



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# OPTIMALIZACE PŘÍPRAVKU PRO TESTOVÁNÍ LED SVĚTLOMETŮ

JIG OPTIMIZATION FOR LED HEADLAMPS TESTING

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Vobr

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petra Sliwková, Ph.D.

BRNO 2019

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Michal Vobr</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Petra Sliwková, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2018/19

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 bakalářské práce:

## **Optimalizace přípravku pro testování LED světlometů**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Navrhnout optimalizaci testovacího přípravku pro vibrační testy LED světlometů s ohledem na snížení hmotnosti při zachování mechanických vlastností.

### **Cíle bakalářské práce:**

- Přehled vibračních testů.
- Problematika upevnění testovaných dílců.
- Analýza testovacích přípravků.
- Návrh optimalizace přípravku.

### **Seznam doporučené literatury:**

PÍŠKA, Miroslav. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, 2003. 193 s. ISBN 80-2147-2336-6.

ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Cíl bakalářské práce spočívá v nalezení maximální hmotnostní redukce přípravku určeného pro vibrační testování LED světlometů ve firmě Automotive Lighting s.r.o. Optimum je omezeno zachováním mechanických vlastností světlometu.

### Klíčová slova

Optimalizace, přípravek, vibrační test, redukce hmotnosti, dural.

## ABSTRACT

The goal of this Bachelor thesis is finding the optimum for jig used as vibration testing jig in a company Automotive Lighting s.r.o. The condition of optimum is jig's weight with preservation of mechanical properties.

### Key words

Optimization, jig, vibration test, weight reduction, aluminum.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VOBR, Michal. *Optimalizace přípravku pro testování LED světlometů*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117175>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Petra Sliwková, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Optimalizace přípravku pro testování LED světlometů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

.....  
Michal Vobr

**PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Petře Sliwkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ .....	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	7
1 PŘEHLED VIBRAČNÍCH TESTŮ .....	8
1.1 Vibrační zařízení .....	8
1.2 Zjišťování rezonance světlometů .....	8
1.3 Vibrační testy .....	9
2 POPIS PŘÍPRAVKU A PROBLEMATIKA UPÍNÁNÍ .....	11
2.1 Typy přípravků.....	11
2.1.1 Přípravky pro světelné testování.....	11
2.1.2 Přípravky pro klimatické testování .....	12
2.1.3 Přípravky pro vibrační testování.....	12
2.2 Hlavní části přípravku .....	13
2.2.1 Základová deska .....	13
2.2.2 Stojky .....	13
2.2.3 Upínací rozhraní .....	14
2.3 Materiál přípravků.....	15
2.4 Popis upnutí světlometu do přípravku.....	15
3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU A NÁVRH PŘÍPRAVKU .....	16
4 NÁVRH OPTIMALIZACE PŘÍPRAVKU .....	18
4.1 Topologická simulace .....	18
4.2 Jednotlivé varianty odlehčení.....	19
4.3 Modální simulace jednotlivých verzí .....	24
5 ANALÝZA VÝSLEDKŮ SIMULACE .....	26
ZÁVĚRY .....	28
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	29
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	30
SEZNAM PŘÍLOH.....	31

## ÚVOD

Toto téma bakalářské práce bylo zvoleno vzhledem k nedávnému empirickému zjištění, které bylo, že pokud je sestava přípravku a světlometu těžší než 20 kg, dochází ke zkreslení vibračního testu, protože je stroj zatížen příliš velkou hmotností k přesnému rozkmitání, čímž se může snadno stát, že projdou testem světlometry, které nebudou v reálném provozu schopny správné funkce a naopak. Vzhledem k povaze mé pracovní pozice, jako konstruktéra přípravků, mě toto zjištění velmi zaujalo a nabídnul jsem společnosti jeho vyřešení formou této práce.

Na začátku této bakalářské práce se bude vycházet z běžné konstrukce přípravků pro vibrační testy ve společnosti Automotive Lighting s.r.o., které se doposud vyrábí z plného materiálu. Následně bude vyhotovena topologická simulace, jejíž ekvivalentem je prostá statická simulace, díky čemuž budou zjištěny oblasti s nejmenším deformačním odporem.

Tyto výsledky získané ze simulace následně budou využity při samotném odlehčování přípravku, které se provede v oblastech, které v simulaci vyjdou jako oblasti s nejmenším deformačním odporem. Při odlehčování budou brány ohledy na několik aspektů, jako je technologičnost odlehčení, jeho cena atd. Odlehčení se provede v několika stupních, které budou vstupem pro finální dynamické vibrační simulace.

V posledním kroku této práce budou provedeny dynamické vibrační simulace získaných stupňů odlehčení, vzestupně od nejmenšího k největšímu odlehčení. Jakmile bude nalezen stav simulace, kdy daný stupeň odlehčení ovlivní vlastní mechanické vlastnosti přípravku, tudíž přípravek nemá způsobilost k vibračnímu testu, protože nebyla splněna podmínka jeho maximální tuhosti, předchozí stupeň odlehčení bude označen jako nalezení optima.

# 1 PŘEHLED VIBRAČNÍCH TESTŮ

## 1.1 Vibrační zařízení

Společnost je vybavena vibračním zařízením od výrobce Vötsch s modelovým označením LDS V890-LPT900 (viz obr. 1.1). Na tomto stroji jsou prováděny všechny níže prováděné testy. Jeho hlavní parametry jsou dodány v příloze 1.

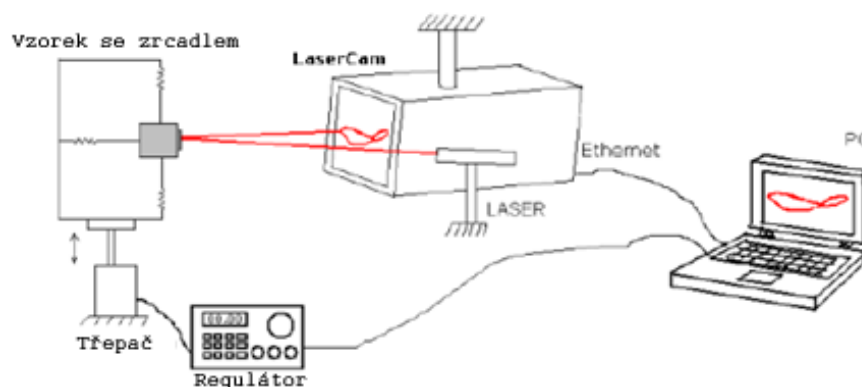


Obr. 1.1 Vibrační zařízení Vötsch LDS V890-LPT900.

## 1.2 Zjišťování rezonance světlometů

Důvodem vzniku níže uvedených testů je požadavek zákazníků o co nejmenší rozkmit hranice světla a stínu. Většinou je požadována hodnota  $\pm 0,15^\circ$  v rozmezí 10–60 Hz při konstantním buzení 1G. Měření je realizováno pomocí laserového paprsku, který míří na zrcátka umístěné na patičce žárovky, nebo světelného bodu ostření LED světlometů. Odraz je poté od zrcátka promítnutý na stěnu ve vzdálenosti 2 m, kde je milimetrový rastr. Rozkmitu  $\pm 0,15^\circ$  poté odpovídá maximální výška znázorněného odrazu 20,8 mm. Tato technologie je konstrukčně jednoduchá, avšak zastaralá, proto je postupně nahrazována metodou LaserCam, jejíž schéma (viz obr. 1.2) naznačuje popis funkce, kdy je odraz vyhodnocený kamerou, a výsledná výchylka, je přenášena přímo do počítače, kde je následně vyhodnocena.

S rostoucím vývojem světelné technologie, a rostoucími nároky od zákazníků, je i metoda LaserCam do budoucna nedostačující, a momentálně se testuje její nahrazení systémem vysokorychlostních kamer s čidly umístěnými na světlometu, v úzké spolupráci s firmou, která systém vysokorychlostních kamer, a software nabízí.



Obr. 1.2 Schéma testování pomocí systému LaserCAM.

### 1.3 Vibrační testy

#### 1. Širokopásmový šum

Širokopásmový šum je vibrační test používaný pro převážnou většinu evropských zákazníků. Dle typu zákazníka se liší průběh samotného testu a nastavených parametrů. Světlomet zadaný pro práci, je testovaný pro zákazníka Škoda, jehož parametry jsou popsány v tab. 1.1 a tab. 1.2.

Tab. 1.1 Nastavené hodnoty pro vibrační test dle specifikace Škoda.

Faktor výkyvu	3,0
Frekvenční rozsah	0-65 Hz s konstantním přetížením 0,5G
Doba testu	8 h
Teplotní zatížení	23±5 °C
Počet testů	2

Tab. 1.2 Povolené hodnoty pro světlomet Škoda.

Frekvence [Hz]	Hustota zrychlení $[(m/s^2)^2/Hz]$
10	7
50	3,5
60	1,75

## **2. Sinusový test**

Sinusový test se používá především pro asijské zákazníky, jedná se o test, který je ovlivněn střední hodnotou frekvence, která je za předepsané teploty akcelerována o předepsané přetížení, reprezentující funkci sinus. Mimo asijské zákazníky se tento test osvědčil také pro homologační testování v Indii.

