

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV MECHANIKY, BIOMECHANIKY A MECHATRONIKY

Odbor mechaniky a mechatroniky



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Návrh mechanismu otevírání dveří automobilu**

**Praha, 2016**

**Alexandru Matei**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Matei** Jméno: **Alexandru** Osobní číslo: **412051**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky**  
Studijní program: **Teoretický základ strojího inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh mechanismu otevírání dveří automobilu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design of the vehicle door mechanism**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s existujícími systémy otevírání dveří automobilů. 2. Navrhněte kinematiku mechanismu otevírání dveří.  
3. Sestavte model v prostředí Matlab / Simulink. 4. Proveďte optimalizaci kinematických parametrů mechanismu. Očekávaný rozsah práce: cca 35 stran

Seznam doporučené literatury:

- Valášek, M., Stejskal, V., Březina, J.: Mechanika B, Vydavatelství ČVUT v Praze, Praha 2006 - <http://www.mathworks.com>  
(on-line dokumentace prostředí Matlab)


Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

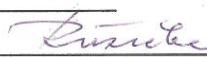
**Ing. Petr Beneš Ph.D.**


Jméno a pracoviště konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **21.04.2016** Termín odevzdání bakalářské práce: **12-08-2016**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

  
Podpis vedoucí(ho) práce

  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

**25.4.2016**

Datum převzetí zadání



Podpis studenta(ky)

## Anotační list

<b>Jméno autora:</b>	Alexandru Matei
<b>Název bakalářské práce:</b>	Návrh mechanismu otevírání dveří automobilu
<b>Anglický název:</b>	Design of the vehicle door mechanism
<b>Akademický rok:</b>	2015/2016
<b>Obor studia:</b>	Teoretický základ strojního inženýrství
<b>Ústav/odbor:</b>	Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky Odbor Mechaniky a mechatroniky
<b>Vedoucí bakalářské práce:</b>	Ing. Petr Beneš, Ph.D.
<b>Bibliografické údaje:</b>	Počet stran: 41 Počet obrázků: 22 Počet příloh: 1 (CD)
<b>Klíčová slova:</b>	Dveřní závěs auta, návrh závěsu, závěs, pant
<b>Keywords:</b>	Car door hinge, hinges design, hangings, hinge

### **Anotace:**

Cílem bakalářské práce je navrhnout optimální mechanismus otevírání dveří automobilu. Tato práce obsahuje seznámení s existujícími systémy otevírání dveří automobilů, je zde také popsána funkce mechanismu, a kritéria, která ovlivňují návrh mechanismu. V práci jsou vytvořeny 4 kinematické mechanismy a 3D modely v programu CATIA V5. Dále je sestaven model v prostředí Matlab / Simulink. Následně je prováděna optimalizace kinematických parametrů mechanismu.

### **Abstract:**

The aim of the thesis is to propose the optimal mechanism for the door opening of the car. This work includes acquaintance with the existing cars door opening systems, describes as well the function of the mechanism and criteria which affect the design of the mechanism. There are designed 3 kinematic mechanisms and 3D models in CATIA V5 program in the work. Furthermore, the model is built in Matlab/Simulink. Subsequently carried out optimization of kinematic parameters of the mechanism.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma „*Návrh mechanismu otevírání dveří automobilu*“ vypracoval samostatně. Veškerou použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v příloženém seznamu literatury.

V Praze, dne .....

.....  
Podpis

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi při tvorbě této práce pomáhali. Mé poděkování patří zejména vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Benešovi, Ph.D. za cenné připomínky, vřelý přístup a ochotu vždy poradit.

Největší poděkování patří mé rodině za podporu během celého mého dosavadního studia.

# Obsah

Anotační list.....	3
Prohlášení.....	4
Obsah.....	6
Úvod a cíle práce.....	7
1. Funkce závěsu a omezovače.....	9
1.1. Existující systémy otevírání dveří automobilů.....	13
1.1.1 Systémy otevírání dveří automobilky Volkswagen.....	13
1.1.2 Systémy otevírání dveří automobilky Škoda.....	15
1.1.3 Systémy otevírání dveří automobilky Mercedes-Benz.....	17
1.1.4 Systémy otevírání dveří automobilky Citroën.....	18
1.1.5 Systémy otevírání dveří automobilky Tatra.....	19
1.1.6 Systémy otevírání dveří automobilky Lamborghini.....	20
2. Návrh kinematiky mechanismu otevírání dveří.....	22
2.1 První návrh kinematiky mechanismu otevírání dveří.....	23
2.2 Druhý návrh kinematiky mechanismu otevírání dveří.....	25
2.3 Třetí návrh kinematiky mechanismu otevírání dveří.....	26
2.4 Čtvrtý návrh kinematiky mechanismu otevírání dveří.....	27
2.5 Nástroje pro návrh a optimalizaci mechanismu.....	28
3. Sestavení modelu v prostředí Matlab / Simulink.....	33
4. Optimalizace kinematických parametrů mechanismu.....	34
5. Řešení vybrané pro realizaci.....	37
Závěr.....	39
Seznam obrázků.....	40
Literatura.....	41

## Úvod a cíle práce

Závěs je mechanické zařízení, prostřednictvím kterého je realizováno otevírání dveří. Toto zařízení se skládá z několika částí a lze říci, že nejčastěji vykonávaným pohybem závěsu je rotační pohyb. V dnešní době existuje mnoho druhů závěsů, např. závěs u dveří od automobilu nebo závěs u kapoty, dále závěsy u dveří od domů, ale také závěsy u skříní, atd. V této bakalářské práci se zaměřím pouze na využití závěsu v automobilovém průmyslu.

Zpravidla jsou u dveří umístěné dva závěsy, jeden v horní poloze a druhý v dolní poloze dveří. Řešení systémů otevírání dveří se většinou liší konstrukcí, uchycením a otevíráním do určitého bodu. V některých případech se může jednat o pevné umístění trnu, v jiných případech se trn také často zasunuje. Dále se u závěsů nacházejí tzv. omezovače, které umožňují otevírání dveří do určité polohy, ve které jsou dveře zajištěné. Nejčastěji používané jsou dvoupolohové omezovače, a to vždy v určitém úhlu otevírání dveří. Co se týká konstrukce, existují závěsy, které konají jeden nebo více pohybů najednou např. rotační a posuvný nebo rotaci a rotaci. V současné době a v běžném životě se však nejvíce setkáváme s jedním pohybem závěsu, a to rotačním. Jedná se o činnosti, se kterými se neustále setkáváme, a to např. otevírání a zavírání okna. Při návrhu závěsu je potřebné zohlednit několik kritérií, na kterých zařízení závisí. Nejdůležitější a nejběžnější kritéria jsou hmotnost dveří, jejich umístění, materiál ale také cena, která je rozhodující.

Jedním z hlavních úkolů bakalářské práce je navržení 3D modelu závěsu a současně nalezení optimální polohy kinematických parametrů. Cílem této bakalářské práce je zohlednit všechny uvedené aspekty a navrhnout snadno realizovatelný a nejvhodnější mechanismus otevírání dveří pro hasičský vůz.

Má práce je rozdělena do čtyř kapitol. V první kapitole se budu věnovat obecné charakteristice existujících systémů otevírání dveří automobilů, kde popíšu jejich princip fungování. Zvláštní pozornost je věnována tzv. omezovači. V druhé kapitole je nejvíce věnována pozornost návrhu kinematiky mechanismu otevírání dveří. Jsou zde popsány čtyři návrhy mechanismu, které porovnávám.

Závěrem je zhodnocení nejlepšího návrhu. Třetí kapitola je zaměřena na popis modelu sestaveného v prostředí Matlab. Poslední, čtvrtá kapitola je zaměřena na optimalizaci kinematických parametrů mechanismu. Jak by mohl fungovat, jeho přednosti a možnosti vývoje do budoucna.

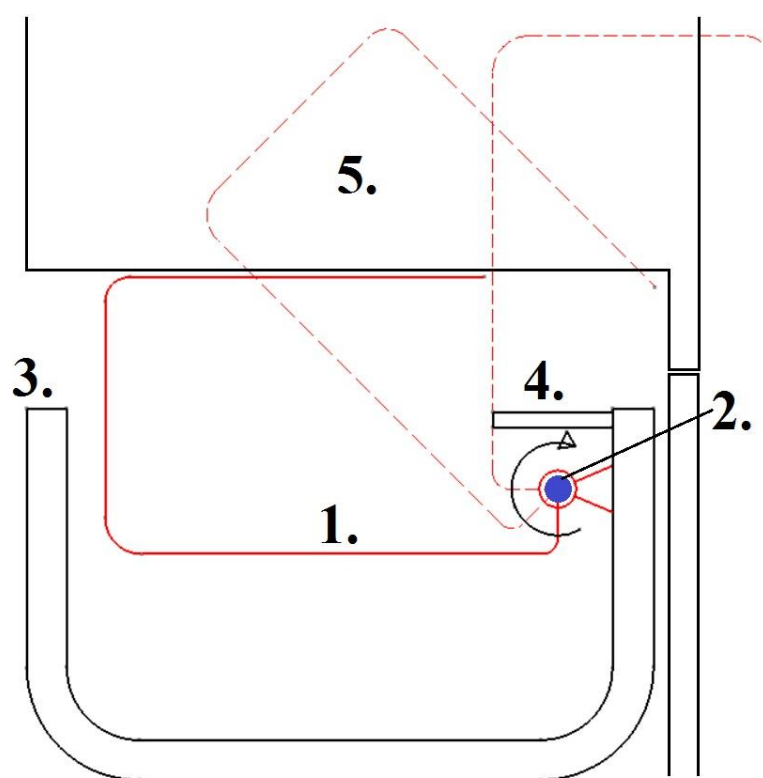
Téma „*Návrh mechanismu otevírání dveří automobilu*“ nebylo vybráno náhodně. Toto téma jsem si vybral z důvodu konstrukční úlohy, kterou řeším ve firmě MBtech Group GmbH & Co. KGaA.



# 1. Funkce závěsu a omezovače

Jak už bylo zmíněno v úvodu práce, závěs je mechanické zařízení, umožňující otevírání a zavírání libovolných dveří a jehož funkcí je nejčastěji rotační pohyb.

Na jednoduchém obrázku je vysvětlena funkce neboli princip fungování a jsou popsány jednotlivé části závěsu, viz níže Obr. 1.



