rozměrech 1389 mm, 1594 mm, 507 mm (v, š, d) a hmotnosti 708 kg.

Hlavními úkoly této bakalářské práce je průzkum trhu s nabíjecími stanicemi, nalezení potenciálních nebezpečných situací při používání stanice, ověření bezpečnosti mobilní nabíjecí stanice při každodenním provozu, vytvoření simulace nárazu modelu vozidla do nabíjecí stanice a poté porovnání s reálným crashtestem. Ten byl proveden v září roku 2022. Byla použita maketa nabíjecí stanice a vozidlo Peugeot 607.

2 Začlenění elektromobilů do systému a průzkum trhu

V první části této kapitoly je popsána problematika elektromobilů, které jsou dnes již nedílnou součástí trhu s automobily. Elektromobily využívají k pohonu elektrický trakční motor, který používá energii uloženou v akumulátorové baterii ve vozidle. Baterii je nutné nějak nabíjet, což není problém, pokud se nacházíme v blízkosti elektrické sítě. [1] Tato práce je zaměřena na zhodnocení pasivní bezpečnosti mobilní nabíjecí stanice pro elektromobily. Proto je důležité odůvodnit si, proč vůbec takovou stanicí potřebujeme. Jelikož v současné době se průměrný dojezd elektrického vozidla na jedno nabití pohybuje okolo 340 km [4], je důležité, aby byl uživatel takového vozidla připraven na vybití baterie v místech, kde není přístup k elektrické síti. Tyto problémy by měla mobilní nabíjecí stanice eliminovat. Mobilní nabíjecí stanice může být také vhodným doplňkem ke stacionární nabíjecí stanici. Pokud by například byla stacionární nabíjecí stanice mimo provoz, či byla obsazena, může ji mobilní nabíjecí stanice zastoupit.

2.1 Problematika elektromobilů

Elektromobil, neboli elektrické vozidlo (EV) je alternativa k tradičnímu automobilu se spalovacím motorem. První elektromobil byl zkonstruován již v roce 1835 profesorem S. Stratinghem v Holandsku. První elektromobil, který dosáhl rychlosti 100 km/h sestrojil C. Jernatzy z Belgie, lze jej vidět na obrázku č. 1. Na začátku 20. století bylo v USA registrováno okolo 4 000 silničních vozidel, ze kterých bylo 38 % s elektrickým pohonem. S postupným zlepšením spalovacích motorů došlo k úpadku výroby elektromobilů. [1]

Co má elektromobil navíc, oproti klasickému automobilu:

- Akumulátorová baterie
- Elektromotory pro pohon jednotlivých kol, či nápravy
- Polovodičové měniče

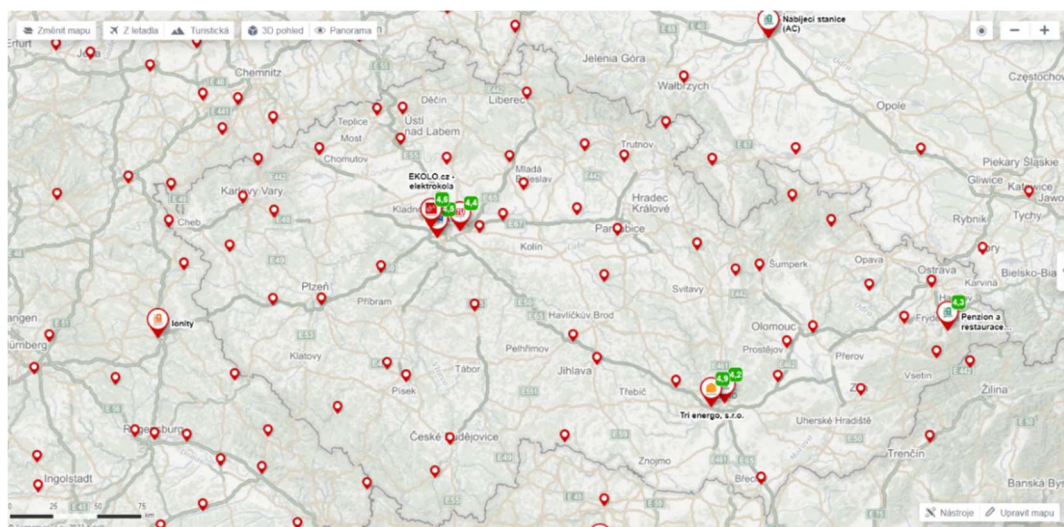
Co elektromobil nemá, oproti klasickému automobilu:

- Spalovací motor, převodovku, diferenciál
- Palivový systém [1]



Obrázek 1 První elektromobil, který překonal rychlost 100 km/h [5]

Dnešní elektromobil je vybaven elektromotorem (či více elektromotory) a trakční baterií, neprobíhá tedy žádné lokální spalování paliva. Baterii lze nabít v pohodlí domova, či na určených dobíjecích stanicích. [3] Doma lze elektromobil dobít standardním napětím 230 V. Touto metodou je ovšem nabíjení zdlouhavé a často se nenabije do plna ani za celou noc. Proto je lepší pořízení domácího nabíjecího boxu, který má vyšší výkon a je schopen auto nabít rychleji. Nabíjecí box využívá napětí 400 V, s čímž musí potenciální majitel počítat. [6] Nejrychlejší metodou nabíjení jsou veřejné nabíječky. Jsou schopné již dodávat autu proud DC, takže není nutné používat měnič v autě pro konverzi proudu AC na DC. Aktuální mapu dobíjecích stanic v ČR k dubnu 2023 lze vidět na obrázku č. 2. Závěrem loňského roku bylo u nás evidováno 1364 nabíjecích stanic, což značí meziroční vzrůst o 30 %. [7] Elektromobily díky svému pohonu dosahují efektivity využití energie až 70 %, na rozdíl od spalovacích aut, kde se efektivita pohybuje v okolí 20 %. [3]



Obrázek 2 Mapa dobíjecích stanic v ČR [8]

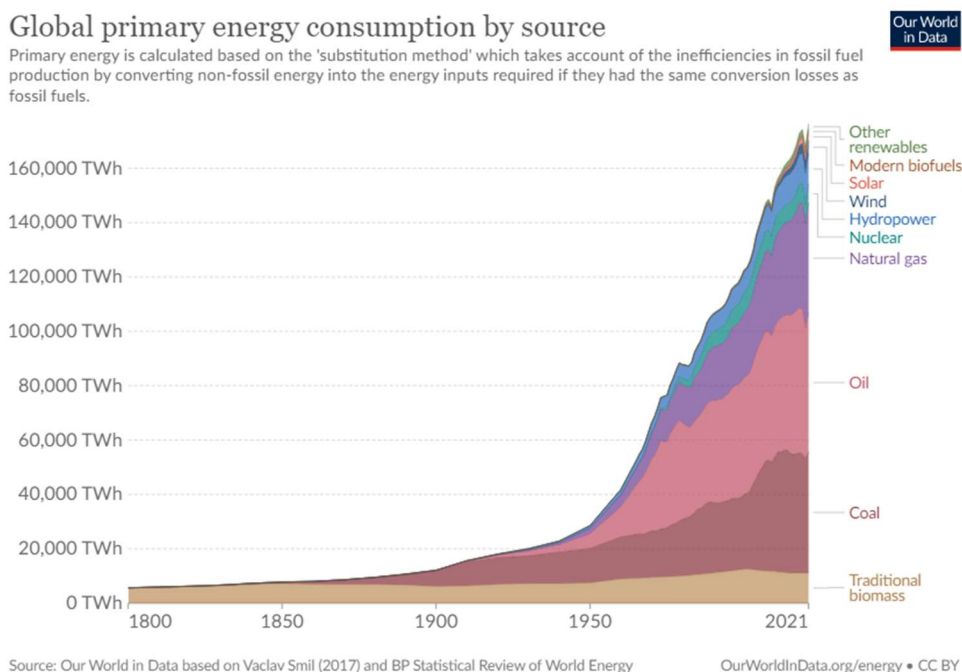
Dosažení větší efektivity v dopravě je jeden z cílů dohody „European Green Deal“, která má zaručit dosažení karbonové neutrality Evropské unie do roku 2050, s čímž by efektivita elektromobilů měla pomoci. Plánem je projít každý existující zákon a zhodnotit jeho klimatické dopady. Také je v plánu představit novou legislativu zabývající se biodiverzitou, zemědělstvím, inovacemi, cirkulární ekonomikou.

Hlavní principy pro dosažení karbonové neutrality zahrnují:

- Prioritizace energetické efektivity
- Vytvoření energetického sektoru založeném na obnovitelných zdrojích
- Zajistit pro EU finančně dostupný zdroj energie
- Mít plně integrovaný, propojený digitalizovaný energetický trh pro EU

Součástí dohody je také „Zero Pollution Action Plan“ – volně přeloženo jako akční plán nulového znečištění. Má za cíl eliminovat znečištění vzduchu, vody a půdy ze všech zdrojů. Musí být dodržovány standardy kvality životního prostředí, které zabrání znečišťování mikoplasty a chemikáliemi. [9]

U elektromobilů odpadá znečištění životního prostředí z údržby, jako u tradičních vozidel, jelikož u nich není třeba měnit olej motoru, převodovky a výměna brzdových kotoučů a obložení není díky rekuperačnímu brždění potřeba tak často. Na obrázku č. 3 lze vidět celosvětovou historii výroby energie.



Obrázek 3 Celosvětová spotřeba energie v závislosti na zdrojích [10]

Lze vidět, že v posledních letech jsou na vzestupu alternativní zdroje energie, ovšem v porovnání s uhlím, nebo ropou je stále velký nepoměr. Na první pohled se tedy může zdát, že elektroauta ztrácí smysl, když stejně většina světové energie, která se do nich nabíjí, je vyrobena z uhlí, či ropy. Nicméně zde narážíme na již zmíněnou efektivitu využití energie. Elektrárny jsou schopné využít dané fosilní palivo efektivněji než spalovací motory. Efektivita fosilních elektráren se pohybuje v rozmezí 40 % až 55 %. Tyto elektrárny jsou totiž navrženy na co největší termodynamickou efektivitu. [11]

Elektrická vozidla jsou s ohledem na spotřebu elektrické energie schvalována podle předpisu EHK č. 101. Během zkoušky projede testované vozidlo dvakrát úsek označený jako Část 1 a jednou úsek označen jako Část 2. Během jízdy dochází ke střídání jízdního režimu dle předem definovaných parametrů. Po této jízdě se dobije akumulátor ve vozidle. Z času a výkonu nabíjení se stanoví spotřeba.

Kroky zkušební metody:

- Dobití akumulátoru do plného stavu před jízdou
- Dvojnásobný průjezd cyklu – městské cykly (Část 1), mimoměstský cyklus (Část 2)
- Dobití akumulátoru do plného stavu po jízdě
- Stanovení spotřeby energie

Spotřebu elektrické energie určuje vztah:

$$C = \frac{E}{l}$$

E značí energii potřebnou k dobití akumulátoru po jízdě, l značí délku trati. [2]

2.2 Mobilní nabíjecí stanice a nabíječky

Na cestu elektrickým vozidlem je vhodné si přibalit nabíječku do zásuvky, kterou má každý elektromobil v základní výbavě, nicméně na trhu již existují i rychlonabíjecí zařízení jako například Juice Booster 2, která dokáží po připojení do elektrické sítě nabíjet vozidlo výkonem až 22 kW a největší výhodou je minimální velikost a váha okolo jednoho kilogramu. [12] Nicméně toto zařízení je závislé na elektrické síti a z tohoto důvodu už není více rozebíráno. Zaměření této práce je výhradně na nabíječky, které mají vlastní baterii a jsou tak schopné fungovat mimo elektrickou síť, či při výpadku elektrického proudu.

2.2.1 ZipCharge Go

Mezi nabíjecí stanice, které již jsou na trhu, patří ZipCharge Go. Jedná se o přenosnou nabíječku velikosti středního cestovního kufru a je dostupná ve velikosti 8 a 4 kWh. S ohledem na určitý typ vozidla je tato nabíječka schopna poskytnout až 30 km dojezdu. Vzhledem ke svým skladným rozměrům je nabíječka určena pro koncového zákazníka. I přes praktické rozměry je nepraktická na každodenní dojíždění do práce. Je ovšem vhodná na delší cesty jako nouzové řešení. Nabíječka ZipCharge Go je uvedena na obrázku č. 4. [13]



Obrázek 4 ZipCharge Go [13]

2.2.2 Freewire Mobi

Mobilní nabíjecí stanice Freewire Mobi poskytuje díky zabudovaným bateriím možnost nabíjení dvou vozidel zároveň a to i v případě výpadku proudu, či nutnosti nabíjení v nepříznivých podmínkách bez přístupu k elektrické síti. Vzhledem ke kapacitě baterií v této stanici, která činí 80 kWh, je u některých vozidel možnost až plného nabití baterie daného vozidla. Vzhledem k mobilním vlastnostem baterie se jedná o ideální nástroj pro firmu, která by chtěla poskytovat alternativní službu k odtahu, kdy by stačilo dané vybité elektrovozidlo ze stanice dobít. Na rozdíl od ZipCharge Go, není tato stanice vhodná ke stálému vození v autě, jelikož její hmotnost je přes 800 kg a snižovala by tak dojezd vozidla. Na obrázku č. 5 lze vidět zmíněnou nabíječku. Vzhledem k velikosti je nabíječka vhodná spíše pro servisy a asistenční služby. [14]



Obrázek 5 Freewire Mobi [14]

2.2.3 SparkCharge Roadie

Již třetí generace tohoto produktu vyšla v roce 2022. Nejsilnější model má kapacitu baterie až 70 kWh. Tato nabíječka je velikostně podobná výše zmíněné Freewire Mobi. Tato společnost nabízí službu SparkCharge Fleet pro firmy, které si ji mohou zakoupit. Služba funguje tak, že za daným vozidlem přijede nákladní automobil s touto nabíječkou, která ho dobije. Jednu z iterací této nabíječky lze vidět na obrázku č. 6, jedná se konkrétně o verzi Roadie V3. [15]



Obrázek 6 SparkCharge Roadie V3 [15]

Pro koncového zákazníka nabízí tato společnost předplatné od 5 do 30 amerických dolarů. Dále se účtuje každá kilowatthodina a to od 0,51 do 0,69 dolaru. Technik přijede k zaparkovanému vozu a nabije jej pomocí této stanice. Je nutné povolit technikovi přístup k nabíjecímu konektoru. Mimo běžné předplatné je možné si zaplatit jednorázové nabití za 39,99 dolarů. [16]

2.2.4 Porovnání výše zmíněných nabíjecích stanic

V tabulce č. 1 je porovnání výše zmíněných nabíjecích stanic vzhledem k nabízené kapacitě baterií a hmotnosti. Jak lze vidět, nejvýhodnější je ZipCharge Go, která nabízí nejvíce kilowatthodin na kilogram váhy, nicméně je vhodná spíše jako nouzová záchrana, zatímco zbylé dvě stanice nemají tak výhodné skóre, ale jsou již schopné doplnit podstatnou část dojezdu daného automobilu. Vzhledem k velikosti a hmotnosti dává největší smysl vozit s sebou v autě první zmíněnou nabíječku.