## **3. Rázový test**

Tento test spočívá v rázovém šoku frekvence na obě strany středové předepsané hodnoty dle specifikace. Využívá se pro testování odolnosti elektrických komponent, řídicích jednotek apod. [1]

## 2 POPIS PŘÍPRAVKU A PROBLEMATIKA UPÍNÁNÍ

Přípravek lze obecně definovat jako jednoúčelové nebo universální pomocné zařízení, které slouží jako rozhraní mezi upnutým kusem či dílcem a upínacím stolem a dále se dělí do několika kategorií. Přípravky se dělí dle použitelnosti, operačního určení, zdroje upínací síly atd. [2]

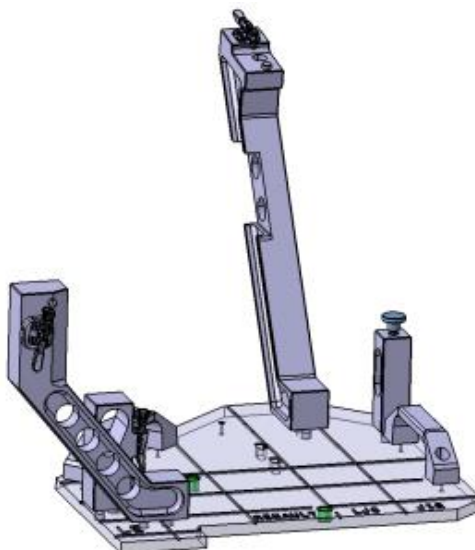
Na vývojovém oddělení firmy se přípravky používají pro světelné testování, testování klimatické a vibrační, tudíž spadají do kategorie speciálních přípravků. Všechny výše zmíněné testy jsou míněny jak pro testování celých světlometů, tak jednotlivých modulů, které jsou v moderních LED světlometech hlavním zdrojem světla a budou podrobněji popsány včetně částí a materiálu v následujících podkapitolách.

### 2.1 Typy přípravků

V této podkapitole budou popsány hlavní rysy a odlišnosti přípravků, vzhledem k jejich zaměření u vývojových testů.

#### 2.1.1 Přípravky pro světelné testování

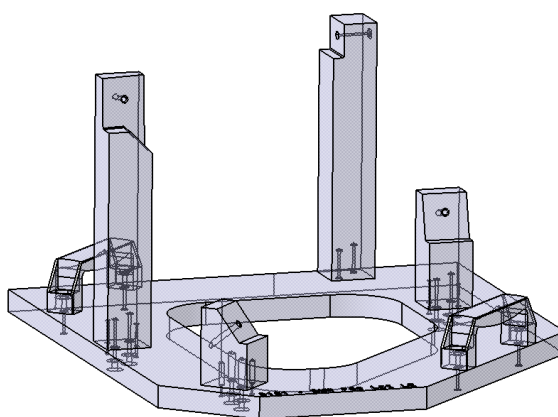
Přípravky pro světelné testování jsou určeny k upnutí ke goniometru, což je testovací zařízení, které je schopné světlomet natáčet ve všech osách. Oproti ostatním přípravkům se liší typ konstrukce, kdy je požadováno vzhledem k četnému přenášení přípravku ze skladu do testovací komory a zpět co nejlehčí provedení, dále je třeba dodržet speciální upínání goniometru včetně otvorů tvořených lisovacími pouzdry pro přesné pozicování přípravků na stole goniometru. Vzhledem k velkému množství světlometů, testovaných v jednom přípravku je třeba, aby uchycení světlometu či modulu bylo pouze dočasné a rychle odnímatelné, z tohoto důvodu se pro aretaci světlometu v přípravku používají různé variace rychloupínek, které jsou vzhledem k minimálnímu namáhání spoje po aretaci dostatečně tuhé. Přípravek pro světelné testování je znázorněn na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Přípravek pro světelné testování.

### 2.1.2 Přípravky pro klimatické testování

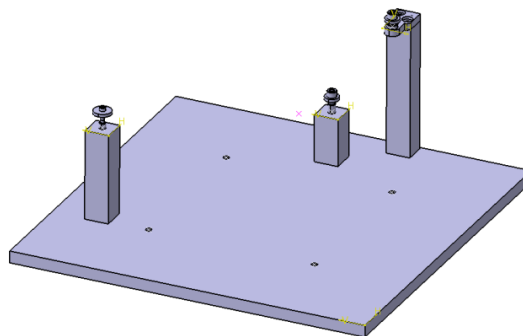
Přípravky určené pro klimatické testování jsou určeny pro upnutí světlometu do klimatické komory, kde je světlomet sledován z dlouhodobého klimatického hlediska za působení velké amplitudy střídání teplot. Jelikož je přípravek uchycený do klimatické komory klasickými upínkami za desku přípravku, není třeba konstruovat nějaké speciální rozhraní, spojení světlometu a přípravku musí naprosto souhlasit s upnutím světlometu v automobilu, tudíž musí být pevné pomocí aretačních šroubů světlometu. Při testování modulů je taktéž zapotřebí přiblížit se co nejvíce reálnému upnutí modulu ve světlometu. Přípravek určený pro testování v klimatické komoře je znázorněn na obr. 2.2.



Obr. 2.2 Přípravek pro klimatické testování.

### 2.1.3 Přípravky pro vibrační testování

Přípravky určené k vibračnímu testování musí splňovat několik odlišností, oproti předchozím zmíněným přípravkům, vzhledem k smyslu testování se jedná o jediný přípravek, který je zatěžován dynamicky. Během testu je pomocí vibračního stroje navozována amplituda sil dle specifikací zákazníka, která má za úkol simulovat reálné rázy na světlomet získané při reálném provozu na pozemních komunikacích. Přípravek musí být připraven k upnutí na desku vibrační zkoušečky, která má k upnutí připravený rastr 40x40 mm. S ohledem na vibrace je samozřejmé, že upnutí světlometu do přípravku musí být pevné, a musí simulovat uložení světlometu v automobilu. Přípravek musí být maximálně tuhý, aby nedošlo k ovlivnění vibračního testu a nedošlo k utlumení vibrací samotným přípravkem. Vzhledem k rostoucí velikosti světlometů v průběhu času, již není možno nadále přípravky pro tento typ testu dělat z plného materiálu, jelikož celková váha rozvibrované sestavy nesmí přesáhnout empiricky zjištěnou hodnotu 20 kg [1], protože nad tuto váhu dochází ke zkrácení testu a jeho celkovému znehodnocení. Odlehčení přípravku a následné zajištění správné funkce a absolutní tuhosti přípravku řešeno v této práci. Přípravek určený k vibračnímu testování je znázorněn na obr. 2.3.



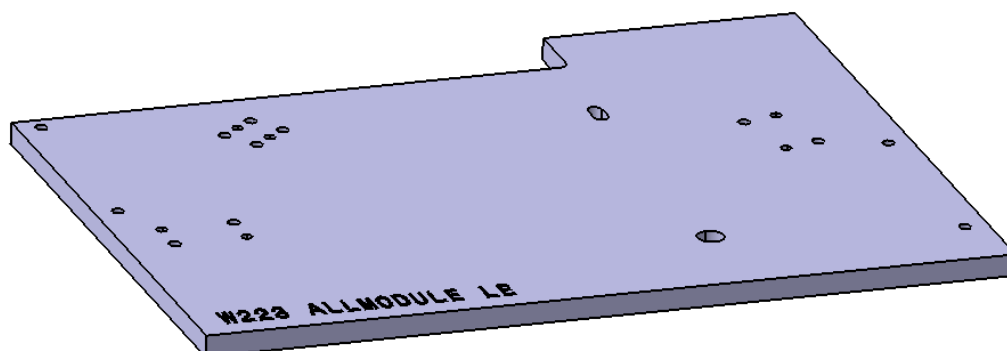
Obr. 2.3 Přípravek pro vibrační testování.

## 2.2 Hlavní části přípravku

V této podkapitole se budeme zabývat hlavními částmi přípravku, jimiž jsou, základová deska, stojky, a upínací rozhraní.

### 2.2.1 Základová deska

Základová deska (viz obr. 2.4) přípravku je jednou z největších částí přípravku, tvořící největší část celkové hmotnosti přípravku. Základová deska musí splňovat dodržení rozhraní k upnutí přípravku k danému testovací zařízení, dle určení přípravku. Dále je deska osazena několika otvory pro šrouby a kolíky určené k montáži a správné aretaci stojek. Deska může také být vybavena párem madel, pro lepší manipulaci s přípravkem.

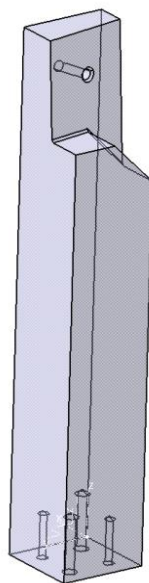


Obr. 2.4 Základová deska.