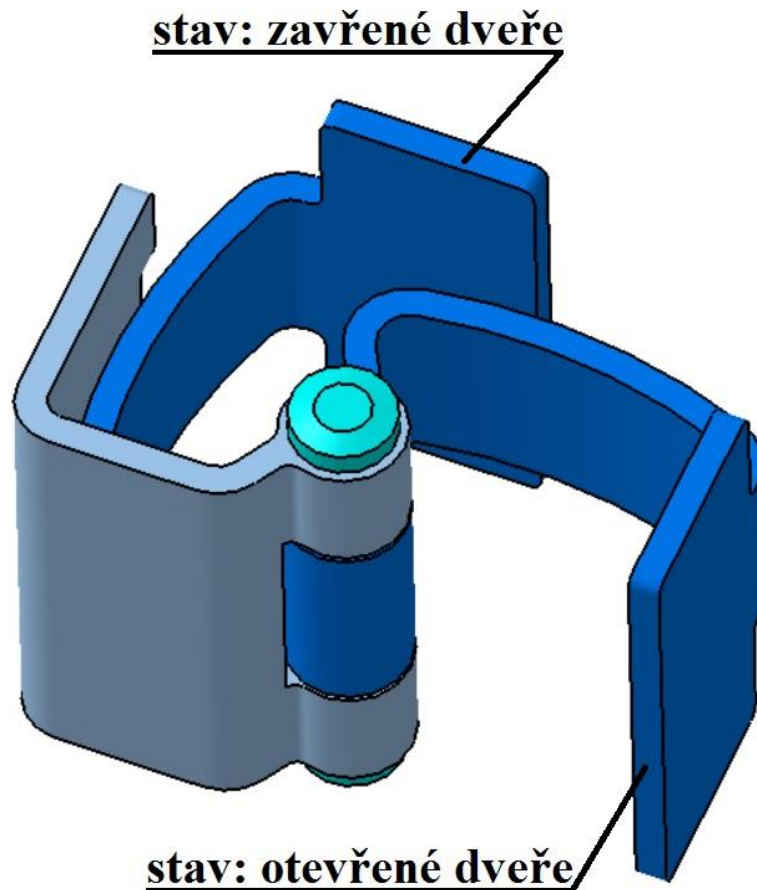
Obr. 1: Zjednodušený 2D model závěsu  
Zdroj: Vlastní vytvořený obrázek v systému CATIA V5 R21

## Popis obrázku:

1. Závěs – Na uvedeném obrázku koná rotaci v interval od 0 do 90 stupňů. Pohyb závěsu je označený červenou čárkovanou čarou.
2. Trn – Slouží k upevnění závěsu.

3. Výztuha / rám - Součást karosérie, ke které se závěs připevní.
4. Doraz - brání otevírání dveří o více jak 90 stupňů.
5. Dveře

Pro lepší představivost, lze vidět na Obr. 2 zjednodušený 3D model závěsu, který znázorňuje otevřený a zavřený stav dveří. Propracovanější řešení současných závěsů lze vidět na Obr. 5.

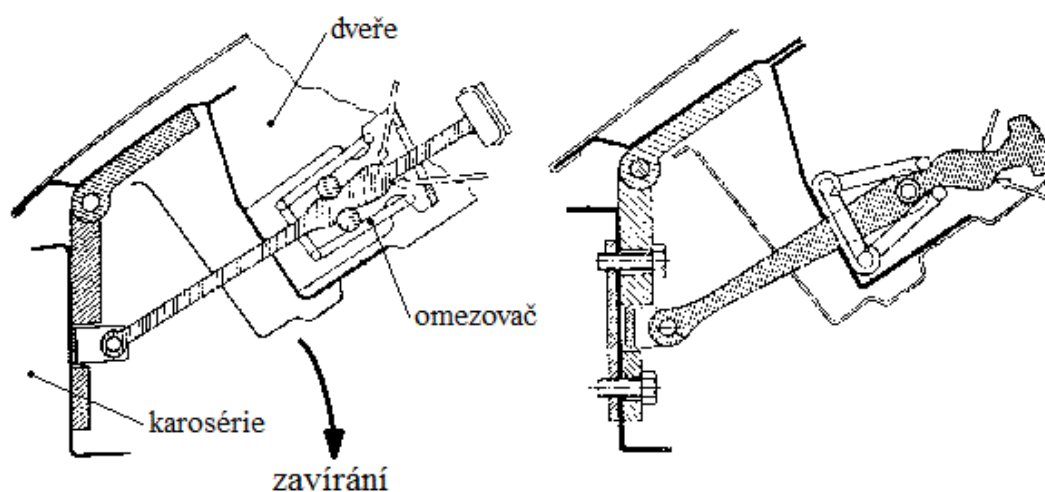


Obr. 2: Zjednodušený 3D model mechanického zařízení pro realizaci otevření dveří

Zdroj: Vlastní vytvořený obrázek v systému CATIA V5 R21

V poslední době je velmi oblíbený a také rozšířený prvek, tzv. omezovač. Omezovač je zařízení skládající se z více částí, které umožňuje zajištění dveří v určité poloze. Jedná se například o otevírání dveří v úhlu od 0 do 50 stupňů a

v tomto rozsahu lze libovolně pohybovat s dveřmi, které se při překročení 50 stupňů zajistí. Při větším tlaku na dveře a otevření nad 50 stupňů, překročíme přes první polohu a je možné opět libovolně pohybovat s dveřmi v určitém rozsahu. V konečné fázi následuje poslední poloha neboli druhá poloha. Poslední poloha při otevírání je též polohou, do které lze dveře nejvíce otevřít. Případnému většímu otevření může bránit doraz, který již byl zmíněn na předchozím obrázku. Obdobný postup je i při zavírání. Omezovač je ukrytý ve dveřích a zvenčí je vidět pouze táhlo, spojené s výztuhou viz Obr. 3. Dostatečné tlumení otevírání šetří např. dveře samotné a mezi další výhody patří snadnější každodenní užívání dveří. V současné době se bez tohoto prvku již neobejde žádný otevírací mechanismus.



Obr. 3: Starší a novější provedení omezovače  
Zdroj: <http://skoda.panda.cz/clanek.php?id=34>

Provedení omezovače na obrázku je u všech starších vozů Škoda produkci Š 105 – Rapid. Levá část obrázku znázorňuje starší provedení a pravá část novější. Omezovač má dvě polohy aretace neboli zajištění. Zavřené dveře by obrázek zobrazoval, pokud by dveře byly ve vodorovné poloze. Nyní jsou dveře v první poloze. Pohyb omezovače je způsoben pohybem dveří. Pokud se budou dveře otevírat, bude se táhlo vysunovat a pokud zavírat, bude se táhlo zasouvat.

Novějšího omezovače si lze všimnout na Obr. 4, který byl navržen pro model Škoda Superb 3.



Obr. 4: Omezovač používaný u modelu Škoda Superb 3  
Zdroj: [www.skoda-dily.cz](http://www.skoda-dily.cz)

## **1.1. Existující systémy otevírání dveří automobilů**

Na trhu je v dnešní době nabízeno mnoho systému otevírání dveří. Existují různé systémy otevírání dveří např. posuvné, vyklápěcí atd. Nadále se zaměřím pouze na automobilový průmysl, zejména na jeho řešení systému otevírání dveří.

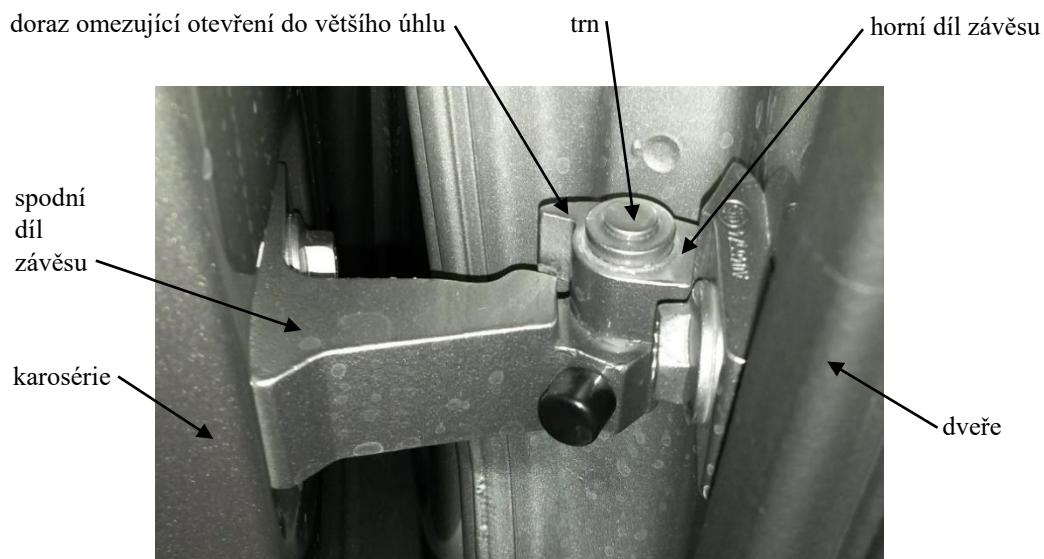
### **1.1.1 Systémy otevírání dveří automobilky Volkswagen**

Volkswagen AG nebo jen VW je německá automobilka sídlící ve Wolfsburgu. Je členem skupiny Volkswagen Group. Byla založena roku 1937, v překladu znamená „lidový vůz“<sup>1</sup>. Mezi její základní modely patří Passat, klasický vůz střední třídy a vyrábí se dodnes ve verzi sedan a kombi. Jedná se o luxusní a prostorný vůz, který má výkonný motor. V současnosti vydala firma na trh Volkswagen Passat model Var.R-line Highline 2,0 TDI BMT 6DSG SCR<sup>2</sup>, který má závěs jen s jedním pohybem a to rotačním, který lze vidět na Obr. 5. Na obrázku si také můžeme všimnout, že co se týká konstrukce, není závěs příliš obtížný, pravděpodobně bude i levný. Jak lze vidět, omezovač není sjednocený se závěsem, ale odděleně níže ve dveřích. Obdobné řešení mají i další automobilky, přesvědčit se můžeme hned v následující kapitole.