Tabulka 1 Porovnání nabíjecích stanic

Název	Hmotnost (kg)	Kapacita (kWh)	Poměr kapacita – hmotnost (kWh/kg)
ZipCharge Go [17]	22,7	4	0,18
Freewire Mobi [14]	844	80	0,095
SparkCharge Roadie V3 [18]	725,7	70	0,096

2.3 Mobilní nabíjecí jednotka Nimbee

Nimbee je mobilní nabíjecí stanice, kterou je možné si objednat v aplikaci na dané místo i čas a zákazník tak nemusí ztrácet čas na nabíjecích stanicích, ani nemusí doma vlastnit nabíječku. Technik Nimbee stanici přiveze, když je zákazník v práci a automobil parkuje třeba na ulici, mezitím se elektromobil dobije a zákazník přijde k nabitému vozu. Objednávka probíhá přes oficiální aplikaci, ale je možné, aby si vozidlo samo objednalo nabití, když se baterie vybije na určitou hodnotu. Aktuálně skončila testovací fáze produktu a probíhá vyhodnocování dat. Společnost má tedy čas vymyslet zdokonalení své služby a poté ji nabídnout široké veřejnosti. Na obrázku č. 7 lze vidět podobu jednotky a manipulaci techniků při nasazování do provozu. U každého zařízení, které se vyskytuje v běžném provozu je nutné počítat s nějakým nebezpečím, které může způsobit a o tom je následující kapitola. [19] V porovnání s již zmíněnými nabíječkami je Nimbee podobná s Freewire Mobi a SparkCharge Roadie V3. Jedná se o větší nabíjecí stanici, která dokáže nabít podstatnou část kapacity elektromobilu.



Obrázek 7 Nabíjecí stanice Nimbee při nasazování do provozu [19]

3 Potenciální nebezpečné situace

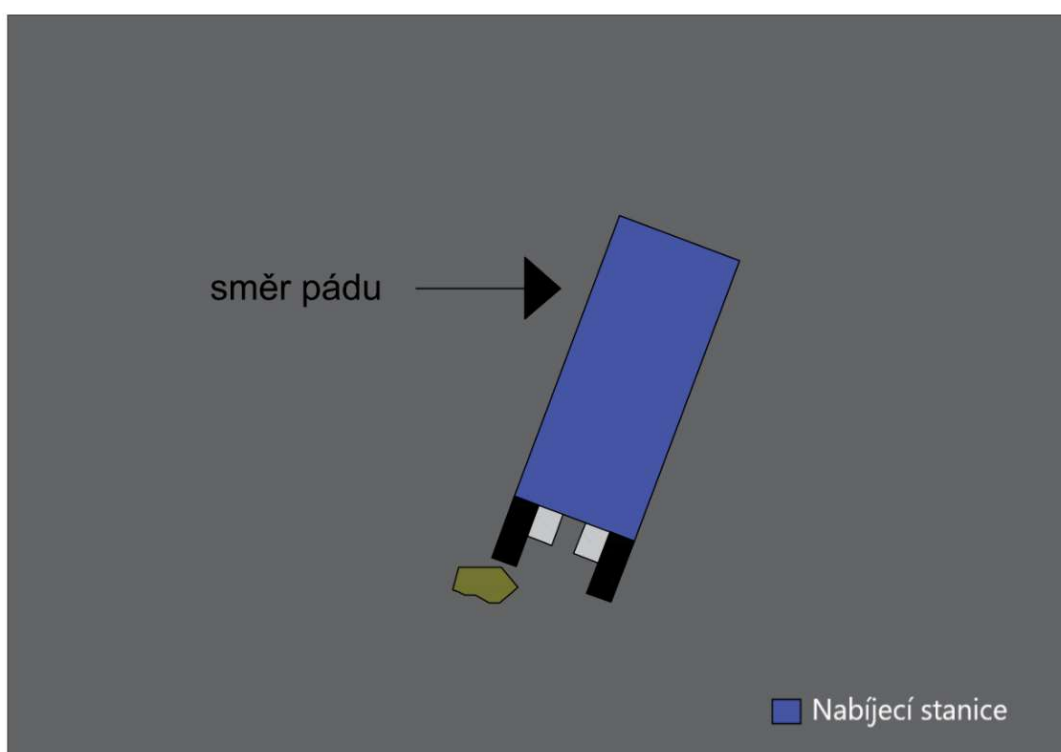
Tato kapitola se zabývá situacemi, které mohou nastat při užívání, či instalaci stanice a mohou být nebezpečné pro okolí. Jako u každého zařízení vyskytujícího se v každodenním životě nás všech, je nutné počítat s určitými extrémními, či méně pravděpodobnými nepříjemnými situacemi. Jelikož se nabíjecí jednotka bude vyskytovat v běžném silničním provozu, bylo by ideální vědět o všech nebezpečných situacích, které se v rámci provozu této nabíječky mohou vyskytnout. Ať už pro předcházení těchto situací, nebo pro zmírnění následků případné nehody. Hlavním cílem je, aby při případném pádu stanice, či jiné nehodě, nedošlo ke zranění osob v okolí. Dále je důležité, aby nedošlo ke znehodnocení osobního, ani veřejného majetku a také aby nedošlo k poškození nabíjecí jednotky. Nicméně všechna tato kritéria jsou propojena. Z důvodu využívání bateriových článků je důležité, aby nedošlo k významnému poškození stanice, protože by mohlo dojít k poškození baterií a škodám na majetku, i životech. Jakkoliv jsou některé situace nepravděpodobné, je důležité mít je na paměti, aby nedošlo ke zbytečným nehodám. Na obrázku číslo 24 v následující kapitole lze vidět, že těžiště, označené písmenem T, se nachází zhruba v samém středu jednotky. Nicméně při započtení koleček se již těžiště nachází v horní části stanice, což může způsobit určitou nestabilitu. Jedná se pouze o rozměry makety stanice a reálné těžiště i rozměry tedy mohou být odlišné od tohoto obrázku. Vzhledem k předpokládané hmotnosti okolo 708 kg může takto vysoko umístěné těžiště způsobit problémy při manipulaci. V počáteční fázi projektu bude obsluhu stanice zajišťovat technik, nicméně do budoucna se počítá s autonomní jednotkou, která se sama umístí k vozidlu, což může vést k dalším typům nebezpečných situací. Důležité je také zmínit, že u jednotky, jako u většiny elektronických zařízení, může dojít k nějakému vnitřnímu zkratu, či problému a tedy i k vzplanutí. Tato práce se nezabývá elektronickou stránkou stanice. Z toho důvodu tento pohled není v dalších částech práce rozebírán.

3.1 Nebezpečné situace při manipulaci s jednotkou

Mobilní nabíjecí jednotka má vcelku specifický tvar, a to hlavně z důvodu jejího nasazení do provozu. Je nutné, aby se vměstnala mezi zaparkované automobily při podélném parkování. Je tedy nutné, aby byla úzká a nebyla širší než běžný automobil, což znamená využití vertikálního prostoru, vyšší umístění těžiště, a tedy určitou menší stabilitu v případě bočního nárazu. Můžeme očekávat řadu potenciálně nebezpečných situací, kterými se zabývá tato kapitola.

3.1.1 Situace 1 – nerovnost na vozovce

Jak lze vidět na obrázku číslo 7, technici při manipulaci s jednotkou používají speciální manipulační zařízení s bočními výztuhami. Je tedy velmi nepravděpodobné, že by jednotka sama od sebe přepadla. Avšak může se vlivem vnějších podmínek stát, že manipulační vozík najede na nějakou nerovnost na vozovce a z tohoto důvodu nabíječka přepadne na bok. Uvažuje se také nad použitím speciálních koleček, které se mohou pohybovat všemi směry, což by zvýšilo pravděpodobnost vzniku takové situace. Zmíněná situace je znázorněna na obrázku číslo 8.



Obrázek 8 Nerovnost na vozovce [práce autora]

3.1.2 Situace 2 – náraz do boku nabíjecí jednotky

Při umisťování jednotky může nastat situace, kdy nepozorný kolemjdoucí, cyklista, či řidič narazí do jednotky. Situace, které mohou nastat a jejich následky:

- Nabíjecí stanice – chodec bez převrácení: minimální následky
- Nabíjecí stanice – chodec s převrácením stanice: možné poškození nabíjecí stanice, poranění chodce
- Nabíjecí stanice – cyklista bez převrácení stanice: poranění cyklisty, minimální poškození nabíjecí stanice
- Nabíjecí stanice – cyklista s převrácením stanice: poranění cyklisty, poškození nabíjecí stanice
- Nabíjecí stanice – automobil s převrácením jednotky: poškození automobilu a nabíjecí stanice, možné poranění řidiče

Všechny situace jsou znázorněné na obrázku č. 9. Při uvádění stanice do provozu jsou přítomni pozorní technici, aby nedošlo k nárazu s ostatními účastníky silničního provozu.



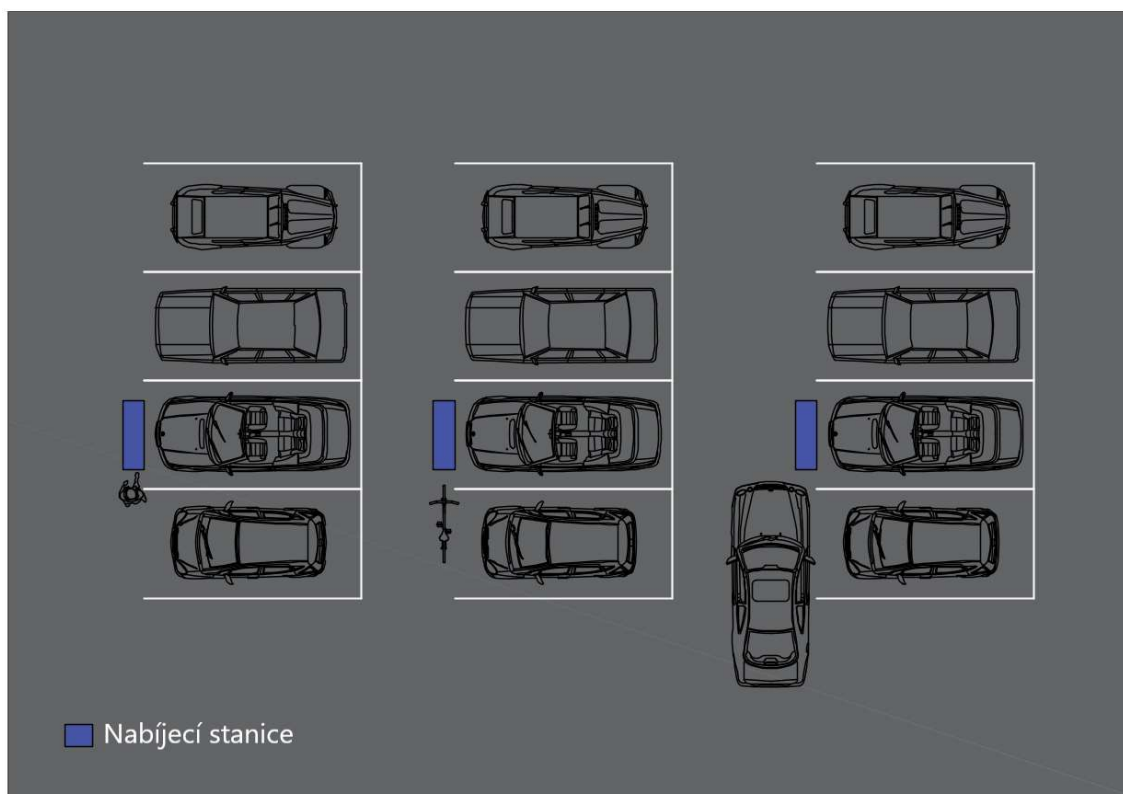
Obrázek 9 Náraz do boku nabíjecí jednotky při umisťování do provozu [práce autora]

3.2 Nebezpečné situace při používání jednotky

Nebezpečné situace mohou nastat i při provozu stanice. V tu chvíli již není přítomný technik a stanice je umístěna v blízkosti vozidla, lze ji tedy snadno přehlédnout.

3.2.1 Situace 3 – náraz do čela nabíjecí jednotky

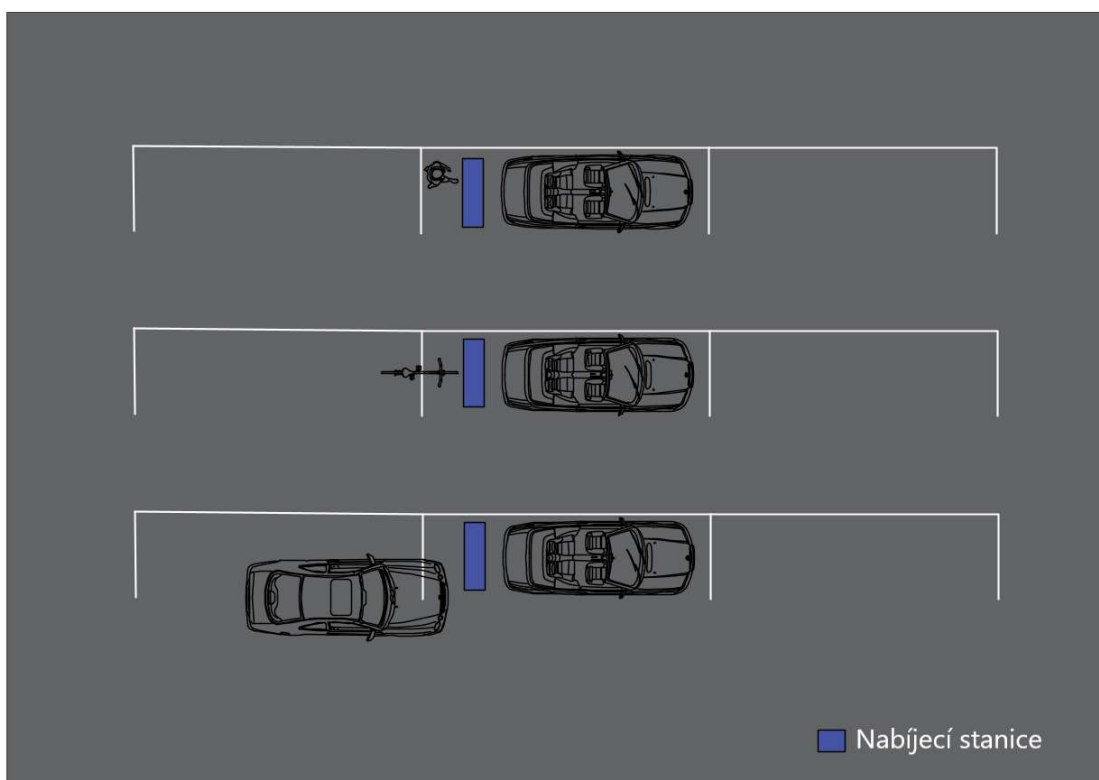
Čelní náraz je velmi pravděpodobný v případě použití jednotky u příčného parkování. Jak lze vidět na obrázku číslo 10, jednotka umístěná u vozidla nepřechází nijak značně, nicméně stále se jedná o přečnívající objekt. V případě chodce by k žádné velké nehodě dojít nemělo. Uvažujeme situaci, kdy chodec prochází mezi příčně zaparkovanými vozidly, z důvodu nepozornosti si této stanice nevšimne a narazí do ní. Obzvláště při obcházení většího vozidla typu SUV, či MPV nemusí chodec očekávat překážku, ale za vozidlem stojí nabíjecí stanice. Vzhledem k vysoké hmotnosti stanice je velmi nepravděpodobné, že by došlo k jejímu pohybu, nicméně na chodci se mohou vyskytnout pravděpodobně lehká zranění. Cyklista by v tomto případě neměl stanici převrátit, nicméně stále je velmi pravděpodobné, že by do ní narazil hlavou a došlo by k výraznému poranění. Pro automobil by tato srážka byla pouze finančně náročná, jelikož by pravděpodobně došlo k výraznému poškození předního nárazníku, ale řidič by měl být v pořádku. Opět zde hraje roli hmotnostní výhoda na straně automobilu.