### 2.2.2 Stojky

Stojky (viz obr. 2.5) jsou dalším velmi důležitým elementem přípravku, jedná se o propojení mezi upínacím rozhraním a základovou deskou přípravku. Jedná se o druhou největší váhovou složku přípravku a je tedy nutné zajistit jejich odlehčení. Stojka nesmí

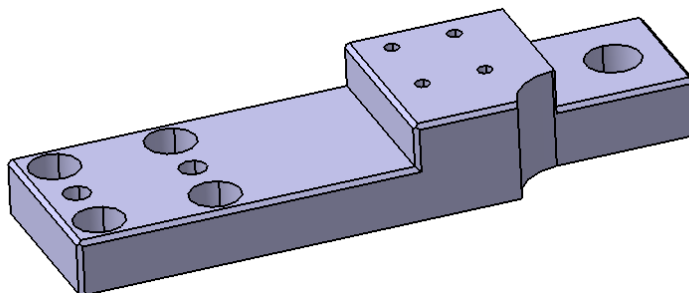
bránit v přístupu konektorům a nastavovacím prvkům světlometu v průběhu testu. Stojky mohou mít libovolný tvar, od prostých vertikálních stojek po komplexní vyhnuté tvary. Vždy je třeba myslet na technologičnost konstrukce, a zda je daný tvar stojky potřeba a není zbytečně složitý. Vzhledem k velikým rozměrům moderních světlometů a limitovaným rozměrem základové desky vibračního zařízení, jsou stojky drahou částí výrobního procesu přípravku vzhledem k jejich vyhnutým tvarům.



Obr. 2.5 Stojka.

### 2.2.3 Upínací rozhraní

Upínací rozhraní (viz obr. 2.6) se liší dle typu testu, pro který je přípravek navrhnutý, pro světelné testování se používají různé variace rychloupínek, které zajistí rychlé odepnutí světlometu a jeho výměnu za jiný testovaný světlomet. Pro ostatní fyzikální testy je voleno pevné uchycení, které využívá možnosti upnutí světlometu a simuluje uložení světlometu v automobilu.



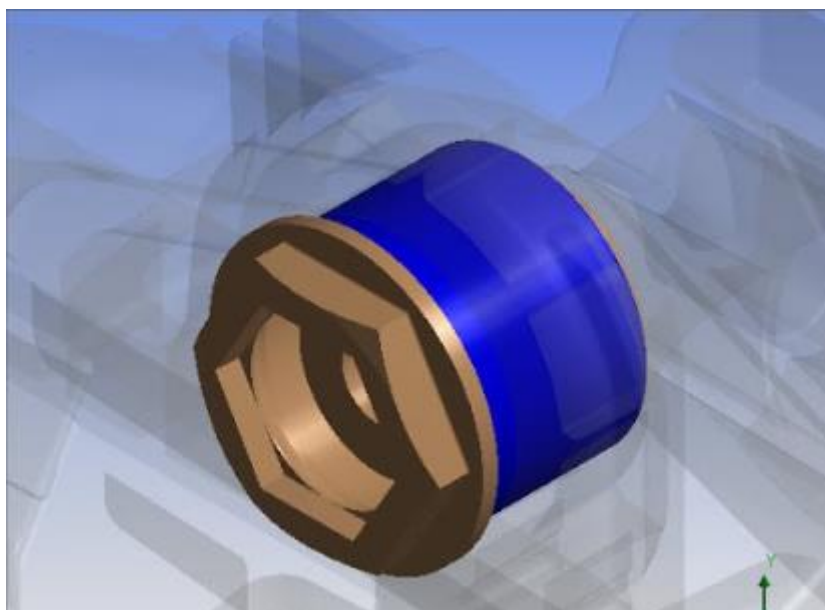
Obr. 2.6 Upínací rozhraní.

### 2.3 Materiál přípravků

Všechny přípravky jsou vyráběny z materiálu Dural EN AW 2024 – AlCuMg2. Dural je slitina hliníku, který je obsažen v koncentraci až z 90–96 %, mědi, kterou obsahuje obvykle v koncentraci 4–6 % a dále hořčíku 0,4–1,8 %. Tato slitina se vyznačuje výbornou obrobitelností, hmotností, tvorbou třísek atd. Pro účely vibračních přípravků je nejvýznamnějším jevem je anelastická, kterou má dural velmi nízkou. Anelastická je schopnost materiálu tlumit vibrace a pohlcovat rázy. Nízká anelastická je většinou brána jako negativní vlastnost materiálu, nicméně pro vibrační přípravky to znamená, že byl nalezen ideální materiál pro tvorbu přípravků určených na vibrační testování. [3]

### 2.4 Popis upnutí světlometu do přípravku

Upnutí světlometu do přípravku se liší dle typu přípravku, vzhledem k povaze práce zde bude popsán pouze systém upínání světlometu do přípravku určeného pro vibrační testování, kde je účelem simulování uložení světlometu v automobilu. Uložení světlometu probíhá pomocí zástavbových rozhraní umístěných přímo na těle světlometu vybavených vnitřním otvorem pro uchycení do karoserie (viz obr. 2.7), tento vnitřní otvor je tedy využit i pro upnutí světlometu do přípravku pomocí šroubu procházejícího skrz tento otvor. Tím je zajištěno pevné uchycení světlometu, které plně vyhovuje pro provozování vibračních testů.



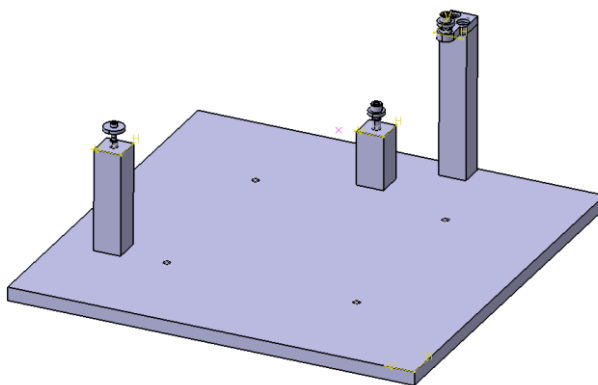
Obr. 2.7 Rozhraní pro zástavbu světlometu do karoserie.

### 3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU A NÁVRH PŘÍPRAVKU

V této kapitole bude popsána konstrukce přípravku vzhledem k aktuálnímu postupu konstruování, a jeho finální podoba s konkrétní hmotností přípravku a světlometu, pro jeho budoucí odlehčení. Jako světlomet testovaný pro tuto problematiku byl zadán světlomet ŠKODA.

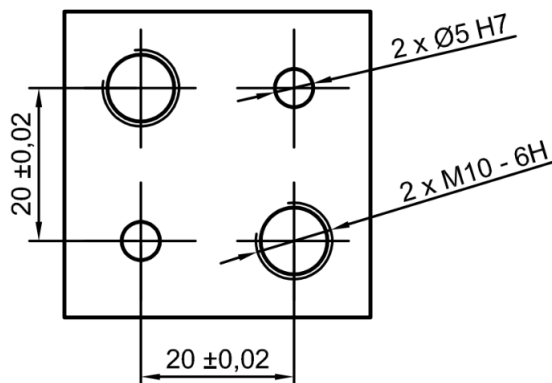
Přípravek byl vytvořen v programu CATIA V5 R26, dle současného stavu byl zkonstruován z dílců popsaných v této práci, konkrétně ze základové desky, třech stojek, a rozhraní (viz obr 3.1).

Normalizované hodnoty a rozměry byly použity ze Strojnických tabulek a Strojně technické příručky. [4, 5]



Obr. 3.1 Přípravek dle původní konstrukce.

Spojení jednotlivých dílců přípravku je uskutečněno pomocí přesně umístěných kolíků a šroubů, toto provedení zajistí dostatečnou stabilitu a funkčnost sestavy včetně dodržení správné pozice stojky při montáži. Jejich rozmístění je zobrazeno na obr. 3.2.



Obr. 3.2 Náčrt rozmístění otvorů na stojce.

Tento přípravek pro světlomet Škoda využívá k fixaci světlometů šrouby s podložkami. Jedná se o standardní fixaci pro vibrační přípravky (viz kap. 2.1.3.).

Váha takto zkonstruovaného přípravku je 21,96 kg, se světlometem ŠKODA, vážícím 4,9 kg, se celková váha bude rovnat 26,86 kg, jedná se o příklad celkové váhy vyšší než 20 kg, která způsobuje problémy s výsledky (viz kap. 2.1.3.). Tato sestava je tedy vhodná k optimalizaci a tato práce se jí zabývá.

