



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## ÚPRAVA ZÁVĚSU BOČNÍCH DVEŘÍ OSOBNÍHO AUTOMOBILU

MODIFYING OF A PASSENGER CAR DOOR HINGE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Klára Čermáková

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

BRNO 2016

## Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Studentka: **Bc. Klára Čermáková**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Automobilní a dopravní inženýrství  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.**  
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### Úprava závěsu bočních dveří osobního automobilu

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhnout konstrukční úpravu závěsu bočních dveří osobního automobilu.

#### Cíle diplomové práce:

Vybrat vhodný vysokopevnostní materiál závěsu dveří s ohledem na jeho dostupnost a efektivitu.

Vytvořit model závěsu bočních dveří z vysokopevnostního materiálu v programu Catia.

Provést pevnostní výpočet modelu závěsu.

Provést teoretické ověření sériové vyrobitelnosti závěsu.

Vytvořit výkresovou dokumentaci sloužící k výrobě prototypu závěsu.

#### Seznam literatury:

STONE, Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire: Palgrave, 1999. ISBN 0-333-74013-01999.

SKOTSKY, Alexander A. Automotive Engines. Springer Verlag, 2009, ISBN 978-3-642-00163-5.

JAN, Zdeněk a ŽDÁNSKÝ, Bronislav. Automobily (3): Motory. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-87143-15-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 19. 11. 2015



---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
ředitel ústavu



---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan



## ABSTRAKT

Úvodní část této diplomové práce poskytuje náhled do problematiky závěsů bočních dveří osobního automobilu. Praktická část práce se již zabývá úpravou stávajícího low-cost závěsu bočních dveří. Nejprve je zvolen materiál, který umožní snížení hmotnosti závěsu při zachování požadovaných mechanických vlastností. Následuje detailní popis modelu závěsu, který byl vytvořen v softwarovém programu Catia. V další části práce je popsáno tepelné zpracování a povrchová úprava závěsu, které zajistí jeho výsledné vlastnosti. Pro kontrolu pevnosti závěsu byl v programu Ansys simulován trhací test a test stability závěsu. Následně je poskytnut záznam z konzultace sériové vyrobiteľnosti závěsu a uvedeny nástřihové plány. K závěru je navržen postup montáže závěsu. Poslední část práce tvoří porovnání vytvořeného závěsu se dvěma obdobnými plechovými závěsy bočních dveří.

## KLÍČOVÁ SLOVA

závěs bočních dveří, trhací test, zatěžovací test, nástřihový plán, montážní postup

## ABSTRACT

This thesis introduces issues of passenger car side-door hinges. Practical part of this thesis deals with modifying the current low-cost side-door hinge for Edscha Automotive Kamenice s.r.o. First, material was chosen to decrease weight while maintaining the required mechanical properties. Then follows the detail design of the hinge model, which was created in the software program Catia. Heat and surface treatments are described. Both treatments ensures the hinge's final features. To verify the strength of the hinge, tensile and sag test was simulated in Ansys. Subsequently, record from the consultation of the hinge's manufacturability in series and the hinge's cutting plans are provided. At the end of the thesis, the assembling procedure is suggested. Final part of the thesis compares the developed low-cost hinge against two similar side door hinges.

## KEYWORDS

side door hinge, tensile test, sag test, cutting plan, assembling procedure



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ČERMÁKOVÁ, K. Úprava závěsu bočních dveří osobního automobilu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 85 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Václava Píštěka, DrSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2016

.....

Bc. Klára Čermáková



## PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych ráda poděkovala své rodině za podporu v životě i při studiu. Dále chci poděkovat zaměstnancům firmy Edscha Automotive Kamenice s.r.o. za cenné rady a připomínky. Další poděkování bych ráda věnovala panu Ing. Stanislavu Licehamrovi za zhotovení nástřihových plánů a poskytnutí odborných rad. Dále chci poděkovat panu Jiřímu Rottovi za neocenitelnou pomoc při tvorbě modelu závěsu. V neposlední řadě bych ráda poděkovala prof. Ing. Václavu Pištěkovi, DrSc. za ochotu a vedení diplomové práce.



## OBSAH

<b>Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>1 Závěsy bočních dveří osobního automobilu</b> .....	<b>11</b>
1.1 Specifické závěsy bočních dveří osobního automobilu .....	13
<b>2 Materiály používané na závěsy bočních dveří</b> .....	<b>17</b>
2.1 Nestandardní materiály používané pro závěsy bočních dveří .....	19
<b>3 Tepelné zpracování</b> .....	<b>21</b>
<b>4 Povrchová úprava Závěsů bočních dveří</b> .....	<b>22</b>
<b>5 Zkušební testy závěsů bočních dveří</b> .....	<b>25</b>
5.1 Trhací test .....	25
5.2 Test stability závěsu / Zatěžovací test.....	26
5.3 Test koncového dorazu .....	26
5.4 Korozní test.....	27
5.5 Měření momentu .....	28
5.6 Teplotní test .....	28
5.7 Životnostní test .....	28
5.8 Test vytržení závěsu.....	29
5.9 Test na vytlačení/protočení matice .....	29
5.10 Test na vytlačení čepu.....	29
<b>6 Stávající sériově vyráběný plechový závěs bočních dveří</b> .....	<b>30</b>
6.1 Materiály dílů.....	31
6.2 Výroba .....	32
6.3 Montáž .....	32
6.4 Výsledky testů.....	33
6.5 Svěžitelnost závěsu .....	33
6.6 Nevýhody závěsu .....	33
<b>7 Low-cost závěs bočních dveří</b> .....	<b>34</b>
7.1 Historie projektu .....	34
7.2 Nástříhový plán.....	36
7.3 Aktuální stav .....	36
7.4 Zástavba ve vozidle .....	37
7.5 Materiál použitý pro low-cost závěs .....	40
7.6 Výsledky testů.....	42
<b>8 Návrh low-cost závěsu</b> .....	<b>43</b>
8.1 Volba materiálu.....	43
8.2 Konstrukce LC závěsu z 3 mm plechu .....	45





8.2.1	Dveřní díl.....	47
8.2.2	Karosériový díl .....	49
8.2.3	Závěsový kolík .....	50
8.2.3	Matice .....	51
8.2.4	Podložka a pouzdro .....	51
8.3	Tepelné zpracování LC závěsu .....	52
8.4	Povrchová úprava LC závěsu: .....	52
<b>9</b>	<b>Napět'ová analýza LC závěsu .....</b>	<b>53</b>
9.1	Stanovení materiálových charakteristik.....	53
9.2	Předpětí šroubů .....	53
9.3	Simulace trhacího testu .....	55
9.3.1	Tvorba sítě .....	55
9.3.2	Zatěžování .....	56
9.3.3	Výsledky.....	57
9.4	Simulace testu stability závěsu .....	60
9.4.1	Zatěžování .....	61
9.4.2	Výsledky.....	62
<b>10</b>	<b>Ověření sériové výrobitelnosti lc závěsu.....</b>	<b>64</b>
10.1	Nástřihové plány .....	65
10.1.1	Nástřihový plán karosériového dílu.....	65
10.1.2	Nástřihový plán dveřního dílu .....	67
<b>11</b>	<b>Navrhovaný postup montáže lc závěsu .....</b>	<b>70</b>
11.1	Varianta 1 .....	70
11.1.1	Tok materiálu.....	72
11.1.2	Grafické znázornění procesu .....	73
11.2	Varianta 2 .....	74
11.2.1	Tok materiálu.....	75
11.2.2	Grafické znázornění procesu .....	76
<b>12</b>	<b>Porovnání plechových závěsů .....</b>	<b>78</b>
	<b>Závěr .....</b>	<b>80</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>84</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>85</b>



## ÚVOD

Výroba automobilů představuje jedno z nejdynamičtěji se rozvíjejících odvětví průmyslu dnešní doby. Zvyšující se požadavky zákazníků, stejně jako i stále se zpřísňující legislativa nutí automobilové firmy do neustálého vývoje a zlepšování svých vozidel. Jedním z trendů moderní doby je snaha snižovat hmotnost vozidel.

"Adding power makes you faster on the straights. Subtracting weight makes you faster everywhere." [1]

Colin Chapman - zakladatel firmy Lotus

Snížení hmotnosti za účelem zvýšení výkonu vozidla a zlepšení jeho jízdních vlastností se uplatňuje nejen u závodních speciálů, ale v dnešní době i u sériově vyráběných automobilů. Odlehčení vozidla má i další pozitivní důsledky jako je úspora spotřebovaného paliva nebo snížení množství produkovaných škodlivých emisí. Především tyto dva důsledky jsou velmi aktuálním tématem dnešní doby a představují jedny z nejdůležitějších parametrů, které mají vliv na úspěšný prodej vozidla. Nejen automobilové firmy, ale i jejich dodavatelé jsou tedy motivováni ke snižování hmotnosti svých produktů, při zachování pevnostních standardů.

Tato diplomová práce se zabývá úpravou low-cost závěsu bočních dveří osobního automobilu (dále jen LC závěs) pro firmu Edscha Automotive Kamenice s.r.o. (dále jen Edscha) s cílem snížit jeho hmotnost. Spolupráce na reálném projektu, nasbírání praktických zkušeností a podíl na snižování hmotnosti automobilu byly motivem pro výběr tohoto tématu diplomové práce.

Závěs bočních dveří představuje sice malý a nenápadný komponent, avšak má významný vliv na výsledné vlastnosti a komfort vozidla. Musí být schopen vydržet opakované otevírání a zavírání, které mnohdy není právě šetrné a přitom stále zajišťovat spolehlivé spojení karosérie s dveřmi. Jeho významná funkce je patrná i v případě nehody, kdy musí být schopen podpořit převod energie z nárazu do rámu vozu a do určité velikosti síly nárazu zajistit, že dveře půjdou stále otevřít a neuvězní tak pasažéry uvnitř. Uvedené vlastnosti jsou jen částí z celkového počtu požadavků, které jsou kladeny na závěsy bočních dveří osobních automobilů.

V úvodní části této diplomové práce je čtenář seznámen s problematikou závěsů bočních dveří osobního automobilu. Praktická část je již věnována části vývoje upraveného LC závěsu s využitím znalostí získaných při studiu a informací a materiálů z firmy Edscha. V závěrečné části práce je uvedeno porovnání vytvořeného závěsu s dvěma obdobnými plechovými závěsy bočních dveří.



## 1 ZÁVĚSY BOČNÍCH DVEŘÍ OSOBNÍHO AUTOMOBILU

Funkce závěsů bočních dveří se po dobu jejich existence nijak výrazně nezměnila, stále zůstává primární funkcí zajistit spolehlivé spojení karosérie s dveřmi. Avšak nároky kladené na tyto závěsy se neustále zvyšují. Vyrůstají požadavky na jejich funkci, bezpečnost, životnost a v poslední řadě i na jejich cenu. Jejich neustálý vývoj je tedy naprosto nezbytný.

U osobních automobilů se nejčastěji využívá dvou typů závěsů bočních dveří:

- klasický závěs

U tohoto typu závěsu dochází k otevření bočních dveří pomocí jejich částečné rotace okolo vertikální osy závěsu. Takovéto uspořádání je považováno za poměrně bezpečné, jelikož při snaze otevřít dveře za jízdy automobilu, působí proti odporu vzduchu, což ztěžuje jejich otevření



Obrázek 1: Automobil s klasickými závěsy bočních dveří [2]

- závěs posuvných dveří automobilu

Posuvné boční dveře řeší přístupnost vozidla zaparkovaného na malém prostoru. Ve srovnání s klasickým zavěšením je k jejich otevření potřeba jen minimum prostoru okolo vozidla a zároveň nabízejí široký vstupní otvor. Takovéto řešení se používá nejčastěji u větších a dodávkových vozidel.



Obrázek 2: Automobil se závěsy posuvných dveří [3]

Pro hromadný způsob výroby závěsů bočních dveří se nejčastěji používá lisování, kování nebo válcování z ocelových plechů a tyčí. Klasické závěsy bočních dveří lze tedy obecně rozdělit do skupin dle polotovaru používanému k jejich výrobě. Jedná se o závěsy vyráběné z:

- plechu
- profilu
- výkovku
- kombinace uvedených možností

Použití jednotlivých typů závěsu závisí na druhu dveří a zástavby, stejně jako na přání zákazníka.

### **Plech**

V případě vyššího počtu vyráběných kusů se závěs vyráběný z plechu stává po čase ekonomicky nejvýhodnějším. Prvotní investice jsou u tohoto typu však nejvyšší. Závěs je obvykle vyroben pouze pomocí operací stříhání a ohýbání. Z postupového nástroje tak vychází již hotový kus. Tento vyhotovený díl je dále určen přímo k montáži, odpadá tedy nutnost dalšího obrábění, což má příznivý vliv na výrobní cenu celého závěsu. Z hlediska pevnosti je však tento závěs nejméně odolný, proto se nejčastěji používá pro dveře s nižší hmotností.

### **Profil**

Profil používaný k výrobě tohoto typu závěsu je obráběn sérií po sobě následujících operací (frézování, vrtání, apod.), poté následuje jeho povrchová úprava a nakonec montáž. Pevnost takto vyrobeného závěsu je vyšší, než u závěsu vyrobeného z plechu, avšak vyšší je z pravidla i jeho výrobní cena.



## Výkovek

Výrobek je zhotoven ve formách pomocí zápusťového kování, kdy dochází ke zhuštění vláken materiálu, což závěsu propůjčuje výrazně vyšší pevnost. Tento způsob výroby však navyšuje i cenu dílu. Kované závěsy se nejčastěji používají k montáži na dveře s vyšší hmotností, dveře nákladních vozidel, na páté dveře automobilu, či v případě integrovaného závěsu s omezovačem dveří.

## Kombinace

Pokud uvedené závěsy nevyhovují, je možno použít jejich kombinace. Dojde k vytvoření závěsu, u kterého je každý díl zhotoven z jiného polotovaru. Jeden díl z profilu a druhý z výkovku představuje nejčastěji používanou kombinaci. Tímto způsobem je možné vyhovět i některým požadavkům, které při použití předchozích typů závěsů již není možné splnit. Příkladem může být požadavek na závěs s vhodnějšími zástavbovými rozměry při zachování jeho pevnosti. [4]

## 1.1 SPECIFICKÉ ZÁVĚSY BOČNÍCH DVEŘÍ OSOBNÍHO AUTOMOBILU

Požadavky některých zákazníků není možné splnit použitím standardních závěsů bočních dveří. Z tohoto důvodu byly vyvinuty specifické závěsy jako např.: FlexDoors, LSD, Access mobility hinges System, apod.

### Flex Doors

System FlexDoors je nestandardní typ otevírání bočních dveří, kdy jsou závěsy zadních dveří umístěny na C sloupku a dveře se otevírají v opačném směru, tedy proti směru jízdy vozidla. K otevření předních dveří dochází běžným způsobem.

Zadní dveře se otevírají v 90° úhlu, čímž vytvářejí větší vstupní otvor a zajišťují tak pohodlnější nastupování a vystupování, stejně jako snazší umístění dětské sedačky na zadní sedadlo. Otevírání zadních dveří proti směru jízdy poskytuje pasažérům na předních sedadlech vyšší kontrolu při vystupování dětí ze zadních míst. Současně otevřené přední i zadní dveře vytváří jakousi "bezpečnostní zónu", která brání dětem vkročit do jízdní dráhy vozidla. Pro zvýšení bezpečnosti jsou zde použity elektronické systémy, které zamezí rozjezdu vozidla, pokud jsou zadní dveře stále otevřeny nebo nesprávně dovřeny. [5] [6]



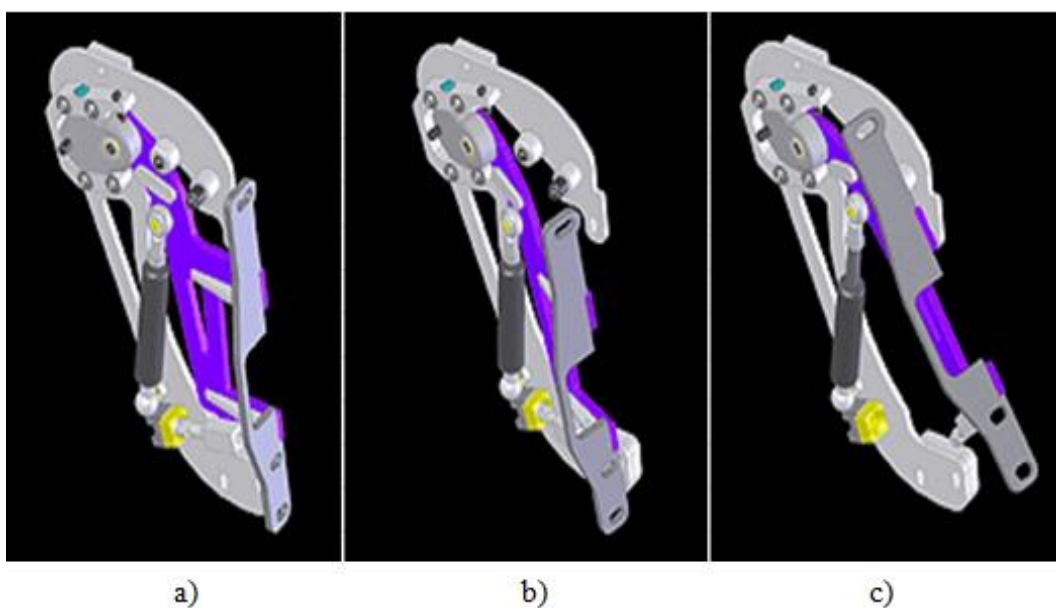
*Obrázek 3: Automobil se systémem Flex Doors [5]*

### **LSD (Lambo style doors)**

Toto zavěšení je jednou z možností, jak dosáhnout vertikálního otevírání dveří. Specifické závěsy umožňují přestavbu klasických bočních dveří na tzv. wing doors. U takového typu závěsu dojde nejdříve k otevření dveří v úhlu  $30^\circ$  okolo vertikální osy závěsu a poté je možné je plně otevřít směrem vzhůru. Vzhledem k hmotnosti dveří je tento pohyb podporován plynovou pružinou. [7]



Obrázek 5: Automobil s tzv. "Wing Doors" se zavěšením typu LSD [7]



Obrázek 4: Princip funkce zavěšení dveří typu LSD [7]  
 a) dveře se nacházejí v zavřené poloze, b) první pohyb dveří - otevření v úhlu 30° okolo vertikální osy závěsu, c) dveře se nacházejí v plně otevřené poloze směrem vzhůru



### Access mobility hinge system

Tento systém byl vyvinut speciálně pro lidi s pohybovým omezením. Systém disponuje závěsy dveří, které umožňují jejich úplné otevření v úhlu 180°, takže jsou paralelně s vozidlem. Tento způsob otevření poskytuje výrazně větší prostor při nastupování a vystupování z vozidla, což je vhodné zvláště pro pohybově postižené. [8]



Obrázek 6: Access mobility hinge system [8]





## 2 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ NA ZÁVĚSY BOČNÍCH DVEŘÍ

Na závěsy dveří motorových vozidel jsou kladeny mnohem vyšší nároky než na jiné závěsy, jako např.: na závěsy ve skříních, v budovách apod. Závěsy bočních dveří u automobilu musí mít dostatečnou pevnost i houževnatost a musí být velmi odolné proti opotřebení. Jejich rozměry musí být malé, hmotnost nízká a náklady na jejich výrobu přijatelné.

Volba vhodného materiálu významně ovlivňuje vlastnosti závěsu, stejně jako jeho cenu. K výrobě závěsů je nejčastěji používaná ocel. Avšak existují i závěsy, které jsou vyráběny z hliníkových slitin, uhlíkových kompozitů nebo jsou kombinací kovu a plastu.

**Ocel EN 10025-2-S355J2** je nejčastěji používaný materiál k výrobě závěsu z profilu a z výkovku

- nelegovaná jakostní konstrukční ocel
- vhodná ke svařování
- v případě tváření za tepla je nutné následné normalizační žihání k dosažení hodnot mechanických vlastností uvedených v tabulce

Tabulka 1: Hodnoty ocele EN 10025-2-S355J2

Chemické složení (%) max.		Mechanické vlastnosti
Ocel EN 10025-2-S355J2		
C	0.23 - 0.24	Mez kluzu [MPa]
Mn	1.7	275 - 355*
P	0.05	Mez pevnosti v tahu [MPa]
S	0.05	450 - 630*
Si	0.6	Tažnost [%]
Cu	0.6	17 - 22*

\* hodnoty se liší dle jmenovité tloušťky

Nejčastěji používaným materiálem k výrobě závěsu z plechu je **ocel S355MC dle EN 10149-2**.

- legovaná jakostní ocel
- určená pro tváření za studena



Tabulka 2: Hodnoty ocele EN 10149-2-S355MC

Chemické složení (%) max.		Mechanické vlastnosti
C	0,12	Mez kluzu [MPa]
Mn	1,50	min. 355
P	0,025	Mez pevnosti v tahu [MPa]
S	0,02	430 - 550
Si	0,50	Tažnost [%]
Nb	0,09	19 - 23*
V	0,20	
Ti	0,15	
Al <sub>celk.</sub>	min. 0,015	

\* hodnoty se liší dle jmenovité tloušťky  
Součet obsahu Ti, V a Nb musí být menší, než 0,22 %.

[4]

### Příklady materiálů používaných pro ostatní díly závěsu bočních dveří:

#### Čep závěsu

Ocel EN 10263-3-C15E2C

- nelegovaná ušlechtilá ocel vhodná k cementování
- vhodná k použití na malé součásti s nižší pevností v jádře (svorníky, čepy, apod.)

Tabulka 3: Hodnoty ocele EN 10263-3-C15E2C

Chemické složení (%)		Mechanické vlastnosti
C	0.13 - 0.17	Mez kluzu [MPa]
Mn	0.3 - 0.6	295 - 345*
P	max 0.025	Mez pevnosti v tahu [MPa]
S	max 0.025	490 - 1180*
Si	max 0.3	Tažnost [%]
Cu	max 0.025	9 - 14*

\* hodnoty se liší dle jmenovité tloušťky

[9]

#### Pouzdro

Ke snížení opotřebení, zvýšení životnosti a snížení hladiny hluku závěsu se používá metal-polymerové kluzné pouzdro na bázi Polytetrafluoretylenu (PTFE). PTFE je fluorovaný polymer, mezi jehož nejdůležitější vlastnosti patří:

- výborné kluzné vlastnosti
- nízký součinitel tření
- chemická odolnost



- kluzné vlastnosti
- teplotní stálost
- odolnost vůči korozi
- těsnící schopnosti, apod.

Materiál pouzdra se skládá ze 3 vrstev. Základ tvoří nosná podpora většinou z oceli nebo bronzu, prostřední vrstva se skládá ze slinutého bronzu, který je dále vyplněn fluorovaným polymerem. Nosná část zaručuje mechanickou pevnost, zatímco prostřední vrstva společně s PTFE je charakteristická svým velmi nízkým součinitelem tření a odolností vůči opotřebením. Složení jednotlivých vrstev se může lišit v závislosti na požadovaných vlastnostech pouzdra. [4] [10]



Obrázek 7: Příklad složení dvou různých pouzder s popisem vrstev [10]

### Podložka

Nároky na materiál používaný na výrobu podložky nejsou tak vysoké, jelikož podložka slouží pro ochranu ostatních částí při lisování čepu závěsu. Příkladem takového materiálu může být nízkouhlíková ocel DC01 dle EN 10139 s nižší mezí pevnosti i kluzu. [4]

### Závitový šroub

Materiál pro závitový šroub se liší dle typu závěsu a požadavků zákazníka. Obvykle se řídí normou EN 898-1 popisující mechanické vlastnosti spojovacích součástí z uhlíkové a legované oceli. [4]

## 2.1 NESTANDARDNÍ MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PRO ZÁVĚSY BOČNÍCH DVEŘÍ

### Hliníkové slitiny

Samotný hliník nemá potřebné vlastnosti pro jeho použití na závěsy dveří, z tohoto důvodu se používají jeho slitiny. Nejčastěji jsou používané slitiny třídy T5, T6 a T7, které jako dominantní přísady obsahují hořčík a křemík, popř. i mangan. Tyto přísady a následné tepelné zpracování zajistí požadované vlastnosti výsledného materiálu.

Hliníkové slitiny jsou dražší, mají nižší hmotnost, avšak i nižší pevnost než ocelové materiály používané na výrobu závěsů. Pro dosažení stejné pevnosti jakou disponují kovové závěsy, musí být tedy závěs vyráběn z této slitiny robustněji. I přesto je možné dosáhnout nižší



hmotnosti závěsu, což má příznivý dopad na spotřebu a tedy i emise automobilu. Používání hliníkových slitin je tedy z tohoto hlediska šetrnější k životnímu prostředí. [4]

### **CFK uhlíková vlákna (karbonová vlákna)**

Jedná se o vlákna skládající se převážně z atomů uhlíku v jeho různých modifikacích. Tato vlákna se vyznačují vysokou pevností a tuhostí. Při výrobě karbonového materiálu se nejprve vytvoří karbonová tkanina, neboli látka s hrubou vazbou. Tato látka se následně zalije lehkým a snadno tvarovatelným pojivem, např. pryskyřicí. Díky pojivu je po ztuhnutí možné docílit požadovaných tvarů vyráběného komponentu.