---

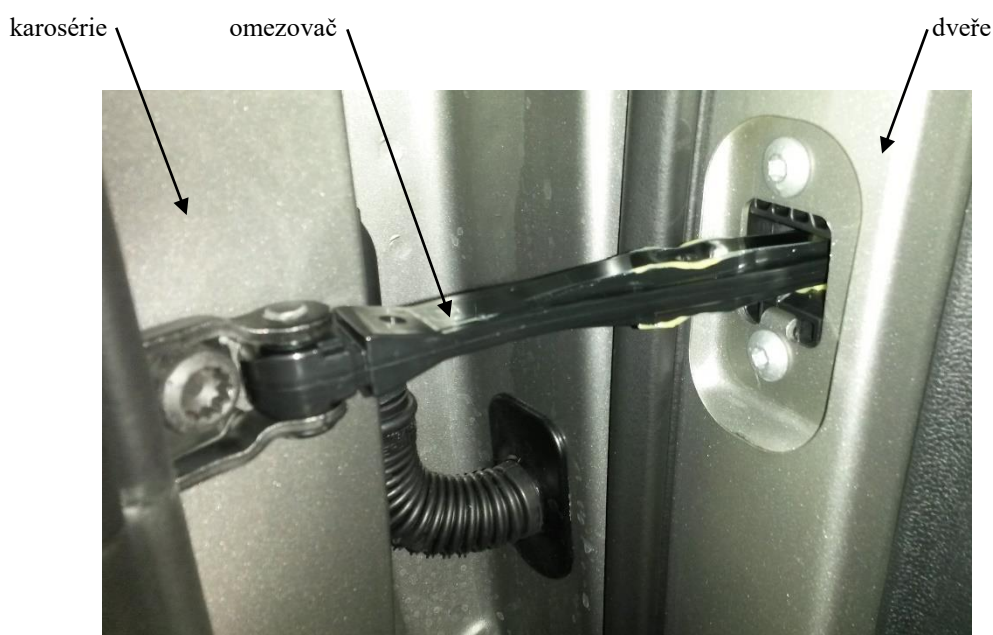
<sup>1</sup> Wikipedie otevřená encyklopedie, 14. 6. 2016  
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Volkswagen>

<sup>2</sup> Oficiální web Auto podbabská, 18. 6. 2016  
Dostupné z: <http://podbabska.volkswagen.cz/> (Model Passat Variant)



Obr. 5: Závěs modelu auta Var.R-line Highline 2,0 TDI BMT 6DSG SCR  
Zdroj: Vlastní fotografie z pobočky Auto podbabská

Další typ omezovače, který již byl zmíněn, lze spatřit na Obr. 6. Jedná se o dvupolohový omezovač. V dnešní době existuje mnoho různých omezovačů. Může být sjednocený se závěsem nebo oddělený, jako v našem případě. Omezovač umístěn na závěsu má mnohdy jednodušší provedení a co se týká hmotnosti, také bývá lehčí a velikost je též menší.



Obr. 6: Omezovač modelu auta Var.R-line Highline 2,0 TDI BMT 6DSG SCR  
Zdroj: Vlastní fotografie z pobočky Auto podbabská

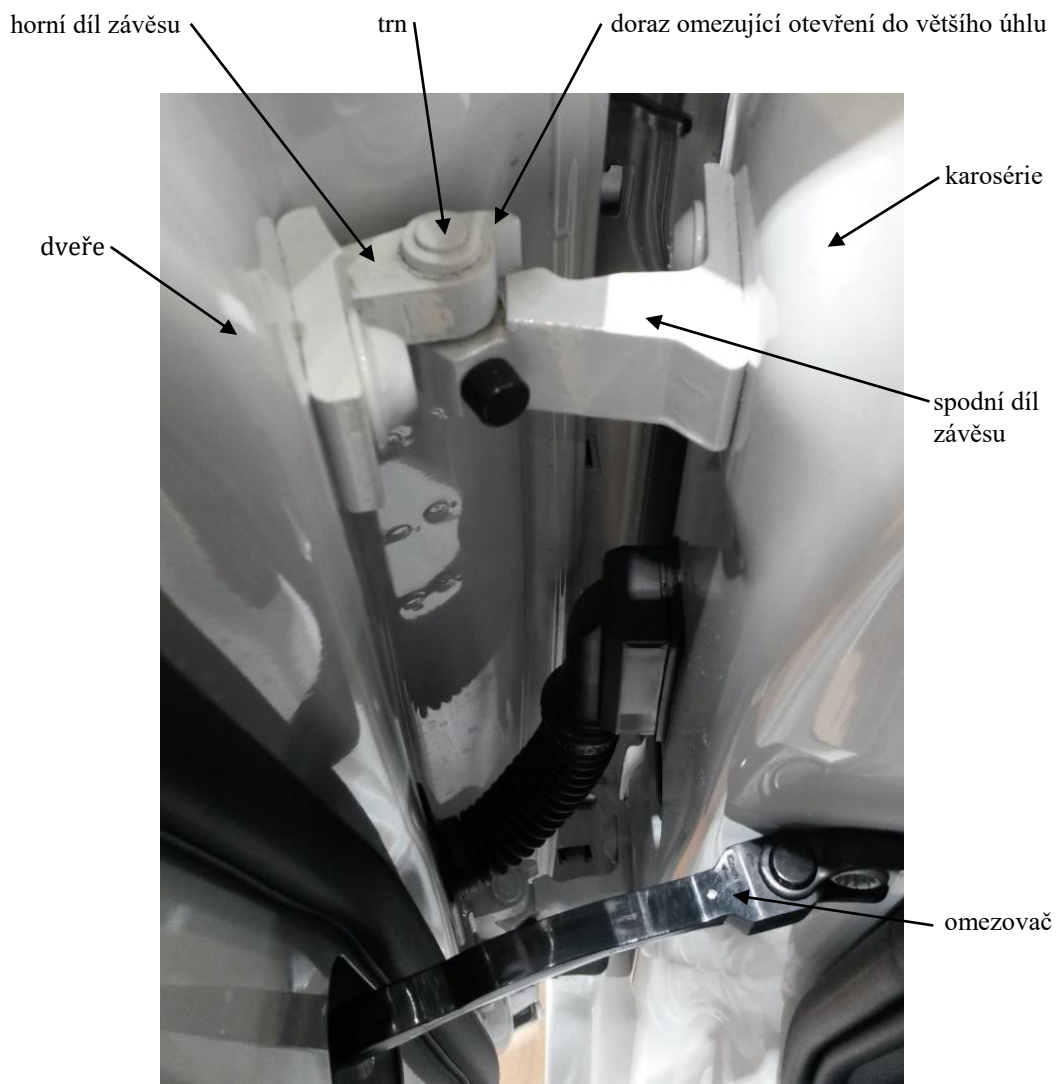
## 1.1.2 Systémy otevírání dveří automobilky Škoda

Škoda auto a.s. je největší výrobce automobilů v České republice. Také patří celosvětově mezi automobilové výrobce s nejbohatší tradicí. Byla založena roku 1895 jako Laurin a Klement, která vyráběla a opravovala jízdní kola. V roce 1925 došlo ke sloučení společnosti se Škodovými závody v Plzni, což znamenalo konec značky Laurin a Klement. Dnes se společnost nazývá ŠKODA Auto a.s. Největší výrobní závod sídlí v Mladé Boleslavi<sup>3</sup>. Šestáho června roku 2015 vydala firma na trh model Škoda Superb combi 2,0 TDI<sup>4</sup> 140 KW 6-stup. mech., který má obdobné provedení závěsu jako vůz automobilky VW Var.R-line Highline 2,0 TDI, viz Obr. 7. V tomto případě se liší jen v některých drobnostech. Jak lze vidět, omezovač není sjednocený se závěsem, ale také odděleně níže ve dveřích. Obrázek znázorňuje závěs dveří u řidiče.

---

<sup>3</sup> Oficiální web ŠKODA AUTO a.s., 20. 6. 2016  
Dostupné z: <http://cs.skoda-auto.com/company/history/company-history>

<sup>4</sup> Oficiální web ŠKODA AUTO a.s., 20. 6. 2016  
Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/models/novy-superb>



Obr. 7: Závěs modelu auta Škoda Superb combi 2,0 TDI 140 KW 6-stup. mech.  
Zdroj: Vlastní fotografie z pobočky Auto podbabská

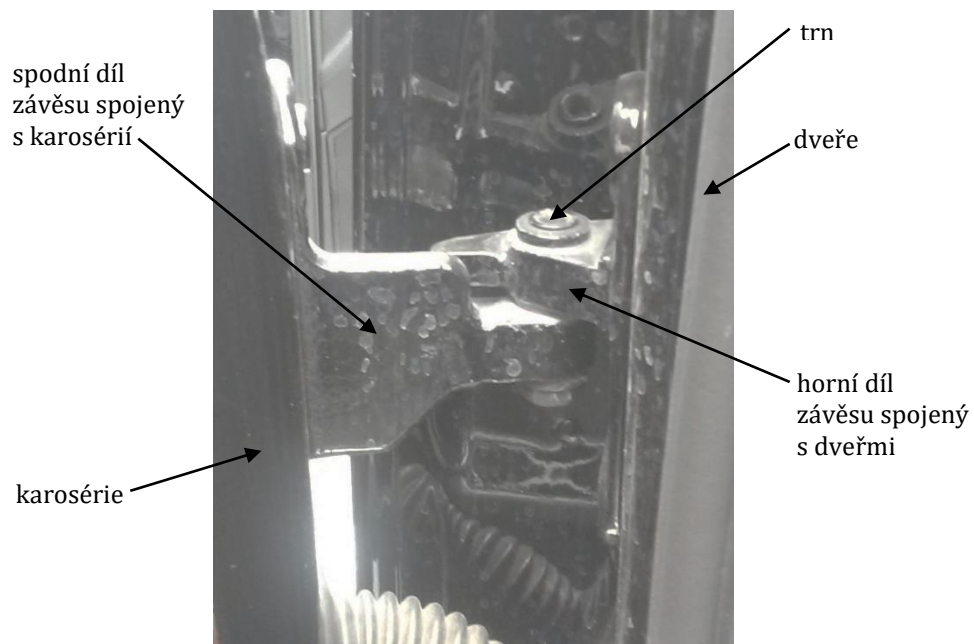
Všimnout si můžeme omezovače, který je umístěný přibližně uprostřed a to mezi horním a dolním závěsem. Též se jedná o dvupolohový omezovač. Dále můžeme vidět doraz, který brání otevření dveří do většího úhlu.



### 1.1.3 Systémy otevírání dveří automobilky Mercedes-Benz

Mercedes-Benz (obvykle jen Mercedes) je německý výrobce automobilů, nákladních vozidel, autobusů a tahačů společnosti Daimler AG a její divizí. Značka Mercedes-Benz vznikla roku 1926 spojením firem Daimler Motoren Gesellschafta Benz & Cie., jejichž zakladateli byli Gottlieb Daimler a Karl Benz. Společnost Daimler-Benz AG, která tak vznikla, přijala pro své vozy ochrannou známku Mercedes-Benz.<sup>5</sup>

V současnosti má firma na trhu mnoho různých modelů, mezi které patří i model GLS SUV<sup>6</sup>. Tento model má obdobné provedení závěsu jako předchozí automobilky Volkswagen a Škoda Auto, který lze vidět na Obr. 8.