## 4 NÁVRH OPTIMALIZACE PŘÍPRAVKU

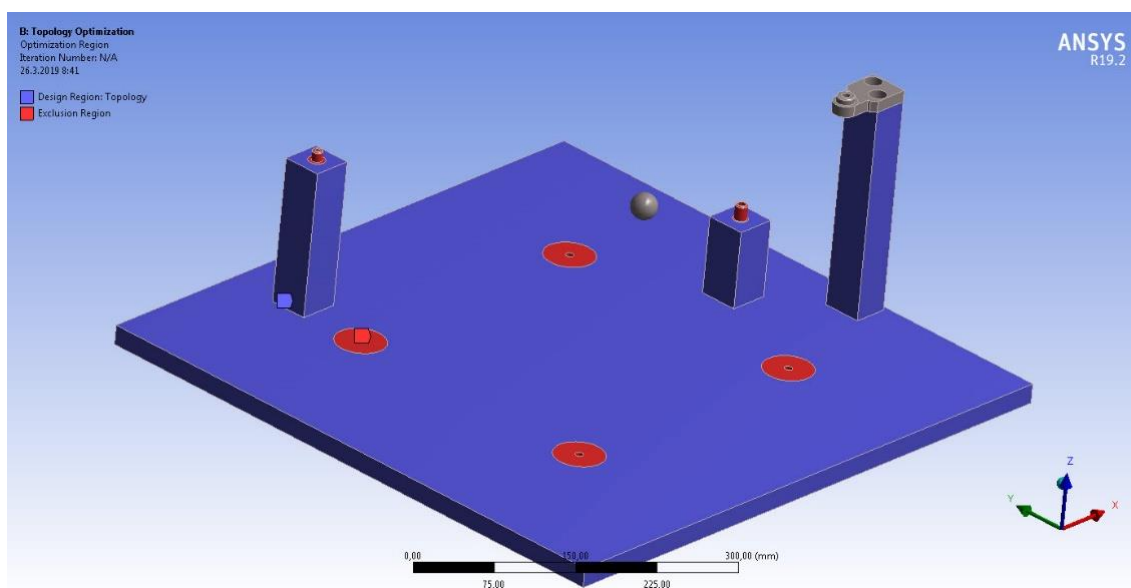
Optimalizací je potřeba dosáhnout co nejlehčí varianty přípravku při splnění podmínky zachovat tuhost a ostatní mechanické vlastnosti velmi podobné přípravku z plného materiálu, aby samotným odlehčením nedošlo k výraznému zkreslení vibračního testu.

V této kapitole bude popsán celý postup optimalizace přípravku, od topologické simulace, po konstrukční návrhy jednotlivých verzí, a jejich následné kontroly pomocí simulací a porovnání s původním přípravkem z plného materiálu.

### 4.1 Topologická simulace

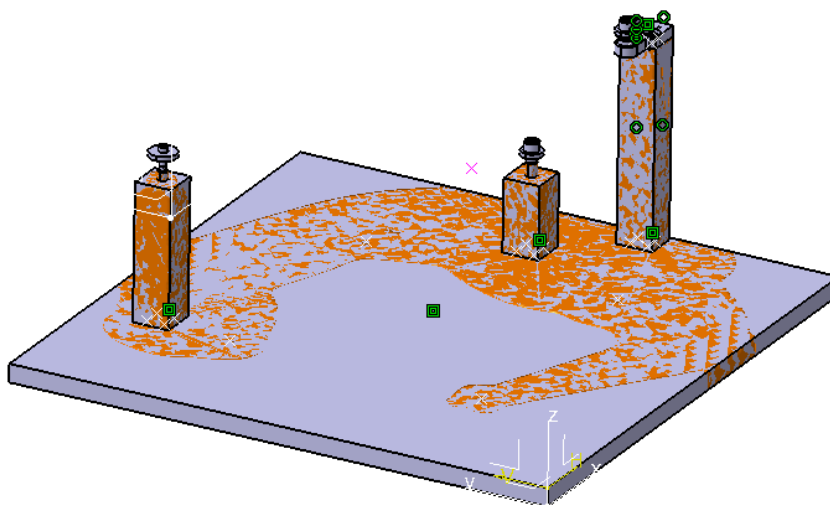
Topologická simulace je výpočetní technika, která optimalizuje zadaný dílec pro dané zatížení, z hlediska okrajových podmínek, tak aby výsledné uspořádání splňovalo předepsané konstrukční nebo výrobní specifikace. [6]

Výpočet byl uskutečněn v programu ANSYS 19.2, kam byl importován přípravek z programu CATIA V5. V tomto programu byl přípravek „zavazbený“, kde byly použity vazby simulující reálné složení sestavy pomocí šroubů a kolíků, včetně dosedů jednotlivých ploch a zatížení přípravku světlometem. Dále byly v programu ANSYS nastaveny parametry sítě, materiál a gravitační síla. Topologická simulace se řadí mezi simulace ovlivněné, protože je limitována okrajovými podmínkami. Zde okrajové podmínky byly maximální redukce váhy na zvolených částech přípravku, tak aby se zachovaly všechny upínací body, otvory pro upevnění stojek a rozhraní (viz obr. 4.1). Tento výpočet byl navržen pro získání přibližného odlehčení přípravku pro splnění způsobilosti pro nosnost světlometu při volném položení na rovině (např. upínání přípravku na stůl vibračního zařízení).



Obr. 4.1 Nastavená topologická analýza – vyznačené plochy k odebrání.

Z výsledku topologické simulace je patrné, že je možné přípravek odlehčit jak na desce přípravku, tak na jednotlivých stojkách. Tento výsledek byl vyexportován z programu ANSYS ve formátu .stl (Příloha 1) a byl následně importován a umístěn v programu CATIA V5 do sestavy s původním přípravkem, kde poslouží jak vzor k jednotlivým variantám odlehčení, jelikož dle dat získaných ze simulace je patrné, že se jedná pouze o přibližné znázornění odlehčení (viz obr. 4.2), na který bude brán ohled z hlediska technologičnosti a vyrobiteľnosti.



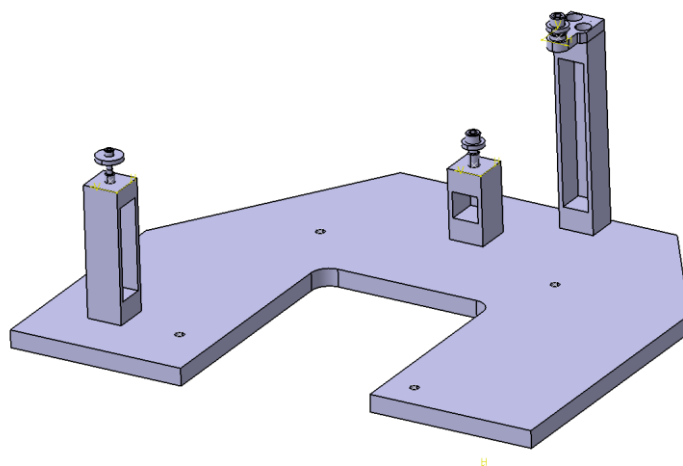
Obr. 4.2 Topologický výsledek – porovnání s původní variantou.

## 4.2 Jednotlivé varianty odlehčení

V následující podkapitole budou popsány rozdíly jednotlivých variant odlehčení, které vycházejí z předešlé topologické simulace – úpravy jsou tedy vykonány na desce a na stojkách, kde je největší objem materiálu. Všechny modely jednotlivých variant jsou vloženy v elektronické příloze (příloha 2).

### Varianta č. 1

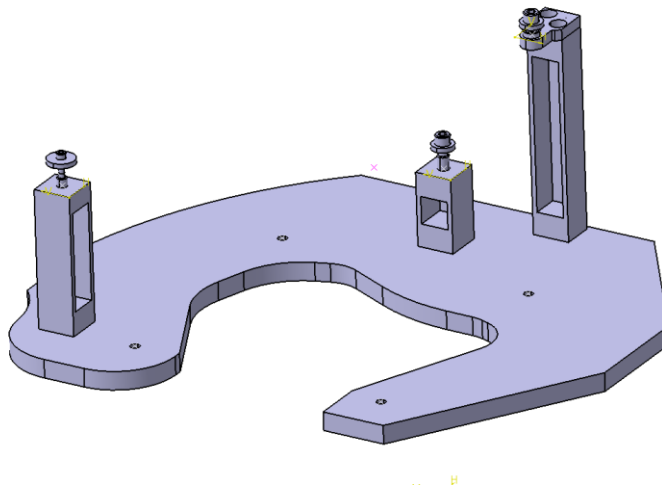
První varianta byla zkonstruována ve smyslu co nejmenších úprav oproti předešlému stavu, kde brán v potaz co nejnižší počet nutných operací k výrobě zadaného přípravku oproti předešlému stavu (viz obr. 4.3).



Obr. 4.3 Náhled návrhu odlehčení – varianta č. 1.