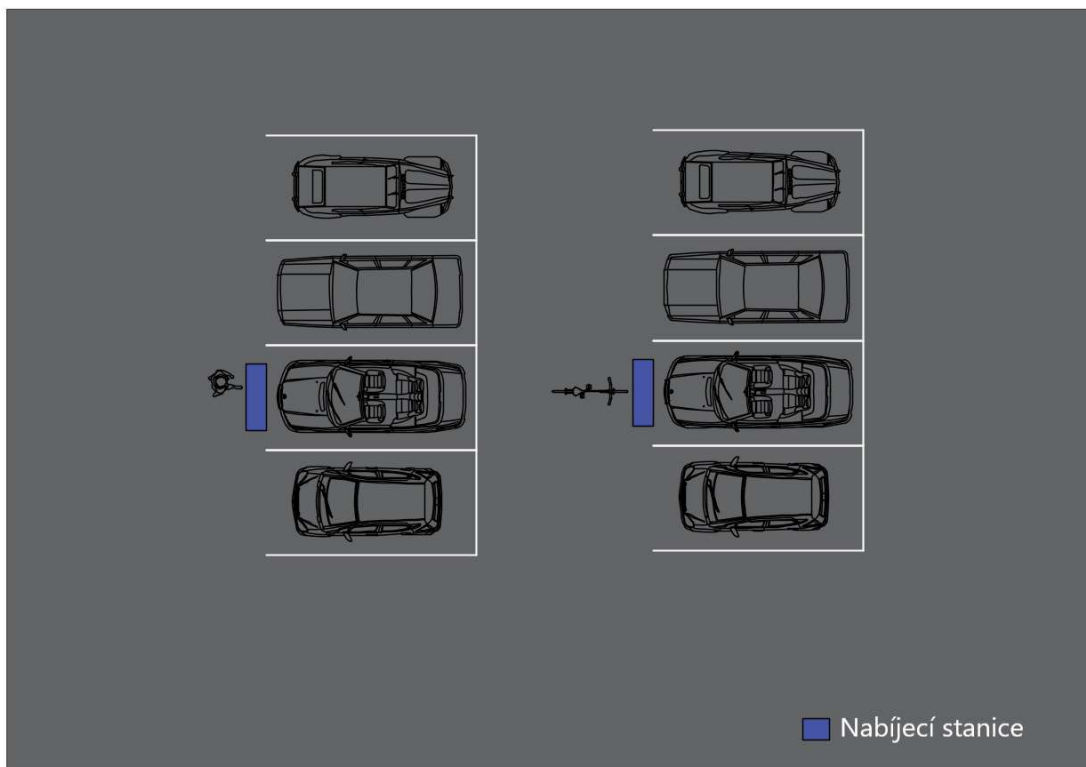
Obrázek 10 Náraz do čela nabíjecí jednotky [práce autora]

3.2.2 Situace 4 – náraz do boku nabíjecí jednotky

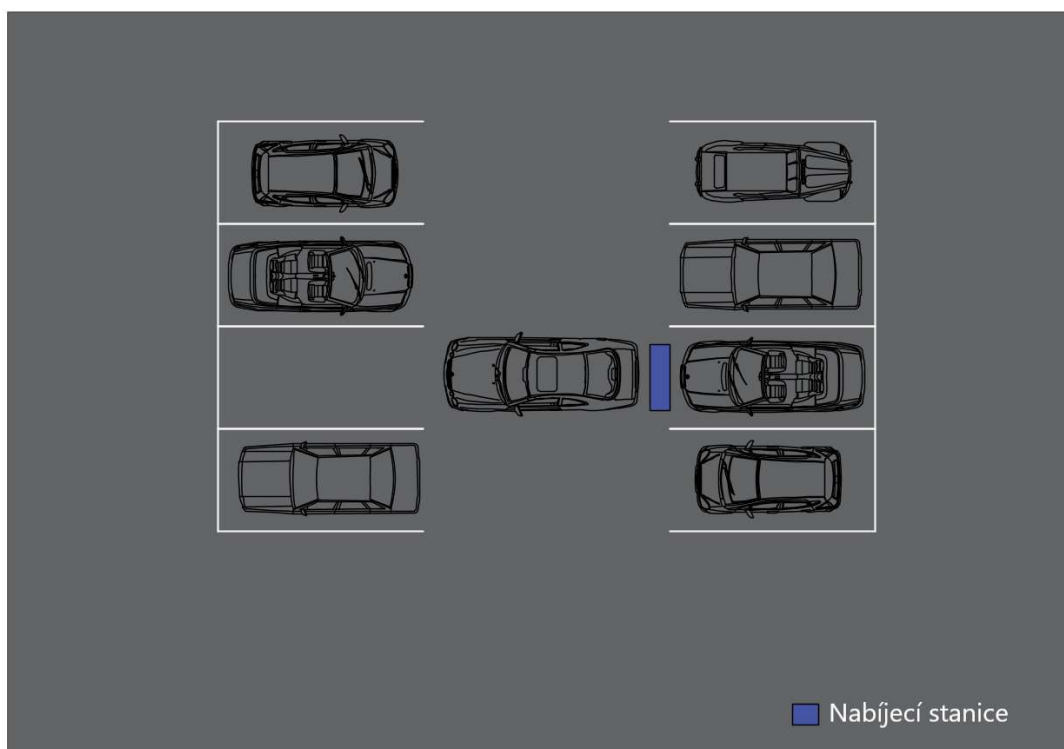
Vzhledem k charakteristice této potenciální situace je největší pravděpodobnost jejího výskytu při využití u podélného parkování. Po odjetí sousedního vozidla je stanice ponechána bez ochrany a může dojít k případnému nárazu. Nicméně není tento typ nehody vyloučen ani u parkování příčného. Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, cyklista a automobil mohou stanici převrátit na právě nabíjený automobil a způsobit tak škodu na všech zúčastněných. U automobilu je také šance, že řidič stanici přehlédne ve zpětném zrcátku při couvání z protější řady vozidel. Situace lze vidět na obrázcích číslo 11, 12 a 13.



Obrázek 11 Náraz do boku nabíjecí jednotky u podélného parkování [práce autora]



Obrázek 12 Náraz chodce a cyklisty do boku jednotky u příčného parkování [práce autora]



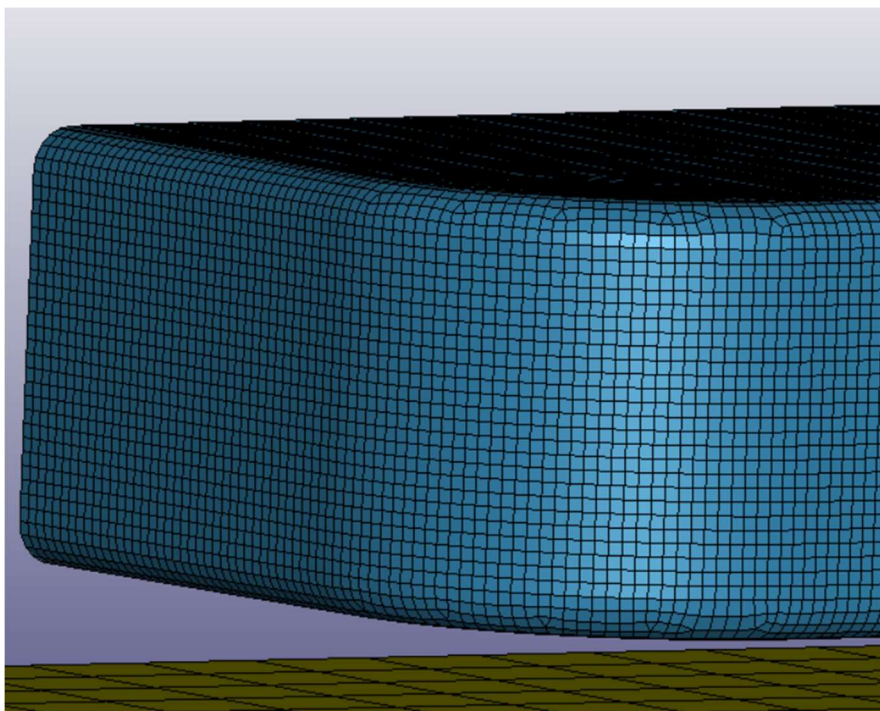
Obrázek 13 Náraz do boku jednotky při couvání u příčného parkování [práce autora]

4 Simulace pomocí programu LS Dyna

LS Dyna je víceúčelový program pro analýzu konstrukcí, který funguje na principu metody konečných prvků, zkráceně FEA. [20] Jedná se o numerickou metodu sloužící k řešení problémů v oblasti inženýrství a matematické fyziky. Zejména je užitečná pro komplikovanou geometrii, zatížení a materiálové vlastnosti. Model je rozdělen na systém malých prvků, které tvoří propojenou síť. Tímto dojde k rozdělení problému na dílčí části. Vznikne tak konečný počet rovnic, které musí počítač zpracovat pro vytvoření průběhu dané simulace. [21]

Pro řešení FEA simulace existují dvě metody implicitní a explicitní. Při implicitním řešení hledá program neznámé pomocí inverze matic, které tvoří daný model. Větší modely mají větší matice a tím pádem jejich řešení zabere více času. Implicitní řešení umožňuje větší časové kroky. Explicitní analýza řeší zrychlení. Tato zrychlení jsou řešena pro n -tý krok, rychlost je vyřešena pro $n+\frac{1}{2}$ -tý krok a dráha je vyřešena pro $n+1$ -tý krok. Pro toto řešení jsou potřeba menší časové kroky, které se odvíjí podle velikosti sítě prvků a materiálových vlastností. [22]

Program LS Dyna má své využití i v automobilovém průmyslu při posuzování pasivní bezpečnosti. Využívá se pro simulaci crashtestů a porozumění deformace vozidel. Nabízí i pokročilé možnosti jako simulaci airbagů, nebo třeba akcelerometrů. [20] Na obrázku č. 14 lze vidět příklad sítě prvků. Výsledná podoba sítě závisí na tvaru rozkládaného prvku.



Obrázek 14 Příklad modelu rozděleného na síť [práce autora]

Další příklady možných aplikací tohoto programu:

- Výrobní procesy
- Seismické inženýrství
- Tok stlačitelné/nestlačitelné kapaliny
- Nárazy při vysokých rychlostech
- Testování pádů
- a mnoho dalšího [20]

4.1 Simulace nárazu automobilu do nabíjecí stanice

Pro simulaci nárazu vozidla do nabíjecí stanice byl zvolen právě program LS Dyna. Jedná se o jednu z výše uvedených nebezpečných situací, ke které může dojít v běžném provozu. Náraz vozidla předním nárazníkem do boční strany nabíjecí stanice při rychlosti 50 km/h. Tento náraz byl reálně proveden s vozidlem a maketou nabíjecí stanice. Simulace je s ním porovnávána v dalších částech této kapitoly.

Pro zjednodušení byla vymodelována před vozidla ve tvaru kvádrů o rozměrech odpovídajících automobilu z reálného crashtestu – Peugeot 607. Nárazová plocha byla zaoblena, aby více připomínala přední nárazník vozidla. Jedná se o skořepinu o tloušťce stěny 2 mm. Celý tento model předě byl posazen do výšky 200 mm nad zemí. Rozměry základního kvádrů jsou:

- Šířka: 1800 mm
- Délka: 1000 mm
- Výška: 500 mm
- Velikost jednotlivých prvků sítě: 16 mm x 16 mm

Model nabíjecí stanice byl vytvořen podle makety z reálného crashtestu viz kapitola č. 4.2. Pro zjednodušení simulace je stanice reprezentována kvádrem odpovídajících rozměrů. Nebylo zde uvažováno s podvozkem a jeho výška byla připočtena k výšce stanice. Jedná se o skořepinu o tloušťce stěny 2 mm. Výška těžiště byla 820 mm a celková hmotnost 708 kg. Rozměry modelu stanice:

- Šířka: 1594 mm
- Délka: 507 mm
- Výška: 1389 mm
- Velikost jednotlivých prvků sítě: 16 mm x 16 mm

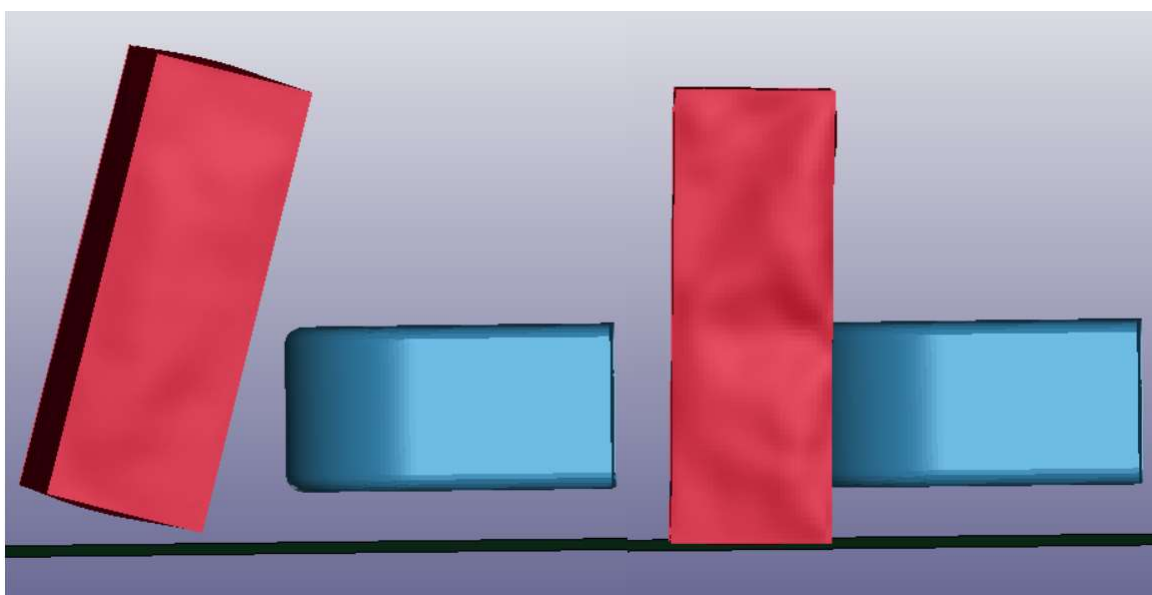
4.1.1 Verze 1 – rigidní automobil a skořepinová stanice

Vzhledem k řešenému problému bylo třeba průběžně kontrolovat průběh simulace. Čím je model simulace složitější, tím déle trvá jeho výpočet, což oddaluje a zdržuje odhalení případných problémů v návrhu. Z toho důvodu byla simulace postupně vypracována ve třech verzích od nejjednodušší k nejsložitější. To umožnilo průběžně a efektivně vylepšovat daný model.