Uhlíková vlákna se vyznačují:

- nízkou měrnou hmotností
- vysokou pevností v tahu
- nízkou plastickou deformací při namáhání
- nehořlavostí
- odolností vůči chemickým vlivům
- apod.

Avšak nevýhodou uhlíkových vláken je:

- výrazně vyšší cena v porovnání s ostatními běžně používanými materiály na výrobu závěsů bočních dveří automobilu
- náročná a zdlouhavá výroba tvarově složitější součásti

Uvedené nevýhody jsou důvodem, proč se uhlíková vlákna nehodí pro sériovou výrobu závěsů bočních dveří automobilu a nacházejí uplatnění pouze v kusové výrobě. [11] [12]

### **Plast**

Plast se jako materiál pro závěsy bočních dveří téměř nepoužívá, elikož není schopen odolat vysokým teplotám používaným při lakování karosérie automobilu. Při těchto teplotách totiž již dochází k jeho degradaci. Ve srovnání s kovovými materiály má plast nižší pevnost a odolnost vůči opotřebení i otěru. V případě použití plastového materiálu se tedy přidávají kovové inserty, které zvýší pevnost výsledné součásti. Dalším důvodem použití kovovým insertů je nutnost zajištění potřebné životnosti funkčně významných částí. Jako příklad může sloužit závit. Plastový závit časem degraduje, čímž se snižuje jeho funkčnost. Tento problém je vyřešen právě použitím kovového závitu, který zajistí jeho potřebnou životnost. [4]



### 3 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

Tepelné zpracování ocelí se používá za účelem zlepšení jejich vlastností. Provádí se pomocí řízených změn teploty, při kterých dochází ke změnám vnitřní struktury materiálu. Mezi faktory, které významně ovlivňují výsledné vlastnosti oceli, patří:

- teplota
- délka výdrže na této teplotě
- rychlost ohřevu
- rychlost a způsob ochlazování

#### Způsoby tepelného zpracování:

- Žihání  
Žihání se používá k dosažení termodynamické rovnováhy struktury. Stabilní struktury se dosahuje procesem s velmi malou rychlostí změn teploty. Žihání se používá za účelem odstranění negativních vlivů z předchozích operací, k vyrovnání rozdílů v chemickém složení, ke snížení vnitřního pnutí, ke zjemnění struktury materiálu, apod. Používá se především jako mezioperační proces.
- Zušlechťování  
Jedná se o tepelné zpracování, které se skládá z kalení a následného vysokoteplotního popouštění. Zušlechťování se provádí za účelem dosažením struktury materiálu s příznivějšími mechanickými vlastnostmi.
  - Kalení  
Kalením dochází ke zvýšení tvrdosti ocele a její odolnosti vůči opotřebení. Při kalení dochází k ohřevu na austenizační teplotu. Při následné výdrži na této teplotě dochází k austenitizaci a k rozpouštění perlitických a feritických struktur. Následuje vysokorychlostní ochlazení, kdy dochází ke vzniku nerovnovážné struktury s vysokou tvrdostí.
  - Popouštění  
Po zakalení se materiál vyznačuje vysokou tvrdostí, avšak nízkou houževnatostí a vysokým vnitřním pnutím, proto po něm následuje ještě popouštění. V procesu popouštění se materiál znovu ohřívá na určitou teplotu, na které se udržuje po přesně stanovenou dobu a poté následuje řízené ochlazení.  
Popouštění je proces, který směřuje zpět k rovnovážnému stavu struktury. Klesá při něm tvrdost materiálu a vzrůstá jeho houževnatost. Je tedy nezbytné zvolit vhodnou kombinaci teploty a doby popouštění, aby bylo dosaženo požadovaných mechanických vlastností materiálu.

[13] [14]



## 4 POVRCHOVÁ ÚPRAVA ZÁVĚSŮ BOČNÍCH DVEŘÍ

Za povrchovou úpravu se považují všechny způsoby zpracování svrchní vrstvy materiálu, pomocí nichž získá komponent požadované povrchové vlastnosti.

Povrchové úpravy lze rozdělit do 3 skupin:

- povrchová úprava s ochrannou funkcí (zvýšení odolnosti proti korozi, otěru, teplotě, apod.)
- povrchová úprava s dekorativní funkcí (barevný odstín, lesk, apod.)
- povrchová úprava ke zlepšení vlastností (zvýšení tvrdosti, změna elektrické nebo tepelné vodivosti, apod.)

Před těmito úpravami je nutno zbavit povrch všech nečistot, což se provádí:

- mechanickou cestou (broušení, otryskávání, leštění, apod.)
- chemicky (odmašťování, moření, opalování, apod.)

Možnosti povrchové úpravy:

- Anorganická povrchová úprava, která se provádí chemickými nebo elektrochemickými procesy. Mezi takovéto formy úpravy patří např.: fosfátování a chromátování.
- Povlaky na kovové bázi, tzv. pokovování, kterého se dosahuje pomocí elektrolytického (galvanického) pokovování.
  - Kovové povlaky - zinkování, niklování, mědění, chromování, apod.
  - Slitinové povlaky - slitiny na bázi zinku, niklu, chromu, apod.
  - Disperzní (kompozitní) povlaky - kovové/slitinové povlaky s integrovanou nekovovou fází
- Nanášení povlaků ve vakuu
  - fyzikální (princip kondenzace kovu na povlakovaném substrátu)
  - chemické (povrchová vrstva se vytváří chemickou reakcí přiváděných sloučenin) - např.: karbid titanu, nitrid titanu, nitrid boru, nitrid křemíku, apod.
- Nátěrové hmoty - nejběžnější a ekonomicky výhodná metoda [15]

Nejběžnější povrchovou úpravou u závěsu bočních dveří je nanášení vrstvy zinku a zinek-niklu. Tyto úpravy zajišťují především vyšší odolnost vůči korozi. Vytvořený povlak tvoří bariéru mezi kovem a korozním prostředím, čímž výrazně prodlužuje životnost výrobku. [4]



## Zinkový povlak

Nanášení zinku se nejčastěji provádí galvanickým pozinkováním nebo žárovým zinkováním.

Galvanické zinkování je metoda využívající elektrolytického děje. Kdy se na obráběný komponent za působení elektrického proudu vylučuje zinkový povlak z roztoku s rozpuštěným zinkem. Tato metoda zaručuje vysoký estetický efekt, avšak má nižší odolnost vůči korozi a otěru.

Další metodou nanášení zinku je žárové zinkování ponorem, což je jeden z nejtrvanlivějších protikorozních zabezpečení ocele. Jedná se o metalurgický proces, při kterém se výrobek ponoří do lázně se zinkovou taveninou a následnou difúzní reakcí se základním materiálem je vytvářen zinkový povlak. Na rozhraní ocel-povlak jsou vytvářeny slitinové fáze, které zabezpečují velmi dobrou přilnavost povlaku. Mezi výhody žárového zinkování patří rovnoměrná tvorba neporézního povlaku po celém povrchu výrobku. Nanášení povlaku je prováděno v košových nebo závěsných systémech. Do košů se vkládá více součástí najednou. Jejich použití je tedy levnější variantou a používá se pro součásti menších rozměrů. Povlakování za použití závěsných systémů se vyznačuje vyšší cenou. Používá se pro součásti větších rozměrů a tam kde by v případě použití košů nemuselo dojít ke správnému zatečení taveniny a výsledný povlak by tak na některých místech nebyl dostatečný. Zinkový povlak zajišťuje nejen vysokou odolnost proti korozi, ale také odolnost vůči nárazu a otěru. Vrstva nanášeného zinku se většinou volí na 12  $\mu\text{m}$ . [16]

## Povlak Zinek-Nikl

Jedná se o slitinu zinku obsahující 12 - 15 % niklu. Povlak zinek-nikl se nejčastěji používá na rotační součásti, kde je nutná vyšší pevnost i odolnost vůči korozi.

Srovnání se zinkovým povlakem:

- nedochází k tvorbě kontaktní koroze s hliníkem a jeho sloučeninami
- několikanásobně vyšší odolnost vůči korozi
- vyšší tepelná stabilita povlaku daná vyšší teplotou tání
- vyšší tvrdost a tím i vyšší otěruvzdornost

[17]

## Olejování

Levnější, avšak i méně účinnou variantou ochrany proti korozi je olejování, které se používá spíše u větších součástí pro závěsy pátých dveří automobilu. V tomto případě se jedná o tzv. přepravní povrchovou úpravu, která chrání díl většinou jen po dobu přepravy dílu k zákazníkovi. Olejování poskytuje nižší ochranu vůči korozi, proto jsou na chemické složení výrobku kladeny vyšší nároky. Vyšší nároky jsou kladeny rovněž při manipulaci s ošetřenými díly tak, aby nedošlo k otěru nanášené vrstvy oleje. Dále jsou kladeny vysoké nároky na kvalitu a chemické složení použitého oleje, tak aby nedošlo k znehodnocení lázně u zákazníka.

Tento způsob olejování je možné použít pouze v případě transportu komponentů na kratší vzdálenosti, v případě delších vzdáleností a zvláště v případě použití mořské dopravy je nutná



jeho úprava. Jednou z možností je použití kvalitnějšího oleje s vhodnějšími vlastnostmi a/nebo hermeticky uzavřených obalů. Obě tyto možnosti však mají vliv na výslednou cenu.

[4]





## 5 ZKUŠEBNÍ TESTY ZÁVĚSŮ BOČNÍCH DVEŘÍ

Zákazník dnešní doby je velmi náročný na dodanou kvalitu, stejně jako i na cenu výrobku. K zajištění své pozice na trhu musí být tedy firmy z různých segmentů schopny dodat takový výrobek, který dostojí požadavkům zákazníka na bezpečnost a spolehlivost, stejně jako požadavkům na kvalitu, komfort a spouště dalším. K ověření, zda má výrobek požadované vlastnosti, se tedy užívá nejrůznějších testů, které ve zkrácené době simulují reálný provoz výrobku v průběhu jeho životnosti.

Testování je možné provádět v simulačním programu na počítači nebo fyzicky v laboratoři. Testování v simulačním programu je obvykle rychlejší a méně nákladné, než fyzické testování. Avšak v těchto programech se vždy počítá s určitými zjednodušeními, proto jsou výsledky z takovýchto testů spíše orientační a nejčastěji se používají jako první způsob testování. Po nich obvykle následují ještě fyzické testy, které jsou nákladnější, ale poskytují výsledky více se blížící realitě.

Závěs bočních dveří osobního automobilu musí splňovat určité požadavky, jako např.: schopnost zajistit nesení dveří a jejich bezpečné a přesné otevírání a zavírání po celou dobu životnosti závěsu. Dalším kritériem, které musí závěs splňovat je jeho snadná montáž na vozidlo. K ověření splnění těchto požadavků se používají zkušební testy. Dále musí závěs splňovat určitá kritéria na bezpečnost. Tato kritéria zajišťují, aby i při nárazu do určité síly šly dveře stále otevřít a neuvěznily tak pasažéry uvnitř automobilu. Splnění těchto požadavků se již netestuje na samotném závěsu, ale na celém automobilu a to v dynamických testech jako např.: v tzv. Crash testech, které v Evropě zajišťuje organizace EuroNCAP.

### Kvazistatické zkušební testy závěsů bočních dveří

Jediným ze zákona daným testem je tzv. Trhací test, kdy závěs bočních dveří musí bez uvolnění vydržet příčné i podélné zatížení o velikosti 10 000 N. Další uvedené testy jsou prováděny na základě požadavků od zákazníka. Každý test se provádí vždy na 3 dílech pro jeden typ závěsu. Základní hodnoty pro úspěšné složení testu jsou stanoveny normou ESN R-83100-001 / FMVSS 206. Avšak většina automobilových firem si tato kritéria dále zpřísňuje. Níže uvedené hodnoty jsou platné pro koncern Volkswagen.

U trhacího, zatěžovacího a životnostního testu, stejně jako u testu koncového dorazu jsou horní a spodní závěs testovány společně jako sada. Pro dosažení výsledků, co nejbližších reálnému provozu, jsou šrouby obvykle připevněny k testovacímu zařízení ve stejné poloze a za stejných podmínek (např.: použití předepsaných šroubů, jejich dotažení na požadovanou hodnotu, daná rozteč závěsů) jako ve vozidle. [4]

### 5.1 TRHACÍ TEST

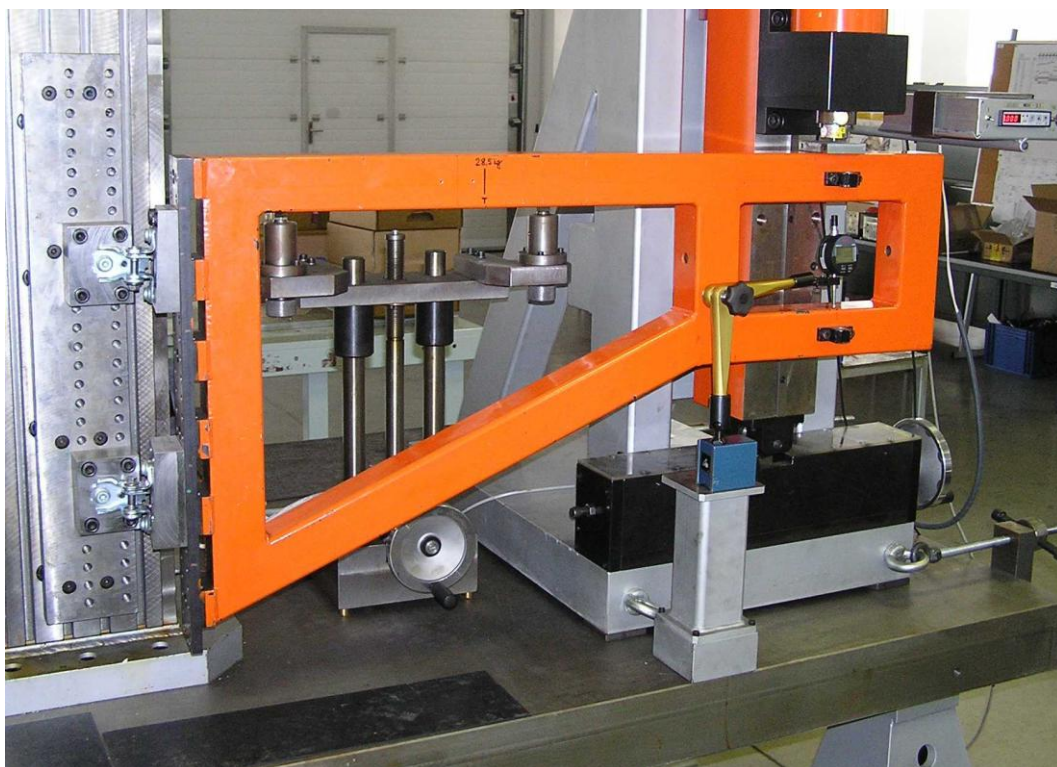
Závěsy jsou připevněny k testovacímu zařízení a provádí se tzv. "trhání" v podélném a příčném směru, tedy v ose x a y závěsu. Závěsy musí vydržet bez uvolnění příčné i podélné zatížení v hodnotě 25 000 N. Obvykle se však působící síla dále zvyšuje až do lomu některé části závěsu.



## 5.2 TEST STABILITY ZÁVĚSU / ZATĚŽOVACÍ TEST

Testované závěsy jsou připevněny k testovacímu zařízení a spojeny s rámem, jehož hmotnost je 30 kg a nahrazuje dveře vozidla. Rám je otevřen v úhlu  $5^\circ$  a ve vzdálenosti 1 metru od závěsů zatěžován. Zatížení se postupně zvyšuje, obvykle po 100 nebo 200 N až do plného zatížení 1000 N. Při každém zatížení se po 90 s měří plasticko-elastická deformace a po 120 s po odlehčení je změřena plastická deformace.

- Závěs zatížení na hodnotu 1000 N musí splňovat tato kritéria:
- Plasticko-elastická deformace max. 5 mm
  - Plastická (trvalá) deformace max. 0,3 mm



Obrázek 8: Zařízení pro testování stability závěsu [4]

## 5.3 TEST KONCOVÉHO DORAZU

Testované závěsy jsou upevněny podobně jako v předchozím testu, těžiště rámu se nachází ve vzdálenosti 500 mm od osy závěsů. Rám je umístěn do polohy plného otevření a závěsy jsou opřeny o koncové dorazy. Dále je rám předepnut referenční silou o velikosti 25 N působící ve směru otevírání dveří. Rameno síly se opět nachází ve vzdálenosti 1000 mm od osy závěsů. Provádí se zatěžování závěsů, které se postupně po 50 N zvyšuje a odlehčuje zpět na původní referenční sílu. Tento postup se opakuje, až do zatížení silou 200 N. Při každém kroku se provádí měření úhlové deformace při zatížení a dále plastické úhlové deformace po odlehčení.

K úspěšnému splnění testu musí být plastická deformace po zatížení 200 N menší než  $3^\circ$ .



Obrázek 9: Zařízení pro testování koncového dorazu závěsu [4]

## 5.4 KOROZNÍ TEST

Závěsy jsou umístěny do solné komory a korozní zkouška se provádí dle normy EN ISO 9227 NSS. Dle povrchové úpravy je stanovena zkušební doba. Například pro povrchovou úpravu c340 (pozinkování) dle VW 13750 / TL 217 jsou stanoveny dvě zkušební doby. Pro splnění požadavků testu musí závěs splnit následující podmínky:

Tabulka 4: Parametry korozního testu

Název koroze	Zkušební doba	Podmínka
Bílá koroze	6 hodin	Žádná koroze zinkového povlaku
Červená koroze	96 hodin	Žádná koroze základního materiálu



Obrázek 10: Díly po skončení testu s patrnou bílou korozí [4]

## 5.5 MĚŘENÍ MOMENTU

Měří se stálost momentu v závislosti na teplotě. Na začátku testování jsou při pokojové teplotě změřeny ovládací momenty závěsů a to ve směru otevírání a zavírání. Poté následuje jejich ochlazení na teplotu  $-40^{\circ}\text{C}$  a postupný ohřev na teplotu  $+80^{\circ}\text{C}$ . Po ochlazení na vzduchu zpět na pokojovou teplotu musí být maximální odchylka od původních hodnot momentu menší než 20 %.

## 5.6 TEPLOTNÍ TEST

Teplotní test slouží k simulaci procesu lakování. Z tohoto důvodu se závěsy ohřejí na teplotu  $210^{\circ}\text{C}$ , při které setrvají 120 minut a následuje jejich ochlazení na vzduchu zpět na pokojovou teplotu. Ovládací momenty musí poté ležet v rozsahu 0,1 - 3,0 Nm.

## 5.7 ŽIVOTNOSTNÍ TEST

Závěsy se testují společně s omezovačem dveří. Všechny součásti jsou tedy namontovány na zkušební stroj a připojeny k rámu. K rámu je dále připojen pohon (často se používá pneumatického pohonu), který zajišťuje jeho otevírání a zavírání. Rychlost otevírání je nastavena na cca 0,8 m/s s frekvencí 4 - 5 cyklů/min. Pro každý pár závěsu je provedeno 100 000 cyklů, přičemž každých 10 000 cyklů je proveden postřik roztokem vody s 5 % NaCl a 7 % arizonského prachu. Pravidelně je prováděno sledování. Po dokončení testu musí být závěsy funkční, bez mechanického poškození, bez vůle a nesmí dojít ke zvýšení jejich hlučnosti.



Obrázek 11: Zařízení používané na životnostní testy závěsů [4]

## 5.8 TEST VYTRŽENÍ ZÁVITU

Při pokojové teplotě se testuje odolnost závitu proti jeho vytržení. Zaznamenává se dosažená síla při vytržení závitu nebo přetržení šroubu. Pro jednotlivé druhy závitu a šroubu je uvedena axiální síla, kterou musí testovaný komponent vydržet. Zaznamenaná dosažená síla musí být tedy menší.

## 5.9 TEST NA VYTLAČENÍ/PROTOČENÍ MATICE

Při pokojové teplotě se testuje odolnost matice proti jejímu vytlačení a protočení. Podobně jako u testu vytržení závitu se požadovaná síla, kterou musí matice vydržet, liší dle jejího druhu.

## 5.10 TEST NA VYTLAČENÍ ČEPU

Při pokojové teplotě se testuje odolnost závitového šroubu proti jeho vytlačení. Minimální požadovaná síla se opět liší dle druhu použitého šroubu.

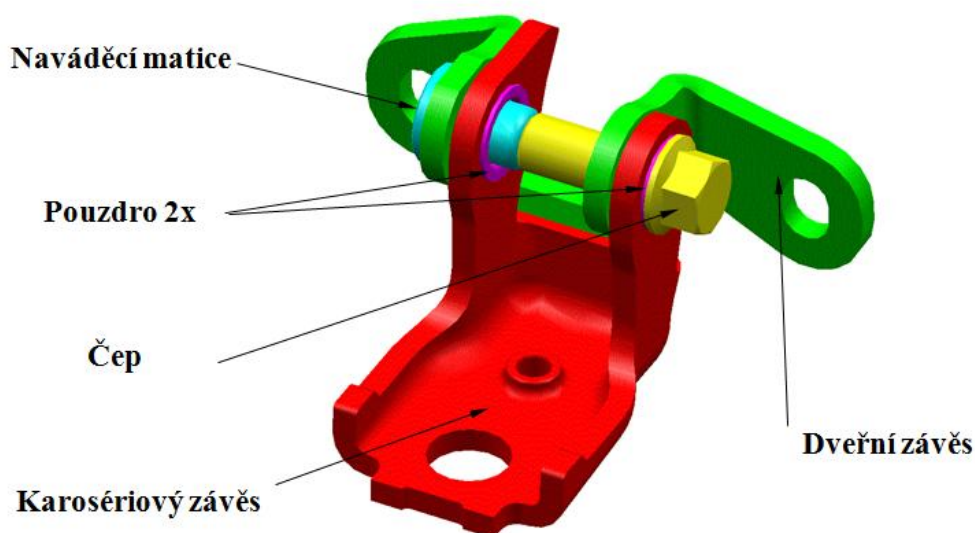
[4]



## 6 STÁVAJÍCÍ SÉRIOVĚ VYRÁBĚNÝ PLECHOVÝ ZÁVĚS BOČNÍCH DVEŘÍ

K upevnění dveří u menších a středních vozidel je možné použít plechové závěsy bočních dveří, jejichž velkosériová výroba je levnější, než u kovaných nebo profilových závěsů. A zároveň je pevnost plechového materiálu pro tyto vozidla stále dostačující.

Existují různé závěsy bočních dveří vyráběných z plechu. Jedním z nich je i závěs používaný automobilkou Škoda. Tento závěs se skládá ze dvou dílů, které jsou vyráběny lisováním z plechu. Do obou dílů se následně vytvářejí otvory, které slouží k připevnění ke karoserii nebo ke dveřím. Další vystříhované souosé otvory jsou určeny pro čep, který společně s maticí spojuje obě části závěsu do jednoho celku. Ke zvýšení komfortu a životnosti spoje jsou v otvorech pro čep uložena 2 pouzdra. [4]



Obrázek 12: Stávající sériově vyráběný plechový závěs bočních dveří [4]

### Charakteristická data

Váha závěsu	320 g
Tloušťka použitého plechu	4,5 mm
Operační moment závěsu	0,2 - 3 Nm



## 6.1 MATERIÁLY DÍLŮ

Tabulka 5: Materiály a povrchová úprava dílů plechového závěsu

Díl	Norma	Materiál	Norma - povrchová úprava
Karosériový díl	EN 10111	DD 13	VW 13750
Dveřní díl	EN 10149 - 2	S355MC	VW 13750
		<b>Pevnostní třída</b>	
Čep	EN ISO898 - 1	8,8	VW 13750
Matice	EN 20898 - 2	8	VW 13750
		<b>Typ</b>	<b>Povrchová úprava</b>
Pouzdro		NG-M 0,75	Fe/Zn8/B

Karosériový díl

norma EN 10111

materiál DD 13

Ocel určená k lisování a tváření za studena.

Tabulka 6: Hodnoty ocele EN 10111-DD13

Chemické složení (%) max.		Mechanické vlastnosti
C	0,08	Mez kluzu [MPa]
Mn	max. 0,04	170 - 310*
P	max. 0,03	Mez pevnosti v tahu [MPa]
S	max. 0,03	400
		Tažnost [mm]
		33

\* hodnoty se liší dle jmenovité tloušťky

[19] [20]

Dveřní díl

norma EN 10149 - 2

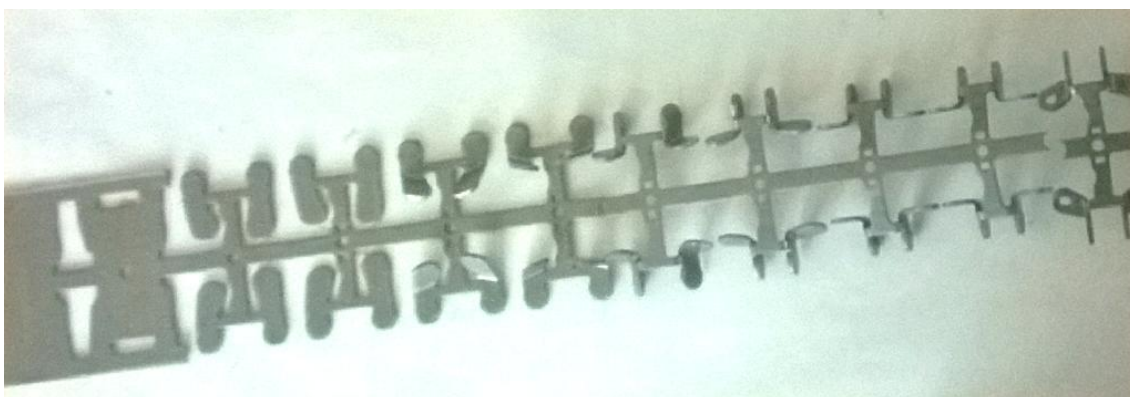
materiál S355MC

Materiál použitý na dveřní díl je legovaná jakostní ocel určená ke tváření za studena. Hodnoty oceli jsou uvedeny v tabulce 2.