### Varianta č. 2

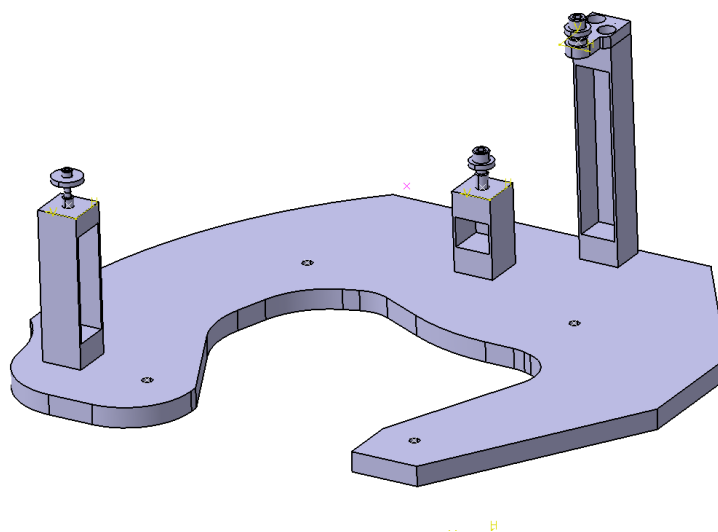
Varianta č. 2 byla zkonstruována s ohledem na co největší odlehčení, a co největší podobě topologické simulaci bez ohledu na vyrobitelnost přípravku (viz obr. 4.4).



Obr. 4.4 Náhled návrhu odlehčení – varianta č. 2.

### Varianta č. 3

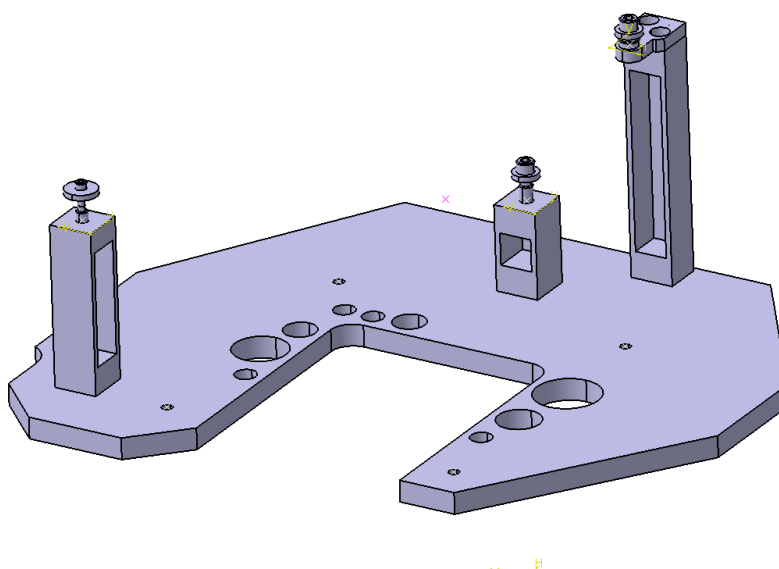
Varianta č. 3 byla zkonstruována z varianty č. 2, s rozdílem v odlehčení stojek, kde byla zanechána stěna o velikost 2,5 mm oproti původním 5 mm (viz obr. 4.5).



Obr. 4.5 Náhled návrhu odlehčení – varianta č. 3.

#### Varianta č. 4

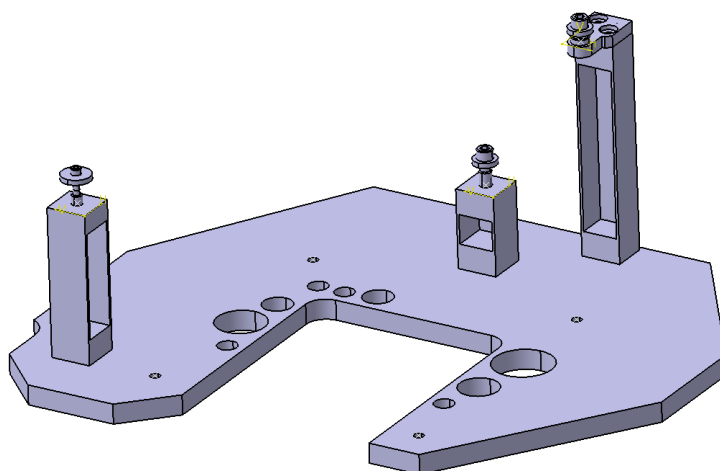
Varianta č. 4 je kombinací obou předešlých varianta, jedná se o co největší odlehčení, při zachování vyrobiteľnosti a technologičnosti (viz obr. 4.6).



Obr. 4.6 Náhled návrhu odlehčení – varianta č. 4.

#### Varianta č. 5

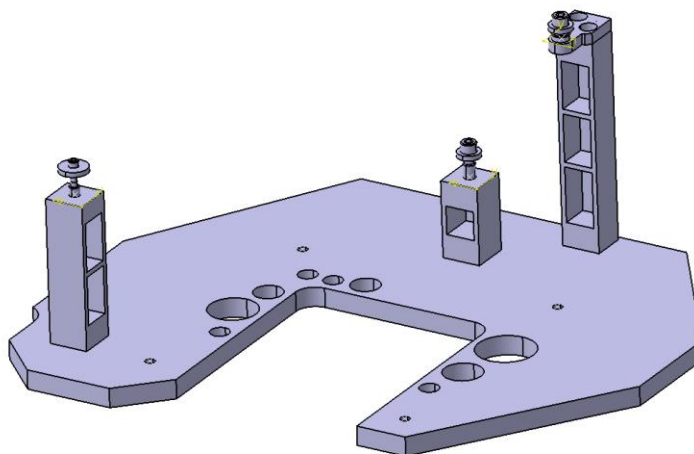
Varianta č. 5 vychází z varianty č. 4, pouze byla stěna u stojek zeštíhlena na 2,5 mm (viz obr. 4.7).



Obr. 4.7 Náhled návrhu odlehčení – varianta č. 5.

#### Varianta č. 6

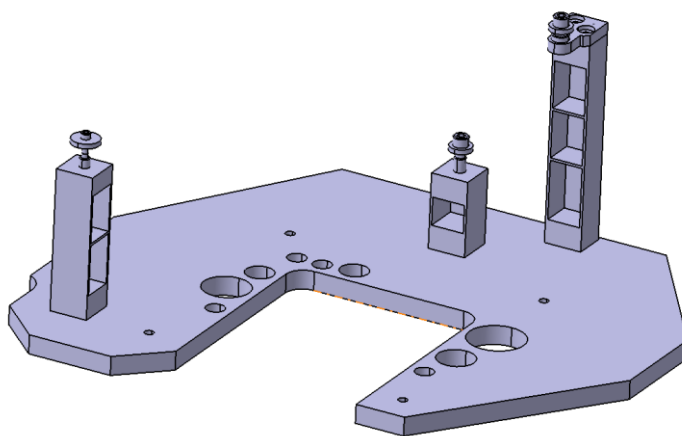
Varianta č. 6 vychází z varianty č. 4, se stěnou 5 mm s přidáním podpurných žeber pro zachování stability (viz obr. 4.8).



Obr. 4.8 Náhled návrhu odlehčení – varianta č. 6.

#### Varianta č. 7

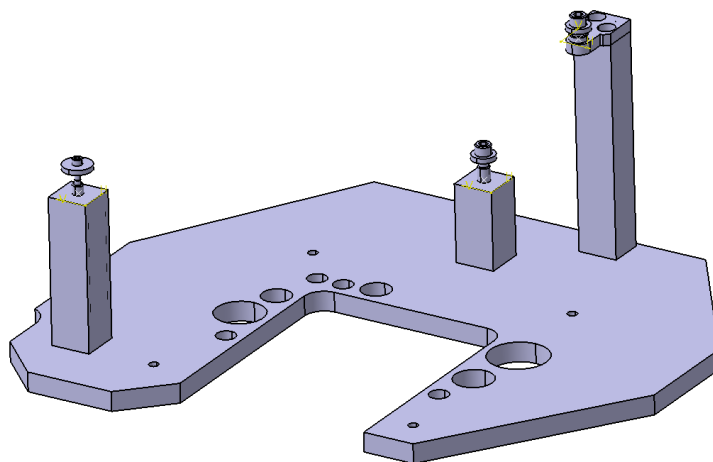
Varianta č. 7 je zkonstruována z varianty č. 6 při zachování žeber, se ztenčením stěn a žeber na 2,5 mm (viz obr. 4.9).



Obr. 4.9 Náhled návrhu odlehčení – varianta č. 7.

#### **Varianta č. 8**

Varianta č. 8 vznikla za účelem zjištění, jak ovlivní odlehčení stojek výslednou stabilitu a způsobilost přípravku, a zda má smysl stojky odlehčovat.



Obr. 4.10 Náhled návrhu odlehčení – varianta č. 8.

## Hmotnosti jednotlivých variant

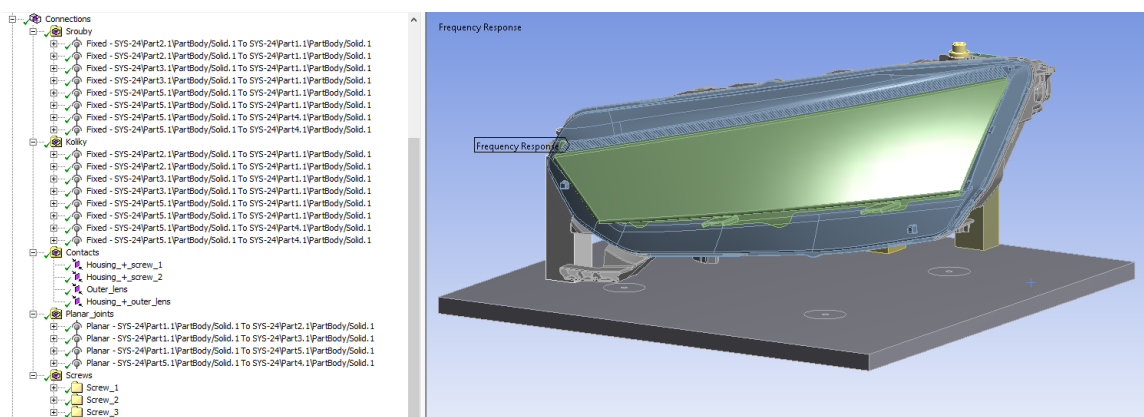
Tab. 4.1 Hmotnosti jednotlivých variant.