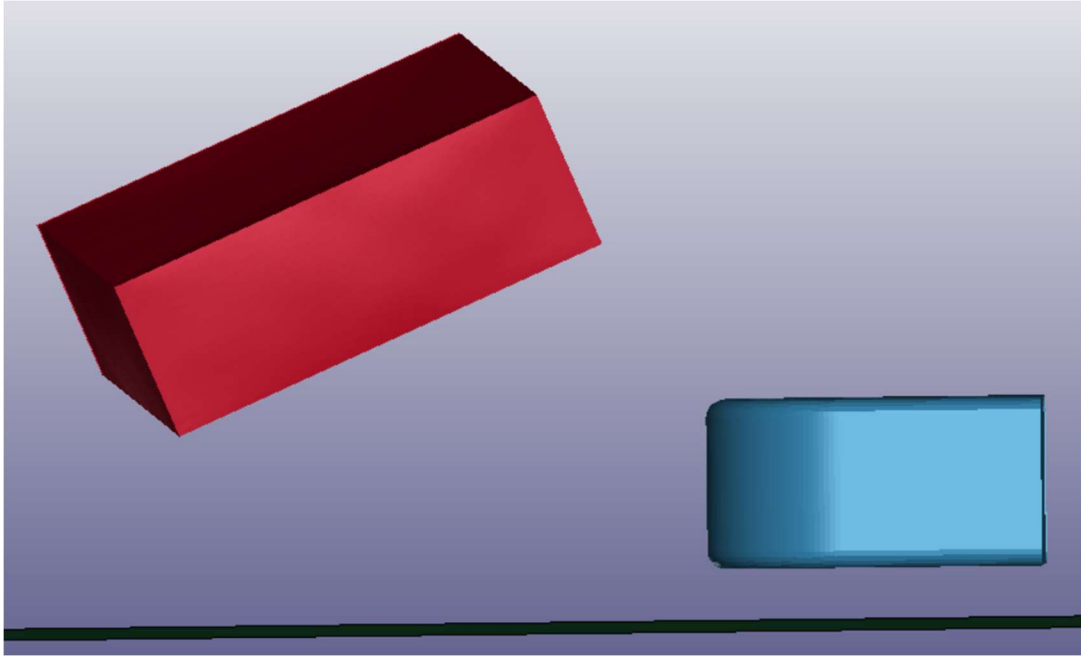
V první verzi simulace byla před automobilu rigidní, nepůsobily na ni tedy žádné plastické deformace. Zároveň byl její pohyb omezen pouze na osu x, tedy ve směru nárazu. Model stanice byl v tomto případě pouze skořepinový obal z oceli o tloušťce 2 mm. Materiál měl následující vlastnosti:

- Hustota: 7850 kg/m^3
- Youngův modul pružnosti: 210 GPa
- Poissonovo číslo: 0,3

Ani jeden z modelů neměl odpovídající hmotnost, jelikož se jednalo pouze o skořepinové obaly. Reálné hmotnosti byly přidány v dalších verzích simulace. Na následujících obrázcích lze vidět stav simulace v různých časech. Na obrázku č. 15 vpravo lze vidět simulaci z času 10 ms po nárazu. Lze vidět deformaci modelu stanice. Vlevo lze vidět čas 50 ms po nárazu, kdy stanice vlivem nárazu překonává gravitaci a již se zvedá od podložky. Obrázek č. 16 je z času 200 ms po nárazu a stanice již odlétá od předě automobilu. Vzhledem k použití pružného a lehkého materiálu pro model stanice dochází k jeho odmrštění. Velký vliv hraje absence reálné hmotnosti stanice, což je napraveno v další verzi simulace.



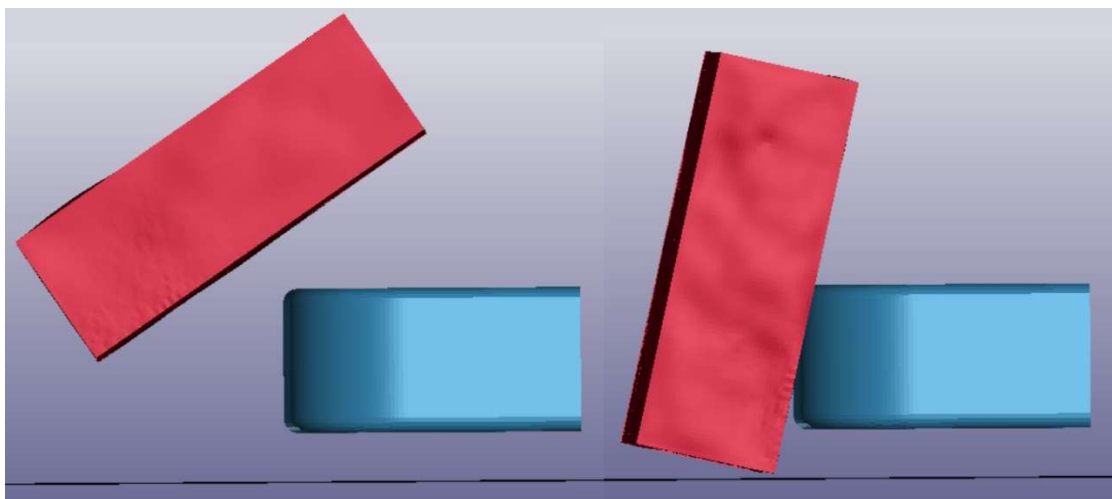
Obrázek 15 Simulace verze 1 - čas 10 ms (vpravo) a 50 ms (vlevo) [práce autora]



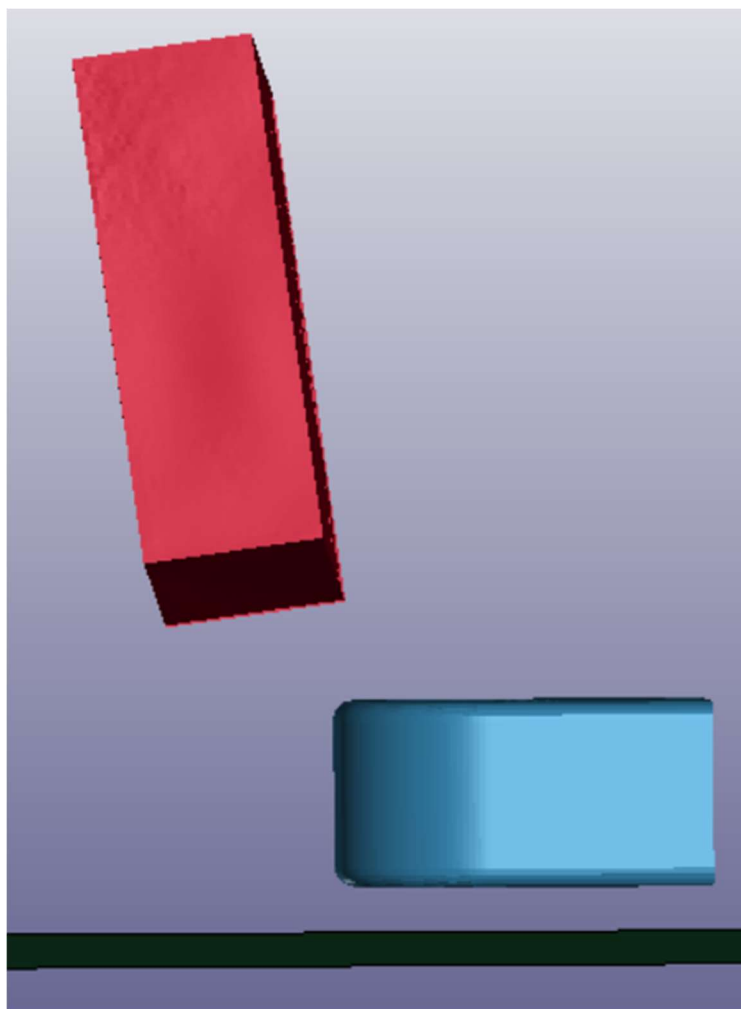
Obrázek 16 Simulace verze 1 - čas 200 ms [práce autora]

4.1.2 Verze 2 – rigidní automobil a stanice s reálnými hmotnostmi

V této iteraci simulace již bylo pracováno s reálnými hmotnostmi. Modelu přídi vozidla byla přidělena hmotnost 1 610 kg, což je hmotnost automobilu Peugeot 607 [23], stále se jednalo o rigidní materiál bez plastických deformací. Model stanice byl vylepšen o hmotný bod, umístěný v předpokládaném těžišti stanice. Spolu s ocelovým obalem tvořil celkovou hmotnost makety stanice a to 708 kg. Tento hmotný bod byl následně pevně provázán se skořepinou. Na obrázcích 17 a 18 lze vidět tuto verzi simulace v časech 10 ms, 50 ms a 150 ms. Vlivem vysoké hmotnosti automobilu dochází k výraznější deformaci modelu stanice. Ta se následně odmrští a převrátí.



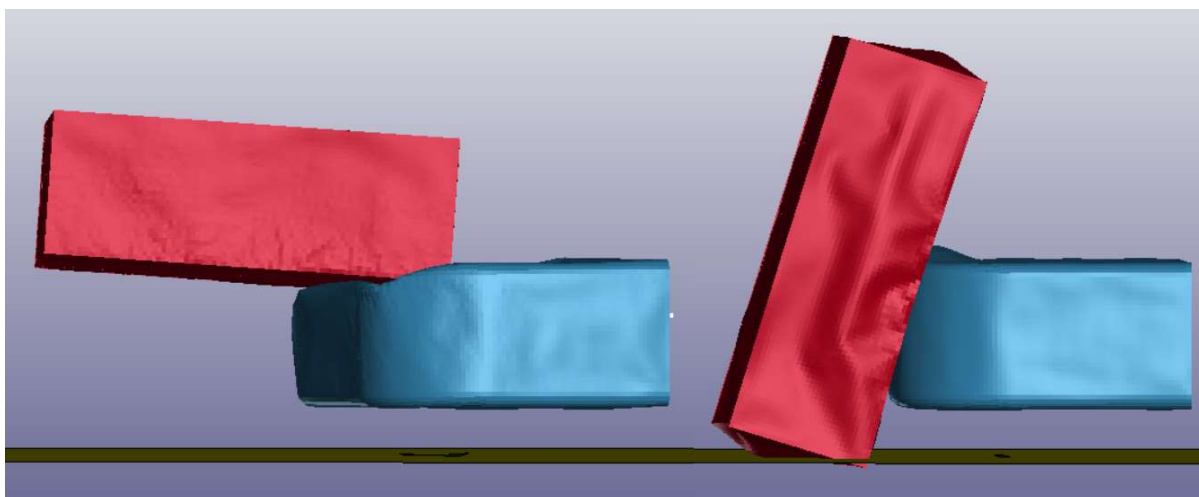
Obrázek 17 Simulace verze 2 – čas 10 ms (vpravo) a 50 ms (vlevo) [práce autora]



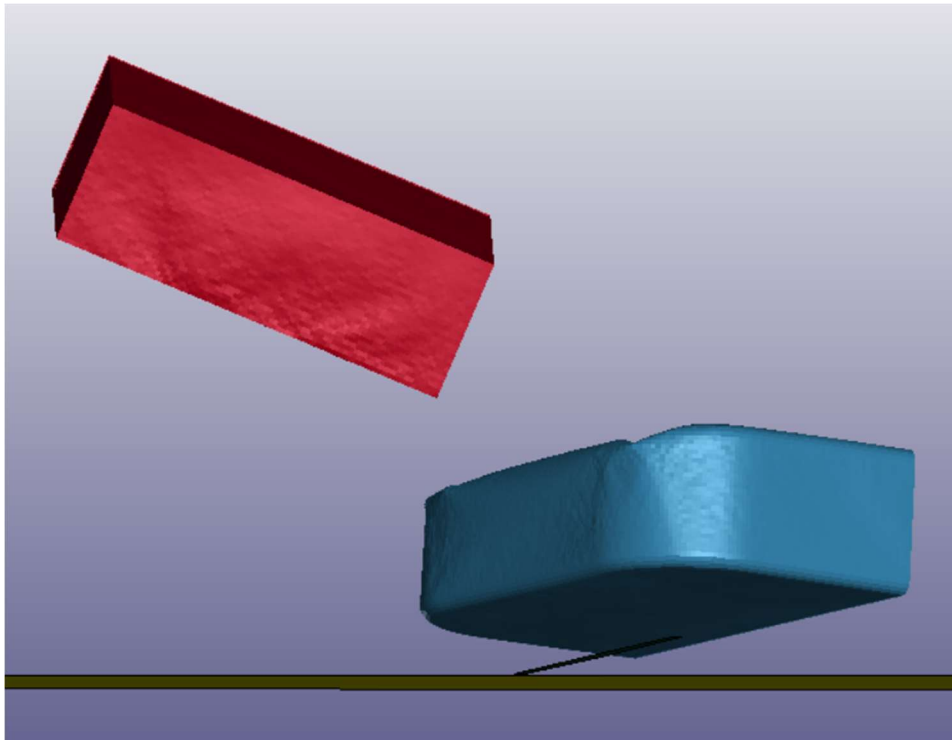
Obrázek 18 Simulace verze 2 - čas 150 ms [práce autora]

4.1.3 Verze 3 – automobil a stanice z pružného materiálu, s reálnými hmotnostmi

Stejně jako v předchozí verzi simulace mají oba objekty hmotnosti jako reálné auto a maketa, tedy 1610 kg a 708 kg. Modelu přídě automobilu byl tentokrát přidělen elastický materiál s vlastnostmi oceli. Dochází tedy k pružným deformacím u obou modelů v simulaci. Tento typ materiálu nepodporuje zafixování pohybu auta pouze v jednom směru. Muselo být nalezeno nějaké řešení, aby nedocházelo k zaboření přídě vozidla do podložky ihned po nárazu. Byla vytvořena opěrná destička 1 mm nad podložkou a pevně svázána modelem vozidla. Plní tak funkci pevného podvozku bez tlumení. Z tohoto důvodu je počáteční průběh simulace více podobný reálnému crashtestu, jak lze vidět níže na obrázcích 19 a 20. Nejprve dochází k deformaci stanice – obrázek 19 vpravo. Poté dochází k deformaci stanice i modelu přídě vozidla – obrázek 19 vlevo. Na obrázku 20 v čase 100 ms po nárazu je stanice již odmrštěna a letí vzduchem. Model vozidla se vychýlil ze své trajektorie. Z důvodu pružnosti obou modelů se model stanice odrazí od modelu vozidla.