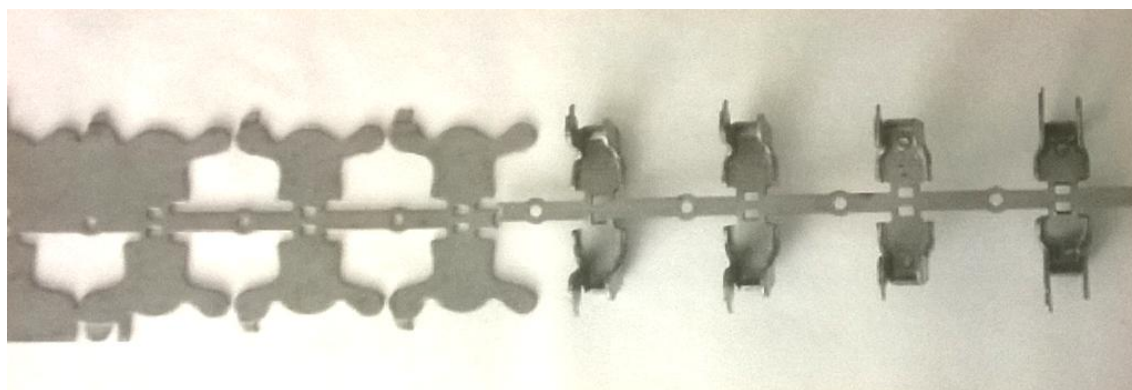


## 6.2 VÝROBA

Výroba dveřního i karosériového dílu se provádí lisováním z pásu plechu. Výroba probíhá v několika po sobě následujících operacích a vždy se vyrábí levý a pravý kus závěsu současně (viz. obrázek). Toto uspořádání se volí nejen z důvodu úspory materiálu, ale i z důvodu rozložení sil při lisování. U dveřního i karosériového dílu dochází nejprve k vyrovnání srolovaného plechu, dále k vystřížení základního obrysu a prostředního otvoru pro hrot sloužící k uchycení plechu při dalších operacích. Následným postupným vystřihováním jednotlivých částí a otvorů, stejně jako ohýbáním se docílí konečného tvaru součástí.



Obrázek 13: Ukázka výroby dveřního dílu na postupovém lisu [4]



Obrázek 14: Ukázka výroby karosériového dílu na postupovém lisu [4]

## 6.3 MONTÁŽ

Montáž začíná vložením pouzdra do pozinkovaného dílu, následuje rozlemování jeho okrajů a kalibrace průměru pouzdra. V další operaci se do pouzdra vkládá čep, následuje přidání podložky a roznýtování čepu na podložku. Následuje vložení druhého dílu závěsu na čep a zašroubování matice. Závit je dotažen na moment o velikosti 10 Nm. Po tomto kroku přichází na řadu měření momentu závěsu, přičemž jeho velikost musí ležet v rozmezí 0,5 – 3,5 Nm. Na konec je provedeno značení dílu a jeho finální kontrola. [4]





## 6.4 VÝSLEDKY TESTŮ

Tabulka 7: Výsledky zkušebních testů plechového závěsu [4]

Test	Požadavky			Výsledky
Trhací test	Podélná síla	[kN]	25	33,72 - 38,41
	Příčná síla	[kN]	25	49,96 - 51,47
Test stability závěsu	Max. elastická deformace	[mm]	5	2,72 - 2,99
	Max. plastická deformace	[°]	0,3	0,24 - 0,3
Test koncového dorazu	Max. plastická úhlová def.	[°]	3° 00'	1°40' - 2°00'
Korozní test	96 hodin bez koroze základního materiálu			OK
Teplotní test	Moment na konci testu	[Nm]	0,1 - 4	0,2 - 0,3
Životnostní test	100 000 cyklů bez ztráty funkčnosti			OK
Test vytržení závitu	Axiální síla	[kN]	31,8	41,11 - 42,48

## 6.5 SVĚŠITELNOST ZÁVĚSU

Předností tohoto závěsu je jeho svěšitelnost, což je funkce, která usnadňuje opětovnou montáž karosérie a dveří. Při montáži vozidla je jedním z kroků montáž dveří na karosérii pomocí závěsu bočních dveří. Poté následuje rozebrání spoje závěsu, přičemž dveřní část zůstává připevněna ke dveřím a karoséřiová část je stále namontována na karosérii vozidla. Dveře i karosérie vozidla poté pokračují po samostatných ramenech linky, kde dochází k montáži ostatních dílů na obě části. Po jejich dokončení je nutné připevnit dveře zpět ke karosérii. V tomto kroku se právě projevuje již zmíněná svěšitelnost závěsu, kdy naváděcí matice zalisovaná ve dveřním dílu závěsu (viz. obr ..... ) pomáhá při navádění do přesné polohy při opětovné montáži dveří zpět ke karosérii. Dalším pomocným prvkem je protější oko závěsu, kudy prochází čep závěsu. Tento čep je následně zašroubován do naváděcí matice. Pokud by při demontáži dveří došlo k rozpojení závěsu v jiné části než v tomto spoji, bylo by při opětovné montáži nutné znovu hledat přesnou polohu dveří, jelikož ostatní spoje mají určitou vůli. Svěšitelnost závěsu tedy ulehčuje pracovníkovi práci a snižuje čas potřebný k vykonání tohoto kroku. [4]

## 6.6 NEVÝHODY ZÁVĚSU

Jednou z nevýhod závěsu je vysoký počet dílů. Další nevýhodou představují velké prostřihy, které vznikají při vystřihování z plechového materiálu. Využití materiálu při výrobě tohoto plechového závěsu je poměrně nízké - karoséřiový díl 36 % a dveřní díl 33 %. Z důvodu požadavku na závěs bočních dveří, který by se z pevnostního hlediska minimálně vyrovnal stávajícím sériově vyráběným závěsům a zároveň odstranil jejich výše uvedené nedostatky, byl vytvořen LC závěs bočních dveří. [4]



## 7 LOW-COST ZÁVĚS BOČNÍCH DVEŘÍ

Požadavkem bylo vytvořit plechový závěs bočních dveří, který bude pouze jednooký. Byl tedy vyvinut plechový závěs skládající se ze dvou dílů - karosériového a dveřního, tzv. Low-cost závěs (dále jen LC závěs). V obou dílech jsou vytvořeny otvory pro připevnění ke karosérii, resp. ke dveřím automobilu. Další vytvořené otvory jsou určeny ke spojení obou dílů v jeden celek. Toto spojení je realizováno jako rozebíratelné pomocí spojovacího kolíku a matice. Ke zvýšení komfortu a životnosti spoje je v otvoru zalisováno pouzdro.

Výhodami takového řešení jsou úspora materiálu, nižší počet komponentů, snížená hmotnost a ekonomicky výhodnější výroba závěsu.

### 7.1 HISTORIE PROJEKTU

Jako první návrh byl vytvořen zjednodušený modelový koncept bez koncového dorazu. Prototyp byl frézován z plného materiálu a určen pro testování. V této fázi se prováděl pouze trhací test a test stability závěsu. Materiál byl zvolen S355MC a po dohodě se zákazníkem byla hodnota plastické deformace u testu stability závěsu zvednuta z 0,3 mm na 0,6 mm. Tento prototyp splňoval požadavky trhacího testu, avšak hodnoty jeho deformací v testu stability závěsu byly příliš vysoké.

Bylo vytvořeno několik variant a provedeno mnoho modifikací dílů s cílem optimalizace celého závěsu a splnění požadavků ve zkušebních testech. Příklady provedených modifikací prvotního návrhu:

- Přidání koncového dorazu závěsu
- Vyztužení oka závěsu z důvodu zvýšení jeho pevnosti
- Zkrácení dveřního dílu (při testu stability závěsu docházelo k jeho odklonu od rámu), což přispělo k vyztužení celého závěsu).
- Změna materiálu - materiál S355 MC nesplňoval požadovaná kritéria plastické deformace při testování stability závěsu. Na karosériový díl byl tedy použit materiál S420 MC. Výroba dveřního dílu není tak náročná na ohyb jako výroba karosériového dílu, proto byl použit materiál S460 MC, který má vyšší pevnost, avšak horší tažnost. Po testování bylo však zjištěno, že s použitím tohoto materiálu nastává problém v kritických místech závěsu. Při výrobě již nebyl materiál ohýbán, ale tažen, což vedlo k jeho zeslabení a k tvorbě trhlin. Z tohoto důvodu byl na oba díly použit materiál S420 MC.
- Změna typu a velikosti šroubu, matice i pouzdra
- Přidání rádlování u nalisované matice, které zamezí jejímu protočení
- Vytvoření vyhrdlení na obou dílech - zvětšení styčné plochy pouzdra vede ke zvýšení pevnosti celého spoje. Toto místo bylo nejslabší při testech stability závěsu. Vyhrdlení bylo vytvořeno ve stejné velikosti na obou dílech a to z důvodu možnosti jejich záměny při montáži horního a spodního závěsu bočních dveří.
- Optimalizace tvaru závěsu z důvodu zástavby ve vozidle
- apod.

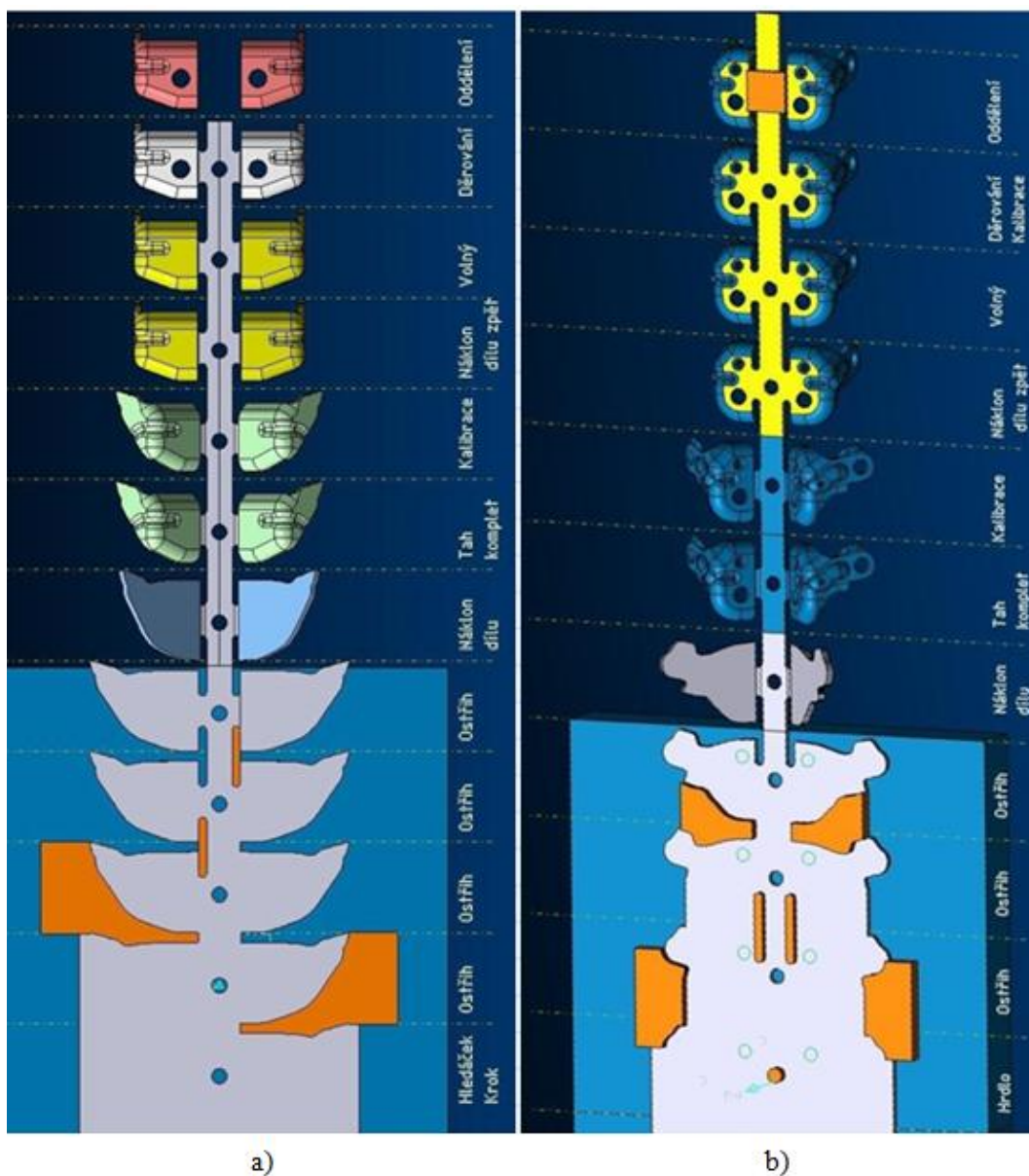
[4]



*Obrázek 15: a) 1. frézovaná varianta LC závěsu bez koncového dorazu, b) jedna z dalších variant LC závěsu [4]*



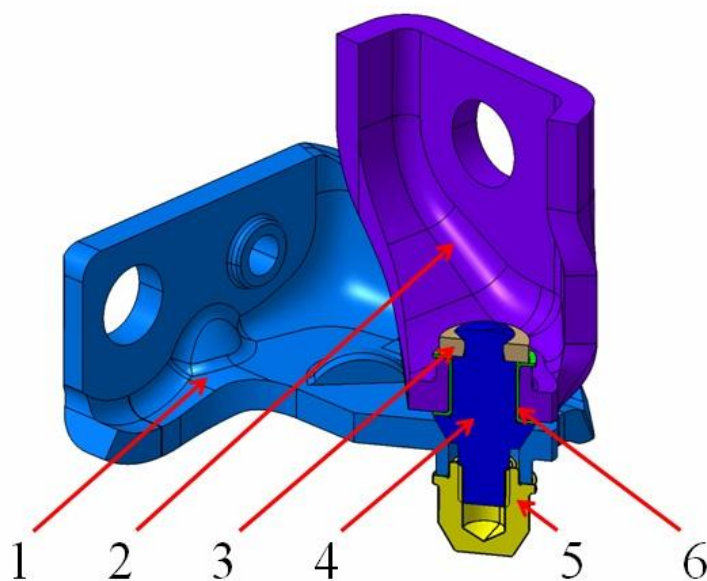
## 7.2 NÁSTŘIHOVÝ PLÁN



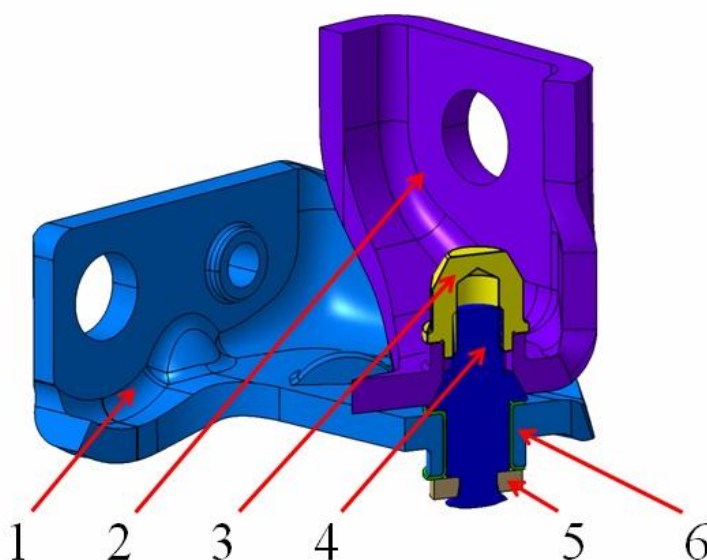
Obrázek 16: Nástřihové plány - a) dveřní díl, b) karosériový díl [4]

## 7.3 AKTUÁLNÍ STAV

Z ekonomických důvodů jsou závěsy bočních dveří vyráběny tak, aby pasovaly na všechny pozice v automobilu, tzn. na přední i zadní boční dveře a na nich do horní i spodní polohy. Tato vlastnost závěsů se nazývá modulová strategie. Při výrobě je pak možné použít stejné nástroje a postupy, což se příznivě promítne do ceny vyrobeného kusu. Jednotlivé závěsy umístěné na stejné straně vozidla jsou tedy identické a liší se pouze směrem, kterým jsou usazeny spojovací komponenty. V případě horního závěsu jsou při montáži zasazovány ze spodu a naopak pro dolní závěs je jejich montáž prováděna z vrchu. Tento rozdíl je způsoben nedostatkem místa při montáži z jedné či druhé strany závěsu. [4]



Obrázek 17: Řez spoje horního závěsu bočních dveří [4]  
 1 - karosériový díl, 2 - dveřní díl, 3 - matice, 4 - závěsový kolík, 5 - pouzdro, 6 - podložka



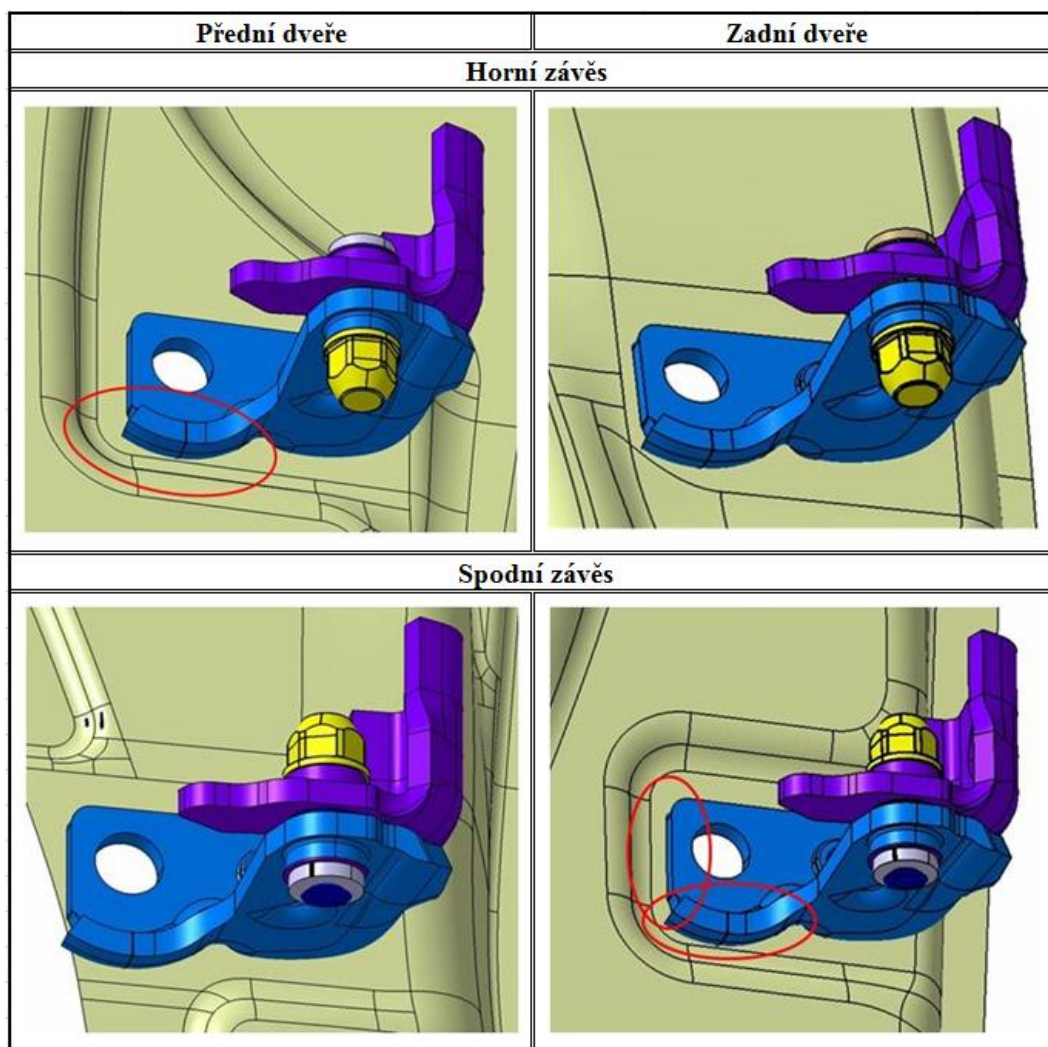
Obrázek 18: Řez spoje dolního závěsu bočních dveří [4]  
 1 - karosériový díl, 2 - dveřní díl, 3 - matice, 4 - závěsový kolík, 5 - pouzdro, 6 - podložka

## 7.4 ZÁSTAVBA VE VOZIDLE

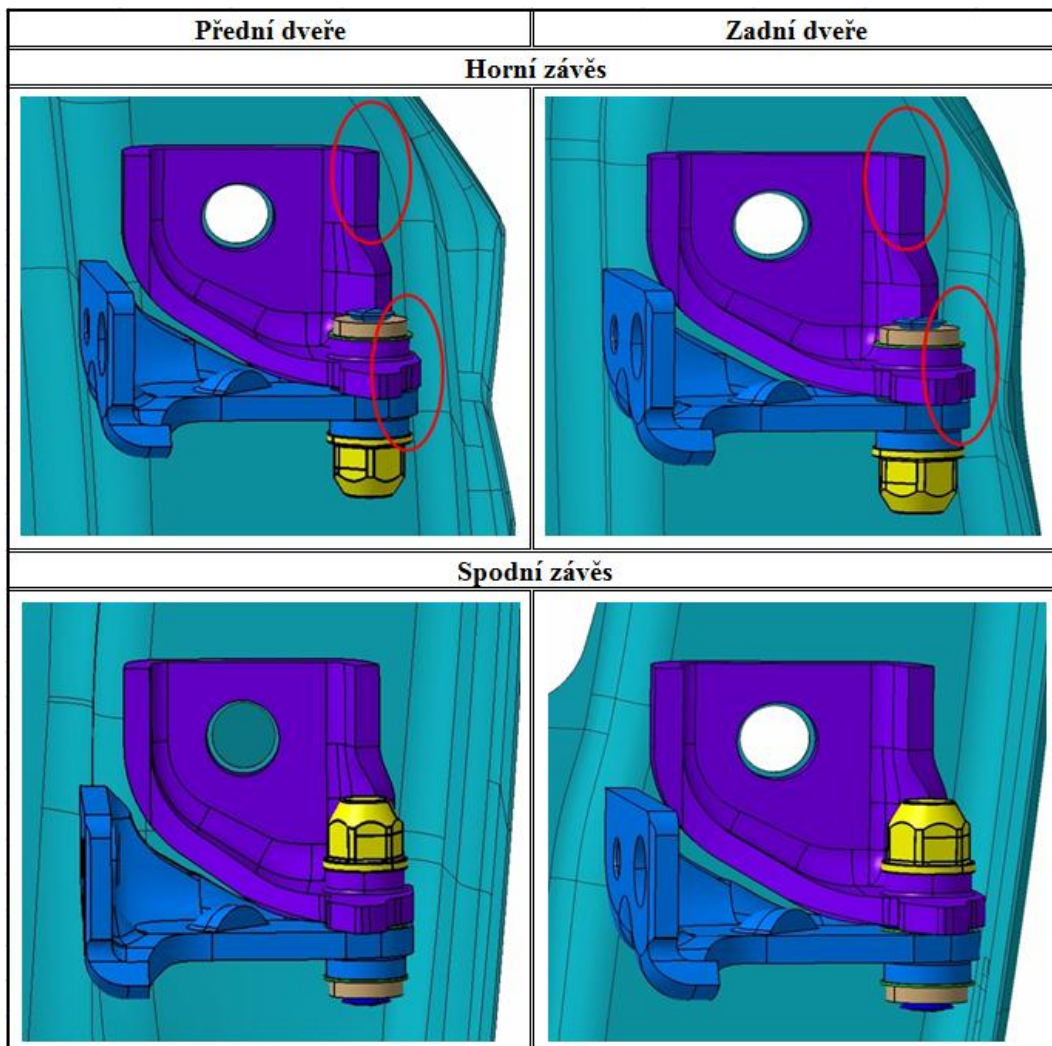
Geometrie závěsu musela být upravena tak, aby pasovala do dané zástavby a zároveň aby nedošlo ke kolizi závěsu s dveřmi při jejich otevírání a zavírání. Nejvíce omezujícím parametrem u karosériového dílu je velikost jeho dosedací plochy a tvar levého dolního rohu. Omezená velikost dosedací plochy klade další nároky na pevnostní charakteristiky materiálu dveřního dílu.