Označení přípravku	Hmotnost [kg]
Přípravek z plného materiálu	21,96
Varianta č. 1	13,13
Varianta č. 2	11,85
Varianta č. 3	11,35
Varianta č. 4	11,72
Varianta č. 5	11,85
Varianta č. 6	11,89
Varianta č. 7	11,67
Varianta č. 8	12,65

### 4.3 Modální simulace jednotlivých verzí

Všechny varianty byly vyexportovány z programu CATIA V5 a importovány do programu ANSYS 19.2, kde každá z variant byla nastavena tak, aby výsledné vazby odpovídali realitě.

Jako metoda simulace pro porovnání jednotlivých verzí byla zvolena modální simulace s harmonickou odezvou, která každý přípravek připevňuje pomocí upínacího rozhraní do vibračního zařízení s upnutým světlometem zatíží nastavenou frekvencí. (viz obr 4.11).

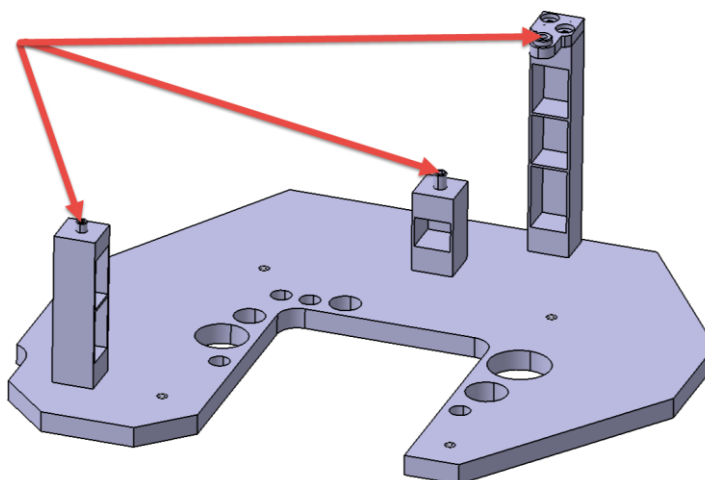


Obr. 4.11 Náhled zavazbeného přípravku v programu ANSYS 19.2.

Simulace byla nastavena (Příloha 3) pro testování přípravků vibrační frekvencí 0–120 Hz, po kroku 1 Hz (viz obr. 4.12), kde výstup bude zakreslován do lineárního grafu, který byl následně vyexportován a shrnut v programu Microsoft Excel (přiložen v elektronické příloze (Příloha 4)). Jako body pro sledování výchylky při vibraci ve všech směrech souřadného systému, byly zvoleny středové body stojky v místě upnutí světlomometu (viz obr 4.13). Krajní body stojky pro tento typ porovnání nejsou vhodné, protože prokážou rozdílné deformace, vzhledem ke kroucení stojky.

Details of "Frequency Response 4"	
[-] <b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Vertex
Spatial Resolution	Use Average
[-] <b>Definition</b>	
Type	Directional Deformation
Orientation	X Axis
Coordinate System	Global Coordinate System
Suppressed	No
[-] <b>Options</b>	
Frequency Range	Use Parent
Minimum Frequency	0, Hz
Maximum Frequency	120, Hz
Display	Bode
Chart Viewing Style	Linear
+ <b>Results</b>	

Obr. 4.12 Náhled nastavení harmonické modální simulace.



Obr. 4.13 Náhled bodů, zvolených pro sledování.

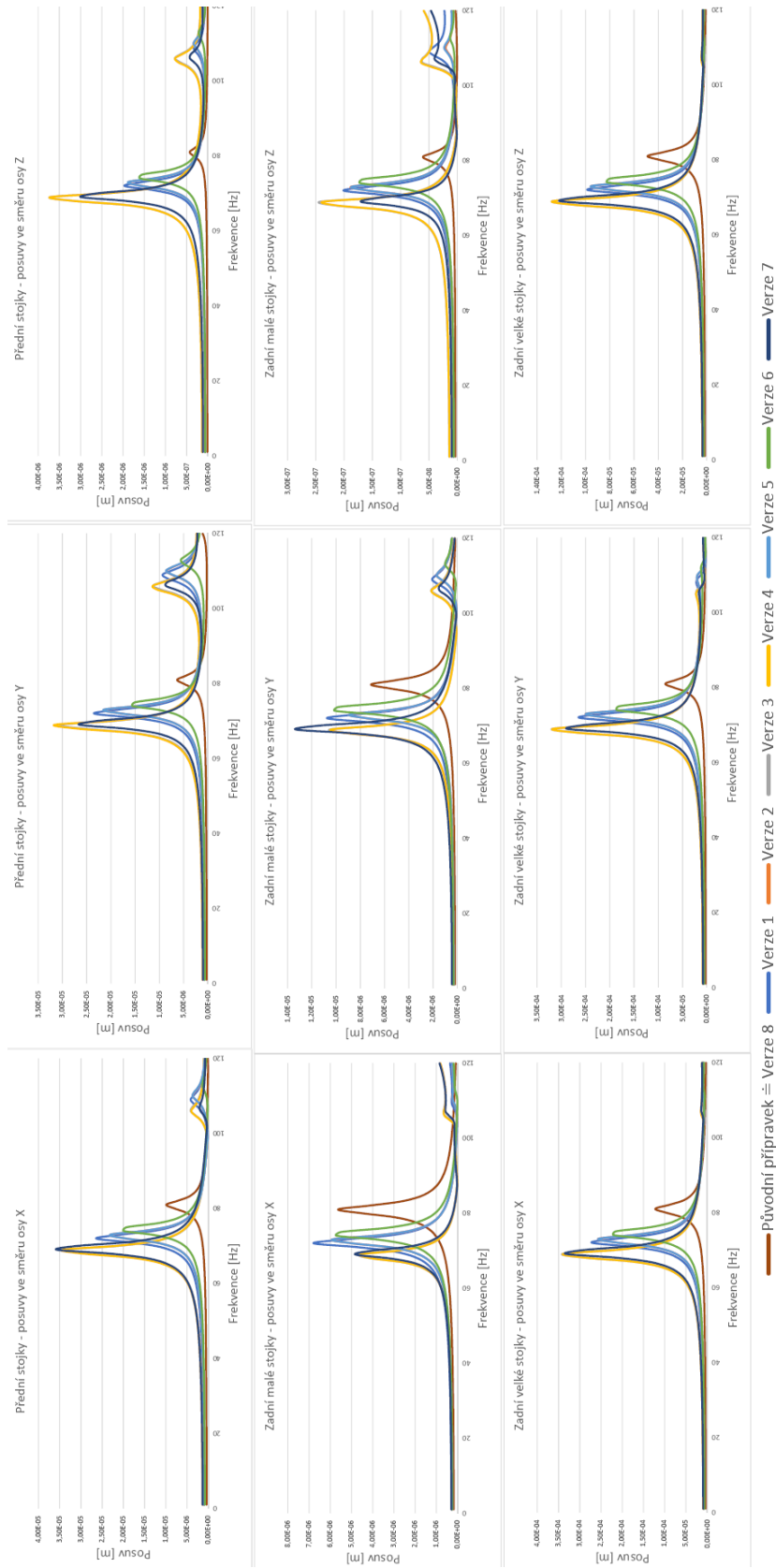
## 5 ANALÝZA VÝSLEDKŮ SIMULACE

Tato kapitola se bude věnovat výsledkům získaných z pozorování zvolených bodů v harmonické simulaci. Pro každou verzi přípravku byl z programu ANSYS 19.2 vyexportován výpis pohybů bodů pro daný směr souřadného systému, tyto soubory byly zkompletovány v programu Microsoft Excel (viz obr 5.1) a následně byly vytvořeny grafy pohybů jednotlivých bodů v závislosti na frekvenci pro všechny verze odlehčení (0–120 Hz) (viz obr 5.2), tento soubor je přiložen v elektronické příloze této práce (Příloha 4).

Z těchto dat byly nalezeny optima dle stavu, zda je požadováno redukovat váhu přípravku maximálně, a odlehčit tak i stojky přípravku, nebo stačí snížit celkovou váhu sestavy pod 20 kg a odlehčit pouze základní desku. Obě tyto varianty mají rozdílné výchylky bodů, a jejich výsledné užití bude součástí závěru této práce.