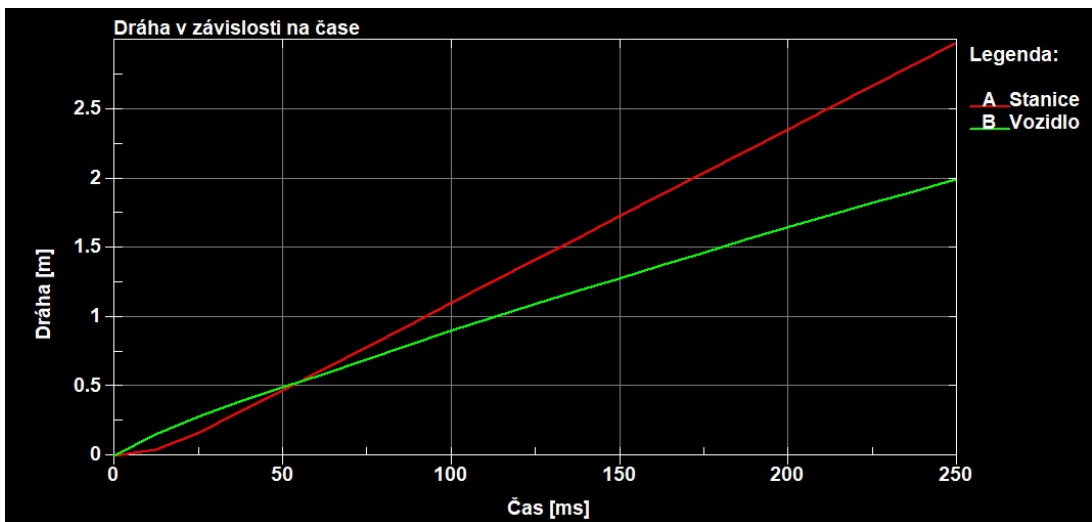


Obrázek 19 Simulace verze 3 - čas 12 ms (vpravo) a 50 ms (vlevo) [práce autora]

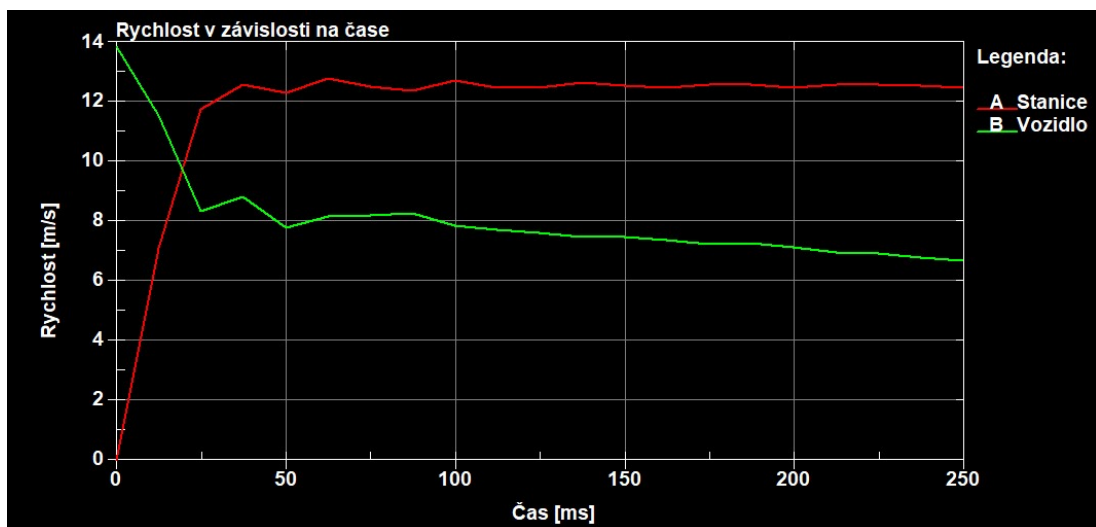


Obrázek 20 Simulace verze 3 - čas 100 ms [práce autora]

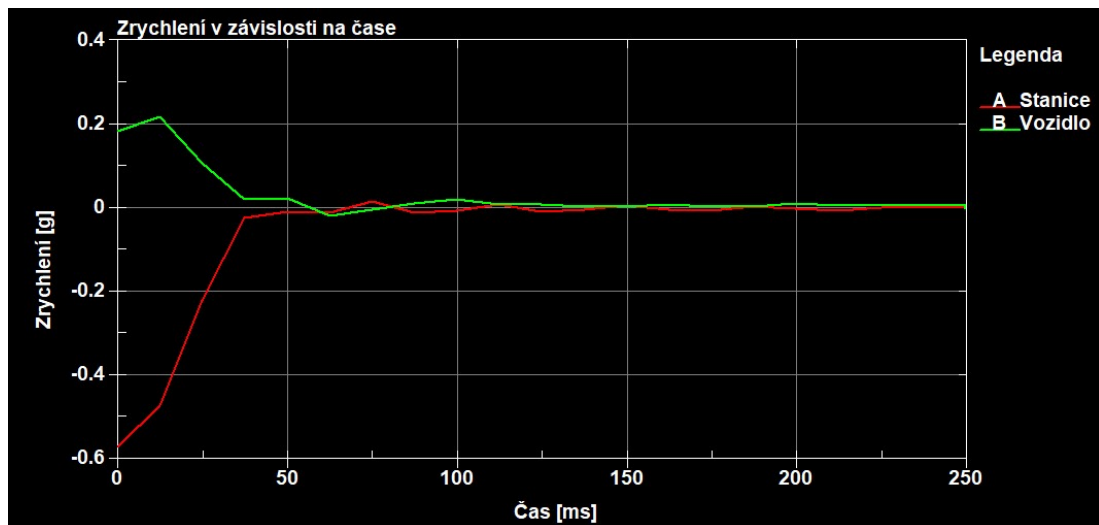
Na následujících obrázcích č. 21, 22 a 23 lze vidět závislosti dráhy, rychlosti a zrychlení na čase. Grafy jsou vyobrazeny vzhledem k ose x, tedy směru pohybu vozidla. Na obrázku č. 21 lze pozorovat, že došlo k posunu vozidla i stanice. Na obrázku č. 22 lze vidět, že vozidlo vlivem nárazu značně zpomalilo a stanice se naopak dala do pohybu vysokou rychlostí. Na obrázku č. 23 lze vidět, že vlivem nárazu na vozidlo působí záporné zrychlení, což způsobí snížení jeho rychlosti. Naopak na stanici vlivem střetu působí kladné zrychlení, což uvede stanici do pohybu.



Obrázek 21 Graf závislosti dráhy na čase [práce autora]



Obrázek 22 Graf závislosti rychlosti na čase [práce autora]

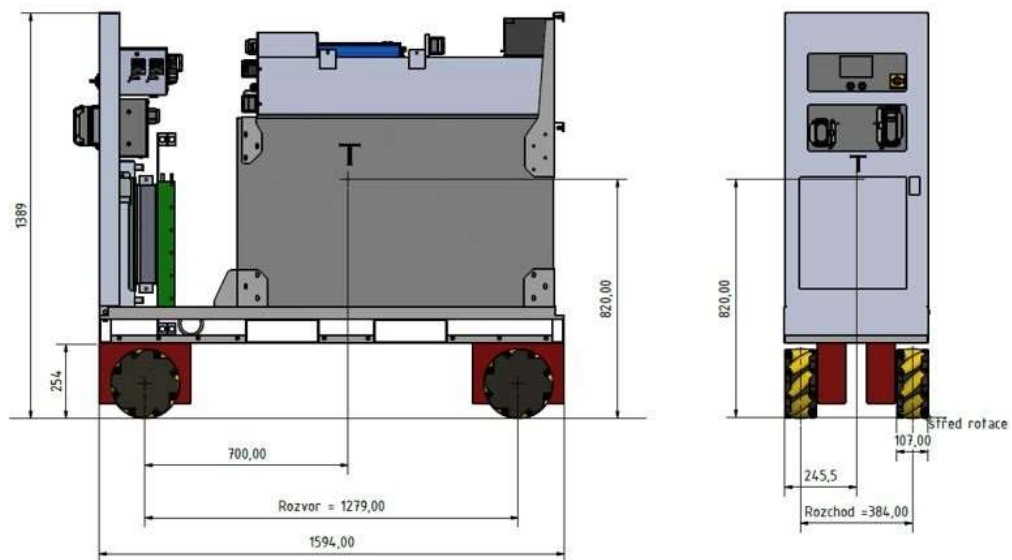


Obrázek 23 Graf závislosti zrychlení na čase [práce autora]

4.2 Videozáznam z reálného crashtestu

V září roku 2022 byl proveden reálný crashtest nedaleko Brna. V testu proběhl náraz automobilu Peugeot 607 do makety nabíjecí stanice, jejíž schéma je zobrazeno na obrázku č. 24. Test se odehrál podle následujících parametrů:

- Plánovaná nárazová rychlost 50 km/h
- Skutečná nárazová rychlost 55.4 km/h
- Hmotnost vozidla 1514 kg
- Rozměry vozidla (d, š, v) - 4902 mm, 1835 mm, 1442 mm [23]
- Hmotnost makety stanice 708 kg
- Rozměry makety stanice (d, š, v) – 491 mm, 1594 mm, 1389 mm
- Umístění těžiště makety dle obrázku č. 24
- Figurína Hybrid III na místě spolujezdce
- Brzdění zahájeno 2 s po nárazu [ČVUT]

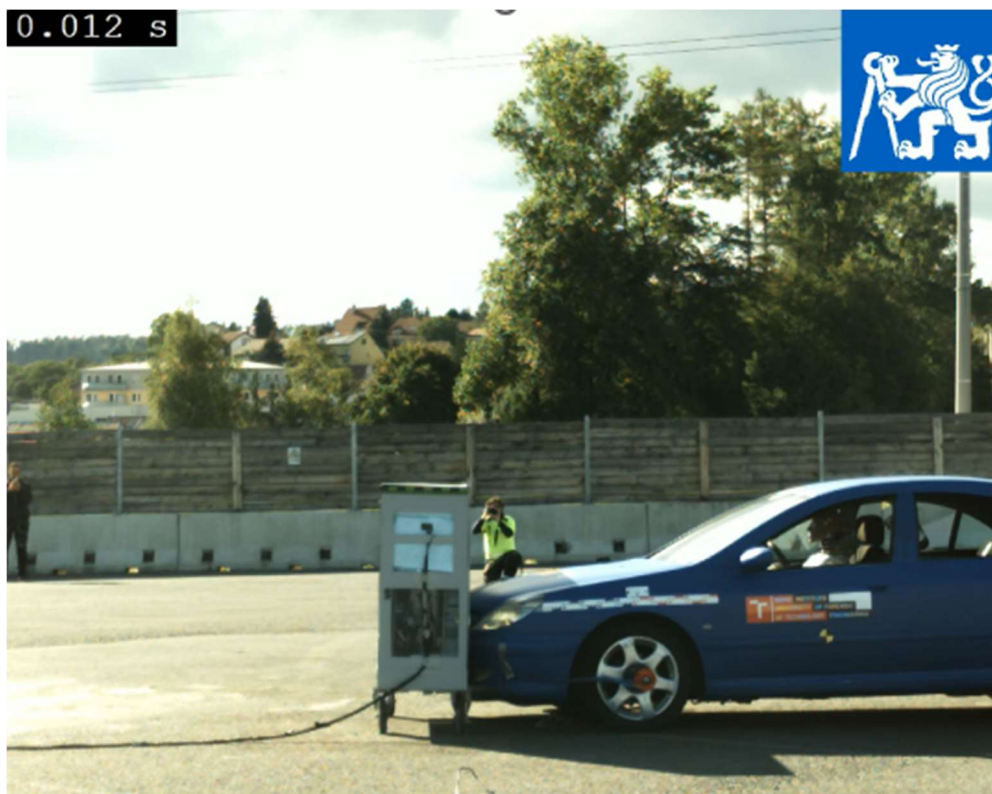


Obrázek 24 Rozměry a těžiště makety nabíjecí stanice [ČVUT]

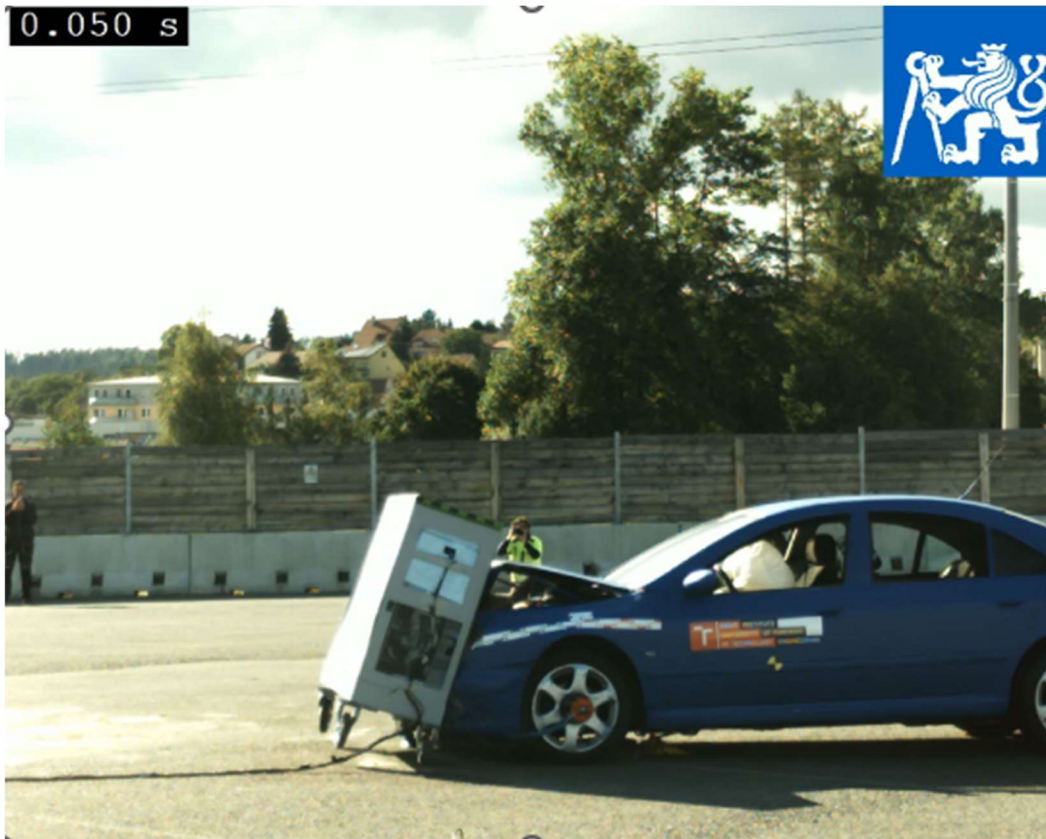
Výsledky provedeného crashtestu:

- Maketa stanice byla vlivem nárazu převržena na kapotu vozidla a poté odhozena
- Celková vzdálenost pohybu makety po nárazu byla 28.9 m
- Poškození vnějšího obalu makety
- Deformace vnitřního bateriového boxu v maketě (jednalo se pouze o náhradu, nikoliv reálný bateriový box)
- U vozidla byla poškozena pouze přední část
- Srolování kapoty vozidla
- Aktivace airbagů
- Nízké hodnoty biomechanického poškození figuríny – malá pravděpodobnost zranění posádky vozidla [ČVUT]