Obr. 8: Závěs dveří modelu GLS SUV  
Zdroj: Vlastní fotografie

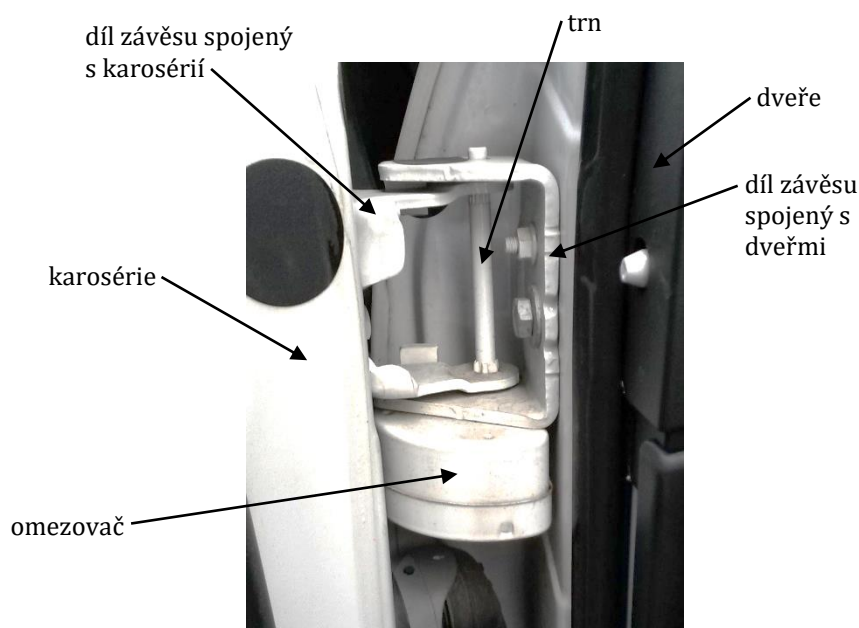
<sup>5</sup> Wikipedie otevřená encyklopedie, 11. 07. 2016  
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz>

<sup>6</sup> Oficiální web Mercedes-Benz, 11. 07. 2016  
Dostupné z: [http://www.mercedes-benz.cz/content/czechia/mpc/mpc\\_czechia\\_website/czng/home\\_mpc/passengercars/home/new\\_cars/models/gls/x166.html](http://www.mercedes-benz.cz/content/czechia/mpc/mpc_czechia_website/czng/home_mpc/passengercars/home/new_cars/models/gls/x166.html)

## 1.1.4 Systémy otevírání dveří automobilky Citroën

Citroën známý také jako Citroen je francouzský výrobce. Citroen je součástí koncernu PSA Peugeot Citroën. André Citroën, majitel muniční továrny v Quai de Javel se roku 1916 rozhodl pro velkoobjemovou výrobu silných a hospodárných automobilů. První vůz Typu A byl vytvořen v létě 1919 a do konce roku bylo vyrobeno ještě 2810 kusů. V roce 1935 přebírá kontrolu nad Citroën Michelin. Roku 1976 se Citroën stal součástí koncernu PSA Peugeot Citroën a je jí i dodnes.<sup>7</sup>

Jeden z mnoha modelů, které firma vyrobila je model Citroën C5 Tourer<sup>8</sup>, který má odlišné provedení závěsu a lze ho vidět na Obr. 9. Závěs je odlišný od předchozích uvedených závěsů a také má jiné provedení omezovače, který je sjednocen se závěsem, jak vidíme na obrázku. Omezovač má tři polohy aretace.



Obr. 9: Závěs automobilu Citroën C5 Tourer  
Zdroj: Vlastní fotografie

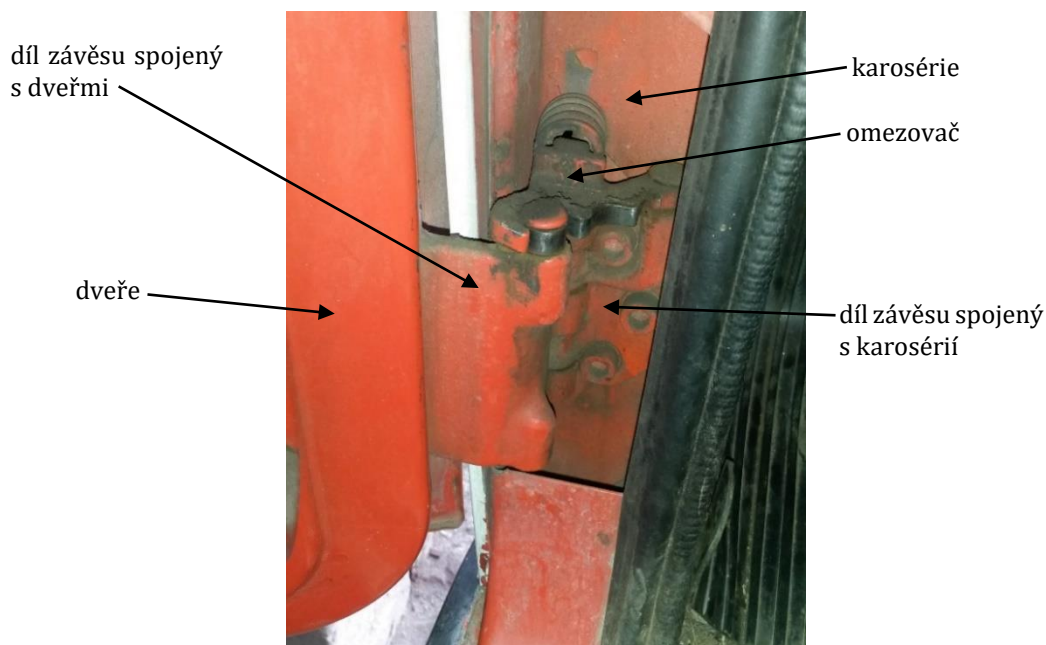
<sup>7</sup> Wikipedie otevřená encyklopedie, 18. 07. 2016  
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Citro%C3%ABn>

<sup>8</sup> Oficiální web Citroën, 18. 07. 2016  
Dostupné z: <http://www.citroen.cz/vozy/citroen/c5-tourer.html>

## 1.1.5 Systémy otevírání dveří automobilky Tatra

Tatra je český výrobce. Firma byla založena roku 1850 a od roku 1897 působí jako výrobce automobilů, která sídlí v Kopřivnici v Moravskoslezském kraji. Zajímavostí je také to, že se jedná zároveň o dosud druhou nejstarší existující automobilku na světě. Automobilka je vůbec nejstarší ve střední Evropě. Od roku 2013 vlastní podnik Ostravská společnost Tatra Trucks a.s. Nápis Tatra se poprvé objevil na vozidlech v roce 1919. Značka Tatra byla zavedena až v roce 1920. Model Tatra 26/30 je první historický hasičský vůz z roku 1929<sup>9</sup>.

Závěs dveří u hasičského vozu je vidět na Obr. 10. Tento závěs je odlišný od předchozích uvedených a to zejména z důvodu odlišného a více namáhavého používání. Hasičské dveře jsou více zatížené při provozu. Všimnout si můžeme omezovače, který je sjednocený se závěsem a jedná se o dvoupolohový omezovač. Konstrukce omezovače má jednoduché provedení a je menší.



Obr. 10: Závěs dveří u hasičského vozu

Zdroj: Vlastní fotografie z hasičského vozu v hasičárně Vojkovic

<sup>9</sup> Oficiální web TATRA TRUCKS a.s., 07. 07. 2016

Dostupné z: <http://www.tatra.cz/o-spolecnosti/historie-tatry/historie-vyroby/>

## 1.1.6 Systémy otevírání dveří automobilky Lamborghini

Automobili Lamborghini S.p.A. je italská automobilka známa jen jako Lamborghini. Automobilka je výrobcem vysoce výkonných supersportovních vozů. V současnosti je dceřinou automobilky Audi sídlící v italském městečku Sant'Agata Bolognese a vyrábí v Boloni. Společnost založil Ferruccio Lamborghini roku 1962.<sup>10</sup>

Automobil Lamborghini Aventador<sup>11</sup> uvedený na Obr. 11 má tzv. „Scissor doors“ v překladu „nůžkové dveře“. Tento typ závěsu není typický v běžném automobilovém průmyslu, ale je oblíbený ve světě tuningu.



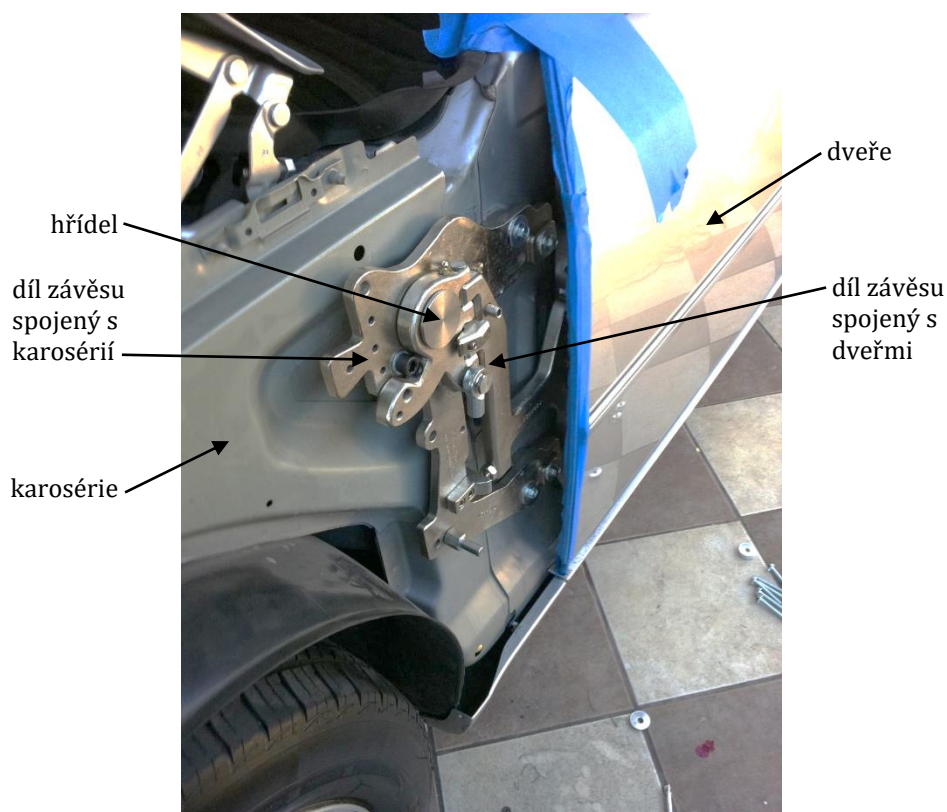
Obr. 11: Model Lamborghini Aventador  
Zdroj: <http://cz.wallpapers-fenix.eu/TOP/2732/33371/>

---

<sup>10</sup> Wikipedie otevřená encyklopedie, 17. 07. 2016  
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Lamborghini>

<sup>11</sup> Oficiální web Lamborghini, 19. 07. 2016  
Dostupné z: <https://www.lamborghini.com/en-en/>

Podobné provedení závěsu, jak u modelu Lamborghini Aventador lze vidět na Obr. 12 umístěný v horní části dveří, který umožňuje otevření dveří otočením směrem vzhůru. Jak lze vidět, konstrukce závěsu je větší a obtížnější. Prvním vykonávaným pohybem je klasické pootevření, následně dalším pohybem je pootáčení ve vertikálním směru. Na obrázku si lze všimnout, že závěs je v poloze, kdy jsou dveře zavřené.