1	Posuvy středu stojky																		Posuvy krajního bodu									
	2	Přední stojka						Zadní malá						Zadní Velká						Přední stojka			Zadní malá			Zadní velká		
		3	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z					
4	1	1,05E-06	7,88E-07	6,93E-08	2,96E-07	3,56E-07	7,80E-09	7,51E-06	6,84E-06	2,89E-06	1,25E-06	3,59E-07	2,81E-07	3,34E-07	3,88E-07	4,54E-08	7,67E-06	6,64E-06	2,52									
5	2	1,05E-06	7,88E-07	6,93E-08	2,96E-07	3,56E-07	7,80E-09	7,51E-06	6,84E-06	2,89E-06	1,25E-06	3,59E-07	2,81E-07	3,34E-07	3,88E-07	4,54E-08	7,67E-06	6,65E-06	2,52									
6	3	1,05E-06	7,89E-07	6,94E-08	2,96E-07	3,56E-07	7,81E-09	7,52E-06	6,85E-06	2,89E-06	1,25E-06	3,60E-07	2,81E-07	3,34E-07	3,88E-07	4,55E-08	7,68E-06	6,66E-06	2,52									
7	4	1,05E-06	7,89E-07	6,95E-08	2,97E-07	3,57E-07	7,82E-09	7,53E-06	6,86E-06	2,90E-06	1,25E-06	3,60E-07	2,82E-07	3,35E-07	3,89E-07	4,55E-08	7,69E-06	6,67E-06	2,53									
8	5	1,05E-06	7,91E-07	6,96E-08	2,97E-07	3,57E-07	7,83E-09	7,55E-06	6,87E-06	2,90E-06	1,25E-06	3,61E-07	2,82E-07	3,35E-07	3,89E-07	4,56E-08	7,71E-06	6,68E-06	2,53									
9	6	1,06E-06	7,92E-07	6,97E-08	2,98E-07	3,58E-07	7,84E-09	7,56E-06	6,89E-06	2,91E-06	1,26E-06	3,61E-07	2,83E-07	3,36E-07	3,90E-07	4,56E-08	7,72E-06	6,69E-06	2,54									
10	7	1,06E-06	7,94E-07	6,99E-08	2,98E-07	3,59E-07	7,86E-09	7,58E-06	6,91E-06	2,92E-06	1,26E-06	3,62E-07	2,83E-07	3,37E-07	3,91E-07	4,57E-08	7,74E-06	6,71E-06	2,54									
11	8	1,06E-06	7,96E-07	7,00E-08	2,99E-07	3,60E-07	7,88E-09	7,61E-06	6,93E-06	2,92E-06	1,26E-06	3,63E-07	2,84E-07	3,38E-07	3,92E-07	4,58E-08	7,77E-06	6,73E-06	2,55									
12	9	1,06E-06	7,98E-07	7,02E-08	3,00E-07	3,61E-07	7,90E-09	7,63E-06	6,95E-06	2,93E-06	1,26E-06	3,64E-07	2,85E-07	3,38E-07	3,94E-07	4,59E-08	7,80E-06	6,76E-06	2,56									
13	10	1,07E-06	8,01E-07	7,05E-08	3,00E-07	3,62E-07	7,93E-09	7,67E-06	6,98E-06	2,95E-06	1,27E-06	3,65E-07	2,86E-07	3,40E-07	3,95E-07	4,60E-08	7,83E-06	6,79E-06	2,57									
14	11	1,07E-06	8,03E-07	7,07E-08	3,01E-07	3,64E-07	7,96E-09	7,70E-06	7,01E-06	2,96E-06	1,27E-06	3,66E-07	2,87E-07	3,41E-07	3,97E-07	4,61E-08	7,86E-06	6,82E-06	2,58									
15	12	1,07E-06	8,06E-07	7,10E-08	3,02E-07	3,65E-07	7,99E-09	7,74E-06	7,05E-06	2,97E-06	1,28E-06	3,68E-07	2,88E-07	3,42E-07	3,99E-07	4,63E-08	7,90E-06	6,85E-06	2,59									
16	13	1,08E-06	8,10E-07	7,13E-08	3,04E-07	3,67E-07	8,02E-09	7,78E-06	7,09E-06	2,99E-06	1,28E-06	3,69E-07	2,89E-07	3,44E-07	4,01E-07	4,64E-08	7,94E-06	6,89E-06	2,60									
17	14	1,08E-06	8,14E-07	7,16E-08	3,05E-07	3,69E-07	8,06E-09	7,82E-06	7,13E-06	3,00E-06	1,29E-06	3,71E-07	2,90E-07	3,45E-07	4,03E-07	4,66E-08	7,99E-06	6,93E-06	2,62									
18	15	1,09E-06	8,18E-07	7,20E-08	3,06E-07	3,71E-07	8,10E-09	7,87E-06	7,18E-06	3,02E-06	1,29E-06	3,73E-07	2,92E-07	3,47E-07	4,05E-07	4,68E-08	8,04E-06	6,98E-06	2,63									
19	16	1,09E-06	8,22E-07	7,24E-08	3,08E-07	3,74E-07	8,14E-09	7,92E-06	7,23E-06	3,04E-06	1,30E-06	3,75E-07	2,93E-07	3,49E-07	4,08E-07	4,70E-08	8,10E-06	7,02E-06	2,65									
20	17	1,10E-06	8,27E-07	7,28E-08	3,09E-07	3,76E-07	8,19E-09	7,98E-06	7,28E-06	3,06E-06	1,31E-06	3,77E-07	2,95E-07	3,51E-07	4,10E-07	4,72E-08	8,15E-06	7,08E-06	2,67									
21	18	1,11E-06	8,32E-07	7,32E-08	3,11E-07	3,79E-07	8,24E-09	8,04E-06	7,34E-06	3,08E-06	1,32E-06	3,79E-07	2,97E-07	3,53E-07	4,13E-07	4,74E-08	8,22E-06	7,13E-06	2,69									
22	19	1,11E-06	8,37E-07	7,37E-08	3,13E-07	3,82E-07	8,29E-09	8,11E-06	7,40E-06	3,11E-06	1,33E-06	3,82E-07	2,99E-07	3,55E-07	4,16E-07	4,76E-08	8,29E-06	7,19E-06	2,71									
23	20	1,12E-06	8,43E-07	7,43E-08	3,15E-07	3,85E-07	8,35E-09	8,18E-06	7,47E-06	3,13E-06	1,33E-06	3,85E-07	3,01E-07	3,58E-07	4,20E-07	4,79E-08	8,36E-06	7,26E-06	2,73									
24	21	1,13E-06	8,49E-07	7,48E-08	3,17E-07	3,88E-07	8,41E-09	8,25E-06	7,54E-06	3,16E-06	1,34E-06	3,87E-07	3,03E-07	3,60E-07	4,23E-07	4,82E-08	8,44E-06	7,33E-06	2,75									
25	22	1,14E-06	8,56E-07	7,54E-08	3,19E-07	3,91E-07	8,48E-09	8,34E-06	7,61E-06	3,19E-06	1,35E-06	3,90E-07	3,05E-07	3,63E-07	4,27E-07	4,85E-08	8,52E-06	7,40E-06	2,78									
26	23	1,15E-06	8,63E-07	7,60E-08	3,22E-07	3,95E-07	8,55E-09	8,42E-06	7,69E-06	3,22E-06	1,36E-06	3,94E-07	3,08E-07	3,66E-07	4,31E-07	4,88E-08	8,61E-06	7,48E-06	2,81									
27	24	1,16E-06	8,71E-07	7,67E-08	3,24E-07	3,99E-07	8,62E-09	8,51E-06	7,78E-06	3,26E-06	1,38E-06	3,97E-07	3,11E-07	3,69E-07	4,36E-07	4,91E-08	8,70E-06	7,56E-06	2,84									
28	25	1,17E-06	8,79E-07	7,74E-08	3,27E-07	4,03E-07	8,70E-09	8,61E-06	7,87E-06	3,29E-06	1,39E-06	4,01E-07	3,13E-07	3,73E-07	4,40E-07	4,95E-08	8,80E-06	7,65E-06	2,87									
29	26	1,18E-06	8,88E-07	7,82E-08	3,30E-07	4,07E-07	8,78E-09	8,71E-06	7,97E-06	3,33E-06	1,40E-06	4,05E-07	3,16E-07	3,76E-07	4,45E-07	4,99E-08	8,91E-06	7,75E-06	2,90									
30	27	1,19E-06	8,97E-07	7,90E-08	3,33E-07	4,12E-07	8,87E-09	8,82E-06	8,07E-06	3,37E-06	1,42E-06	4,09E-07	3,20E-07	3,80E-07	4,50E-07	5,03E-08	9,02E-06	7,85E-06	2,93									
31	28	1,20E-06	9,06E-07	7,99E-08	3,36E-07	4,17E-07	8,97E-09	8,94E-06	8,18E-06	3,41E-06	1,43E-06	4,14E-07	3,23E-07	3,84E-07	4,56E-07	5,07E-08	9,14E-06	7,96E-06	2,97									
32	29	1,22E-06	9,17E-07	8,08E-08	3,40E-07	4,22E-07	9,07E-09	9,07E-06	8,30E-06	3,46E-06	1,45E-06	4,18E-07	3,27E-07	3,89E-07	4,62E-07	5,11E-08	9,27E-06	8,07E-06	3,01									
33	30	1,23E-06	9,28E-07	8,17E-08	3,43E-07	4,28E-07	9,17E-09	9,20E-06	8,43E-06	3,51E-06	1,46E-06	4,24E-07	3,31E-07	3,93E-07	4,68E-07	5,16E-08	9,41E-06	8,19E-06	3,05									
34	31	1,24E-06	9,39E-07	8,28E-08	3,47E-07	4,34E-07	9,29E-09	9,34E-06	8,56E-06	3,56E-06	1,48E-06	4,29E-07	3,35E-07	3,98E-07	4,75E-07	5,21E-08	9,55E-06	8,32E-06	3,10									
35	32	1,26E-06	9,52E-07	8,39E-08	3,51E-07	4,40E-07	9,40E-09	9,49E-06	8,70E-06	3,61E-06	1,50E-06	4,35E-07	3,39E-07	4,03E-07	4,82E-07	5,27E-08	9,71E-06	8,46E-06	3,14									
36	33	1,28E-06	9,65E-07	8,50E-08	3,56E-07	4,47E-07	9,53E-09	9,65E-06	8,85E-06	3,67E-06	1,52E-06	4,41E-07	3,44E-07	4,09E-07	4,89E-07	5,32E-08	9,87E-06	8,61E-06	3,18									
37	34	1,30E-06	9,79E-07	8,63E-08	3,61E-07	4,54E-07	9,67E-09	9,82E-06	9,01E-06	3,73E-06	1,54E-06	4,48E-07	3,49E-07	4,15E-07	4,97E-07	5,38E-08	1,00E-05	8,76E-06	3,25									
38	35	1,31E-06	9,94E-07	8,76E-08	3,65E-07	4,62E-07	9,81E-09	1,00E-05	9,18E-06	3,80E-06	1,56E-06	4,55E-07	3,54E-07	4,21E-07	5,06E-07	5,45E-08	1,02E-05	8,93E-06	3,30									
39	36	1,33E-06	1,01E-06	8,90E-08	3,71E-07	4,70E-07	9,96E-09	1,02E-05	9,37E-06	3,87E-06	1,59E-06	4,62E-07	3,60E-07	4,27E-07	5,15E-07	5,52E-08	1,04E-05	9,11E-06	3,36									
40	37	1,36E-06	1,03E-06	9,05E-08	3,76E-07	4,79E-07	1,01E-05	1,04E-05	9,56E-06	3,94E-06	1,61E-06	4,70E-07	3,66E-07	4,35E-07	5,25E-07	5,59E-08	1,06E-05	9,30E-06	3,43									
41	38	1,38E-06	1,05E-06	9,21E-08	3,82E-07	4,88E-07	1,03E-05	1,06E-05	9,77E-06	4,02E-06	1,64E-06	4,79E-07	3,72E-07	4,42E-07	5,35E-07	5,67E-08	1,09E-05	9,50E-06	3,50									
42	39	1,40E-06	1,07E-06	9,38E-08	3,89E-07	4,98E-07	1,05E-05	1,09E-05	9,99E-06	4,11E-06	1,67E-06	4,88E-07	3,79E-07	4,50E-07	5,46E-07	5,75E-08	1,11E-05	9,72E-06	3,57									
43	40	1,43E-06	1,09E-06	9,57E-08	3,95E-07	5,09E-07	1,07E-05	1,11E-05	1,02E-05	4,20E-06	1,70E-06	4,98E-07	3,86E-07	4,59E-07	5,58E-07	5,84E-08	1,14E-05	9,95E-06	3,65									
44	41	1,46E-06	1,11E-06	9,76E-08	4,03E-07	5,20E-07	1,09E-05	1,14E-05	1,05E-05	4,30E-06	1,73E-06	5,09E-07	3,94E-07	4,68E-07	5,70E-07	5,93E-08	1,17E-05	1,02E-05	3,74									
45	42	1,49E-06	1,13E-06	9,97E-08	4,11E-07	5,32E-07	1,11E-05	1,17E-05	1,08E-05	4,40E-06	1,77E-06	5,20E-07	4,03E-07	4,78E-07	5,84E-07	6,03E-08	1,19E-05	1,05E-05	3,83									
46	43	1,52E-06	1,16E-06	1,02E-07	4,19E-07	5,45E-07	1,14E-05	1,20E-05	1,11E-05	4,52E-06	1,81E-06	5,33E-07	4,12E-07	4,88E-07	5,98E-07	6,14E-08	1,23E-05	1,08E-05	3,93									
47	44	1,55E-06	1,19E-06	1,04E-07	4,28E-07	5,59E-07	1,16E-05	1,23E-05	1,14E-05	4,64E-06	1,85E-06	5,46E-07	4,21E-07	4,99E-07	6,14E-07	6,25E-08	1,26E-05	1,11E-05	4,03									