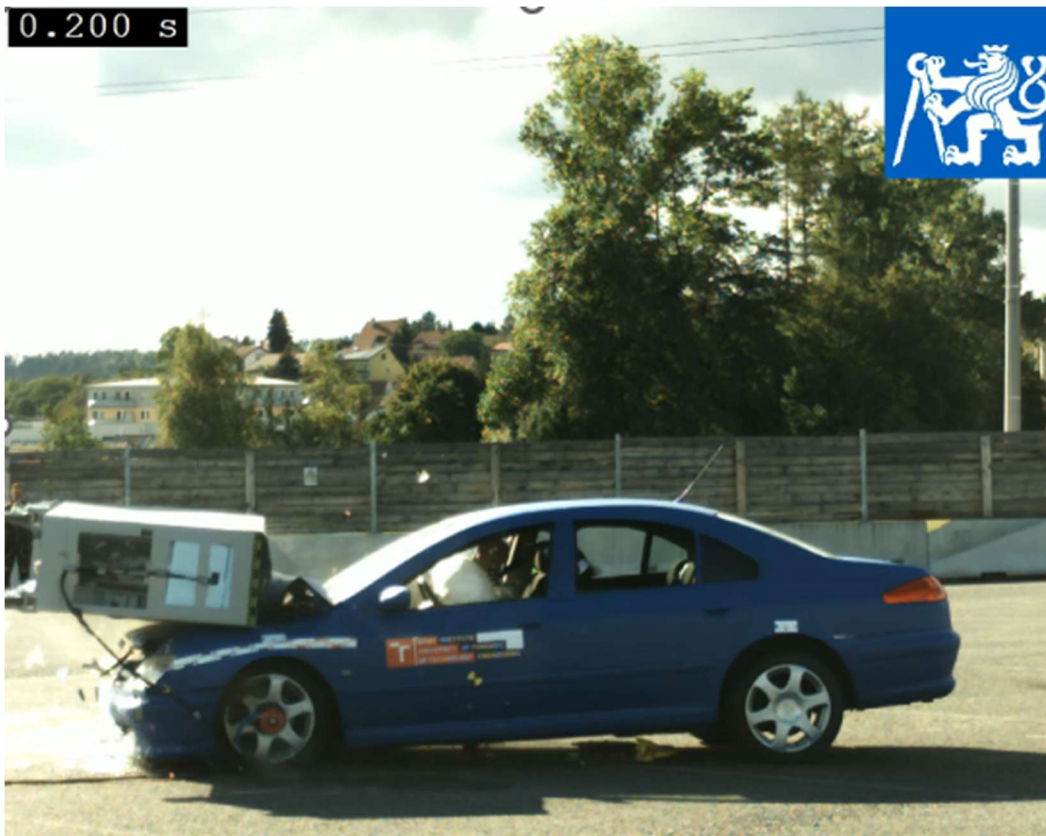
Na následujících obrázcích lze vidět záznam z reálného crashtestu makety nabíjecí stanice s automobilem Peugeot 607. Na obrázku č. 25 lze vidět, že 12 ms po nárazu vozidlo naráží do stanice a dochází k deformaci obou zúčastněných objektů. Dále na obrázku č. 26 v čase 50 ms dochází k nadzvednutí stanice z povrchu země. V čase 200 ms, což lze vidět na obrázku č. 27, se stanice položila na kapotu vozidla a později dojde k jejímu úplnému převrácení, jak lze vidět na obrázku č. 28.



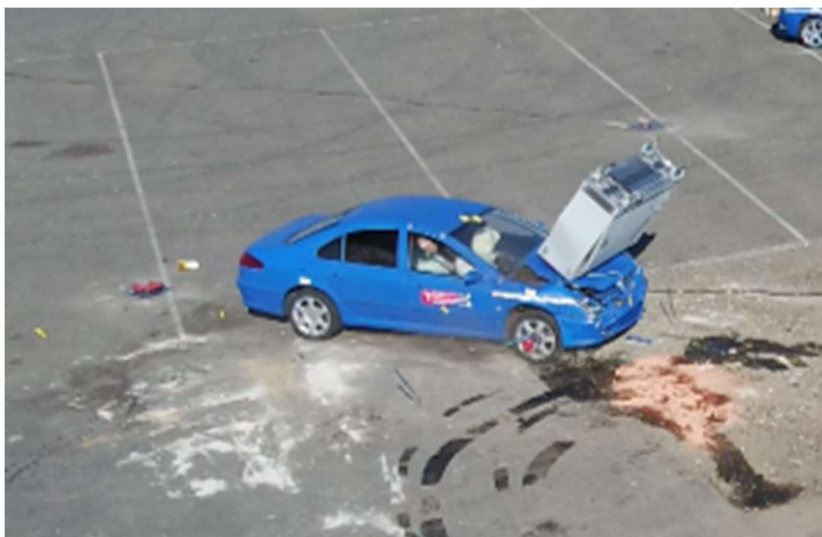
Obrázek 25 Reálný crashtest s maketou stanice - čas 12 ms [ČVUT]



Obrázek 26 Reálný crashtest s maketou stanice - čas 50 ms [ČVUT]



Obrázek 27 Reálný crashtest s maketou stanice - čas 200 ms [ČVUT]



Obrázek 28 Reálný crashtest - maketa stanice překlomena na kapotu vozidla [ČVUT]

V reálném testu došlo k úplnému převrácení jednotky na kapotu vozidla, jak lze vidět na obrázku č. 28. Došlo k výrazné deformaci předního nárazníku automobilu a také vnějšího obalu stanice. Na obrázku č. 29 lze vidět stav vozidla po nárazu. Srolování kapoty zabránilo poškození čelního skla. Na obrázku č. 30 lze vidět maketu stanice a vozidlo po crashtestu. Lze vidět deformace vnějšího obalu stanice a také předních částí vozidla.



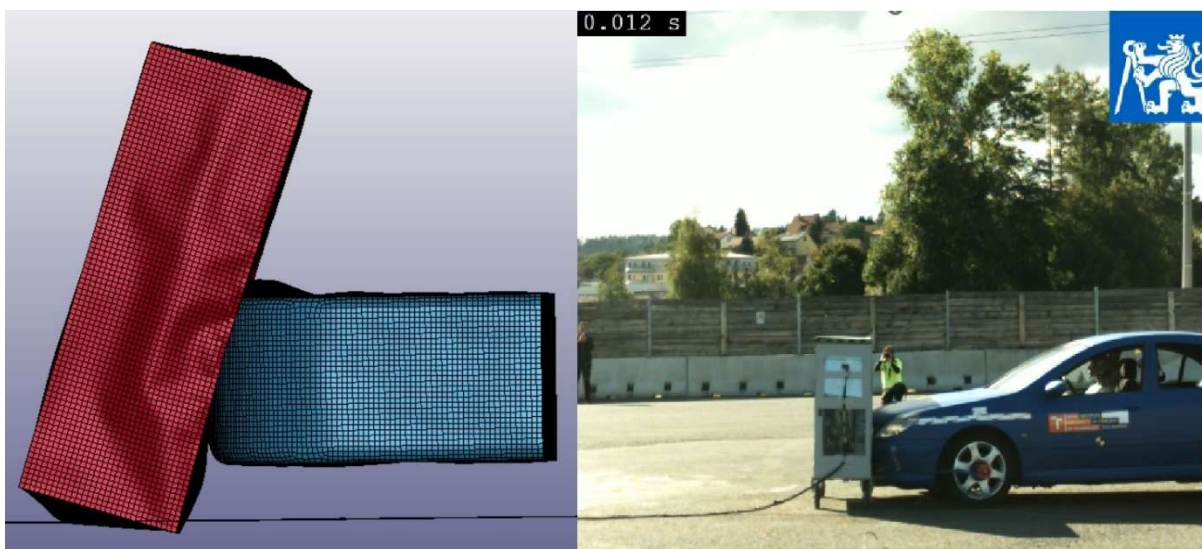
Obrázek 29 Vozidlo Peugeot 607 po crashtestu [ČVUT]



Obrázek 30 Stav makety stanice a vozidla po crashtestu [ČVUT]

4.3 Přímé porovnání reálného crashtestu a simulace

Nejvíce se video z reálného crashtestu podobá simulace ve verzi 3. Proto je nejvhodnější na přímé porovnání. Při přiložení obrázků z videa s obrázky ze 3. verze simulace lze vidět, že pohyb stanice v simulaci odpovídá reálnému crashtestu. Podobnost samozřejmě není stoprocentní, protože v realitě hrají svou roli i okolní vlivy. Například absence odporu vzduchu, tření koleček, deformace nárazníku vozidla, vlivu odpružení vozidla, deformace vnitřních částí stanice. Na obrázku č. 31 lze vidět situaci 12 ms po nárazu, kdy dochází k deformaci stanice, která se začíná zvedat vlivem nárazu.



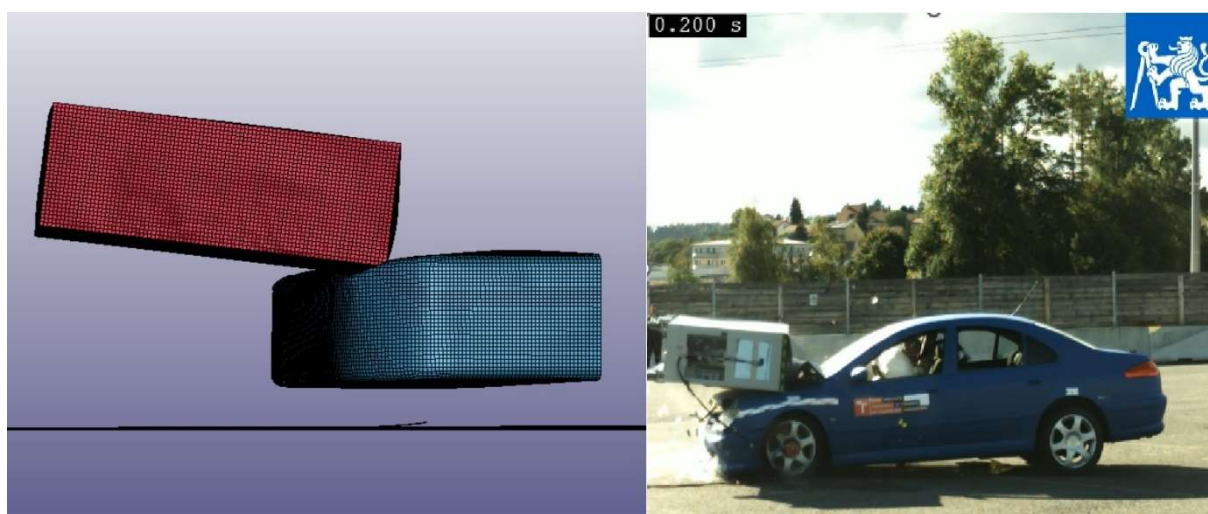
Obrázek 31 Porovnání simulace a videa - čas 12 ms [práce autora, ČVUT]

Na obrázku č. 32 lze vidět situace v čase 50 ms po nárazu. V simulaci již došlo k položení stanice na kapotu vozidla, avšak v reálném testu se teprve deformovala kapota vozidla. Zrychlený postup nárazu v simulaci je způsoben absencí zmíněných faktorů.



Obrázek 32 Porovnání simulace a videa - čas 50 ms [práce autora, ČVUT]

I přes zjednodušenou situaci simulace je zde vidět značná podoba s realitou. Na obrázku č. 33 je záznam simulace z času 62 ms a z videa z času 200 ms po nárazu. V simulaci nedošlo k překlopení jednotky na kapotu, ale byla odmrštěna a překlopila se za letu.



Obrázek 33 Porovnání simulace a videa - čas 62 ms a 200 ms [práce autora, ČVUT]

5 Diskuse výsledků

Ve zhotovené simulaci se podařilo zkonstruovat náraz, který se velice podobal reálnému crashtestu. Byly vytvořeny modely přídě vozidla a nabíjecí stanice, avšak simulace byla zjednodušena pro efektivnější zpracování a rychlejší výpočetní časy. Vozidlo bylo nahrazeno zaobleným kvádrem, kterému byla později přidána hmotnost reálného vozu. Nebylo uvažováno s podvozkem vozidla. Byl zajištěn pohyb vozidla v potřebné ose, v prvních dvou iteracích zafixováním stupňů volnosti pohybu, ve třetí iteraci opěrnou destičkou a propojením s vozidlem. Tímto zjednodušením byl urychlen čas výpočtu simulace a také celková náročnost provedení. Pokud by tato simulace měla v budoucnu pokračování, určitě by bylo zajímavé použít komplexnější model vozidla. Nabíjecí stanice byla reprezentována pouze kvádrem, který odpovídal velikosti makety z reálného crashtestu. Její kolečkový podvozek byl nahrazen prodloužením samotného těla stanice. Přidání koleček a jejich tření by přispělo k reálnějšímu výstupu simulace, ale i bez nich je pohyb stanice po nárazu velice podobný s realitou.

V simulaci se stanice po nárazu deformuje a poté se položí na kapotu vozidla. Do toho momentu se průběh simulace velmi podobá reálnému testu. V simulaci následně dochází k odmrštění stanice, zatímco v reálném testu se stanice převrátila na kapotu vozidla a poté teprve došlo k jejímu odmrštění. Je to způsobeno pružností materiálu a také absencí odporu vzduchu a dalších faktorů zmíněných v předchozí kapitole. Tyto faktory měly také vliv na to, že simulace, v porovnání s videem, má značně rychlejší průběh.

Pokud by v budoucnu měla být simulace něčím vylepšena, tak by bylo vhodné vymodelovat věrnější podobu podvozku vozidla, či použít již nějaký hotový. Dále vymodelováním podvozku nabíjecí stanice a nastavení tření mezi podložkou a tímto podvozkem. K vylepšení by také pomohlo přidání jízdních odporů či zdokonalení materiálových vlastností modelů.

6 Závěr

V bakalářské práci byla nejdříve provedena rešerše existujících přenosných nabíjecích stanic, které byly následně porovnány podle jejich základních parametrů. Mezi zmíněné stanice patří například ZipCharge Go, Freewire Mobi a Sparkcharge Roadie. Dále byly porovnány s mobilní nabíjecí stanicí Nimbee. Ta funguje na principu objednávky přes mobilní aplikaci, následně ji přiveze technik a nechá ji postavenou u zaparkovaného vozidla, které se nabije, zatímco majitel je v práci, či na nákupu. Aktuálně společnost Nimbee shání financování tohoto již hotového konceptu. Nejedná se tedy o návrh na papíře, ale již připravený produkt.

Další kapitola se zaměřila na potenciální nebezpečné situace, do kterých se může mobilní nabíjecí stanice dostat. Stanice by se měla vyskytovat v běžném provozu, tím pádem může dojít ke střetu s člověkem, automobilem, cyklistou a jinými účastníky provozu. Popsány byly situace, které mohou nastat jak při instalaci jednotky, tak při provozu jednotky u zaparkovaného vozidla. Patří mezi ně náraz do boku, čela jednotky a pád jednotky při instalaci z důvodu nerovnosti na vozovce. Tyto situace byly shrnuty, popsány a také k nim bylo vytvořeno schéma pro lepší ilustraci.