Z níže uvedených obrázků je patrné, že nejvíce kritická místa dveřního dílu se objevují na horním závěsu a to jak na předních, tak i na zadních dveřích. Problém s nedostatkem místa je tedy způsoben zaoblením v horní části dveří automobilu. Tímto parametrem je tedy limitována výška dveřního dílu a šířka jeho části nacházející se v okolí oka závěsu. Kritická místa jsou níže na obrázcích vyznačena červeně.



Obrázek 19: Zástavba původního LC závěsu na karosérii [4]



Obrázek 20: Zástavba původního LC závěsu na dveřích [4]



## 7.5 MATERIÁL POUŽITÝ PRO LOW-COST ZÁVĚS

Jako polotovar byl použit plech o tloušťce 5 mm s tolerancí  $\pm 0,34$  mm dle EN 10051-5. Materiál použitý na karosériový a dveřní díl LC závěsu je S420MC dle EN 10149-2.

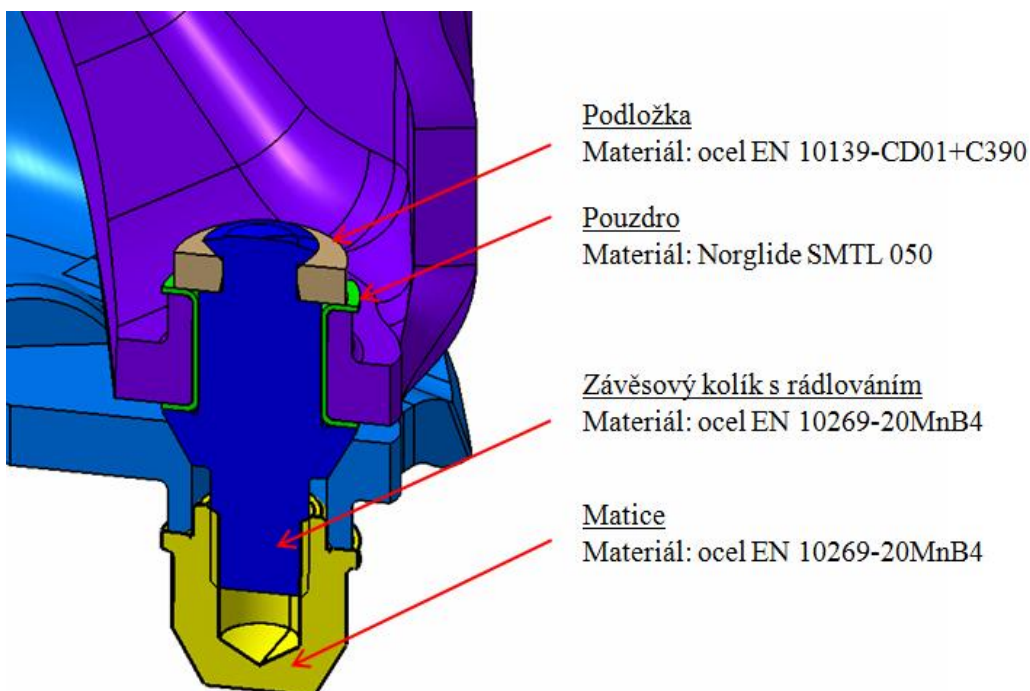
- legovaná jakostní ocel s vyšší mezí kluzu
- určená pro tváření za studena

Tabulka 8: Hodnoty ocele EN 10149-2-S420MC [4]

Chemické složení (%) max.		Mechanické vlastnosti
C	0,12	Mez kluzu [MPa]
Mn	1,60	min. 420
P	0,025	Mez pevnosti v tahu [MPa]
S	0,015	480 - 620
Si	0,50	Tažnost [mm]
Nb	0,09	16 - 19*
V	0,20	
Ti	0,15	
Al <sub>celk.</sub>	min. 0,015	

\* hodnoty se liší dle jmenovité tloušťky  
Součet obsahu Ti, V a Nb musí být menší, než 0,22 %.

### Materiál součástí spoje LC závěsu



Obrázek 21: Spoj LC závěsu s uvedenými materiály [4]





## Podložka

Použitá podložka slouží k ochraně pouzdra při lisování spoje, na její materiál tedy nejsou kladeny žádné specifické požadavky.

Tabulka 9: Hodnoty materiálu podložky [4]

Chemické složení (%)		Mechanické vlastnosti
C	0,12	Mez kluzu [MPa]
Mn	0.1	min. 310
P	0,045	Mez pevnosti v tahu [MPa]
S	0,045	390 - 540

## Kolík závěsu a zalisovaná matice

Závit LC závěsu určuje norma EN ISO 898-2. V tomto případě byl použit závit M8 se stoupáním 1,25 a zkušební silou 31 800 N. Použití rádlování RAA 0,8 DIN 82 a jeho kónický tvar výrazně zvyšují odolnost proti protočení šroubu a tím i únosnost spoje.

Ke spodní části matice byla ke zvýšení odolnosti spoje přidána část, která je po smontování zapuštěna do díry ve vyhrdlení karosériového či dveřního dílu. Při trhacím testu je tak spoj schopen odolat vyššímu zatížení, než dojde k jeho přestřižení.

Tabulka 10: Hodnoty materiálu EN 10269-20MnB4 [4]

Chemické složení (%)		Mechanické vlastnosti
C	0,18 - 0,23	Mez kluzu [MPa]
Mn	0,9 - 1,2	640
P	max. 0,025	Mez pevnosti v tahu [MPa]
S	max. 0,025	800 - 950
Si	≤ 0,3	Tažnost [%]
Al <sub>celk.</sub>	≥ 0,02	14
B	0,0008 - 0,005	
Cr	≤ 0,3	



a)



b)

Obrázek 22: a) matice, b) závěsový kolík s rádlováním [4]



## Pouzdro

V tomto závěsu bylo použito pouzdro Norglide SMTL, které se skládá z ocelové podpory a bronzové vložky vyplněné fluorovaným polymerem. Bronzová část je zvláště předlisována, což dodává pouzdru schopnost odolat vyšším hodnotám zatížení. Je tedy možné zmenšit tloušťku stěny pouzdra. V tomto případě bylo použito pouzdro o jmenovité tloušťce stěny 0,5 mm. [4]

Tabulka 11: Hodnoty materiálu pouzdra [4]

<b>Max. přípustné zatížení [MPa]</b>
240 - 300
<b>Deformace pod zatížením [<math>\mu\text{m}</math>]</b> (23 °C, 100 MPa, 1 hod)
$\leq 15$
<b>Koeficient tření</b>
0,1

## 7.6 VÝSLEDKY TESTŮ

Tabulka 12: Výsledky zkušebních testů původního LC závěsu [4]

Test	Požadavky			Výsledky
Trhací test	Podélná síla	[kN]	25	30,95
	Příčná síla	[kN]	25	32,42
Test stability závěsu	Max. elastická deformace	[mm]	5	3,14 - 4,37
	Max. plastická deformace	[°]	0,6	0,48 - 0,57
Test koncového dorazu	Max. plastická úhlová def.	[°]	3° 00'	0° 35' - 0° 40'
Korozní test	96 hodin bez koroze základního materiálu			OK
Životnostní test	100 000 cyklů bez ztráty funkčnosti			OK
Test vytržení závitů	Axiální síla	[kN]	31,8	43,2 - 44,3



## 8 NÁVRH LOW-COST ZÁVĚSU

Dalším požadavkem na výše popsaný LC závěs bylo snížení jeho váhy. Ke splnění tohoto požadavku bylo rozhodnuto vyrobit závěs z plechu o menší tloušťce a tím dosáhnout výrazného snížení hmotnosti. Materiál, ze kterého byl vyroben předchozí závěs, však nedisponuje takovými vlastnostmi, aby bylo možné jej použít i v tomto případě. Prvním krokem byl tedy výběr jiného, vhodnějšího materiálu. Dalším důvodem použití plechu o menší tloušťce bylo odstranění problémů při výrobě. Výroba původního závěsu z 5 mm plechu se totiž potýkala s problémy při ohýbání právě z důvodu vysoké tloušťky plechu. [4]

### 8.1 VOLBA MATERIÁLU

Vlastnosti zvoleného materiálu musí být takové, aby se pevnost nově vytvořeného závěsu minimálně vyrovnala předchozímu modelu. S ohledem na sériovou výrobu závěsu a jeho použití v kategorii menších vozidel byla dalším hodnotícím kritériem dostupnost a také cena materiálu. Tato kritéria byla důvodem, proč nebyly uvažovány hliníkové slitiny, uhlíková vlákna nebo jiné specifické materiály. Do úvahy byly tedy vzaty pouze běžně dostupné typy oceli s odpovídajícími vlastnostmi.

Materiál EN 10111 – DD13 (viz. Tabulka 6) použitý na karosériový díl původního plechového závěsu určeného pro Fabii byl v tomto případě naprosto nevhodný. Vzhledem k jeho nízkým hodnotám meze pevnosti by v tomto případě nebyl schopen odolat potřebnému zatížení.

Další možností bylo použití stejných materiálů jako při vývoji LC závěs o tloušťce 5 mm a tedy:

Tabulka 13: Vysokopevnostní mikrolegované ocele dle EN 10149-2 - chemické složení [4]

Ocel	Chemické složení % max.								
	C	Mn	Si	P	S	Al <sub>celk</sub> min.	Nb *	V *	Ti *
S315MC	0,12	1,3	0,5	0,025	0,02	0,015	0,09	0,2	0,15
S355MC	0,12	1,5	0,5	0,025	0,02	0,015	0,09	0,2	0,15
S420MC	0,12	1,6	0,5	0,025	0,015	0,015	0,09	0,2	0,15
S460MC	0,12	1,6	0,5	0,025	0,015	0,015	0,09	0,2	0,15

\* suma obsahu Nb, V a Ti musí být max. 0,22 %

Tabulka 14: Vysokopevnostní mikrolegované ocele dle EN 10149-2 - mechanické vlastnosti [4]

Ocel	Mechanické vlastnosti		
	R <sub>eH</sub>	R <sub>m</sub>	A [%]
S315MC	315	390 - 510	24
S355MC	355	430 - 550	23
S420MC	420	480 - 620	19
S460MC	460	520 - 670	17

Při vývoji bylo zjištěno, že materiál S315MC nedosahuje požadované pevnosti. Pro další testy byl tedy použit materiál S355MC, stejně jako byla postupně měněna i konstrukce závěsu. Závěs s tímto materiálem již byl schopen splnit kritéria většiny testů, avšak nedosahoval požadovaných hodnot při zatěžovacím a trhacím testu. Další volbou byly tedy materiály S420MC a S460MC. Mez pevnosti materiálu S460MC je sice poměrně vysoká, avšak jeho



tažnost nevyhovovala. Bylo zjištěno, že by při výrobě závěsu již v některých místech nedocházelo k ohýbání polotovaru, ale materiál by byl tažen. To by narušilo jeho strukturu a také oslabilo pevnost závěsu v těchto místech. Pro výrobu předchozího LC závěsu byl tedy zvolen materiál S420MC.

Z výsledků testů je patrné, že při snížené tloušťce plechu již mez pevnosti tohoto materiálu není dostačující a závěs by nebyl schopen odolat požadovanému zatížení. Bylo tedy nutné najít materiál s vyšší pevností.

Další uvažované materiály byly tedy kvalitné bórové ocele, které se po tepelném zpracování vyznačují vysokou pevností a tvrdostí, stejně jako odolností proti opotřebení a otěru. Přidání malého množství bóru navíc výrazně zvyšuje prokalitelnost ocele.

Tabulka 15: Kvalitné bórové ocele dle EN 10083-3 - chemické složení [4]

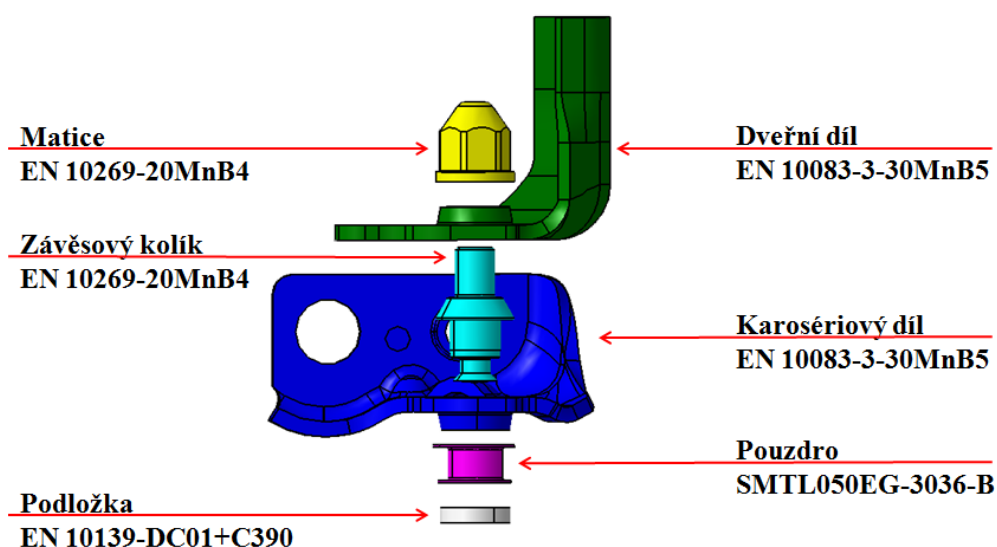
Ocel	Chemické složení %					
	C	Si max.	Mn	P max.	S max.	B
<b>20MnB5</b>	0,17 - 0,23	0,4	1,1 - 1,4	0,025	0,035	0,0008 - 0,005
<b>30MnB5</b>	0,27 - 0,33	0,4	1,15 - 1,45	0,025	0,035	0,0008 - 0,006
<b>38MnB5</b>	0,36 - 0,42	0,4	1,15 - 1,45	0,025	0,035	0,0008 - 0,007

Tabulka 16: Kvalitné bórové ocele dle EN 10083-3 - mechanické vlastnosti [4]

Ocel	Mechanické vlastnosti		
	R <sub>eH</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A [%]
<b>20MnB5</b>	700	900 - 1050	14
<b>30MnB5</b>	800	950 - 1150	13
<b>38MnB5</b>	900	1050 - 1250	12

S ohledem na dostupnost pro firmu Edscha bylo rozhodnuto použít materiál 30MnB5, který se vyznačuje vysokou pevností, dostatečnou houževnatostí a zároveň přijatelnou cenou.

Na závěsový kolík a matici byl použit stejný materiál jako u LC závěsu z 5 mm plechu. Materiál podložky i pouzdra zůstal také stejný.



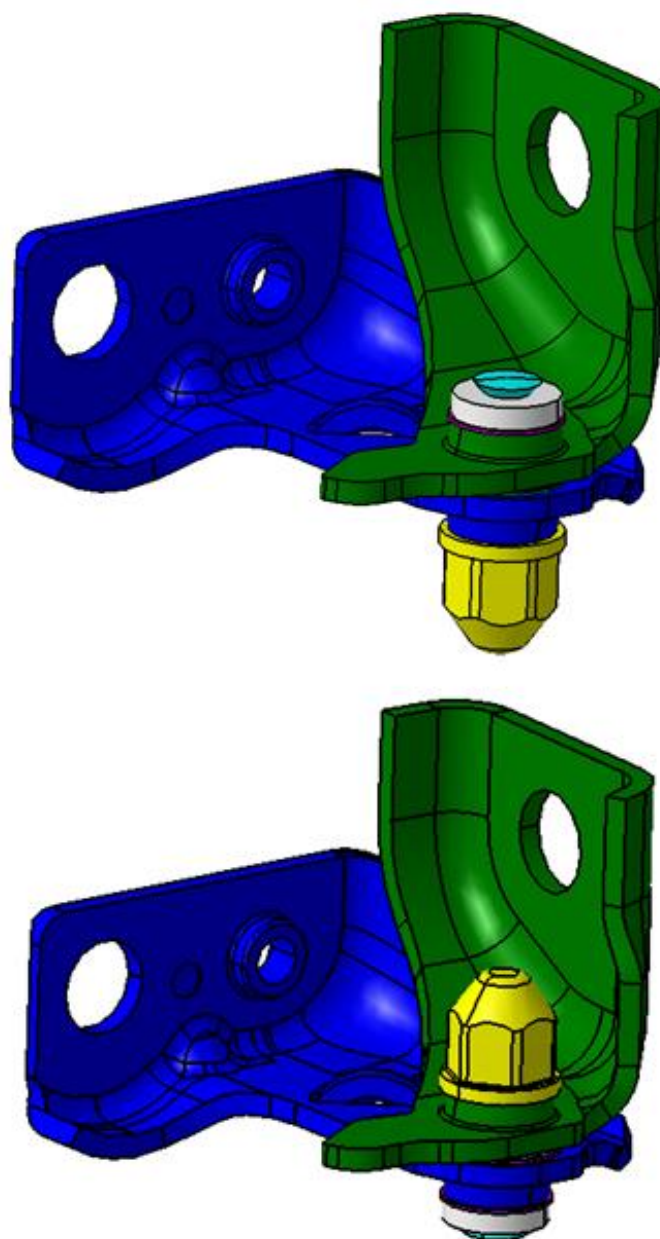
Obrázek 23: Zvolené materiály LC závěsu

## 8.2 KONSTRUKCE LC ZÁVĚSU Z 3 MM PLECHU

LC závěs z 3 mm plechu byl vytvořen v programu Catia V5R20. Konstrukce nového LC závěsu byla limitována mnoha faktory. Za prvé musely být zachovány zástavbové rozměry, dále velikosti a tvary dosedacích ploch závěsu. Dalším limitujícím faktorem byl požadavek na zachování některých částí závěsu, jejichž geometrie byla vytvořena a odzkoušena při vývoji předchozího modelu.

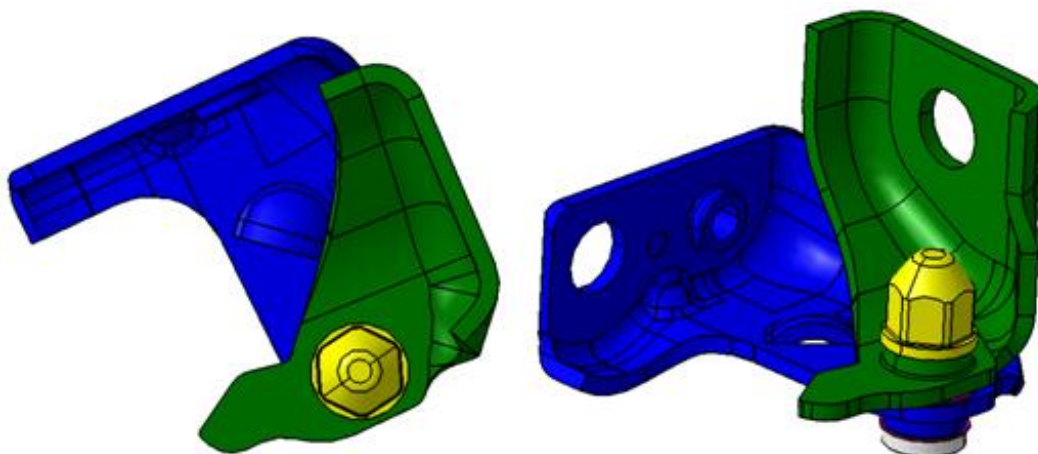


Vytvořený model:

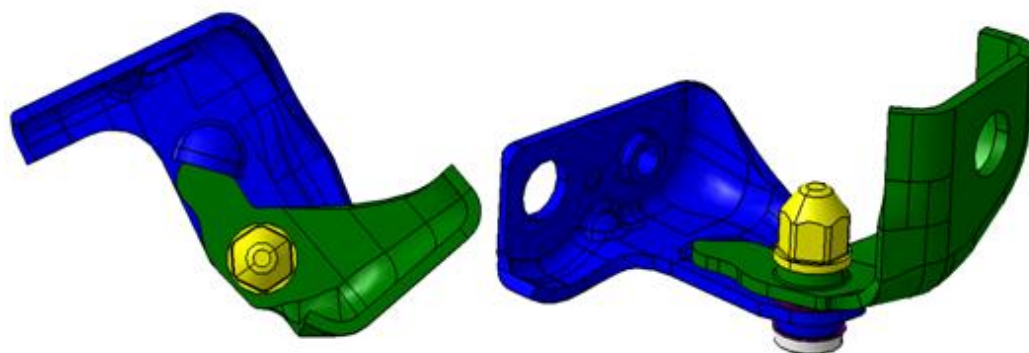


Obrázek 24: Horní a spodní díl LC závěsu

Vzhledem k tomu, že se spodní a vrchní díl liší pouze uspořádáním spoje, byl pro popis použit pouze spodní díl.

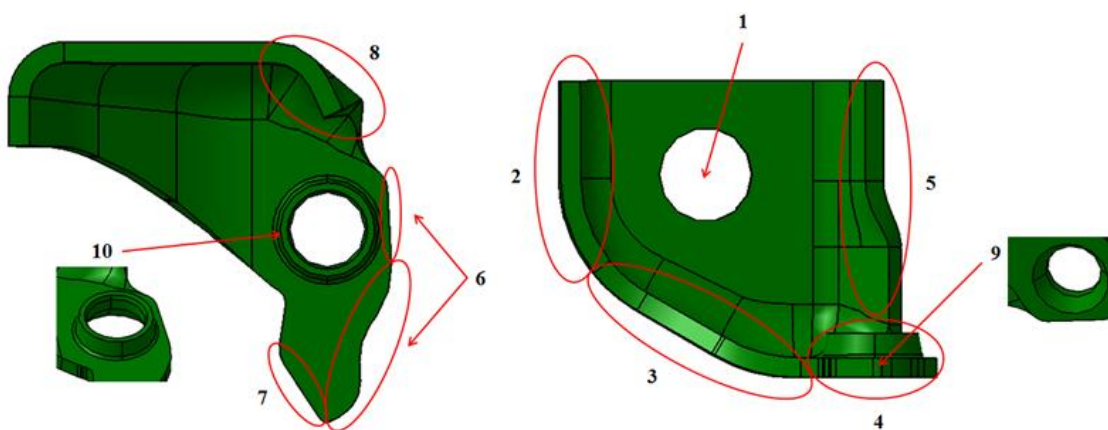


Obrázek 25: Spodní díl LC závěsu nacházející se v zavřené poloze



Obrázek 26: Spodní díl LC závěsu nacházející se v otevřené poloze

### 8.2.1 DVEŘNÍ DÍL



Obrázek 27: Dveřní díl LC závěsu

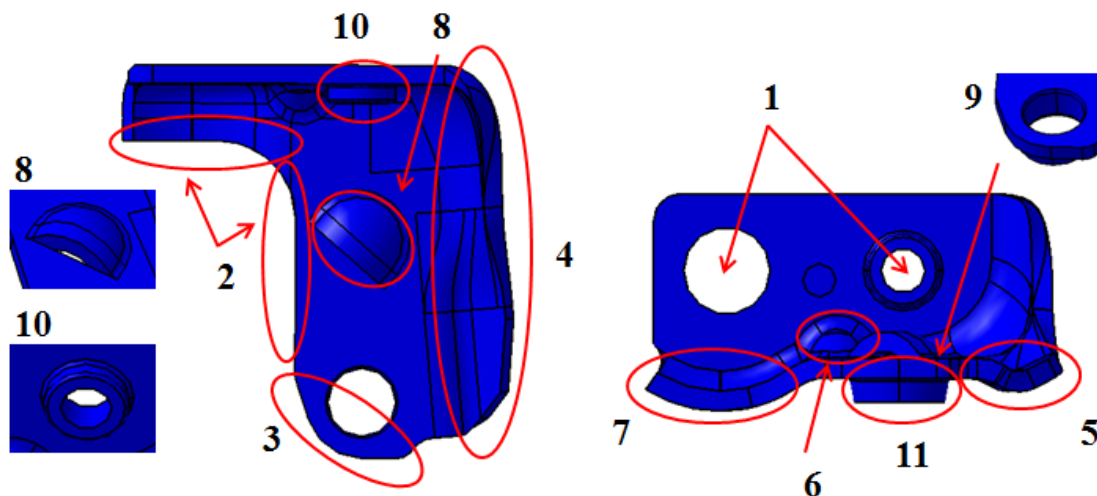
**Popis vybraných geometrických částí dveřního dílu (dle obr. 27):**