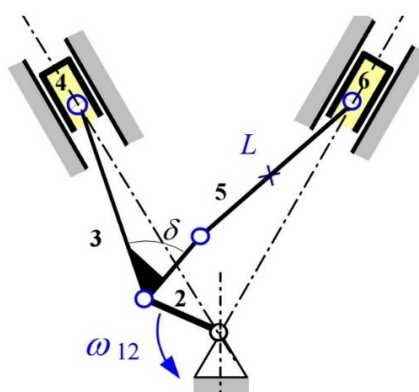
Obr. 12: Závěs „Scissor doors“

Zdroj: <http://www.scissor-doors.com/bought-another-companys-hinges-and-now-paying-the-price/>

## 2. Návrh kinematiky mechanismu otevírání dveří

Návrh kinematiky mechanismu je proces vytvoření tzv. mechanického modelu, který je základem řešení úloh mechaniky a většiny inženýrských úloh. Mechanické modely popisují všechny podstatné vlastnosti. Pro lepší pochopení pojmu mechanický model, lze vidět například na Obr. 13 - Mechanický model klikového mechanismu. Mechanický model je možné vytvořit za použití různých zjednodušujících předpokladů. Nevýhodou však je, čím větší je zjednodušení tím nepřesnější jsou výsledky vzhledem ke skutečnosti.

Z hlediska kinematického řešení je podstatný popis pohybu hmotných bodů, tuhých těles a jejich soustav. Kinematika vlastně uplatňuje zákonitosti platné pro manipulaci s prostorem a časem. Jádrem kinematiky je určení polohy bodu nebo tělesa v daném časovém okamžiku a zároveň v závislosti na plynoucím čase, tedy pohyb bodu nebo tělesa. Dále se kinematika zabývá nalezením charakteristiky změny polohy (pohybu), tj. rychlosti, zrychlení a vyšší derivace. Tyto úlohy se v kinematice řeší na základě různě zadaných podmínek, např. ze známých pohybů pohonů nebo z daného výsledného pohybu. Kromě těchto základních úloh se kinematika zabývá i určením pohyblivosti mechanismu, složení a rozměrů mechanismů, poměru rychlostí – převodu, aj.<sup>12</sup>



Obr. 13: Mechanický model klikového mechanismu

Zdroj:

[https://moodle.fs.cvut.cz/pluginfile.php/7560/mod\\_resource/content/1/me2a\\_cv\\_7.pdf](https://moodle.fs.cvut.cz/pluginfile.php/7560/mod_resource/content/1/me2a_cv_7.pdf)

<sup>12</sup> Valášek M., Stejskal V., Březina J.: Mechanika A. Vydavatelství ČVUT, Praha 2007, str. 2 – 8

## 2.1 První návrh kinematiky mechanismu otevírání dveří

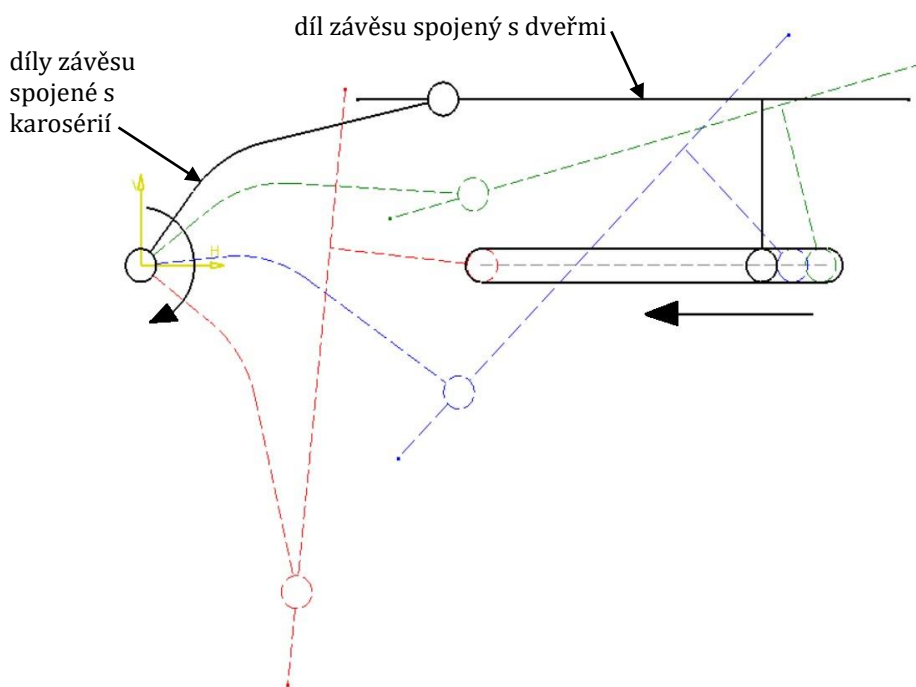
Návrh závěsu (dle Obr. 14) byl vytvořen na základě kritérií, která byla uvedena už dříve. Daný návrh je zajímavý svým pohybem, který koná posuv pomocí odvalování a zároveň rotaci závěsu uchyceného ke dveřím. Uvedený mechanismus je v podstatě komplikovaný. Je tomu tak z důvodu konkrétní polohy dveří, kdy jsou dveře zavřené a chtěli bychom je otevřít. Prvním vykonaným pohybem je rotace neboli pootevření dveří, načež následuje odvalování, které způsobí záběr prvního zubu. Pohyb a směr odvalování je znázorněn šipkou a směr pootevření je též zobrazen šipkou, viz Obr. 14, kdy tmavě zelenou barvou je znázorněn pohyb rotace neboli pootevření. Následně při otevření a dotyku zubu je dalším vykonávaným pohybem odvalování. Tento pohyb je znázorněný modrou barvou a červenou barvou je poloha, do které lze dveře nejvíce otevřít. Všimneme si, že dveře je možné otevřít do většího úhlu než 90 stupňů. Pokud by prvním pohybem nebyla rotace ale ihned odvalování, dveře by nebylo možné otevřít, a to z důvodu kolize s karosérií. Pokud by bylo potřeba více vysunout osu závěsu, tak toho lze dosáhnout úpravou průměru bubnu na dílu závěsu uchyceného ke karosérii. Dále je důležité navrhnout konstrukci mechanismu tak, aby byl omezovač sjednocen se závěsem, což však přidává na složitosti a komplikaci návrhu daného mechanismu. Tuto konstrukci ovšem lze vyřešit, a to tak, aby omezovač byl sjednocený se závěsem, ale takové řešení by bylo komplikovanější a to znamená i dražší. Návrh tedy nevyhovuje požadavkům.





## 2.2 Druhý návrh kinematiky mechanismu otevírání dveří

Takový návrh, viz Obr. 15, též neuvidíme u běžných automobilů. Obdobný mechanismus mají autobusy Irisbus Citybus 18 M Pražské městské dopravy. Mechanismus má dva pohyby, a to jeden rotační a posuvný. Černá barva znázorňuje stav dveří, kdy jsou zavřené. Tmavě zelená barva a modrá barva znázorňuje pohyb mechanismu a stav, kdy můžeme dveře nejvíce otevřít, je zobrazen červenou barvou. Též lze vidět na obrázku „kolej“ označenou černou barvou, ve které se závěs posouvá a zároveň vykonává rotační pohyb. U takového typu návrhu nemá smysl konstruovat omezovač. Dveře jsou zajištěné v případě, kdy jsou otevřené nebo zavřené. Toto řešení umožňuje velký rozsah pohybu, ale provedení s kolejnicí není z konstrukčního hlediska vhodné pro hasičský vůz.



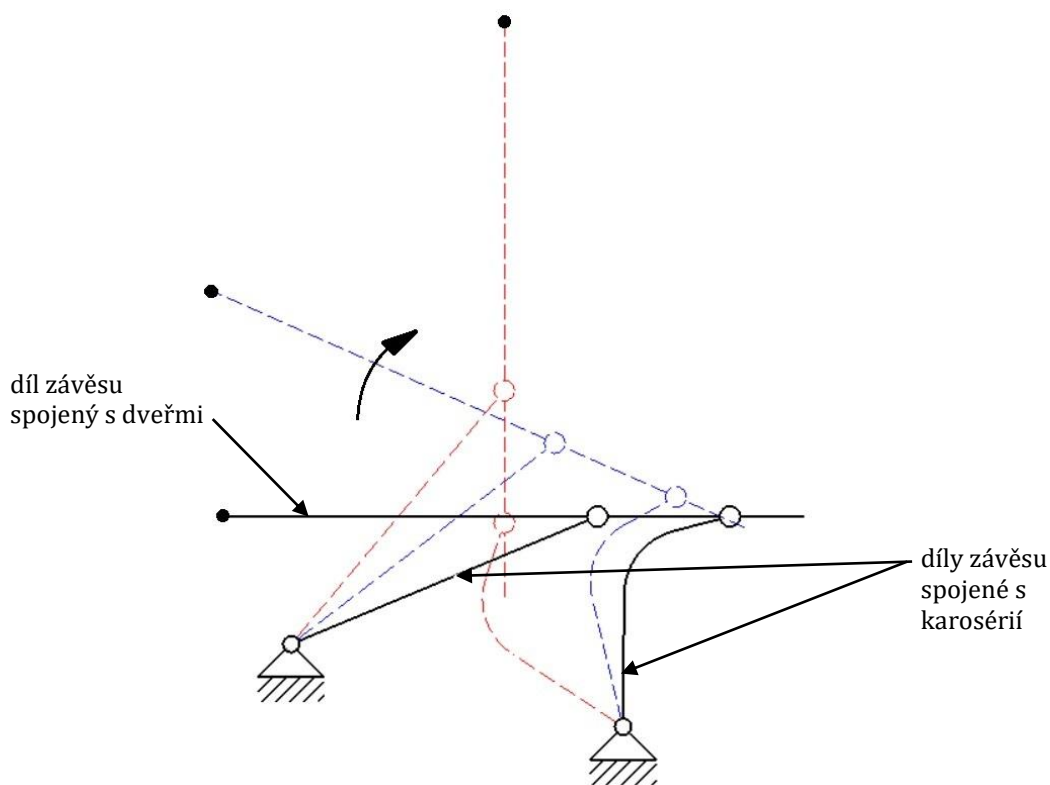
Obr. 15: Druhý návrh závěsu

Zdroj: Vlastní model vytvořený v CAD systému CATIA V5 R21

## 2.3 Třetí návrh kinematiky mechanismu otevírání dveří

Další návrh závěsu (Obr. 16) je odlišný nejenom svým pohybem, ale hlavně konstrukcí. Tento návrh mechanismů a jakýkoliv jiný podobný nespátříme u běžných automobilů ani u dalších nákladních vozů. Obdobné mechanismy lze též vidět např. u nových autobusů Pražské městské dopravy, které mají právě podobné řešení otevírání dveří. Závěs u dveří od autobusu nemá žádný omezovač s aretací, dveře nejsou zajištěné v libovolné poloze. Dveře jsou zajištěné, jen pokud jsou otevřené nebo zavřené.