Následná kapitola se zaměřila na simulaci nárazu automobilu do nabíjecí stanice. Díky provedení crashtestu bylo možné porovnat tuto simulaci s videem. Pro simulaci byl použit software LS Dyna, který funguje na principu metody konečných prvků. Tato metoda je popsána v úvodu kapitoly. Dále byly rozebrány jednotlivé iterace simulace. Nejdříve proběhl náraz skořepin bez reálných hmotností, tedy pouze s hmotnostmi skořepinového obalu z ocelového materiálu. Deformace probíhaly pouze u modelu stanice. V druhé iteraci byly přidány reálné hmotnosti pomocí hmotných bodů a spojeny s modely. Ve třetí a finální verzi probíhaly deformace i u modelu přídě automobilu a simulace se tak blíže podobala reálnému crashtestu. S tím byla třetí verze simulace přímo porovnána. Z porovnání byla patrná podoba simulace a reálného crashtestu. V simulaci došlo k podobnému pohybu položení nabíjecí stanice na kapotu vozidla, avšak v reálném testu došlo i k převrácení stanice na kapotě vozidla, což se v simulaci nestalo. To je následkem absence podvozku u vozidla i stanice, tření podložky a těchto podvozků, jízdních odporů. Přidáním zmíněných faktorů by se dala v budoucnu simulace vylepšit.

Z průběhu simulace a výsledků reálného crashtestu můžeme z uvažovaného nárazu předpokládat poškození vnějšího obalu nabíjecí stanice a poškození přední části vozidla. Důležité je, že by během této kolize nemělo dojít k ohrožení posádky vozidla, což se povedlo dokázat jak v případě reálného crashtestu, tak u následně provedené simulace.

POUŽITÉ ZDROJE

Tištěné zdroje

[1] FRIVALDSKÝ, Michal; PRAŽENICA, Michal; KOŇARIK, Roman; ŠPÁNIK, Pavol; ČUBOŇ, Peter et al. Elektromobilita. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2019. ISBN 978-80-554-1598-7

[2] FIRST, Jiří. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5

Internetové zdroje

[3] *Electric car* [online]. 2023 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car

[4] *How far can an electric car go on one charge?* [online]. 2022 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://blog.evbox.com/far-electric-car-range>

[5] In: Wikipedia [online]. [cit. 2023-11-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/La_Jamais_Contente#/media/Soubor:Jamais_contente.jpg

[6] Jak nabíjet elektromobil doma a co je k tomu potřeba? [online]. [cit. 2023-11-27]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/jak-nabijet-elektromobil-doma>

[7] *Počet nabíjecích stanic pro elektromobily loni v Česku stoupl o třetinu* [online]. 2023 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/clanek/auto-pocet-nabijecich-stanic-pro-elektromobily-loni-v-cesku-stoupl-o-tretinu-40426920>

[8] Nabíjecí stanice [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?q=nab%C3%ADjec%C3%AD%20stanice%20&x=15.9862143&y=49.5641446&z=7>

[9] The European Green Deal [online]. 2019 [cit. 2023-10-27]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF

[10] Energy Production and Consumption [online]. 2021 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption>

- [11] Why EVs are more energy efficient than combustion cars even if they're powered by coal [online]. 2021 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.carsguide.com.au/ev/advice/why-evs-are-more-energy-efficient-than-combustion-cars-even-if-theyre-powered-by-coal#:~:text=The%20efficiency%20of%20power%20stations,40%20to%2055%20per%20cent>
- [12] Juice Booster 2 [online]. 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://juice.world/en/product/juice-booster-2/>
- [13] Portable electric vehicle chargers explained [online]. 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.parkers.co.uk/electric-cars/portable-electric-vehicle-chargers/>
- [14] Mobi EV Charger [online]. 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://freewiretech.com/products/mobi-ev/>
- [15] ROADIE V3 [online]. 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.sparkcharge.io/pages/roadie-v3>
- [16] This Mark Cuban-backed \$110 million startup wants to make charging EVs like ordering takeout [online]. 2022 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: [https://www.cnbc.com/2022/12/22/sparkcharge-startup-aims-to-make-charging-your-ev-easier-than-takeout.html#:~:text=Subscription%20packages%20range%20from%20%245,kilowatt%2Dhour%20\(kWh\)](https://www.cnbc.com/2022/12/22/sparkcharge-startup-aims-to-make-charging-your-ev-easier-than-takeout.html#:~:text=Subscription%20packages%20range%20from%20%245,kilowatt%2Dhour%20(kWh))
- [17] ZipCharge Go Portable Electric Vehicle Charger Introduced At COP26 [online]. 2021 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/545066/zipcharge-go-portable-ev-charger/>
- [18] SparkCharge Introduces The Roadie V3: A Larger & More Capable Portable Fast Charging Solution [online]. 2022 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://cleantechnica.com/2022/10/05/sparkcharge-introduces-the-roadie-v3-a-larger-more-capable-portable-fast-charging-solution/>
- [19] Nimbee [online]. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.nimbee.me/>
- [20] LS-DYNA [online]. [cit. 2023-11-20]. Dostupné z: <https://www.oasys-software.com/dyna/software/ls-dyna/>
- [21] Introduction to Finite Element Analysis (FEA) or Finite Element Method (FEM) [online]. [cit. 2023-11-26]. Dostupné z: https://www.engr.uvic.ca/~mech410/lectures/FEA_Theory.pdf. University of Victoria.

[22] IMPLICIT VS EXPLICIT [online]. [cit. 2023-11-27]. Dostupné z: <https://fea-solutions.co.uk/implicit-vs-explicit/>

[23] Peugeot 607 [online]. In: . [cit. 2023-11-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Peugeot_607https://en.wikipedia.org/wiki/Peugeot_607

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 První elektromobil, který překonal rychlost 100 km/h [5]	9
Obrázek 2 Mapa dobíjecích stanic v ČR [8]	9
Obrázek 3 Celosvětová spotřeba energie v závislosti na zdrojích [10]	10
Obrázek 4 ZipCharge Go [12]	12
Obrázek 5 Freewire Mobi [13]	13
Obrázek 6 SparkCharge Roadie V3 [14]	13
Obrázek 7 Nabíjecí stanice Nimbee v akci [18]	15
Obrázek 8 Nerovnost na vozovce [práce autora]	16
Obrázek 9 Náraz do boku nabíjecí jednotky při umísťování do provozu [práce autora]	17
Obrázek 10 Náraz do čela nabíjecí jednotky [práce autora]	18
Obrázek 11 Náraz do boku nabíjecí jednotky u podélného parkování [práce autora]	19
Obrázek 12 Náraz chodce a cyklisty do boku jednotky u příčného parkování [práce autora]	20
Obrázek 13 Náraz do boku jednotky při couvání u příčného parkování [práce autora]	20
Obrázek 14 Příklad modelu rozděleného na síť [práce autora]	21
Obrázek 15 Simulace verze 1 - čas 10 ms (vpravo) a 50 ms (vlevo) [práce autora]	23
Obrázek 16 Simulace verze 1 - čas 200 ms [práce autora]	24
Obrázek 17 Simulace verze 2 – čas 10 ms (vpravo) a 50 ms (vlevo) [práce autora]	25
Obrázek 18 Simulace verze 2 - čas 150 ms [práce autora]	25
Obrázek 19 Simulace verze 3 - čas 12 ms (vpravo) a 50 ms (vlevo) [práce autora]	26
Obrázek 20 Simulace verze 3 - čas 100 ms [práce autora]	27
Obrázek 21 Graf závislosti dráhy na čase [práce autora]	28
Obrázek 22 Graf závislosti rychlosti na čase [práce autora]	28
Obrázek 23 Graf závislosti zrychlení na čase [práce autora]	28
Obrázek 24 Rozměry a těžiště makety nabíjecí stanice [ČVUT]	29
Obrázek 25 Reálný crashtest s maketou stanice - čas 12 ms [ČVUT]	30
Obrázek 26 Reálný crashtest s maketou stanice - čas 50 ms [ČVUT]	31

Obrázek 27 Reálný crashtest s maketou stanice - čas 200 ms [ČVUT].....	31
Obrázek 28 Reálný crashtest - maketa stanice překlopena na kapotu vozidla [ČVUT].....	32
Obrázek 29 Vozidlo Peugeot 607 po crashtestu [ČVUT].....	32
Obrázek 30 Stav makety stanice a vozidla po crashtestu [ČVUT].....	33
Obrázek 31 Porovnání simulace a videa - čas 12 ms [práce autora, ČVUT]	33
Obrázek 32 Porovnání simulace a videa - čas 50 ms [práce autora, ČVUT]	34
Obrázek 33 Porovnání simulace a videa - čas 62 ms a 200 ms [práce autora, ČVUT].....	34

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Porovnání nabíjecích stanic	14
---	----

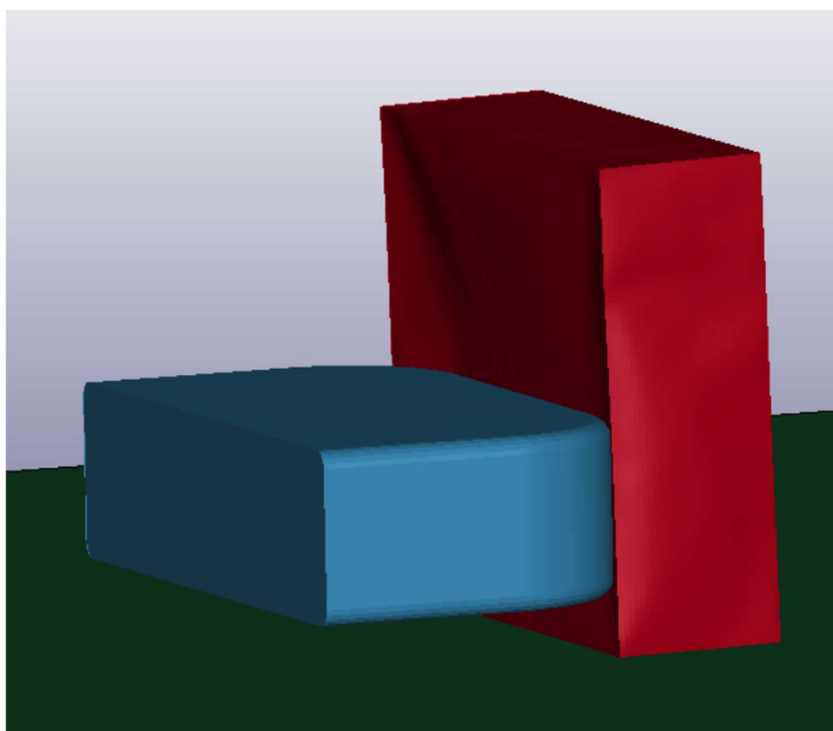
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Vizualizace první verze simulace

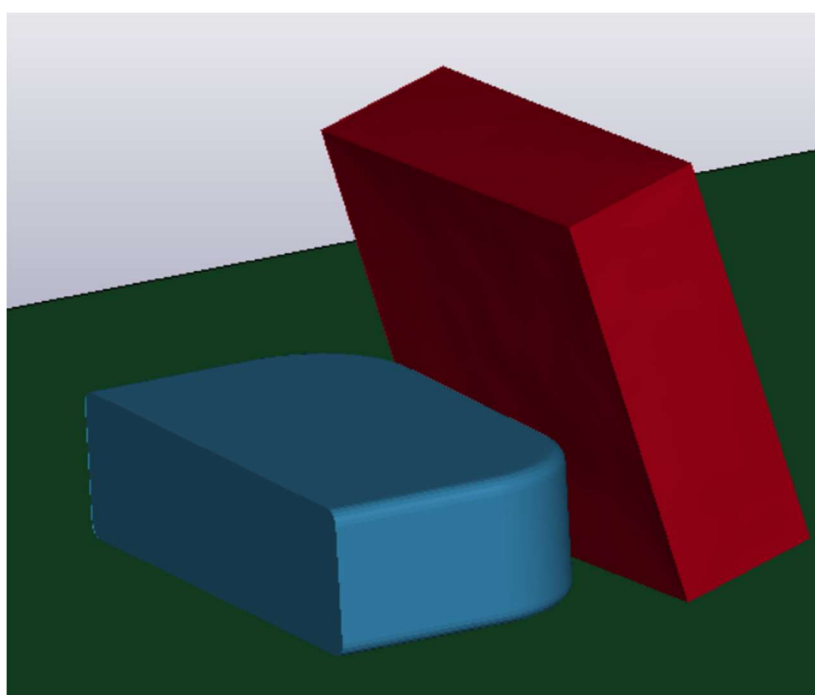
Příloha 2 – Vizualizace druhé verze simulace

Příloha 3 – Vizualizace třetí verze simulace

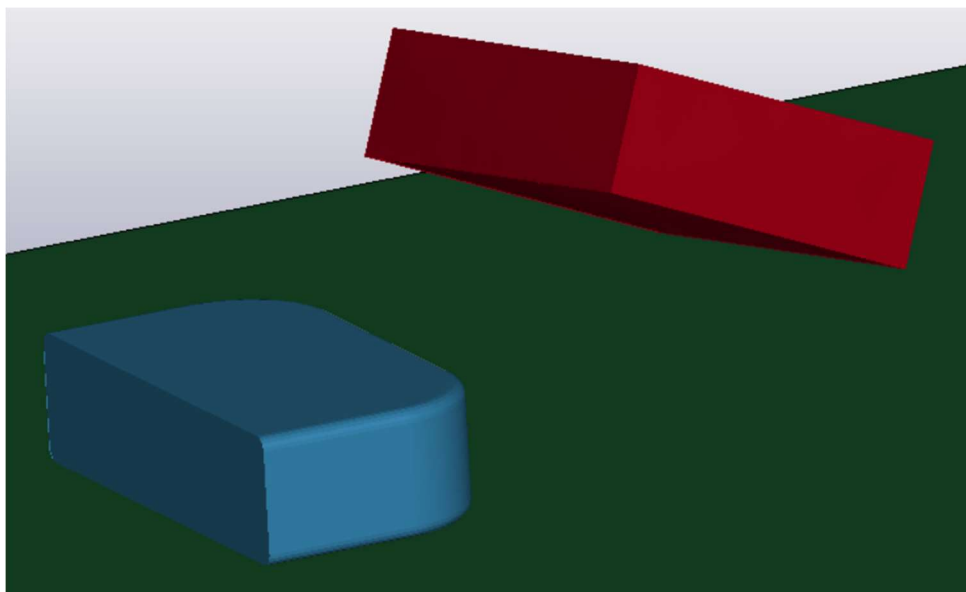
Příloha 1 – Simulace verze 1 - rigidní automobil a skořepinová stanice