1. Otvor pro uchycení k rámu dveří
2. Výztuha dílu
  - Vyztužení bylo vytvořeno za účelem zvýšení tuhosti dílu, díky němuž je závěs schopen odolat hodnotám zatížení při zátěžovém testu.
3. Výztuha dílu
  - Vyztužení bylo vytvořeno za účelem zvýšení tuhosti dílu, díky němuž je závěs schopen odolat hodnotám zatížení při zátěžovém testu.
  - Tvar vyztužení je dán odstupem od karosériového dílu, když se závěs nachází v zavřené poloze.
4. Vyhrdlení
  - Vyhrdlení bylo vytvořeno z důvodu zvětšení dosedací plochy pro pouzdro a pro čep (zajištění minimální délky závitu) a tím ke zvýšení únosnosti spoje.
5. Výztuha dílu
  - Vyztužení bylo vytvořeno za účelem zvýšení tuhosti dílu, díky němuž je závěs schopen odolat hodnotám zatížení při zátěžovém testu.
  - Tvar vyztužení je dán odstupem od vnitřního prostoru dveří.
6. Ořez
  - Ořez dílu nutný z důvodu odstupu od vnitřního prostoru dveří.
7. Doraz
  - Koncový doraz závěsu – bezpečnostní prvek, který slouží k dorazu dveří v případě, že funkční doraz z nějakého důvodu není schopen tuto funkci splnit.
  - Délka dorazu byla vytvořena tak, aby závěs splnil test koncového dorazu a zároveň byla limitována odstupem od zástavby dveří.
  - Tvar dorazu byl vytvořen tak, aby při dosednutí nedocházelo ke skluzu po dorazové části u karosériového dílu.
8. Výztuha dílu
  - Tvar je dán odstupem od vnitřního plechu dveří.
  - Dosedací plocha pro kolík závěsu (v případě spodního závěsu je na tomto místě dosedací plocha pro pouzdro a toto vybrání je umístěno v karosériovém dílu).
9. Dosedací plocha pro matici (v případě spodního závěsu je na tomto místě dosedací plocha pro pouzdro s podložkou)





## 8.2.2 KAROSÉRIOVÝ DÍL



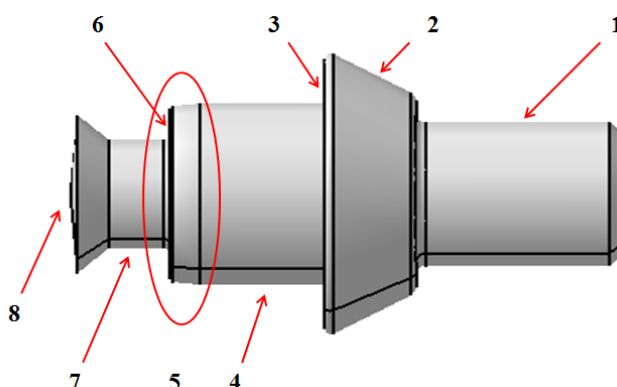
Obrázek 28: Karosériový díl LC závěsu

### Popis vybraných geometrických částí karosériového dílu (dle obr. 28):

1. Uchycení ke karosérii
  - Tento díl je ke karosérii připojen dvěma šrouby, jeden je namontován ze strany závěsu a druhý přes vloženou desku ze strany dveří, což je důvod proč jedna díra obsahuje závit a druhá ne. Toto uspořádání zvyšuje spolehlivost spojení a vložená deska navíc zvyšuje tuhost zavěšení.
2. Ořez
  - Ořez je nutný, protože v otevřené poloze sem zasahuje vnitřní plech dveří.
3. Ořez
  - Ořez dílu nutný z důvodu odstupu od vnitřního prostoru dveří
4. Výztuha
  - Vyztužení bylo vytvořeno za účelem zvýšení tuhosti dílu, díky němuž je závěs schopen odolat hodnotám zatížení při zátěžovém testu.
  - Tvar vyztužení je dán odstupem od dveřního dílu závěsu
5. Výztuha dílu
  - V této oblasti se nacházelo slabé místo při zátěžovém testu, proto byl vytvořen prolis, díky němuž se v tomto místě nachází více materiálu a tím je zajištěna dostatečná tuhost
6. Výztuha dílu
  - V této oblasti se nacházelo slabé místo při zátěžovém testu, proto byl vytvořen prolis, díky němuž se v tomto místě nachází více materiálu a tím je zajištěna dostatečná tuhost
7. Výztuha dílu
  - Tvar je dán vnitřním plechem dveří – viz 2. ořez
8. Koncový doraz
  - Koncový doraz závěsu – bezpečnostní prvek, který slouží k dorazu dveří v případě, že funkční doraz z nějakého důvodu není schopen tuto funkci splnit



- Tvar dorazu a jeho natočení bylo vytvořeno tak, aby dorazová část karosériového dílu dosedala kolmo a nedocházelo tak ke skluzu.
  - Umístění dorazu je limitováno dostatečnými odstupy od okolních prvků závěsu a zároveň dostatečnou délkou dorazu na dveřním dílu
9. Dosedací plocha pro pouzdro (vnitřní strana díry tvoří funkční plochu pro pouzdro, kde dochází k tvorbě momentu)
  10. Vyhrdlení
    - Vyhrdlení se závitem pro uchycení závěsu ke karosérii.
  11. Vyhrdlení
    - Vyhrdlení bylo vytvořeno z důvodu zvětšení dosedací plochy pro pouzdro a pro čep (zajištění minimální délky závitu) a tím ke zvýšení únosnosti spoje.



Obrázek 29: Závěsový kolík LC závěsu

### 8.2.3 ZÁVĚSOVÝ KOLÍK

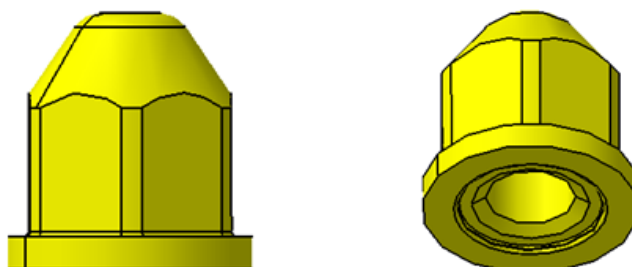
#### Popis vybraných částí závěsového kolíku (dle obr. 29)

1. Závít
  - zajišťuje spoj dílce a matice
2. Rádlování
  - zvyšuje únosnost spoje
  - při montáži brání protočení při dotahování matice
  - kónický tvar - usnadňuje navádění při montáži dveří
3. Dosedací plocha v dílci se zápichem
  - zápich – brání tvorbě rádiusu a zajišťuje správného dosednutí závěsového kolíku
4. Průměr pro pouzdro
5. Navádění
  - při montáži zajišťuje snazší nasazení pouzdra na závěsový kolík
  - odstranění ostré hrany – aby nedošlo k porušení teflonové vrstvy pouzdra při jeho nasazování
6. Dosedací plocha pro podložku



7. Průměr pro podložku
8. Rozlemovaná část kolíku

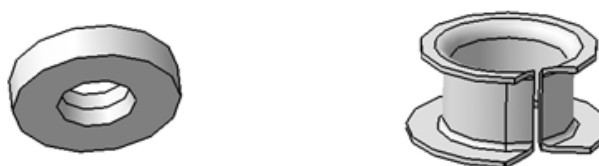
### 8.2.3 MATICE



Obrázek 30: Matice LC závěsu

Matice byla vytvořena tak, aby bylo při montáži zajištěno správné dosednutí matice – závěsový kolík. Délka matice, její tloušťka a ořezy byly vytvořeny s ohledem na zajištění správné funkce a zároveň s ohledem na úsporu materiálu.

### 8.2.4 PODLOŽKA A POUZDRO



Obrázek 31: Podložka a pouzdro LC závěsu

Z ekonomických důvodů bylo použito sériově vyráběné pouzdro, stejně jako sériově vyráběná podložka s vhodnými rozměry.

## HMOTNOST DÍLŮ VYTVOŘENÉHO LC ZÁVĚSU

Tabulka 17: Hmotnost dílů vytvořeného LC závěsu

Díl	Hmotnost dílu [g]
karosériový díl	88,3
dveřní díl	78,4
kolík závěsu	15,2
zalisovaná matice	12,7
podložka	2,9
pouzdro	1,6
<b>celkem</b>	<b>199,1</b>

Uvedené hmotnosti se týkají dílů horního závěsu a byly odečteny z programu Catia. Součet



hmotností je stejný pro horní i dolní závěs, liší se však hmotnosti karosériového a dveřního dílu v závislosti na přítomnosti vybrání pro uložení rádlování závěsového kolíku.

### 8.3 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ LC ZÁVĚSU

V době práce na diplomovém projektu ještě nebyly stanoveny přesné finální hodnoty tepelného zpracování, z tohoto důvodu jsou uvedena pouze přibližná rozmezí teplot a časů.

Prvním krokem tepelného zpracování je vícestupňové válcování ocelové tyče na válcovací stoličce při teplotě 1 190 - 1 260 °C. Z vytvořeného profilového pásu se následně nařezou jednotlivé díly závěsu, které se dále strojově opracují do finálního tvaru. Dalším krokem je ohřev ve vhodné ochranné atmosféře na teplotu 865 °C ± 20 °C, na které komponenty setrvávají po dobu 30 minut ± 10 minut. Poté následuje ochlazení do vodní lázně o teplotě max. 50 °C. Posledním krokem tepelného zpracování je znovu ohřátí na teplotu 500 °C ± 50 °C na dobu 55 minut ± 15 minut a ochlazení na volném vzduchu. [4]

Tabulka 18: Mechanické vlastnosti ocele po tepelném zpracování [4]

<b>Mez pevnosti v tahu</b>	930 ± 50	MPa
<b>Mez kluzu</b>	830	MPa

Z hodnot je patrné, že cílem zušlechťování LC závěsu bylo zvýšení jeho meze kluzu a tažnosti. Dále byla při zušlechťování snížena mez pevnosti v tahu. K tomuto kroku bylo přistoupeno po dohodě se zákazníkem, jelikož interní předpisy přikazují použití jiné, dražší povrchové úpravy pro materiály s takto vysokou mezí pevnosti.

### 8.4 POVRCHOVÁ ÚPRAVA LC ZÁVĚSU:

Díky snížení meze pevnosti při zušlechťování již bylo možné předepsat pro závěsy standardně používanou povrchovou úpravu VW 13750-0fl-c340, při které je nanesen zinkový povlak o tloušťce 12 μm. [4]



## 9 NAPĚŤOVÁ ANALÝZA LC ZÁVĚSU

Konstrukce LC závěsu byla podrobena napěťové analýze v softwarovém programu Ansys. V programu byl simulován trhací test a test stability závěsu. Cílem simulací bylo zjistit rozložení a velikost napětí, stejně jako deformací. Výsledkem je zobrazení ekvivalentního napětí s použitím von Misesovy teorie a dále hlavního napětí, které poukazuje na místa působení tahů (kladné hodnoty barevného spektra) a tlaků (záporné hodnoty barevného spektra) v tělese. Dalším zobrazovaným parametrem byla deformace. Barevné spektrum včetně číselných hodnot je uvedeno na levé straně u každého grafického zobrazení výsledku. Žluté a červené plochy zobrazují nejvyšší intenzity, modré naopak nejnižší. Výsledky napětí jsou zobrazeny v MPa a deformace v milimetrech.

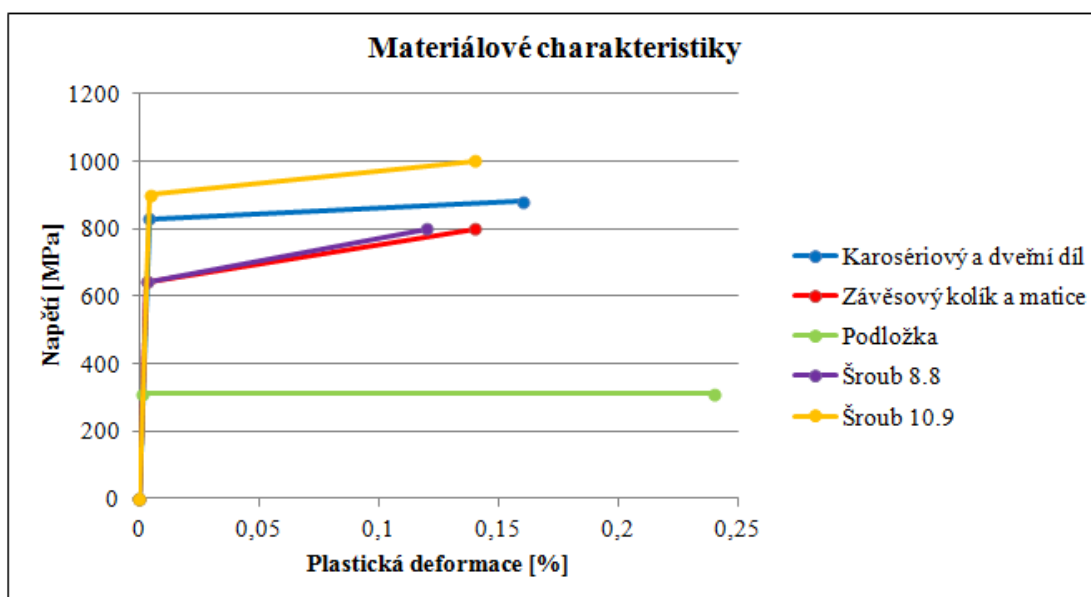
V obou simulacích byly použity idealizované spoje a kontakty.

### 9.1 STANOVENÍ MATERIÁLOVÝCH CHARAKTERISTIK

Bylo předpokladem, že v některých částech dojde k překročení meze kluzu. Z tohoto důvodu byl zvolen bilineární elasto-plastický model materiálů, kdy byla pro všechny materiály použita nejnižší hodnota meze kluzu. Elastická oblast byla uvažována pro všechny materiály stejná:

- Modul pružnosti  $E = 210 \text{ GPa}$
- Poissonova konstanta  $\mu = 0,3$

Materiál pouzdra byl uvažován jako lineární.



Obrázek 32: Grafické znázornění materiálových charakteristik - bilineární zpevnění materiálu

### 9.2 PŘEDPĚTÍ ŠROUBŮ

Závěsy byly pro obě simulace ke zkušebnímu rámu připevněny předepsanými šrouby, které se používají pro zkušební testy:



Tabulka 19: Hodnoty šroubů používaných při zkušebních testech závěsů

Díl	Utahovací moment	Šroub	Označení	Materiálové charakteristiky [MPa]	
				Rm	Re
Karosériový díl	30 [Nm]	2 x M8	8.8	Rm	800
				Re	640
Dveřní díl	40 [Nm]	1 x M10	10.9	Rm	1000
				Re	900

Karosériový díl byl k rámu připevněn dvěma proti sobě namontovanými šrouby M8 a dveřní díl jedním šroubem M10. Z utahovacích momentů a charakteristik šroubů byla vypočítána síla předpětí  $F_i$ :

$$F_i = \frac{T}{Kd} \quad (1)$$

$$K = 0,2 \quad (2)$$

kde T je utahovací moment šroubu, K součinitel momentu a d jmenovitý průměr šroubu. [20] [21]

#### Vypočítané hodnoty předpětí šroubů:

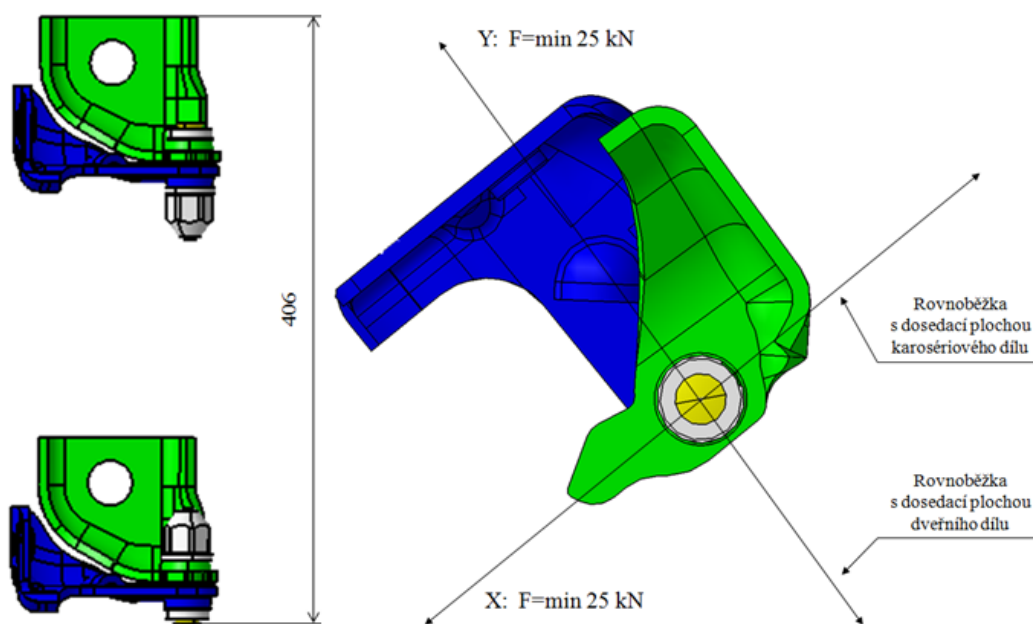
- Šrouby M8 18 750 N
- Šroub M10 20 000 N

Tyto hodnoty vypočítaného předpětí byly použity v simulaci a reprezentovaly utahovací momenty šroubů.



### 9.3 SIMULACE TRHACÍHO TESTU

Byl vytvořen zjednodušený rám trhacího stroje. Dvojice závěsů byla k rámu upnuta pomocí předepsaných šroubů. Sestava byla řešena jako nelineární úloha, přičemž všechny použité díly byly uvažovány jako deformovatelné. Nejvyšší vzdálenost obou závěsů činí dle předpisu 406 mm. Zatížení bylo prováděno ve směru rovnoběžném a kolmém k dosedací ploše závěsů, byl tedy simulován podélný i příčný trhací test.



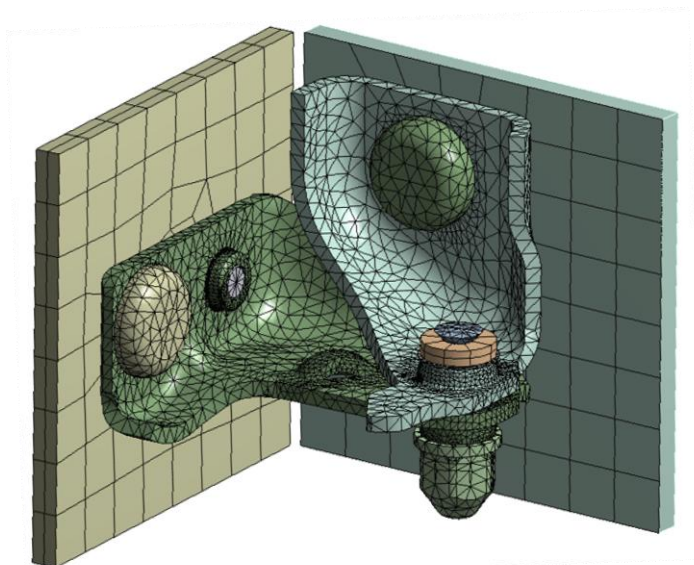
Obrázek 33: Parametry trhacího testu

#### 9.3.1 TVORBA SÍŤ

Vzhledem ke složitosti konstrukce karosériového a dveřního dílu byla použita funkce virtuální topologie. Pomocí této funkce byla zjednodušena geometrie dílů pro optimálnější tvorbu výpočetní sítě. Na oba díly byla dále použita metoda „patch conforming“, která jako prvky pro tvorbu výpočetní sítě využívá čtyřstěny. Výpočetní síť matice, závěsového kolíku a pouzdra byla také tvořena metodou „patch conforming“. Pro vytvoření optimální výpočetní sítě použitých šroubů, kterými byl závěs připevněn k rámu byla vybrána metoda „multizone“ se šestistěny jako prvkem sítě. Výpočetní síť rámu trhacího zařízení a podložky závěsu byla vytvořena pomocí funkce „hex dominant“, která také využívá šestistěny.

Takto vytvořená výpočetní síť byla v kontaktních plochách i v podstatných místech konstrukce zjemněna a dále upravována a to s ohledem na délku výpočetního času programu a zajištění realistických výsledků simulace.

Výpočetní síť horního i spodního závěsu byla tvořena stejným způsobem, pro představu je níže uveden obrázek vrchního závěsu s výpočetní sítí.



Obrázek 34: Použitá výpočetní síť

### 9.3.2 ZATĚŽOVÁNÍ

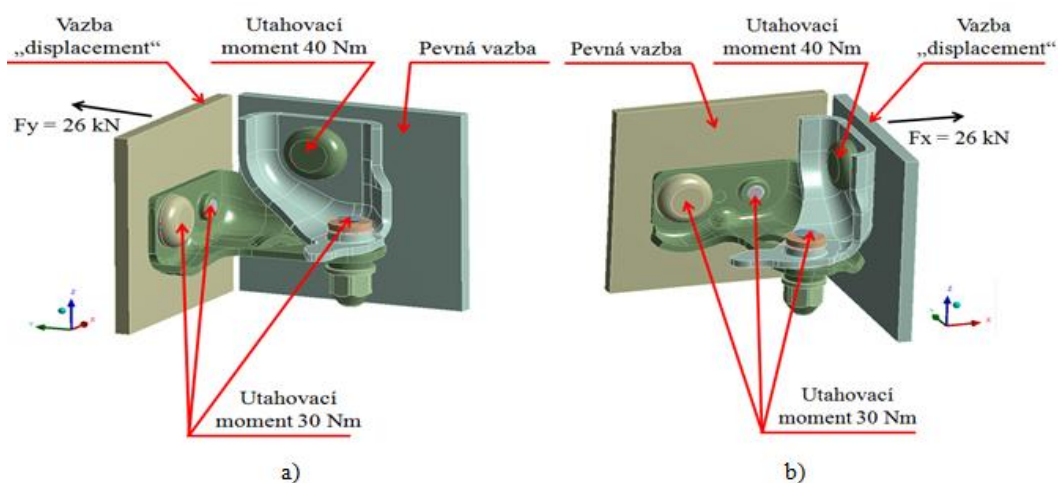
Zatěžování bylo rozděleno do více kroků. V prvním kroku simulace bylo nastaveno předpětí šroubů, jehož velikost se s dalšími výpočetními kroky neměnila. Zatěžující síla začala narůstat až od druhého kroku simulace.

Byly provedeny dvě simulace, jedna pro podélné a druhá pro příčné zatížení. Pro splnění požadavků trhacího testu musí závěsy vydržet bez uvolnění minimální hodnotu zatížení 25 kN v příčném i podélném směru. Pro zajištění splnění těchto požadavků byla zatěžovací síla nastavena jako lineárně vzrůstající až do hodnoty 26 kN.

Konstrukce trhacího stroje byla vytvořena zjednodušeně. Pro každou simulaci byla vždy jedné desce rámu přiřazena pevná vazba. Aby se simulace přiblížila reálnému testování, byla na druhou desku použita vazba „displacement“. Pomocí této vazby byly omezeny pohyby desky a povolen pouze její posuv ve směru zatěžování. Na stejnou desku působila v ose závěsu zatěžující síla.

Zatížení vrchního i spodního závěsu bylo stejné. Pro představu je níže uvedeno znázornění zatížení v příčném i podélném směru pro vrchní závěs.