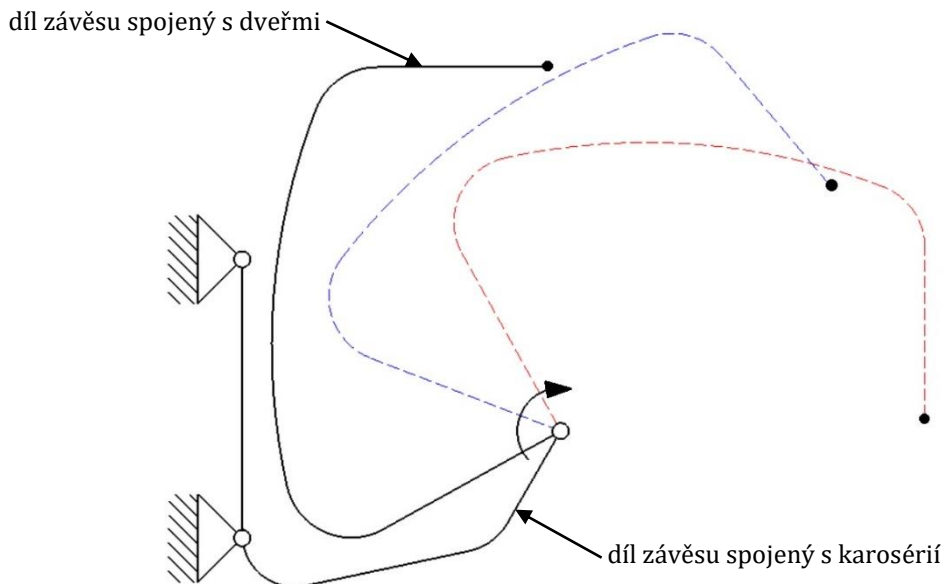
Závěs je zajímavý svou kinematikou mechanismu, kdy otevírání je realizované závěsy spojené s karosérií. Dveře je tudíž možno otevřít do 90 stupňů. Otevřené dveře znázorňuje červená čárkovaná čára. Vzhledem k tomu, že řešení obsahuje pouze snadno realizovatelné rotační vazby, bylo by konstrukčně vhodnější než řešení s kolejnici z předchozí kapitoly. Omezovač má smysl realizovat.



Obr. 16: Třetí návrh závěsu  
Zdroj: Vlastní model vytvořený v CAD systému CATIA V5 R21

## 2.4 Čtvrtý návrh kinematiky mechanismu otevírání dveří

Návrh uvedený na Obr. 17 je nejčastějším řešením všech mechanismu otevírání dveří. Jediným vykonávaným pohybem je rotace v určitém úhlu. V tomto případě je interval otevírání od 0 do 90 stupňů. Od ostatních se liší jen tvarem dílu závěsu a rozměry. V tomto případě by sjednocení omezovače se závěsem nebylo obtížné. Výhodou je snadné provedení závěsu a i omezovač lze snadno realizovat. Nevýhodou je však, že vždy umožňuje otevření dveří do úhlu 90 stupňů.



Obr. 17: Čtvrtý návrh závěsu  
Zdroj: Vlastní model vytvořený v CAD systému CATIA V5 R21

## 2.5 Nástroje pro návrh a optimalizaci mechanismu

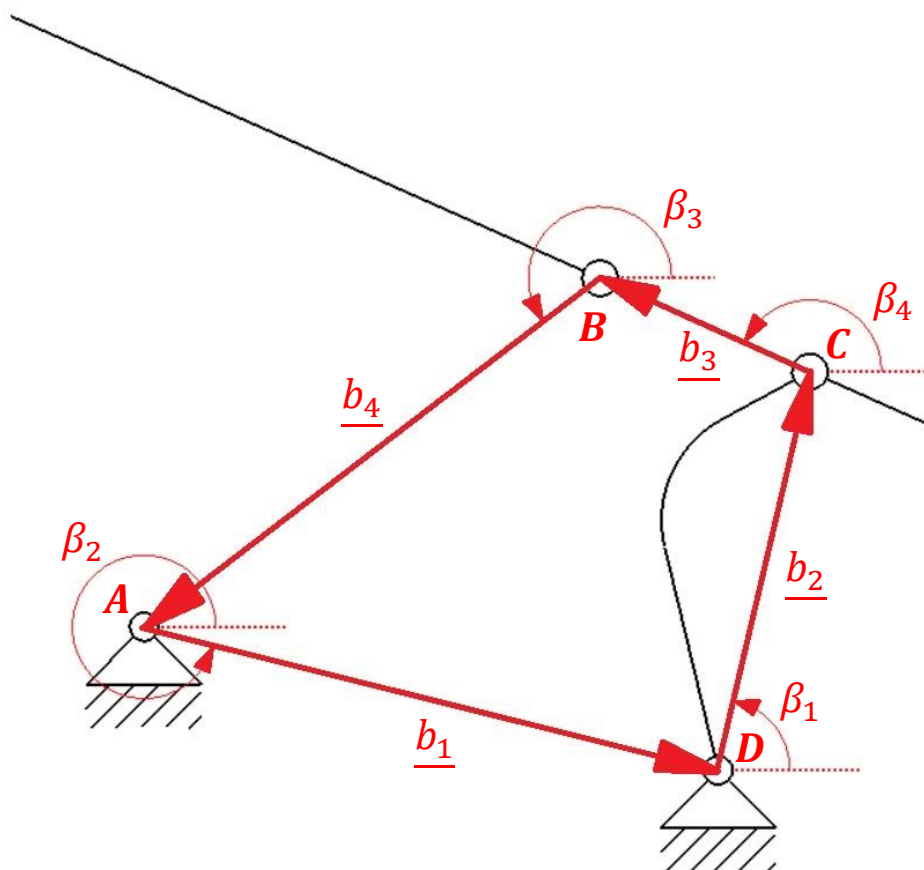
Pro vytvořené kinematické modely je potřeba zvolit vhodné rozměry a následně provést kinematickou analýzu a optimalizaci. Kinematická analýza popisuje pohyb a nástroje pro popis kinematiky mechanismu jsou různé, např. vektorová metoda, trigonometrická metoda, maticová metoda atd. Pro popis je zvolena vektorová metoda. Následně bude provedená optimalizace. Optimalizace je matematická úloha a její snahou je nalezení takových hodnot proměnných, pro které daná cílová funkce nabývá minimální nebo maximální hodnoty. Úloha optimalizace je někdy nazývána též úlohou matematického programování (termín nemá přímý vztah k programování). V našem případě se jedná o nelineární programování a nástroje pro optimalizaci jsou také různé, např. MATLAB, MAPLE, WOLFRAM ALPHA atd. Následnou optimalizaci provedu v prostředí MATLAB. Nyní si vybírám jeden z návrhu a to konkrétně návrh 2.3, který budu zkoumat a analyzovat. Pro daný mechanismus budu volit rozměry a provedu optimalizaci. Daný návrh budu zkoumat z hlediska polohy a možnosti otevírání v určitém intervalu. Pro lepší představu a určení rozměrů a určení polohy závěsu je daný závěs vytvořený v CAD systému CATIA V5 R21, ve kterém mohu zjistit, jaké rozměry mohu volit tak, aby umožnil daný závěs jednoduchou manipulaci a nedocházelo ke kolizi.

### Vektorová Metoda

Vektorová metoda je obecná metoda, která je vhodná ke kinematickému vyšetřování rovinných mechanismů. Výhodou je její využití, jak k řešení úloh individuálních, tak i k vypracování obecných programů pro řešení úloh na počítači. Metoda popisuje kinematické schéma mechanismu vektorovými mnohoúhelníky (Obr. 18) a dává návod, jak pomocí nich získat rovnice, které řeší úlohu polohy, a z nich následně rovnice pro rychlosti a zrychlení. Vztahy pro polohu tvoří obecně soustavu transcendentních rovnic, kterou je ve složitějších

případech obvykle třeba řešit numericky. Vektorovou metodu lze rozšířit i na prostorové mechanismy.<sup>13</sup>

Pro daný návrh vidíme na Obr. 18 jednu vektorovou smyčku vypočtenou pomocí rovnice (2.2), podle které určíme, kolik smyček daný mechanismus bude mít. Též lze vidět, že mechanismu má jeden stupeň volnosti, případně lze počet stupňů volnosti vypočítat pomocí rovnice (2.1).



Obr. 18: Řešení vektorovou metodou  
Zdroj: Vlastní model vytvořený v systému CATIA V5 R21

<sup>13</sup> Prof. Ing. Karel Juliš, DrSc., akademik ČSAV, Doc. Ing. Rudolf Brepta, DrSc., a kol.: Mechanika I. Díl Statika a kinematika, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha 1986, str. 364 - 392

$$n = 3 \cdot (u - 1) - 3vp - 2 \cdot (r + p + v) - 1o \quad (2.1)$$

počet těles  
 pevné vazby  
 rotační vazby  
 posuvné vazby  
 valivé vazby  
 obecné vazby

$$= 3 \cdot (4 - 1) - 3 \cdot 0 - 2 \cdot (4 + 0 + 0) - 1 \cdot 0 = 1^\circ \text{ volnosti}$$

$$l = d + m - u + 1 = 4 + 0 - 4 + 1 = 1 \text{ nezávislá smyčka} \quad (2.2)$$

počet těles  
 předepsané pohyby  
 počet kinematických dvojic

Vektorová podmínka uzavřenosti pro danou smyčku je

$$\mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2 + \mathbf{b}_3 + \mathbf{b}_4 = \mathbf{0} \quad (2.3)$$

Jeden uzavřený mnohoúhelník dává dvě skalární rovnice vazeb a umožňuje určit dvě skalární neznámé. Podstatné jsou právě pro nás skalární rovnice vazeb, kde jsou neznámé úhly  $\beta_3$  a  $\beta_4$

$$\begin{aligned} x : b_1 \cdot \cos\beta_1 + b_2 \cdot \cos\beta_2 + b_3 \cdot \cos\beta_3 + b_4 \cdot \cos\beta_4 &= 0 \\ y : b_1 \cdot \sin\beta_1 + b_2 \cdot \sin\beta_2 + b_3 \cdot \sin\beta_3 + b_4 \cdot \sin\beta_4 &= 0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

Souřadnice: nezávislé  $\mathbf{q} = [\beta_2]$

závislé  $\mathbf{z} = \begin{bmatrix} \beta_3 \\ \beta_4 \end{bmatrix}$

Derivujeme-li vazbové rovnice (2.4) obecně podle času, dostáváme rovnice pro rychlost.