Čas 10 ms po nárazu

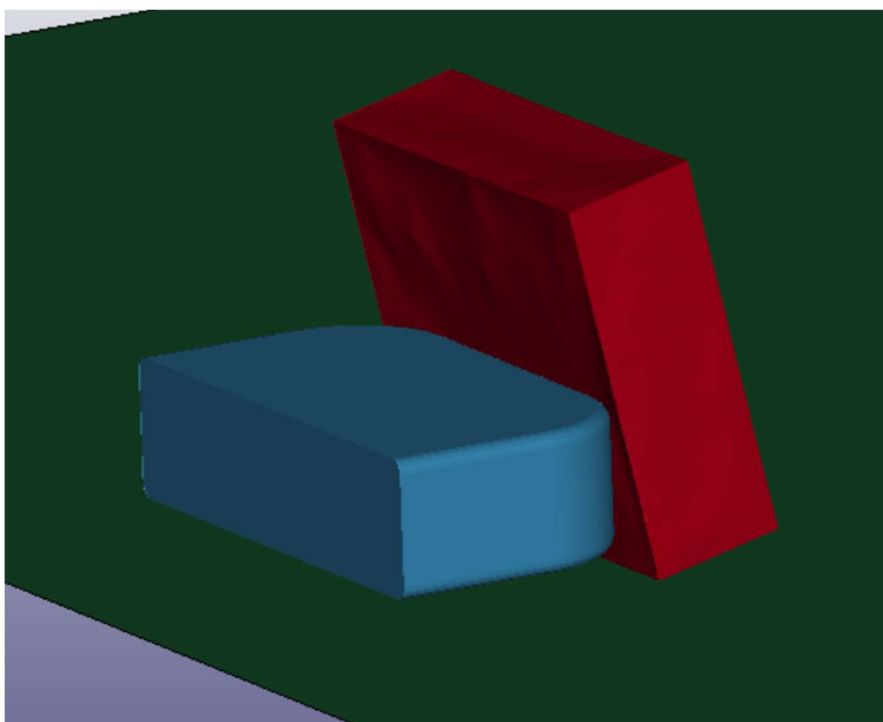


Čas 50 ms po nárazu

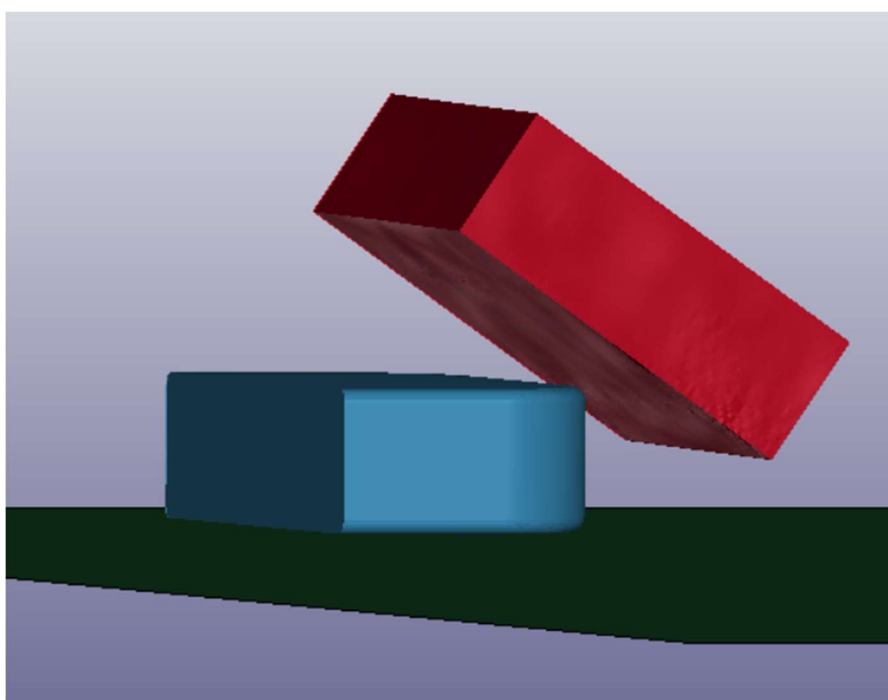


Čas 200 ms po nárazu

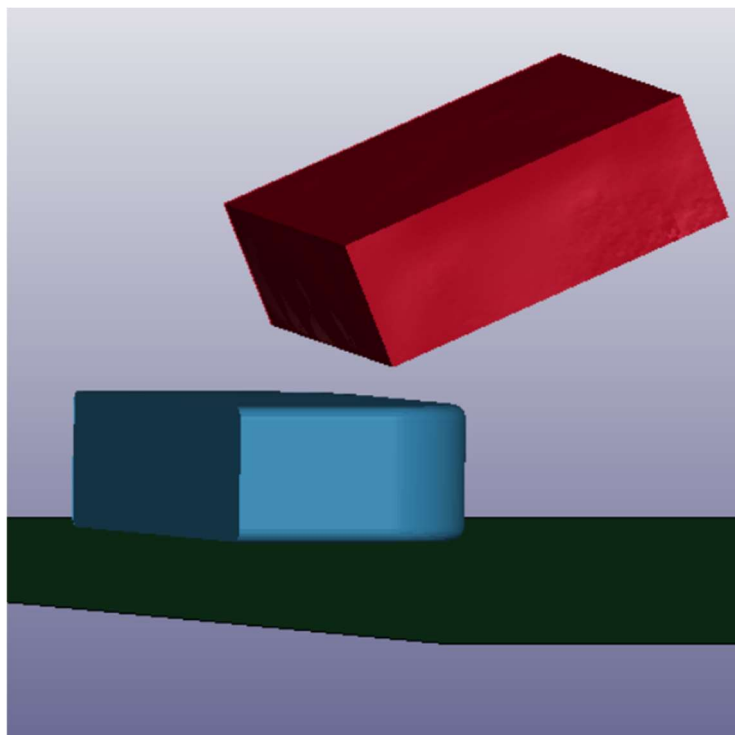
Příloha 2 – Simulace verze 2 – rigidní automobil a stanice s reálnými hmotnostmi



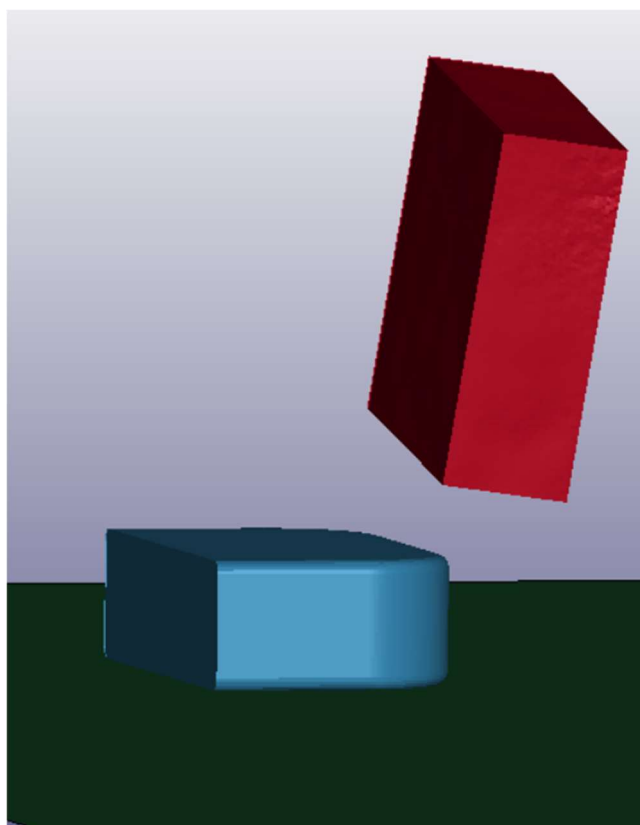
Čas 10 ms po nárazu



Čas 50 ms po nárazu

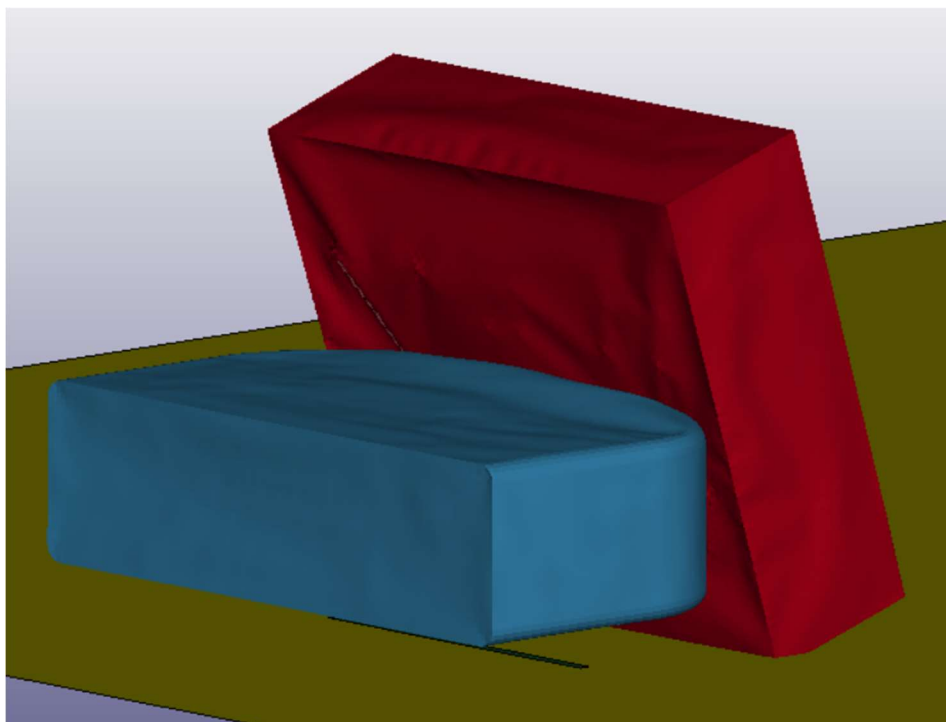


Čas 100 ms po nárazu

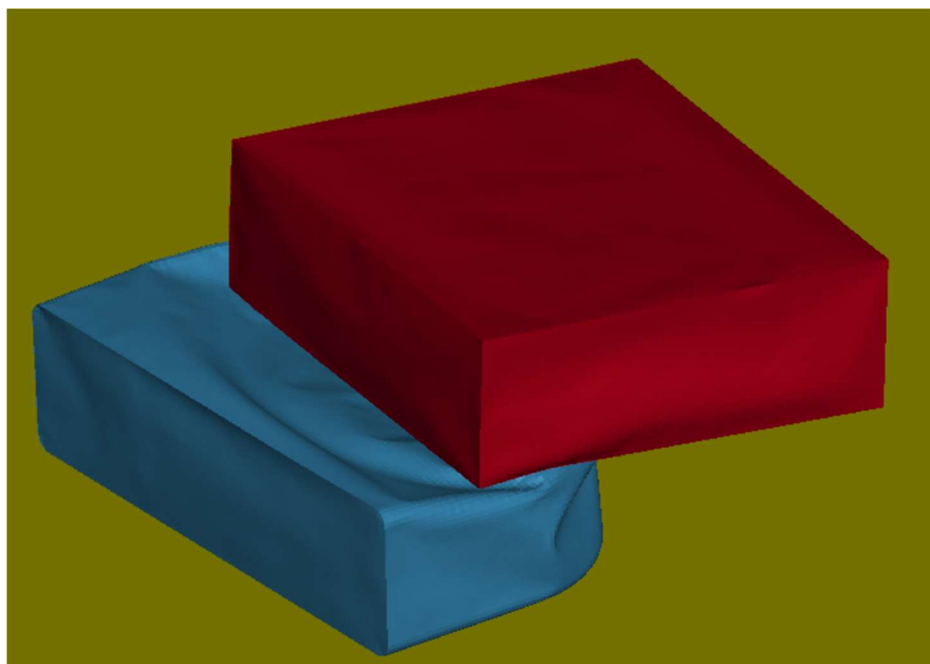


Čas 150 ms po nárazu

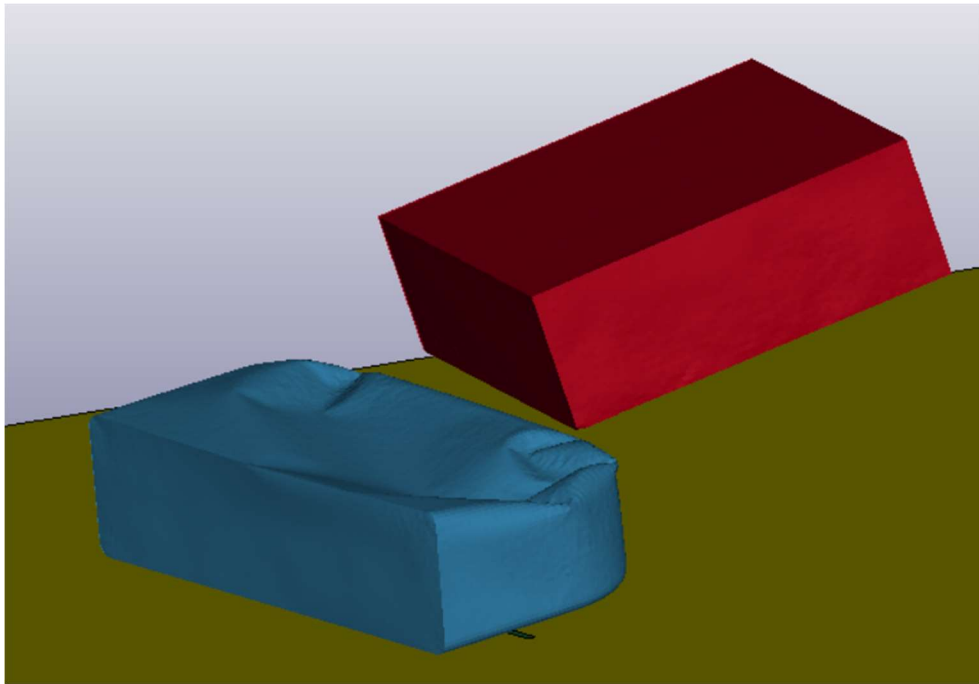
Příloha 3 – Simulace verze 3 - automobil a stanice z pružného materiálu, s reálnými hmotnostmi



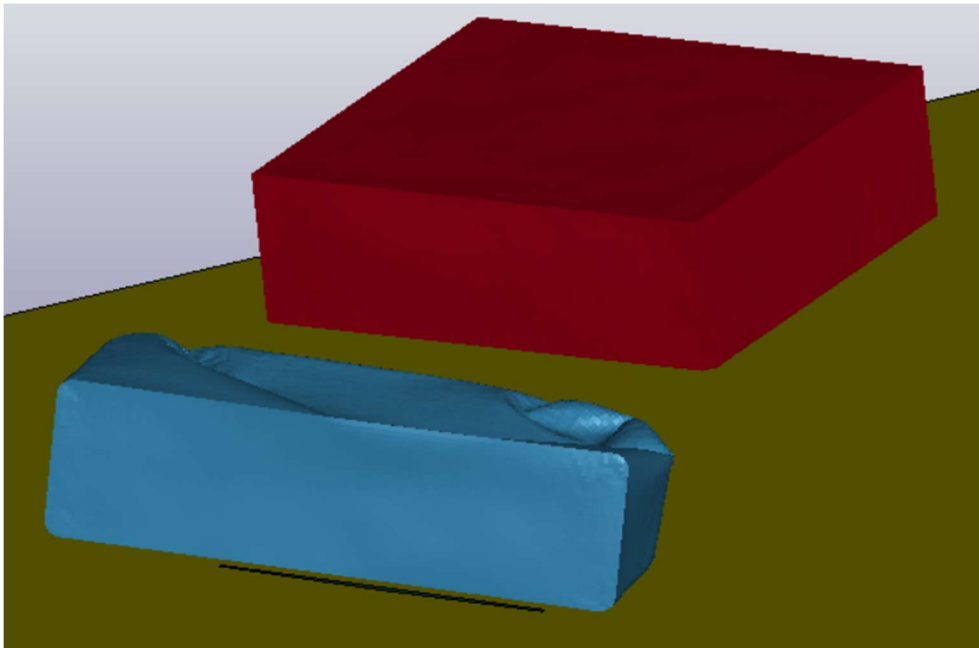
Čas 12 ms po nárazu



Čas 50 ms po nárazu



Čas 100 ms po nárazu



Čas 120 ms po nárazu