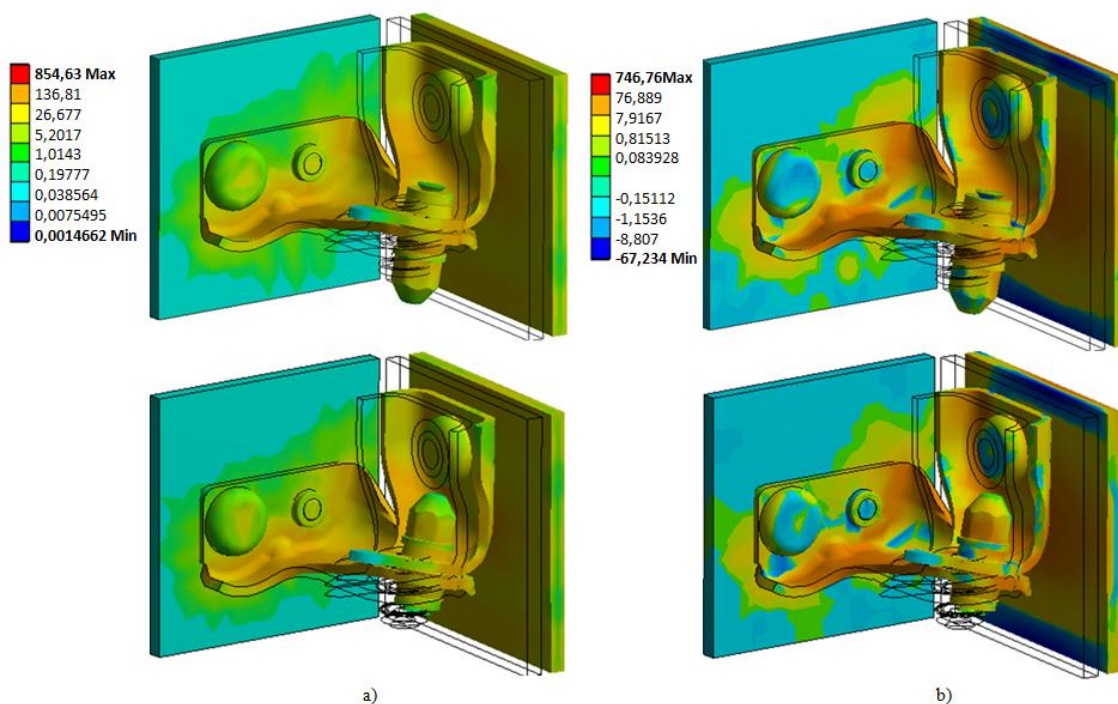




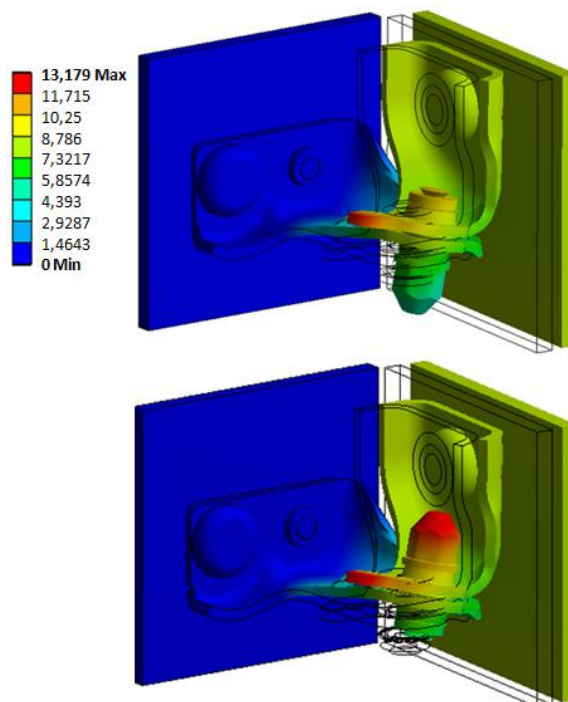
a) b)  
 Obrázek 35: Znáornění vazeb a zatížení  
 a) zatěžování příčné, b) zatěžování podélné

### 9.3.3 VÝSLEDKY

#### PODÉLNÉ ZATÍŽENÍ

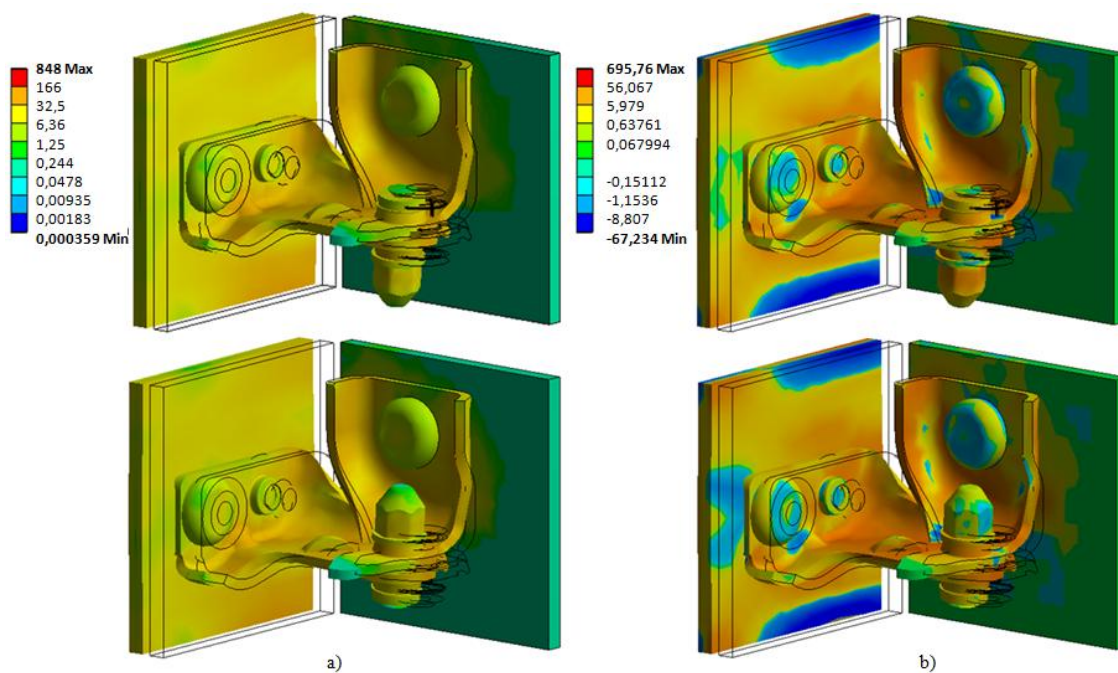


Obrázek 36: a) Ekvivalentní napětí, b) Hlavní napětí

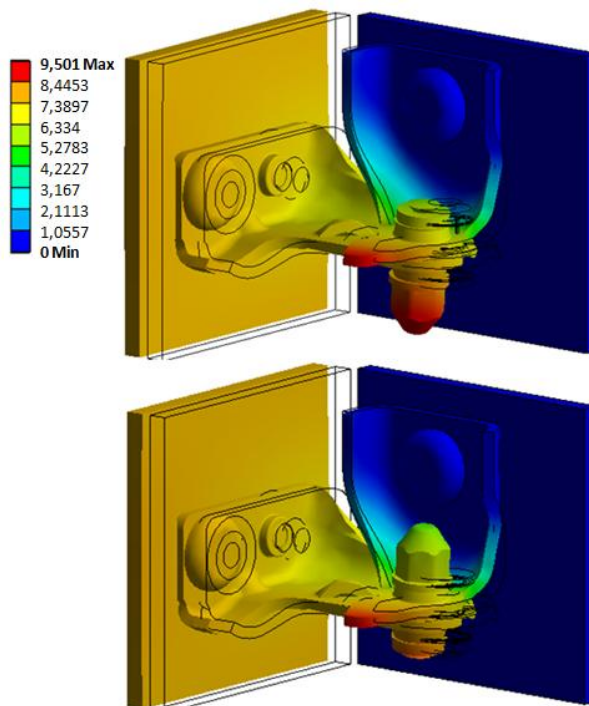


Obrázek 37: Deformace

**PŘÍČNÉ ZATÍŽENÍ**



Obrázek 38: a) Ekvivalentní napětí, b) Hlavní napětí



Obrázek 39: Deformace

Z grafického zobrazení výsledků ekvivalentních napětí je patrné, že maximální napětí nepřekročilo mez pevnosti materiálu u podélného ani příčného zatížení. Nejvyšší hodnoty napětí se u obou testů vyskytují v oblasti ostrých ohybů karosériového a dveřního dílu. V těchto místech dojde maximálně k lokálnímu ztenčení plechu, avšak jeho roztržení vlivem porušení celistvosti nenastane.

Dalším výsledkem je zobrazení nejvyšších hodnot tahů a tlaků v závěsu. Největší tahové napětí je v obou simulacích opět soustředěno v oblasti ostrých ohybů karosériového a dveřního dílu.

Vyskytující se napětí je vyšší, než je mez kluzu materiálu, což je důvodem, proč dojde ke vzniku plastických deformací v závěsu. Hodnota celkové deformace při plném zatížení 26 kN se rovná cca 13,2 mm pro podélné a 9,5 mm pro příčné zatížení.

LC závěs tedy splnil požadavky testu pro podélné i příčné zatěžování, když bez porušení celistvosti odolal zatížení o velikosti 25 kN.

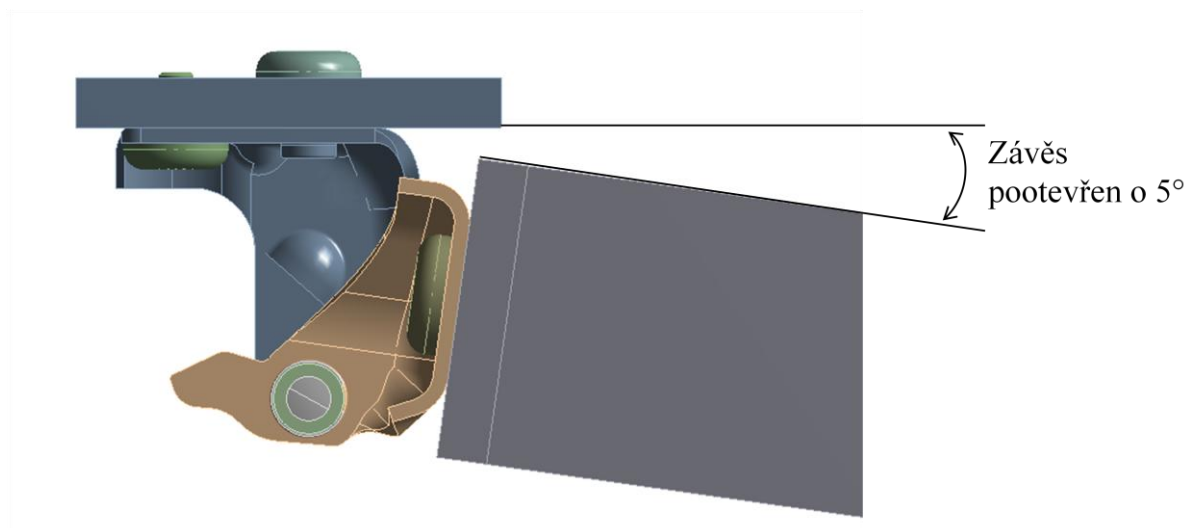


## 9.4 SIMULACE TESTU STABILITY ZÁVĚSU

Byl vytvořen zjednodušený rám stroje, který byl uvažován jako absolutně tuhý a nedeformovatelný. Dvojice závěsů byla k rámu upnuta pomocí předepsaných šroubů. Sestava byla řešena jako nelineární úloha, přičemž všechny použité díly byly uvažovány jako deformovatelné.

Pro splnění požadavků testu stability závěsu nesmí elastická deformace měřená při zatížení přesáhnout hodnotu 5 mm. Hodnota povolené plastické deformace po odlehčení byla po dohodě se zákazníkem stanovena na 0,6 mm.

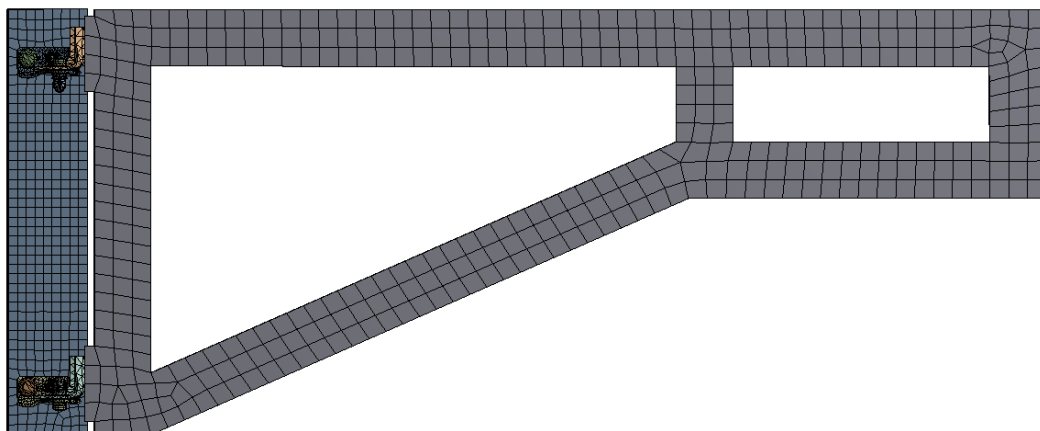
Pro dosažení výsledku, co nejbližšího reálnému provozu, jsou závěsy obvykle připevněny k testovacímu zařízení ve stejné poloze jako ve vozidle. V tomto případě však osová vzdálenost závěsů zatím nebyla jasná, proto byla použita stejná vzdálenost závěsů jako u trhacího testu. Oba závěsy byly pootevřeny v úhlu  $5^\circ$ .



Obrázek 40: Zobrazení pootevřeného závěsu



Výpočetní síť byla tvořena obdobným způsobem jako u simulace trhacího testu.

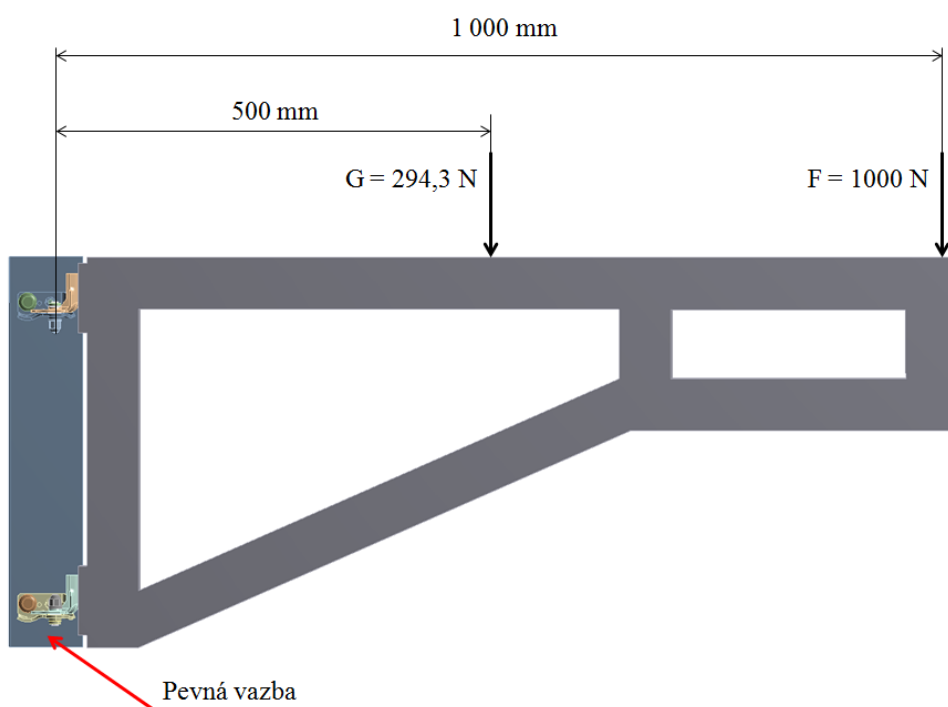


Obrázek 41: Výpočetní síť

#### 9.4.1 ZATĚŽOVÁNÍ

Zatěžování bylo rozděleno do více kroků. V prvním kroku simulace bylo nastaveno předpětí šroubů, jehož velikost se s dalšími výpočetními kroky neměnila. Začátek působení zatěžující síly a síly nahrazující hmotnost rámu byl nastaven od druhého kroku.

Na desku rámu stroje byla použita pevná vazba. Rám nahrazující dveře automobilu byl zatěžován silou 1 000 N na rameni ve vzdálenosti 1 000 mm od osy závěsů. Dále byl rám zatěžován silou, která reprezentuje hmotnost rámu dveří. Hmotnost tohoto rámu činí 30 kg, proto byla použita síla o velikosti 294,3 N, tato síla působila ve vzdálenosti 500 mm od osy závěsů.

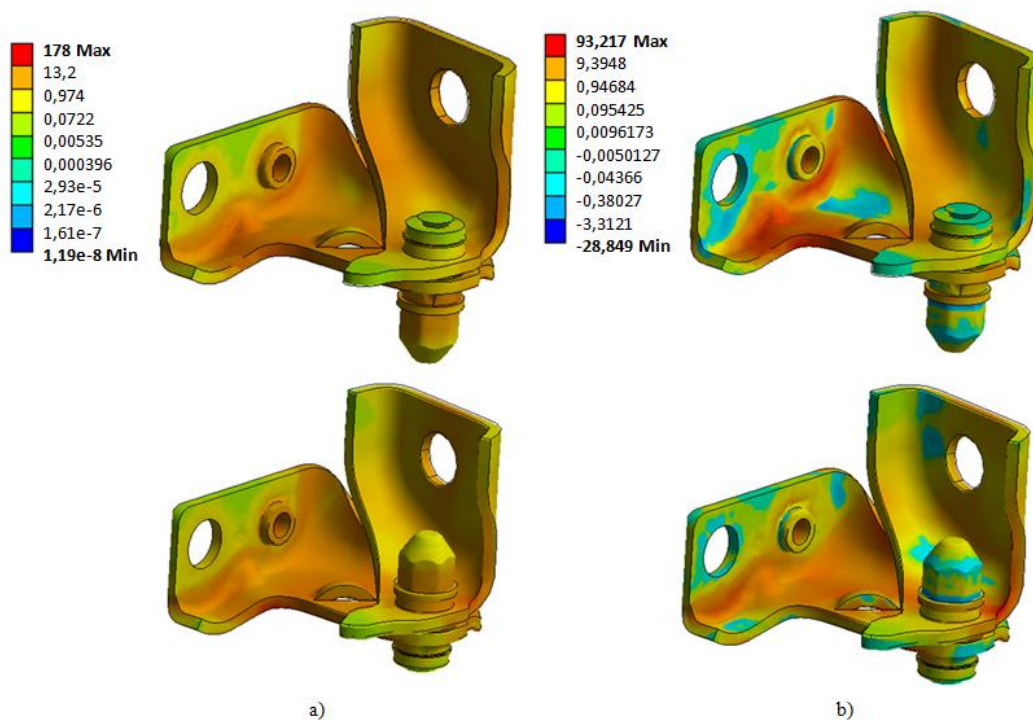


Obrázek 42: Zobrazení zkušebního zařízení se zatížením



### 9.4.2 VÝSLEDKY

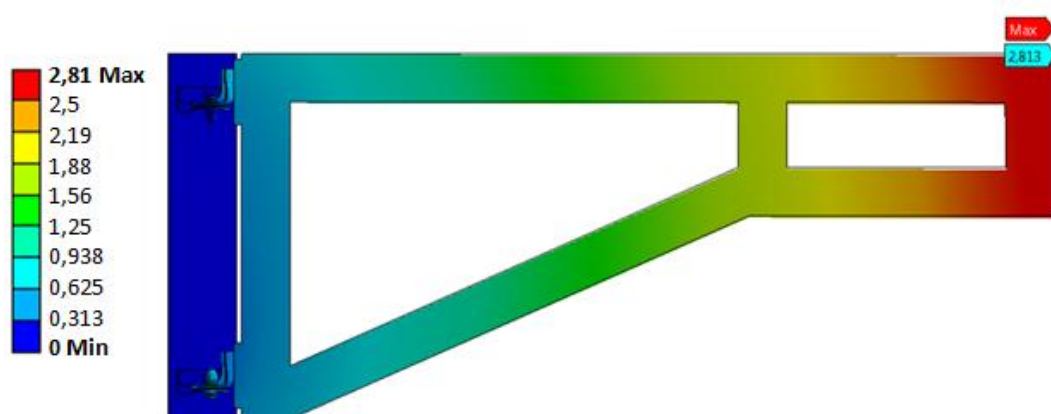
#### NAPĚTÍ



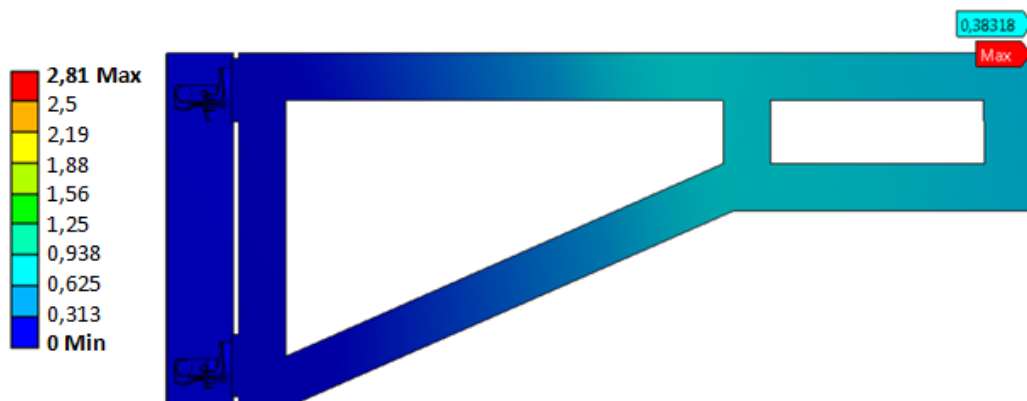
Obrázek 43: a) Ekvivalentní napětí, b) Hlavní napětí

Nejvyšší hodnoty ekvivalentního i hlavního napětí nedosahují nejnižší hodnoty meze pevnosti materiálu, v tomto případě tedy nedojde k porušení celistvosti závěsu, nastane maximálně jeho lokální ztenčení. Nejvyšší hodnoty napětí se dle očekávání objevují na karosériovém dílu v místě nejostřejšího ohybu.

#### DEFORMACE



Obrázek 44: Elastická deformace měřená při zatížení



Obrázek 45: Plastická deformace po odlehčení

Z grafických zobrazení výsledků je patrné, že LC závěs splnil požadavky tohoto testu. Elastická deformace závěsu byla měřena při plném zatížení, plastická deformace byla měřena po odlehčení.

Tabulka 20: Výsledky simulace testu stability závěsu

	Povolené hodnoty	Hodnoty ze simulace
<b>Plastická deformace [mm]</b>	5 >	2,813
<b>Elastická deformace [mm]</b>	0,6 >	0,383

Hodnoty napětí nedosahují meze kluzu jednotlivých materiálů, velikost plastické deformace je tedy způsobena vůlemi ve šroubových spojeních.



## 10 OVĚŘENÍ SÉRIOVÉ VYROBITELNOSTI LC ZÁVĚSU

Konstrukce LC závěsu byla konzultována s nástrojárnou Edscha Hradec s.r.o. pro případné odhalení možných překážek sériové výroby. Po této konzultaci bylo zjištěno, že konstrukce závěsu nijak nebrání jeho sériové výrobě. Ještě před započítím sériové výroby však bude nutná optimalizace vyrobeného nástroje. Zpravidla je vytvořen nástroj se seříditelnými stanicemi, na kterém jsou vytvořeny zkušební výlisky. Po jejich změření se provedou případné úpravy nástroje tak, aby vytvořené dílce splňovaly veškeré výkresové požadavky.

Jedinou momentální otázkou tedy bylo navržení dostatečně silného lisu, který by byl schopen tvarovat materiál s takto vysokou mezí pevnosti. Byl tedy proveden orientační výpočet:

Střížná síla:

$$F_s = 0,8 Rm t k_s l_s \quad (3)$$

Tvářecí síla:

$$F_t = 0,8 Rm t k_t l_t \quad (4)$$

Kde  $0,8 \cdot Rm$  reprezentuje pevnost materiálu ve stříhu a  $t$  tloušťku materiálu. Pro výpočet byla zvolena nejvyšší hodnota meze pevnosti materiálu a to 980 MPa. Součinitel otupení nástroje  $k_s$  byl zvolen o velikosti 1,1. Přesnou délku střížné hrany  $l_s$  a přesnou délku ohybů  $l_t$  zatím nebylo možné určit a proto byly pouze odhadnuty na velikosti 800 mm a 750 mm.

Stírací síla lisu byla volena o velikosti 15 % součtu střížné a tvářecí síly lisu:

$$F_{st} = 0,15 (F_s + F_t) \quad (5)$$

Celková síla nástroje je dána součtem všech výše uvedených:

$$F_c = F_s + F_t + F_{st} \quad (6)$$

[22] [23]

Celková síla nástroje byla tedy vypočtena na hodnotu 4,611 MN, což odpovídá vyvinuté hmotnosti o velikosti cca 470 tun.

V tomto rozmezí jsou běžně používané řady lisů od většiny výrobců: 400T, 630T a 1000T. Pro výrobu LC závěsu by tedy bylo vhodné použití lisu 630T, který je schopen vyvinout lisovací sílu o velikosti 630 tun.



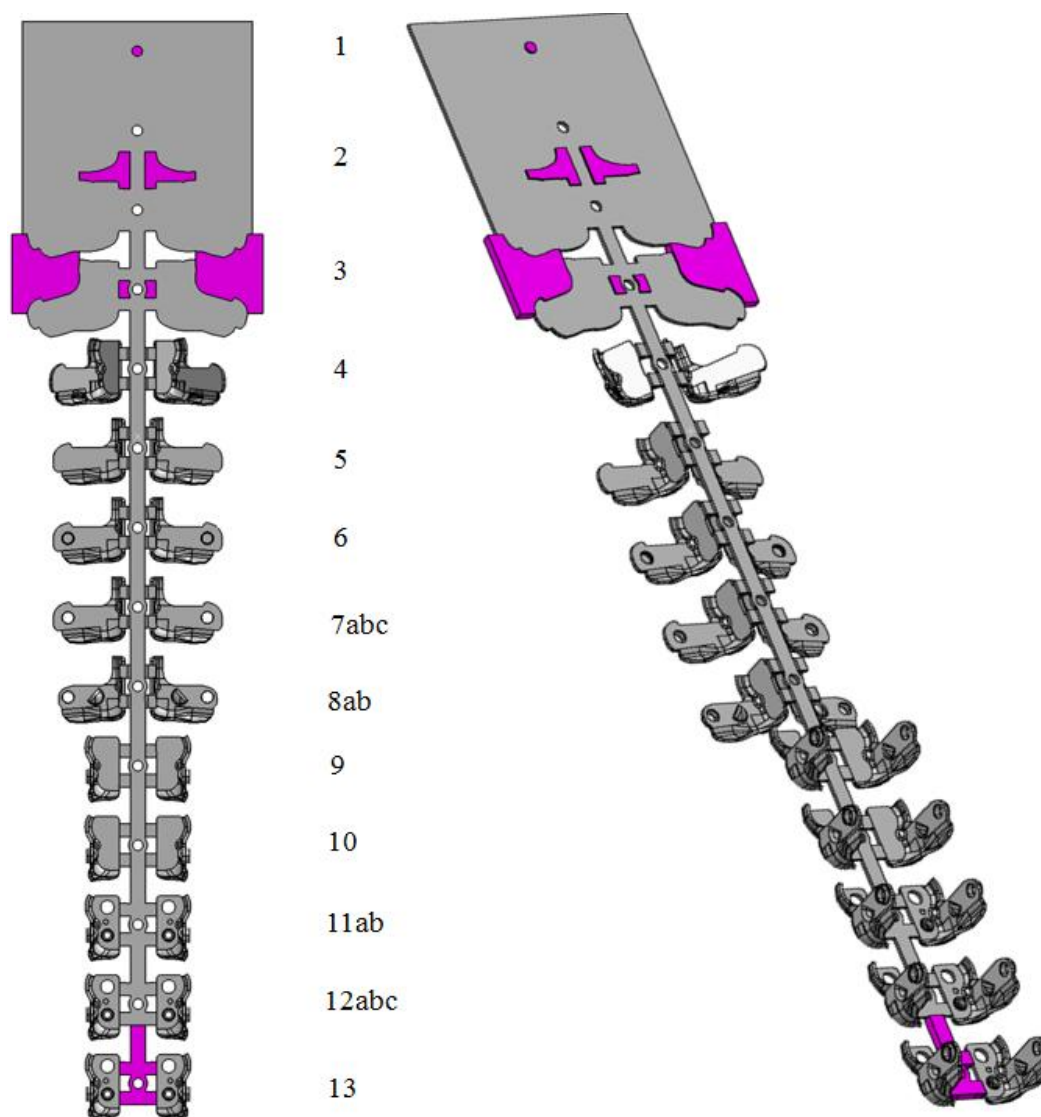


## 10.1 NÁSTŘIHOVÉ PLÁNY

Nástřihové plány byly vytvořeny v softwarovém programu VISI firmou Edscha Hradec s.r.o. Vytvořené nástřihové plány jsou zjednodušené, slouží pouze pro představu a jako podklad pro další zpracování. Před výrobou LC závěsu bude nezbytné vytvoření detailních nástřihových plánů, zkušebních přípravků pro ověření funkčnosti, apod.