$$\begin{aligned} \dot{x} &: -b_2 \cdot \sin\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2 - b_3 \cdot \sin\beta_3 \cdot \dot{\beta}_3 - b_4 \cdot \sin\beta_4 \cdot \dot{\beta}_4 = 0 \\ \dot{y} &: b_2 \cdot \cos\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2 + b_3 \cdot \cos\beta_3 \cdot \dot{\beta}_3 + b_4 \cdot \cos\beta_4 \cdot \dot{\beta}_4 = 0 \end{aligned} \quad (2.5)$$

Rovnice (2.5) lze zapsat v maticovém tvaru

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} -b_3 \cdot \sin\beta_3 & -b_4 \cdot \sin\beta_4 \\ b_3 \cdot \cos\beta_3 & b_4 \cdot \cos\beta_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\beta}_3 \\ \dot{\beta}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -b_2 \cdot \sin\beta_2 \\ b_2 \cdot \cos\beta_2 \end{bmatrix} \dot{\beta}_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \mathbf{J_z} \quad \quad \quad \dot{\mathbf{z}} \quad \quad \quad \mathbf{J_q} \quad \quad \quad \dot{\mathbf{q}} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Po další derivaci pak dostáváme rovnice zrychlení (2.7).

$$\begin{aligned} \ddot{x} &: -b_2 \cdot \cos\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2^2 - b_2 \cdot \sin\beta_2 \cdot \ddot{\beta}_2 - b_3 \cdot \cos\beta_3 \cdot \dot{\beta}_3^2 - b_3 \cdot \sin\beta_3 \cdot \ddot{\beta}_3 \\ &\quad - b_4 \cdot \cos\beta_4 \cdot \dot{\beta}_4^2 - b_4 \cdot \sin\beta_4 \cdot \ddot{\beta}_4 = 0 \\ \ddot{y} &: -b_2 \cdot \sin\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2^2 + b_2 \cdot \cos\beta_2 \cdot \ddot{\beta}_2 - b_3 \cdot \sin\beta_3 \cdot \dot{\beta}_3^2 + b_3 \cdot \cos\beta_3 \cdot \ddot{\beta}_3 \\ &\quad - b_4 \cdot \sin\beta_4 \cdot \dot{\beta}_4^2 + b_4 \cdot \cos\beta_4 \cdot \ddot{\beta}_4 = 0 \end{aligned} \quad (2.7)$$

Rovnice (2.7) lze zapsat v maticovém tvaru

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} -b_3 \cdot \sin\beta_3 & -b_4 \cdot \sin\beta_4 \\ b_3 \cdot \cos\beta_3 & b_4 \cdot \cos\beta_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\beta}_3 \\ \ddot{\beta}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -b_2 \cdot \sin\beta_2 \\ b_2 \cdot \cos\beta_2 \end{bmatrix} \ddot{\beta}_2 + \\ \mathbf{J_z} \quad \quad \quad \ddot{\mathbf{z}} \quad \quad \quad \mathbf{J_q} \quad \quad \quad \ddot{\mathbf{q}} \\ + \begin{bmatrix} -b_2 \cdot \cos\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2^2 & -b_3 \cdot \cos\beta_3 \cdot \dot{\beta}_3^2 & -b_4 \cdot \cos\beta_4 \cdot \dot{\beta}_4^2 \\ -b_2 \cdot \sin\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2^2 & -b_3 \cdot \sin\beta_3 \cdot \dot{\beta}_3^2 & -b_4 \cdot \sin\beta_4 \cdot \dot{\beta}_4^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \mathbf{J_{qz}} \end{aligned} \quad (2.8)$$

V symbolickém zápisu lze rovnice (2.3), (2.4), (2.5) a (2.7) pro všechny mnohoúhelníky soustavy shrnout do kompaktních tvarů (2.9), kde  $\mathbf{q}$ ,  $\dot{\mathbf{q}}$ ,  $\ddot{\mathbf{q}}$  jsou obecně sloupcové vektory nezávislých souřadnic, rychlosti a zrychlení a  $\mathbf{z}$ ,  $\dot{\mathbf{z}}$ ,  $\ddot{\mathbf{z}}$  jsou sloupcové vektory závislých souřadnic, rychlostí a zrychlení. Výraz  $\mathbf{f}(\mathbf{z}, \mathbf{q})$  shrnuje algebraické výrazy z anulovaných vazbových rovnic pro všechny mnohoúhelníky. Matice koeficientů  $\mathbf{J}_q$ ,  $\mathbf{J}_z$  jsou části takzvané Jacobiho matice (matice parciálních derivací algebraických vazbových rovnic podle proměnných) příslušející nezávislým a závislým proměnným. Konečně sloupcový vektor  $\mathbf{j}_{qz}$  zprostředkuje vliv závislých i nezávislých rychlostí na závislá zrychlení.

$$\mathbf{F}(\mathbf{z}, \mathbf{q}) = \mathbf{0}$$

$$\frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{z}} \dot{\mathbf{z}} + \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{q}} \dot{\mathbf{q}} = \mathbf{J}_z \dot{\mathbf{z}} + \mathbf{J}_q \dot{\mathbf{q}} = \mathbf{0}$$

$$\dot{\mathbf{z}} = -\mathbf{J}_z^{-1} \cdot \mathbf{J}_q \dot{\mathbf{q}}$$

$$\mathbf{J}_z \dot{\mathbf{z}} + \mathbf{J}_z \ddot{\mathbf{z}} + \mathbf{J}_q \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{J}_q \ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{J}_z \ddot{\mathbf{z}} + \mathbf{J}_q \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{j}_{qz} = \mathbf{0}$$

$$\ddot{\mathbf{z}} = -\mathbf{J}_z^{-1} (\mathbf{J}_q \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{j}_{qz}) \quad (2.9)$$



### 3. Sestavení modelu v prostředí Matlab / Simulink

#### MATLAB

Program MATLAB je vyvíjen společností MathWorks<sup>14</sup>. Název MATLAB vznikl zkrácením slov **MA**Trix **LAB**oratory (volně přeloženo „maticová laboratoř“), což odpovídá skutečnosti, že klíčovou datovou strukturou při výpočtech v MATLABu jsou matice. MATLAB je interaktivní programové prostředí a skriptovací programovací jazyk čtvrté generace. Vlastní programovací jazyk vychází z jazyka Fortran. Původně byl jazyk určen pro matematické účely, ale časem byl upraven, byly přidány nové funkce a rozšíření; rozrostl se různými směry a dnes je využitelný v široké paletě aplikací. Platforma MATLAB je optimalizována pro řešení inženýrských a vědeckých problémů<sup>15</sup>.

Sestavení modelu a naprogramování programu pro návrh 2.3 bylo provedeno v prostředí Matlab. Při řešení se omezíme pouze na rovnice polohy, rychlost a zrychlení nejsou z hlediska návrhu rozměrů podstatné. Jelikož se jedná o soustavu nelineárních rovnic, bylo použito numerické řešení. Též lze použít analytické řešení, které by bylo jednodušší a jednalo by se jen o 2 rovnice o 2 neznámých. To ale platí pouze pro tento jednoduchý případ s jednou kinematickou smyčkou. V obecném případě mechanismu s více smyčkami by nalezení analytického řešení bylo složité. Pro numerické řešení byl použit program Křešič<sup>16</sup> ze stránek ústavu, který je dostupný na moodle pod předmětem Mechanika 2A. Vstupem programu je popis kinematiky vazbovými rovnicemi (2.4) a Jacobiho maticemi (2.6) a (2.8). Samotný numerický výpočet je založen na modifikované Newtonově metodě. Programy jsou na přiloženém CD.

---

<sup>14</sup> Wikipedie otevřená encyklopedie, 26. 07. 2016  
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/MATLAB>

<sup>15</sup> Oficiální web MathWorks, 26. 07. 2016  
Dostupné z: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>

<sup>16</sup> Oficiální web ČVUT FS, 27. 07. 2016  
Dostupné z: <https://moodle.fs.cvut.cz/course/view.php?id=127>

## 4. Optimalizace kinematických parametrů mechanismu

Úkolem kinematické optimalizace je nalezení ideálních rozměrů, v našem případě vektorů  $b_2, b_3, b_4$ , s ohledem na předem definovaná kritéria. Cílem je dosažení maximálního rozsahu úhlu pohybu dveří při respektování omezeného rozsahu pohybu ramene. Toto omezení plyne z konstrukčního zadání.

Při optimalizaci byl pohyb ramene, tj. vektoru  $b_2$ , definován úhlem  $\beta_2 \in (60, 120)^\circ$ . Pro tento interval byly dopočítány hodnoty polohy  $\beta_3$  a byl určen rozsah toho pohybu, který byl definovaný jako  $\Delta\beta_3 = \beta_{3\max} - \beta_{3\min}$ . Mechanismus byl během optimalizace kontrolován, aby se nedostal do polohy, ve které by nebyl smontovatelný. Ne všechna řešení  $b_2, b_3, b_4$  pro definované úhly mohou být smontovatelná. V případě, kdy nebylo možno vektorovou smyčku smontovat, byla zahrnuta penalizační hodnota a na základě těchto kritérií byla cílová funkce definovaná rovnicí

$$CF = \frac{1}{\Delta\beta_3} + \text{"penalizace"} \quad (4.1)$$

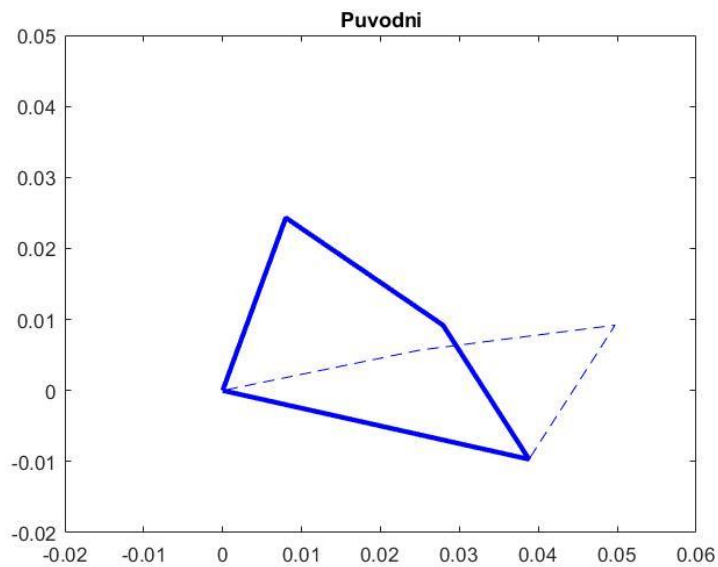
Následně byla využita optimalizační procedura `fminsearch` v prostředí MATLAB, jejíž funkcí je nalezení minima cílové funkce.

Optimalizační parametry byly nastaveny tak, aby neklesly pod nastavenou minimální hodnotu, tj. minimální délku ramene.