Obr. 5.1 Zkompletované výstupy simulací.



Obr. 5.2 Grafické výsledky posuvu v závislosti na frekvenci pro všechny verze.

## ZÁVĚRY

V práci bylo postupováno dle zvoleného pořadí, v první řadě byl navrhnut přípravek dle původní konstrukce z plného materiálu, který byl následně exportován z konstrukčního programu CATIA do simulačního programu ANSYS. V tomto programu byly nastaveny topologické simulace, z kterých byl získán výsledný tvarový vzor pro odlehčení přípravku, z kterého bylo patrné, že možnost odlehčení je jak na desce přípravku, tak na samotných stojkách. Tento vzor byl následně importován zpět do konstrukčního programu CATIA, kde byl použit v sestavě s původním přípravkem z plného materiálu. Dle tohoto vzoru bylo zkonstruováno 8 variant odlehčení, odlišných v různých kritériích. Tyto varianty byly opět importovány do simulačního programu ANSYS. V tomto programu bylo všech 8 variant nastaveno a připraveno k modální harmonické simulace, která byla následně nastavena pro sledování výkyvu středových bodů stojek při frekvencích 1-120 Hz po kroku 1 Hz. Dále byly z programu ANSYS vygenerovány data, která se spojila v programu Microsoft Excel, kde byly také vytvořeny grafy posuvů bodů všech přípravků v závislosti na frekvenci. Z těchto grafů je patrné, že optimalizace není jednoznačná.

V případě, že je požadována maximální redukce váhy přípravku, je třeba odlehčovat ve smyslu přípravku varianty č. 6, s použitými žebry pro vyztužení a stěnou stojek 5 mm. U tohoto přípravku je v porovnání s původním přípravkem minimální výchylka bodů, a váha přípravku byla z původních 21,96 kg snížena na 11,89 kg, tudíž sestava přípravku a světlometu bude vážit méně než 20 kg.

Pokud je potřeba zachovat totožnou tuhost s původním přípravkem z plného materiálu, není možné odlehčovat ze stojek, protože jakýkoliv zásah do stojky sníží frekvenční odolnosti bodů. Proto je se splněným kritériem totožné tuhosti ideální konstrukce přípravku dle varianty č. 8, kde je odlehčena pouze deska, se zachovanými plnými stojkami. U takto zkonstruovaného přípravku se váha z původní 21,96 kg snížila na 12,65 kg. Ani tato varianta s upnutým světlometem, nepřesáhne hodnotu sestavy 20 kg tudíž je i tato varianta způsobilá provozu přípravku pro vibrační testy.

S ohledem na výše zmíněná kritéria, je patrné, že jako primární varianta odlehčování přípravku světlometu ŠKODA pro vibrační testy je zvolena konstrukce dle varianty č. 8 s plnými stojkami, pokud by i po tomto odlehčení byla celková váha světlometu a přípravku nad hodnotu 20 kg, je zapotřebí odlehčit stojky dle varianty č. 6 se zachováním stěny stojky 5 mm, a podpurnými vodorovnými žebry.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. *Interní směrnice*. 2018. Jihlava: Automotive Lighting.
2. ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 8021423366.
3. *Hliník a jeho slitiny v automobilovém průmyslu*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Karel Němec, Ph.D.
4. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.2
5. ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka*. 12. přepr. vyd. Praha: SNTL, 1968. Řada strojírenské literatury.
6. PATHAK, Jay. ANSYS. *ANSYS BLOG* [online]. 2017 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.ansys.com/blog/topology-optimization-aim-18-2>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Zkratka	Popis
<b>.stl</b>	CAD formát – standard triangle language

Symbol	Jednotka	Popis
<b>f</b>	[Hz]	frekvence
<b>m</b>	[kg]	hmotnost

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 .STL model – výstup z topologické simulace (CD)  
Příloha 2 .CATpart – sestava všech variant přípravků (CD)  
Příloha 3 Soubor s nastavenými simulacemi, bez výsledků (CD)  
Příloha 4 Výsledky simulací v číselné i grafické podobě (CD)