Nástřihové plány byly vytvořeny pro spodní závěs. V případě vrchního závěsu by se nástřihové plány lišily umístěním kužele ve vyhrdlení. Spodní závěs obsahuje tento kužel ve vyhrdlení dveřního dílu, pro horní závěs by byl umístěn v karosériovém dílu.

### 10.1.1 NÁSTŘIHOVÝ PLÁN KAROSÉRIOVÉHO DÍLU



Obrázek 46: Nástřihový plán karosériového dílu [23]



Popis jednotlivých kroků nástřihového plánu karosériového dílu:

1. Vystřížení otvoru pro tzv. hledáček  
Hledáček slouží pro zajištění správné polohy posunu pásu v nástroji.
2. Vystřížení středových dílů základového tvaru
3. Ostřížení zbývajícího materiálu pro získání základového tvaru karosériového dílu  
V oblasti kolem plánovaného vyhrdlení je ponechán přídavek materiálu, aby v dalších krocích došlo ke správnému vytažení vyhrdlení a zároveň nedošlo k deformaci vnější hrany dílce. Tento přebytek materiálu bude před dokončením dílů odštěpen.
4. Vylisování požadovaného tvaru dle šablony a ohyb dílů v úhlu 45°
5. Ohyb dílů o zbylý úhel 45° tak, aby se základna dostala do vodorovné polohy
6. Tvorba vyhrdlení  
Vyhrdlení je vylisováno dle šablony. Ke správnému vytažení materiálu do požadovaného vyhrdlení bylo ponecháno tenké dno, které bude v následujícím kroku prostříženo.
7. Dokončení vyhrdlení  
V nástřihovém plánu je pro jednoduchost znázorněn pouze jeden krok dokončení vyhrdlení, v reálném stroji by tato operace byla rozdělena do 3 samostatných kroků:
  - a. Prostřížení dna ve vyhrdlení pomocí střížníku
  - b. Dokončení vyhrdlení – vrchní část  
Kalibračním razníkem je srovnán vnitřní průměr vyhrdlení, zarovnány dosedací plochy a vytvořeno sražení. Zredukuje se výška vyhrdlení na požadovanou velikost dle výkresu.
  - c. Dokončení vyhrdlení – spodní část  
Stejný postup dokončení vyhrdlení jako v předchozím kroku. Vrchní i spodní část vyhrdlení by bylo možné srovnat v jednom kroku. Avšak v případě použití dvou kalibračních razníků, které působí proti sobě, by hrozilo nahrnutí materiálu a tvorba nepřesností v místě jejich kontaktu uprostřed vyhrdlení. Z tohoto důvodu byl tento krok rozdělen do dvou samostatných.
8. Ostřížení přebytečného materiálu a tvorba dorazu  
Tato operace by v reálném stroji byla rozdělena do dvou kroků:
  - a. Ostřížení přebytečného materiálu, který byl ponechán v kroku 3 kolem oblasti vyhrdlení.
  - b. Tvorba dorazu pomocí šablony a střížníku.
9. Ohyb v úhlu 45° směrem vzhůru  
V nástřihovém plánu je naznačen ohyb již o 90°. Tento ohyb by byl v reálném stroji pravděpodobně proveden ve 2 krocích, právě z důvodu odpružení materiálu.
10. Ohyb o zbylých 45° směrem vzhůru pro srovnání druhé dosedací plochy do vodorovné polohy
11. Vystřížení otvoru pro uchycení závěsu ke karosérii a tvorba vyhrdlení  
Tato operace by v reálném stroji byla rozdělena do dvou kroků:
  - a. Vystřížení otvoru pro uchycení závěsu ke karosérii
  - b. Tvorba vyhrdlení obdobným způsobem jako v kroku 6.
12. Dokončení vyhrdlení



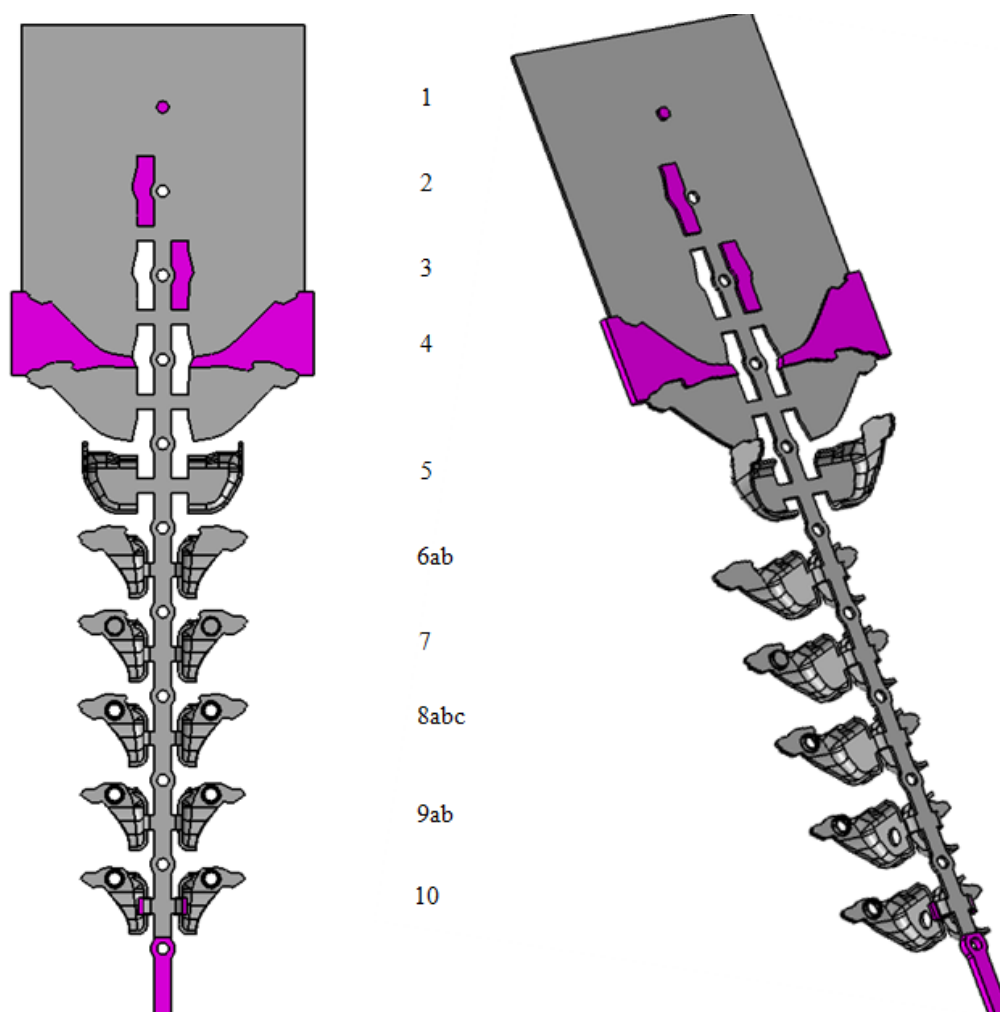
V nástřihovém plánu je pro jednoduchost znázorněn pouze jeden krok dokončení vyhrdlení, v reálném stroji by tato operace byla rozdělena do 3 samostatných kroků obdobně jako v kroku 7:

- a. Prostřížení dna vyhrdlení
- b. Dokončení vyhrdlení – vrchní část
- c. Dokončení vyhrdlení – spodní část

### 13. Oddělení dílců

Odstřížení spojujících částí, což vede k vytvoření hotového levého a pravého kusu karosériového dílu.

#### 10.1.2 NÁSTŘIHOVÝ PLÁN DVEŘNÍHO DÍLU



Obrázek 47: Nástřihový plán dveřního dílu [23]

Popis jednotlivých kroků nástřihového plánu dveřního dílu:

1. Vystřížení otvoru pro tzv. hledáček
2. Vystřížení středového dílu základového tvaru
3. Vystřížení středového dílu základového tvaru



Vystřížení středových dílů je provedeno ve dvou krocích z důvodu konstrukce střížníku a z důvodu malého množství materiálu v oblasti kolem hledáčku, kde by mohlo dojít k prasknutí matrice.

4. Ostřížení základního tvaru dveřního dílu

V oblasti kolem plánovaného vyhrdlení bylo ponecháno více materiálu ze stejného důvodu, který je uveden u kroku 3 nástřihového plánu karosériového dílu.

Plocha dorazu má na výkresech předepsanou zvýšenou toleranci. V případě přesného ostřížení na výsledný tvar již v tomto kroku a následných ohybech v dalších krocích by nakonec nemusela být předepsaná tolerance dodržena. Z tohoto důvodu bylo i v oblasti dorazu ponecháno více materiálu, který bude v dalších krocích odstřížen.

5. Vylisování požadovaného základového tvaru dle šablony

6. Ohyb dílů tak, aby se základna s plánovaným vyhrdlením dostala do vodorovné polohy.

Ohyb dílů by byl proveden ve 2 krocích, v nástřihovém plánu je pro představu znázorněn pouze jeden:

- a. Ohyb o  $45^\circ$
- b. Ohyb o zbylých  $45^\circ$

7. Tvorba vyhrdlení

Vyhrdlení je vylisováno dle šablony. Ke správnému vytažení materiálu do vyhrdlení bylo ponecháno tenké dno, které bude v následujícím kroku prostříženo.

8. Dokončení vyhrdlení

Dokončení vyhrdlení bude znovu provedeno obdobným způsobem jako u nástřihového plánu karosériového dílu:

- a. Prostřížení dna vyhrdlení
- b. Dokončení vyhrdlení – vrchní část
- c. Dokončení vyhrdlení s tvorbou kužele – spodní část

9. Ostřížení přebytečného materiálu v oblasti dorazu a vystřížení díry pro upevnění dílu ke dveřím

Tato operace by v reálném stroji byla rozdělena do dvou kroků:

- a. Ostřížení přebytečného materiálu v oblasti dorazu
- b. Vystřížení díry pomocí tzv. klínové boční jednotky

10. Oddělení dílců pomocí klínové boční jednotky

V obou nástřihových plánech je vždy tvořen levý i pravý dílec v jednom kroku.

Při postupu pásu plechu nástrojem je nutné jeho nadzvedávání, které umožní posouvání celého pásu o jednotlivé kroky tak, aby nedocházelo ke kolizi nástroje a již ohnutých částí plechu.

Při plánování tvorby ohybů je nutné počítat s odpružením plechu po jeho odlehčení. Je tedy nezbytné provést ohyb o pár stupňů větší, aby po odlehčení zůstal požadovaný úhel ohybu. V případě velkého úhlu ohybu je vhodnější rozdělit tento ohyb do více kroků, dle velikosti výsledného ohybu, např.: pro ohyb v úhlu  $90^\circ$  je vhodné v jednom kroku provést ohyb např. o  $30^\circ$  nebo  $45^\circ$  a v dalším o zbylých  $60^\circ$ , resp.  $45^\circ$ .

Při vytváření nástřihového plánu je snahou použít pouze nezbytně nutný počet ohybů. Každý ohyb způsobuje deformace a v případě velkého množství těchto deformací se dílce dostanou



do nejasné polohy pro další operace. Z důvodu tvorby deformací jsou i rozměry se zvýšenou předepsanou tolerancí tvořeny až po provedení ohybů, které by je mohly ovlivnit.

Tento návrh je pouze orientační a slouží pro vytvoření představy. Některé kroky byly úplně vynechány nebo vytvořeny a popsány zjednodušeně. Ve skutečném nástroji je občas nutné vložení volných kroků, např. v místě, kde je nástroj rozdělen do více modulů (stanic) nebo kde je potřeba pro určitou operaci více prostoru, než činí délka kroku, např. boční klínové jednotky, apod. Skutečný nástroj pro postupový lis by tedy obsahoval více kroků. Počet kroků skutečného nástroje by mohl tady být přibližně 18 – 22. V případě 22 kroků, délky kroku nástroje 75 mm a přídavku na začátku a na konci nástroje, by celková délka postupového nástroje činila 1 800 mm. [23]



## 11 NAVRHOVANÝ POSTUP MONTÁŽE LC ZÁVĚSU

Kusy vyrobené na postupovém lisu jsou dále určeny k montáži s ostatními komponenty. Při tomto zjednodušeném návrhu výrobního procesu montáží LC závěsu byly uvažovány dvě varianty:

1. Produkce – 100 000 automobilů za rok
2. Produkce – 300 000 automobilů za rok

### 11.1 VARIANTA 1

Tato varianta uvažuje nižší produkci komponentů za rok. Automatická linka by nebyla dostatečně vytižena a její pořizovací cena je mnohonásobně vyšší v porovnání s manuální montážní linkou. Z ekonomického hlediska by tedy její použití pro výrobu pouze těchto komponentů nebylo výhodné. Z těchto důvodů byla pro tuto variantu navržena manuální montážní linka.

Tabulka 21: Hodnoty pro návrh manuální montážní linky

Požadavky	
Počet vozidel / rok	100 000
Produkce LC závěsů / rok	800 000
Nominální produkce LC závěsů / týden	16 672
Maximální produkce LC závěsů / týden	19 173
Celková produkce LC závěsů za životnost projektu	4 800 000

Životnost projektu byla uvažována na dobu 6 let. Zákazník má právo bez udání důvodu navýšit odvolávky o 15%, což je běžným standardem v automobilovém průmyslu. Aby byla firma schopna svou produkcí pokrýt i toto případné navýšení, byla vypočítána a v navrhování uvažována i maximální produkce LC závěsů, která je tedy o 15% vyšší, než nominální.

Tabulka 22: Hodnoty manuální montážní linky

Tok materiálu	Operace		Čas cyklu [s]	Max. počet kusů / hod	Čistý výrobní čas stroje [hod]
	50	Kontrola, značení, balení	15	240	91
40	Šroubování	11,1	326	68	
30	Nýtování	9,5	379	59	
20	Kalibrace a pouzdrování	9,5	379	60	

Navrhované časy cyklů byly převzaty z již zavedených pracovišť ve firmě Edscha, na kterých se provádějí podobné operace. Pro všechna stanoviště byl uvažován čistý výrobní čas stroje 90 %, kdy zbylých 10 % je ponecháno na odstavky z důvodu pauzy pro pracovníky, drobné údržby, výměny nástrojů, drobné opravy, apod. Ve výpočtu byla zahrnuta zmetkovitost ve výši 1% pro všechna stanoviště, což je promítnuto do výsledného počtu vyrobených kusů. Na každém stanovišti bylo tedy nutné navýšit počet vyrobených kusů tak, aby se pokryla zmetkovitost z tohoto i z předchozích stanovišť. [4]

*Tabulka 23: Kapacitní využití manuální montážní linky*

<b>Operace</b>	<b>Počet směn / den</b>	<b>Zbývající hodiny na stroj / týden</b>
50	3	21
40	2	44,5
30	2	53,5
20	2	52,5

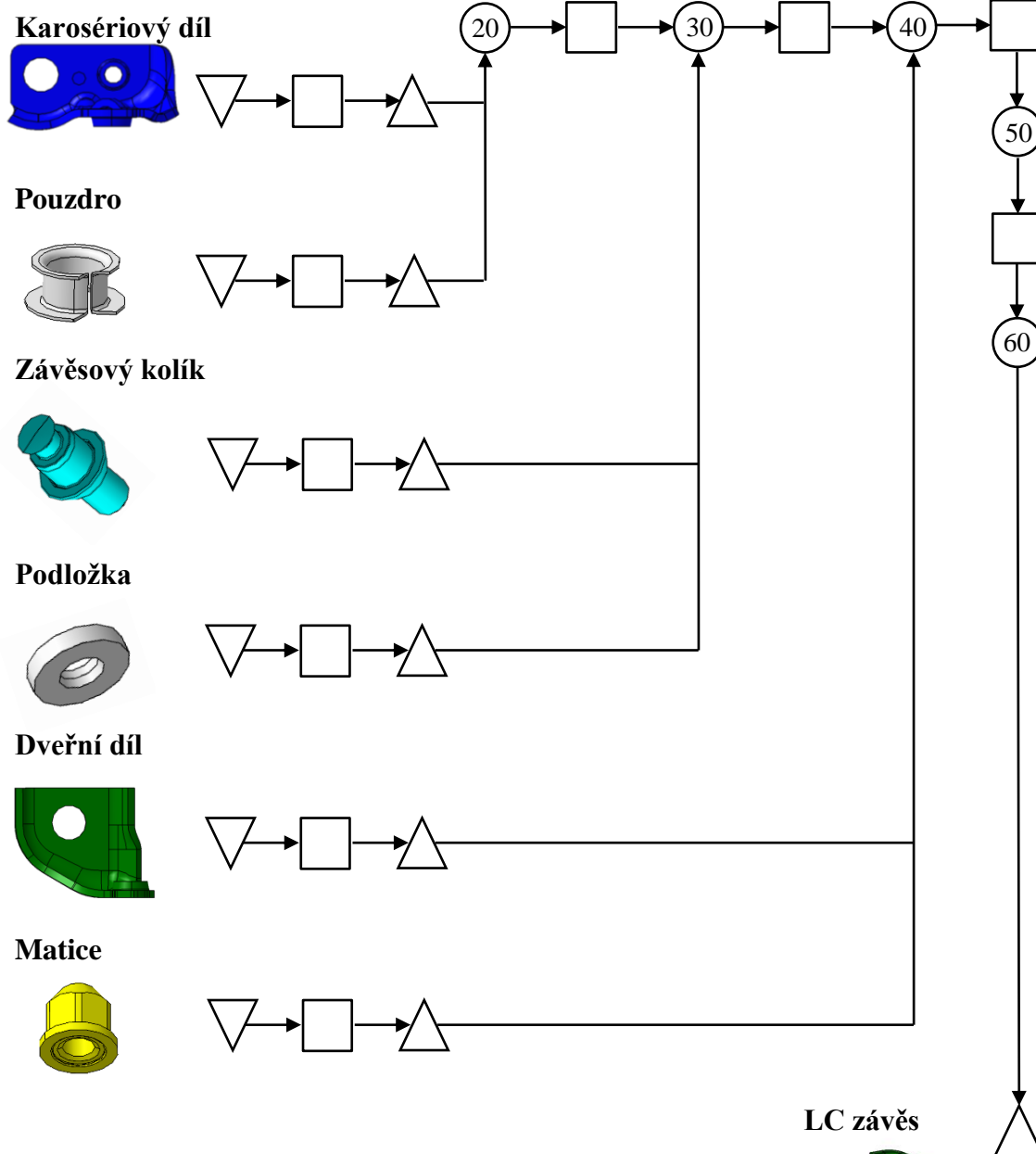
V návrhu byl uvažován 1 operátor pro každé stanoviště. Potřebný počet kusů bude na operacích 20, 30 a 40 vyroben ve 2 směnách za týden, na operaci 50 pro kontrolu a značení jsou nutné 3 směny. Ve zbývajících hodinách je možné použít stroje pro montáž komponentů z jiných projektů.



## 11.1.1 TOK MATERIÁLU

Tabulka 24: Použité symboly

▽	Vstupní sklad	□	Kontrola
○	Výrobní operace	△	Uskladnění



## Výrobní operace:

- 10 Vstupní kontrola
- 20 Pouzdrování
- 30 Nýtování
- 40 Šroubování + měření momentu
- 50 Značení + 100 % vizuální kontrola + balení
- 60 Výstupní kontrola





### 11.1.2 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PROCESU

#### Operace 10

- Vstupní kontrola při přijmutí materiálu provedená dle interního plánu vstupní kontroly a uložení materiálu do skladu.
- V případě výroby karosériového a dveřního závěsu přímo ve firmě Edscha se operace 10 pro tyto komponenty vynechá.

#### Operace 20

- Založení karosériového dílu a pouzdra do přípravku
- Kalibrace pouzdra na příslušný rozměr
- Zalisování pouzdra do karosériového dílu závěsu
- Rozlemování okrajů pouzdra

#### Operace 30

- Založení závěsového kolíku a meziprojektu z předchozí operace do přípravku
- Založení podložky
- Roznýtování příslušného konce závěsového kolíku

#### Operace 40

- Založení meziprojektu z operace 30, dveřního dílu a matice
- Utažení matice na příslušný moment
- Kontrola – měření momentu (naměřený moment musí ležet v rozmezí 0,5 – 4 Nm)

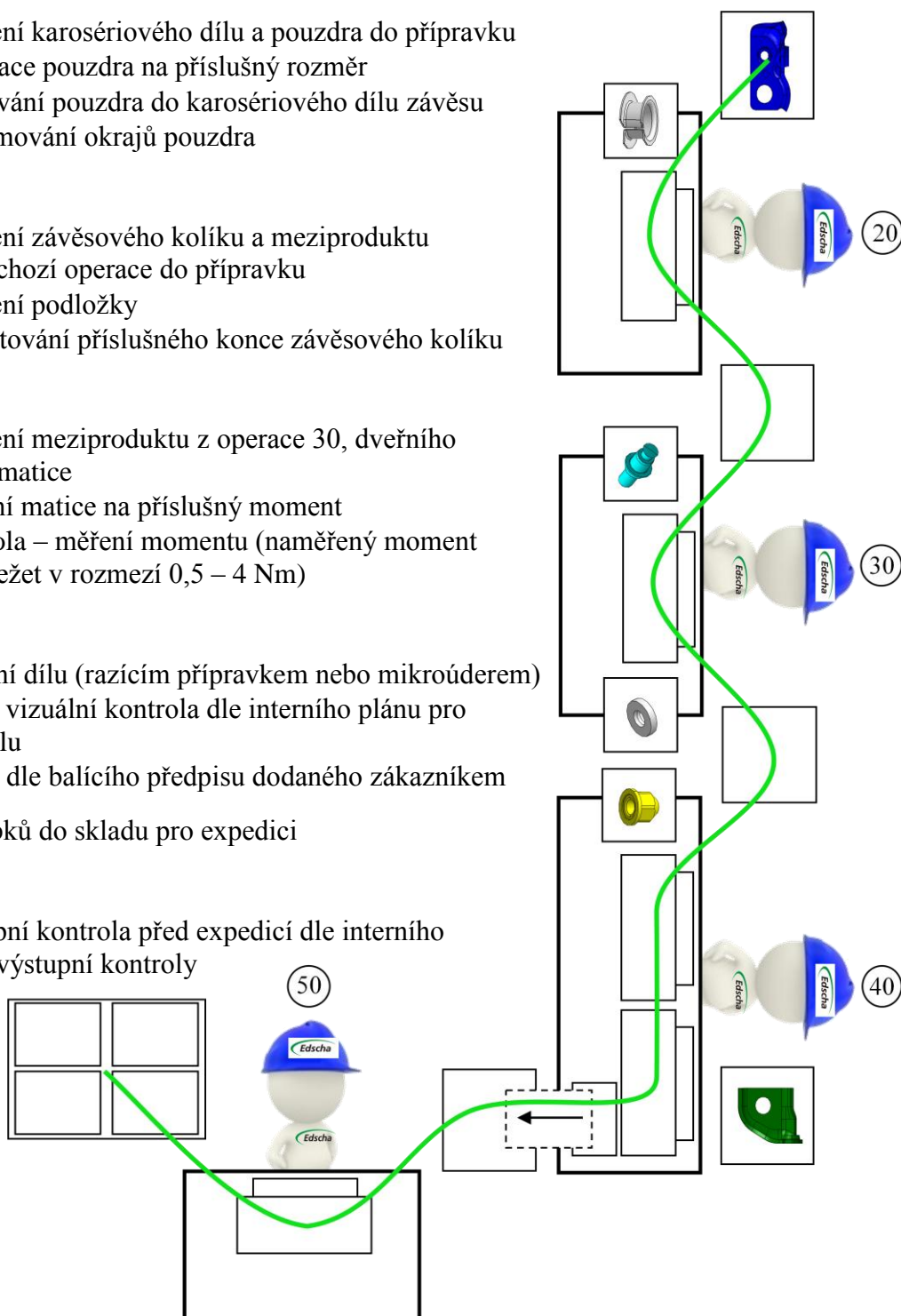
#### Operace 50

- Značení dílu (razícím přípravkem nebo mikroúderem)
- 100 % vizuální kontrola dle interního plánu pro kontrolu
- Balení dle balícího předpisu dodaného zákazníkem

Uložení výrobků do skladu pro expedici

#### Operace 60

- Výstupní kontrola před expedicí dle interního plánu výstupní kontroly



Obrázek 48: Grafické znázornění manuální montážní linky



## 11.2 VARIANTA 2

Tato varianta uvažuje vyšší produkci komponentů za rok. V případě použití návrhu z varianty 1 by bylo nutné použít dvě montážní linky, tedy i dvojnásobný počet pracovníků a zastavený prostor by byl také dvojnásobný. Navíc by obě linky nebyly dostatečně vytíženy. Proto byla pro tuto variantu navržena automatická montážní linka s jedním pracovníkem pro zakládání do stroje a jedním na 100 % vizuální kontrolu.