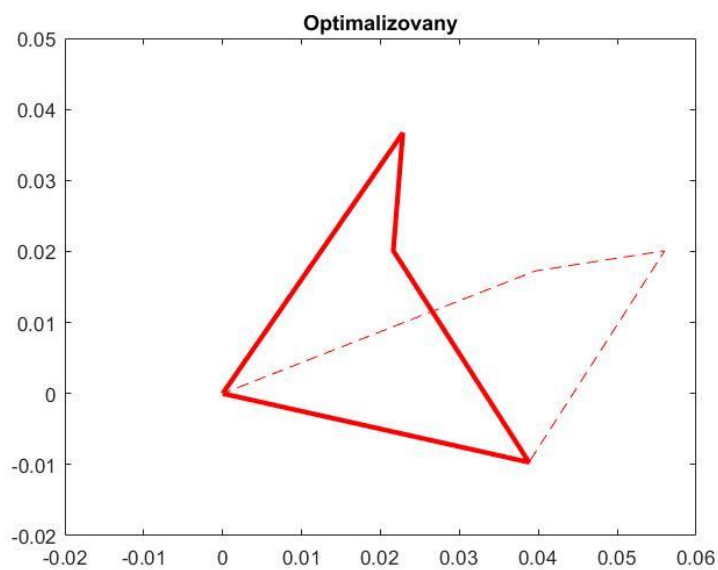
Počet iteračních kroků – 118, počáteční odhad a nalezené řešení lze vidět v tabulce níže. Program na optimalizaci je na přiloženém CD.

	hodnoty $b_2, b_3, b_4$	$\Delta\beta_3$	CF
Počáteční odhad	$b_2 = 20 \text{ mm}$	36,994°	1,54878
	$b_3 = 25 \text{ mm}$		
	$b_4 = 25 \text{ mm}$		
Nalezené řešení	$b_2 = 34,4 \text{ mm}$	94,118°	0,608763
	$b_3 = 16,6 \text{ mm}$		
	$b_4 = 43,2 \text{ mm}$		

## Obrázky – počáteční, optimalizovaná



Obr. 19: Původní nastavené hodnoty



Obr. 20: Optimalizované hodnoty

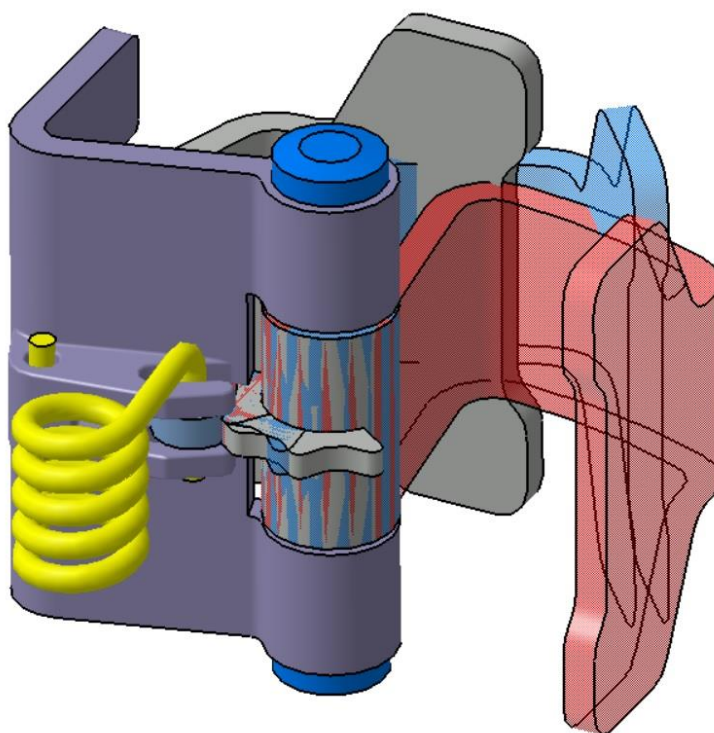
Diskuse – nalezené řešení výrazně zvětšuje rozsah, ale pozor, přechází přes singulární polohu. Mechanismus se „prolomí“, hrozí vzpříčení nebo špatné dovření dveří. Také silové poměry by nebyly výhodné a manipulace s dveřmi by díky tomu mohla být zhoršená. Do optimalizace by bylo možné zahrnout i

podmínku, aby mechanismus přes singulární polohu nepřecházel, například opět penalizací takového řešení.

Uvedený výsledek však slouží především k ilustraci, jakým postupem lze optimalizovat rozměry mechanismu. Nalezené řešení nakonec nebylo vybráno k dalšímu rozpracování, neboť firma MBtech preferovala jednodušší konstrukci.

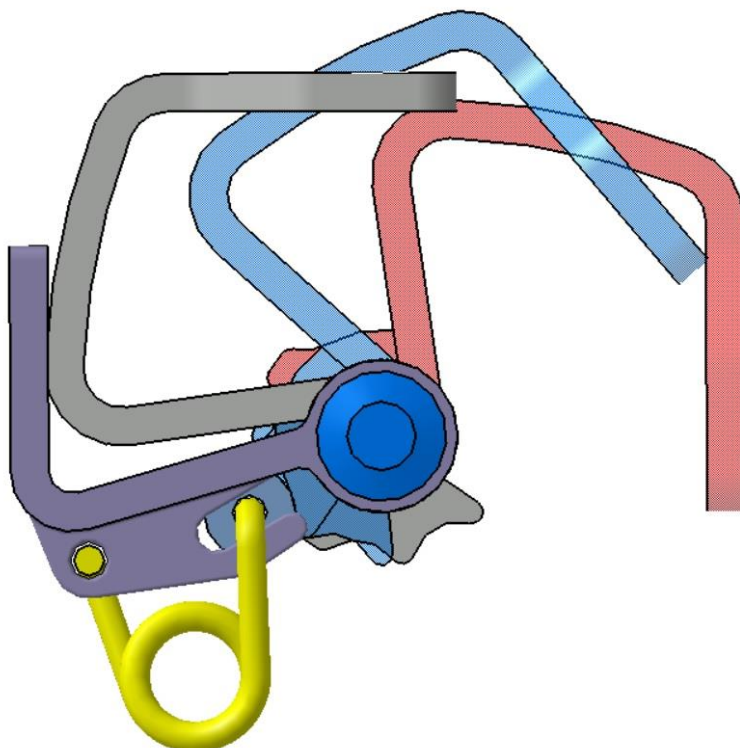
## 5. Řešení vybrané pro realizaci

Jelikož jednou z podmínek je sjednocení omezovače se závěsem tak, aby byla konstrukce snadno realizovatelná, řešený návrh z předchozí kapitoly nevyhovuje a to z důvodu složitější konstrukce. Na základě kritérií, která byla stanovená, je nejvhodnější návrh (2.4), výhodou je jednoduchá konstrukce, jak závěsu, tak i omezovače. Zároveň z hlediska požadavků stanovené firmou MBtech, která požadovala jednoduché řešení bez použití více ramen. Konstrukci lze vidět na Obr. 21.



Obr. 21: 3D model návrhu mechanismu 2.4  
Zdroj: Vlastní model vytvořený v systému CATIA V5 R21

Omezovač v tomto případě zkrutná pružina je jednoduché řešení. Závěs má 2 aretace, viz Obr. 22.



Obr. 22: 3D model závěsu a jeho pohled ze shora  
Zdroj: Vlastní model vytvořený v systému CATIA V5 R21

## Závěr

Dle zadání je v práci nejprve uveden stručný přehled používaných závěsů u automobilových dveří. Jednalo se jen o otočné dveře. Byly ukázány nástroje, jak by se nechaly optimalizovat rozměry na základě popisu rovinného mechanismu vektorovou metodou. Dále bylo provedeno naprogramování optimalizace pomocí procedury `fminsearch`, která hledá optimální rozměry z hlediska požadovaných parametrů. Navrhované systémy jsou zkoumané, zda by vyhovovaly a případně umožnily lepší manipulaci.

Na základě požadavků stanovené firmou MBtech, která požadovala jednoduché řešení, bylo vybráno nejjednodušší řešení a zároveň byl zpracován 3D model v CATIA V5 R21. Jelikož se u vybraného řešení jednalo o dvě tělesa spojená vazbou a nikoli o vícečlenný mechanismus, tak bylo možné rovnou provést optimalizaci v programu CATIA V5 R21 a není nutné provádět optimalizaci v prostředí MATLAB. Návrh je rozměrově uzpůsoben hasičskému vozu Tatra.

Nástroje popsané v této práci je možné použít pro optimalizaci složitějších mechanismu a nemusí se jednat jen o mechanismus otevírání dveří. Dá se říci, že tyto nástroje jsou univerzálně použitelné pro jakékoli rovinné mechanismy.

## Seznam obrázků

Obr. 1: Zjednodušený 2D model závěsu.....	9
Obr. 2: Zjednodušený 3D model mechanického zařízení pro realizaci otevření dveří.....	10
Obr. 3: Starší a novější provedení omezovače.....	11
Obr. 4: Omezovač používaný u modelu Škoda Superb 3.....	12
Obr. 5: Závěs modelu auta Var.R-line Highline 2,0 TDI BMT 6DSG SCR.....	14
Obr. 6: Omezovač modelu auta Var.R-line Highline 2,0 TDI BMT 6DSG SCR.....	14
Obr. 7: Závěs modelu auta Škoda Superb combi 2,0 TDI 140 KW 6-stup. mech.	16
Obr. 8: Závěs dveří modelu GLS SUV.....	17
Obr. 9: Závěs automobilu Citroën C5 Tourer.....	18
Obr. 10: Závěs dveří u hasičského vozu.....	19
Obr. 11: Model Lamborghini Aventador.....	20
Obr. 12: Závěs „Scissor doors“.....	21
Obr. 13: Mechanický model klikového mechanismu.....	22
Obr. 14: První návrh závěsu.....	24
Obr. 15: Druhý návrh závěsu.....	25
Obr. 16: Třetí návrh závěsu.....	26
Obr. 17: Čtvrtý návrh závěsu.....	27
Obr. 18: Řešení vektorovou metodou.....	29
Obr. 19: Původní nastavené hodnoty.....	35
Obr. 20: Optimalizované hodnoty.....	35
Obr. 21: 3D model návrhu mechanismu 2.4.....	37
Obr. 22: 3D model závěsu a jeho pohled ze shora.....	38



## Literatura

### Knižní publikace:

[1] Valášek, M., Stejskal, V., Březina, J. MECHANIKA A. Praha: nakladatelství ČVUT, 2007. stránky 2-8. ISBN 978-80-01-02890-2

[2] Valášek, M., Bauma, V., Šika, Z. MECHANIKA B. Praha: vydavatelství ČVUT, 2004. stránky 24-44. ISBN 80-01-02919-0

[3] Juliš, K., akademik ČSAV, Brepta, R., a kol. Mechanika I. díl Statika a kinematika. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury, 1986.