Tabulka 25: Hodnoty pro návrh automatické montážní linky

Požadavky	
Počet vozidel / rok	300 000
Produkce LC závěsů / rok	2 400 000
Nominální produkce LC závěsů / týden	50 000
Maximální produkce LC závěsů / týden	57 500
Celková produkce LC závěsů za životnost projektu	14 400 000

Životnost projektu byla uvažována na dobu 6 let. Zákazník má právo bez udání důvodu navýšit odvolávky o 15%, což je běžným standardem v automobilovém průmyslu. Aby byla firma schopna svou produkcí pokrýt i toto případné navýšení, byla vypočítána a v navrhování uvažována i maximální produkce LC závěsů, která je tedy o 15% vyšší, než nominální. [4]

Tabulka 26: Hodnoty automatické montážní linky

Tok materiálu	Operace		Čas cyklu [s]	Max. počet kusů / hod	Čistý výrobní čas stroje [hod]
	30	100 % kontrola + balení	5,4	667	112,5
20	Otočný stroj	5,4	667	112,5	

Navrhované časy cyklů byly převzaty z již zavedených pracovišť ve firmě Edscha, na kterých se provádějí podobné operace. Vzhledem k vyšší složitosti otočného stroje byl uvažován čistý výrobní čas stroje 80 %, kdy zbylých 20 % je ponecháno na odstávky z důvodu pauzy pro obsluhu, drobné údržby, výměny nástrojů, drobné opravy, apod. Pro stanoviště 100% vizuální kontroly byl tento čas uvažován 90 %. Ve výpočtu byla zahrnuta zmetkovitost ve výši 1% pro všechna stanoviště, což je promítnuto do výsledného počtu vyrobených kusů. Na každém stanovišti bylo tedy nutné navýšit počet vyrobených kusů tak, aby se pokryla zmetkovitost z tohoto i z předchozího stanoviště.

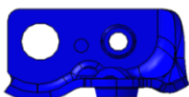


### 11.2.1 TOK MATERIÁLU

Tabulka 27: Použité symboly

▽	Vstupní sklad	□	Kontrola
○	Výrobní operace	△	Uskladnění

#### Karosériový díl



#### Pouzdro



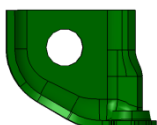
#### Závěsový kolík



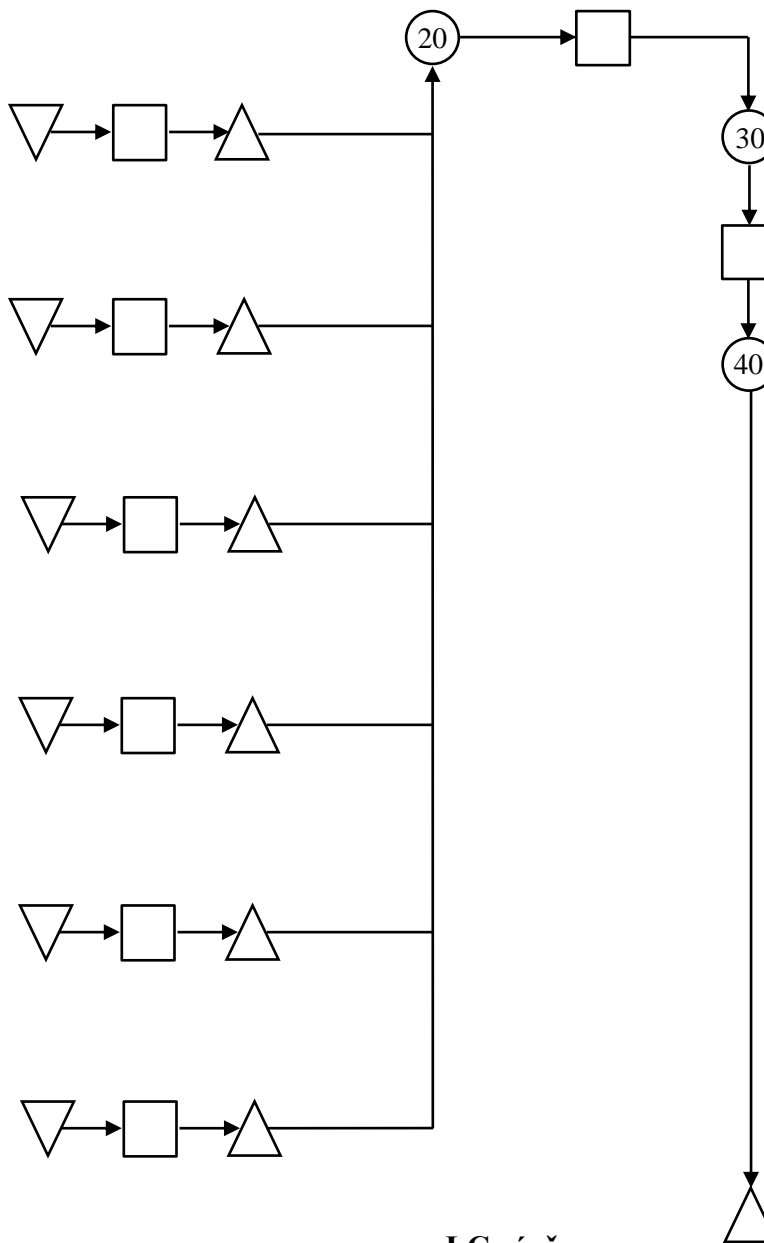
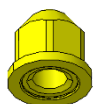
#### Podložka



#### Dveřní díl

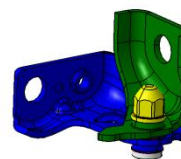


#### Matice



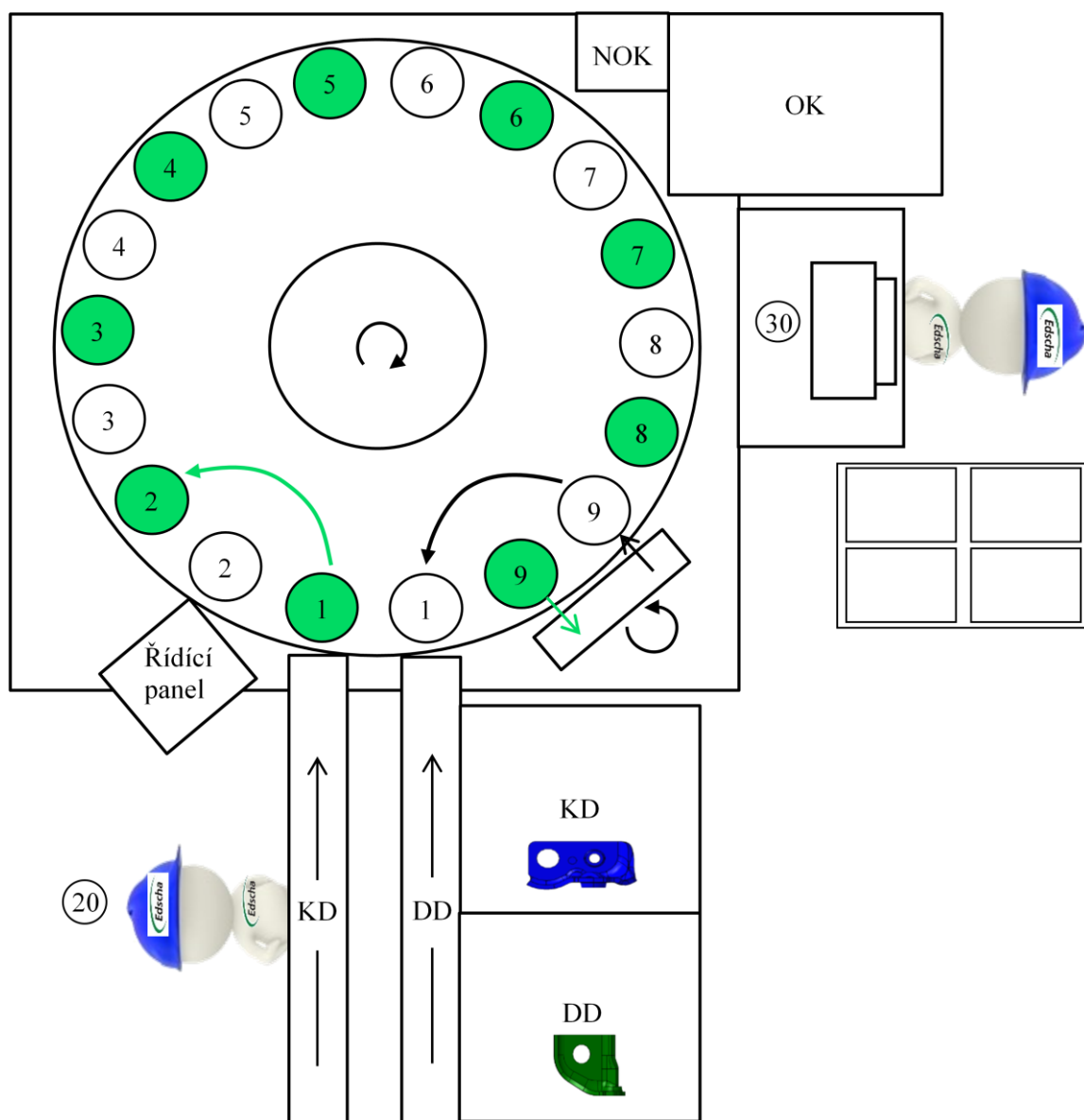
#### Výrobní operace:

- 10 Vstupní kontrola
- 20 Montáž závěsu
- 30 100 % vizuální kontrola + balení
- 40 Výstupní kontrola





11.2.2 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PROCESU



Obrázek 49: Grafické znázornění automatické montážní linky

Cyklus A	První otočení stolu
Cyklus B	Druhé otočení stolu

**Operace 10**

- Vstupní kontrola při přijmutí materiálu provedená dle interního plánu vstupní kontroly a uložení materiálu do skladu.
- V případě výroby karosériového a dveřního závěsu přímo ve firmě Edscha se operace 10 pro tyto komponenty vynechá.

**Operace 20****A**

1. Založení karosériového dílu do přípravku
2. Založení závěsového kolíku z vibračního stroje do přípravku
3. Vložení pouzdra z vibračního stroje do karosériového dílu
4. Kalibrace pouzdra pomocí kalibračního trnu
5. Rozlemování spodního okraje pouzdra na karosériovém dílu
6. Přeložení karosériového dílu se zalisovaným pouzdem na závěsový kolík
7. Vložení podložky z vibračního stroje na příslušný konec závěsového kolíku
8. Roznýtování příslušného konce závěsového kolíku
9. Otočení dílu o 180° (podložkou směrem dolů) a jeho přeložení do cyklu B

**B**

1. Založení dveřního dílu na závěsový kolík v podstavě smontované v cyklu A
2. Volná pozice
3. Vložení matice z vibračního stroje na příslušný konec závěsového kolíku a zašroubování matice na příslušný moment
4. Kontrola - měření momentu závěsu (naměřený moment musí ležet v rozmezí 0,5 – 4 Nm)
5. Kontrola závitů v karosériovém dílu pomocí kontrolního .....
6. Značení dílu (razícím přípravkem nebo mikroúderem)
7. Odebrání dílu a třídění na OK a NOK díly
8. Kontrola prázdné pozice po odebraném dílu

**Operace 30**

- 100 % vizuální kontrola dle interního plánu pro 100% kontrolu
- Balení dle balicího předpisu dodaného zákazníkem

Uložení výrobků do skladu pro expedici

**Operace 40**



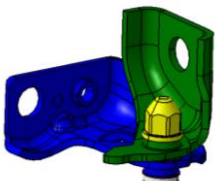
- Výstupní kontrola před expedicí dle interního plánu výstupní kontroly

Oba návrhy jsou pouze orientační a zjednodušené a slouží jako podklad pro další plánování procesu. Pro reálnou výrobu tohoto LC závěsu bude nezbytná detailnější analýza a naplánování výrobního procesu. Dále bude nutné vytvoření layoutu umístění linky ve výrobní hale, přidání stanišť s kontrolními přípravky, ekonomické zhodnocení, včetně poptávek u dodavatelů strojů, naplánování investic, konzultace s bezpečnostním oddělením, apod.



## 12 POROVNÁNÍ PLECHOVÝCH ZÁVĚSŮ

Tabulka 28: Porovnání plechových závěsů [4]

Typ	Závěs Škoda Fabia	LC 5 mm	LC 3 mm
Model			
<b>Materiálové charakteristiky</b>			
Karosériový díl			
Rm [MPa]	400	480 - 620	930 ± 50
Re [MPa]	170-310	min. 420	830
Dveřní díl			
Rm [MPa]	430 - 550	480 - 620	930 ± 50
Re [MPa]	min. 355	min. 420	830
<b>Parametry</b>			
Tloušťka plechu [mm]	4,5	5	3
Hmotnost [g]	320	310	199
<b>Výsledky testů</b>			
Trhací test - deformace při zatížení 26 kN			
Podélné zatížení [mm]	29	13,5	11,06
Příčné zatížení [mm]	39 - 44	12,8	8,2
Test stability závěsu			
Elastická deformace [mm]	2,72 - 2,99	3,14 - 4,37	2,81
Plastická deformace [mm]	0,24 - 0,3	0,48 - 0,57	0,38

Uvedené hodnoty z výsledků testů jsou u stávajícího závěsu používaného na Škodu Fabii a u původního LC závěsu z reálného testování závěsu. Výsledky testování LC závěsu z 3 mm jsou brány z počítačových simulací.

Z tabulky je patrné, že nejvyšší výhodou vytvořeného LC závěsu z 3 mm plechu je jeho nízká hmotnost:

Tabulka 29: Porovnání hmotností plechových závěsů

LC 3 mm vs. závěs Škoda Fabia	LC 3 mm vs. LC 5 mm
lehčí o 121 g	lehčí o 111 g
úspora hmotnosti na 1 vozidlo (8 závěsů na automobil)	
968 g	888 g
případná úspora materiálu při produkci 300 000 aut ročně	
290,4 kilotun	266,4 kilotun



Uvedené hmotnosti všech závěsů bylo odečteny z programu Catia. Jejich reálná hmotnost se tedy bude mírně lišit. Hodnoty v této tabulce jsou proto pouze orientační, i přesto je však patrná výrazná úspora hmotnosti v případě LC závěsu z 3 mm plechu.



## ZÁVĚR

Trendem moderní doby je mimo jiné i snižování hmotnosti automobilu, což vede ke zlepšené akceleraci a jízdních vlastností vozidla, jeho snížené spotřebě paliva i produkovaného množství škodlivých emisí. Uvedené důsledky jsou důvodem vzniku požadavků na snižování hmotnosti většiny komponentů vozidla a tedy i závěsů bočních dveří.

Stávající sériově vyráběný plechový závěs, který se používá např. u Škody Fabie, dosahuje hmotnosti 320 g při tloušťce plechu 4,5 mm. Jeho hlavní nevýhodou je velmi nízké využití materiálu při výrobě a také vysoký počet dílů. Tyto důvody vedly k požadavku na vývoj nového LC závěsu, který by se z pevnostního hlediska vyrovnal původnímu závěsu a zároveň odstranil jeho nedostatky. Byl tedy vytvořen LC závěs o tloušťce plechu 5 mm a váze 310 g. Nedostatkem tohoto závěsu byla jeho stále vysoká hmotnost. Další problém představovala vysoká tloušťka plechu, která při výrobě závěsu způsobovala problémy při ohýbání do požadovaného tvaru součásti.

Tato diplomová práce se tedy zabývala úpravou stávajícího LC závěsu bočních dveří s cílem snížit jeho hmotnost a odstranit problémy s vysokou tloušťkou plechu. Byl vybrán vhodnější materiál, který umožnil použití nižší tloušťky plechu při zachování pevnostních charakteristik závěsu. Dalším krokem byla konstrukce závěsu z plechu o tloušťce 3 mm. Při tvorbě modelu se vycházelo z konstrukce původního LC závěsu. Vzhledem ke změně materiálu, tloušťky plechu i konstrukce závěsu, bylo nutné ověření jeho pevnostních charakteristik. Byla tedy provedena simulace trhacího testu a testu stability závěsu. Závěs splnil podmínky trhacího testu, když bez uvolnění vydržel zatížení o velikosti 26 kN. V testu stability závěsu byly získané hodnoty deformací nižší, než maximální povolené. Upravený LC závěs tedy splnil požadavky obou testů a mohlo se přikročit k dalšímu plánování. Po napěťové analýze byla konzultována sériová vyrobiteľnosť závěsu s nástrojárnou Edscha Hradec s.r.o., která také vytvořila nástřihové plány pro výrobu karosériového a dveřního dílu na postupovém lisu. Posledním krokem byl návrh montážního procesu závěsu pro dvě varianty vyráběného množství automobilů za rok.

Ze srovnání uvedených závěsů je patrné dosažení výrazné úspory hmotnosti. Upravený LC závěs disponuje hmotností 199 g. Na jedno vozidlo je použito 8 závěsů, což činí úsporu hmotnosti o velikosti 888 g na jeden automobil ve srovnání s původním LC závěsem a 968 g ve srovnání se stávajícím sériově vyráběným. V případě výroby 300 000 vozidel ročně by oproti původnímu LC závěsu vznikla úspora materiálu o velikosti 266,4 kilotun. V případě srovnání se stávajícím plechovým závěsem Škody Fabie činí tato úspora dokonce 290,4 kilotun.

V simulaci obou testů byly použity zjednodušené modely zkušebních rámců, spoje a kontakty byly idealizovány. Před započítáním výroby LC závěsu bude tedy nutné zhotovení prototypů a jejich reálné testování na zkušebních zařízeních. Nástřihové plány a plánování montážního procesu byly vytvořeny zjednodušeně. Před začátkem sériové výroby by byla nutná hlubší analýza všech procesů a výroba detailnějších návrhů. Diplomová práce slouží především jako podklad pro další vývoj LC závěsu.

V případě potřeby dalšího zvýšení bezpečnosti by po dohodě se zákazníkem bylo možné zvážit úpravu konstrukce karosériového dílu, jelikož právě na tomto komponentu se v simulacích zkušebních testů vyskytovaly nejvyšší hodnoty napětí. V dalším vývoji by pro ještě výraznější snížení hmotnosti bylo možné použití lehčích materiálů jako třeba





hliníkových slitin. Pro toto řešení by však byl nutný výraznější kompromis mezi váhou a cenou vyrobeného závěsu.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Lotus. Lotus [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.lotuscars.com/about-us/lotus-philosophy>
- [2] Den otevřených dveří ve Škoda Auto. Rok průmyslu a technického vzdělávání [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.rokprumyslu.eu/kalendar-akci/den-otevrenych-dveri-ve-skoda-auto-5338/>
- [3] Autorevue. Autorevue [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/test-vw-t6-multivan-20-bitdi-4motion-dodavka-za-vsechny-prachy/ch-56917>
- [4] Poklady firmy Edscha Automotive Kamenice s.r.o.
- [5] Opel FlexDoors. Autolexicon [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/opel-flexdoors/>
- [6] Opel Meriva. Auto.cz [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/opel-meriva-concept-s-novymi-flexdoors-jak-daleko-ma-od-studie-k-seriovemu-modelu-8293>
- [7] LSD Doors. LSD [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: [http://www.lsd-doors.com/technik#\\_details](http://www.lsd-doors.com/technik#_details)
- [8] Access Mobility Hinge Systems- More than just asethetics. Scissor Doors Inc. [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.scissor-doors.com/access-mobility-hinge-systems-more-than-just-asethetics/>
- [9] Bolzano. Bolzano [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: [http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Ploche\\_vyrobky/MOP\\_EN10149TDP.pdf](http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Ploche_vyrobky/MOP_EN10149TDP.pdf)
- [10] GGB Bearing Technology. Bolzano [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: [http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Ploche\\_vyrobky/MOP\\_EN10149TDP.pdf](http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Ploche_vyrobky/MOP_EN10149TDP.pdf)
- [11] Karbon. Karbon Star [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.carbonstar.cz/karbon.html>
- [12] Uhlíkové vlákno. Kord Carbon [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: [http://www.kordcarbon.cz/uhlikove\\_vlakno](http://www.kordcarbon.cz/uhlikove_vlakno)
- [13] Tepelné zpracování oceli. Tepelné zpracování oceli [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: [http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_tepelne\\_zprac\\_oceli/teorie2.htm](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_tepelne_zprac_oceli/teorie2.htm)



- [14] Zušlechtování. HPM Heat [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.hpmheat.eu/cs/technologie/zuslechtovani.html>
- [15] Povrchová úprava. Povrchová úprava [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: [http://www.povrchovauprava.cz/povrchova\\_uprava\\_kovu/](http://www.povrchovauprava.cz/povrchova_uprava_kovu/)
- [16] ACZS. Žárové zinkování [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.acsz.cz/clanek/zarove-zinkovani-ponorem-zakladni-informace-pro-uzivatele/>
- [17] Slitinový povlak Zinek Nikl. Tribotechnika [online]. TechPark [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32014/slitinovy-povlak-zinek-nikl-1-cast.html>
- [18] EN 10111 DD13 steel plate. Bebon International [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.steel-plate-sheet.com/Steel-plate/EN/10111-DD13.html>
- [19] OCELI VÁLCOVANÉ ZA TEPLA NÍZKOUHLÍKOVÉ HLUBOKOTAŽNÉ K TVÁŘENÍ ZA STUDENA. Pásová ocel [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: [http://www.pasovaocel.cz/vyro\\_tep.htm](http://www.pasovaocel.cz/vyro_tep.htm)
- [20] VRBKA, Martin. Předepjaté šroubové spoje zatížené staticky [online]. ÚK FSI VUT v Brně, s. 16 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/5CK/cv6/Vr06.pdf>
- [21] EULER, Garrett D. Bolt preload calculation [online]. In: . 2002 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://euler9.tripod.com/fasteners/preload.html>
- [22] ZÁTORSKÝ, Michal. Střížný nástroj [online]. Zlín, 2010 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/13523/z%C3%A1torsk%C3%BD\\_2010\\_bp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/13523/z%C3%A1torsk%C3%BD_2010_bp.pdf?sequence=1). Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Baři ve Zlíně, Fakulta technologická.
- [23] Poklady firmy Edscha Hradec s.r.o.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

A	[%]	tažnost
d	[mm]	jmenovitý průměr šroubu
E	[GPa]	modul pružnosti
F	[N]	zatěžovací síla
F <sub>c</sub>	[N]	celková síla
F <sub>i</sub>	[N]	síla předpětí
F <sub>s</sub>	[N]	střížná síla
F <sub>st</sub>	[N]	stírací síla
F <sub>x</sub>	[N]	zatěžovací síla podélná
F <sub>y</sub>	[N]	zatěžovací síla příčná
G	[N]	gravitační síla
K	[-]	součinitel momentu
k <sub>s</sub>	[-]	součinitel otupení nástroje
l <sub>s</sub>	[mm]	střížná délka hrany
l <sub>t</sub>	[mm]	délka ohybů
Re	[MPa]	mez kluzu
Rm	[MPa]	mez pevnosti v tahu
T	[Nm]	utahovací moment
t	[mm]	tloušťka
μ	[-]	Poissonova konstanta



## SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy I.	A11085100	Horní dvevní závěs
Příloha II.	A11085101	Horní dvevní závěs - karosériový díl
Příloha III.	A11085102	Horní dvevní závěs - dvevní díl
Příloha IV.	A11083100	Spodní dvevní závěs
Příloha V.	A11083101	Spodní dvevní závěs - karosériový díl
Příloha VI.	A11083102	Spodní dvevní závěs - dvevní díl
Příloha VII.	M00638100	Kolík závěsu
Příloha VIII.	M00641000	Matice
Příloha IX.	M00337600	Podložka
Příloha X.	10000047809	Pouzdro s věncem