

# Laboratorní zdroj světelného záření pro vysokorychlostní kameru

Petr Krátký

---

Bakalářská práce  
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2009/2010

# **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr KRÁTKÝ**  
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Laboratorní zdroj světelného záření pro vysokorychlostní kameru**

Zásady pro vypracování:

**Student vypracuje rešerši na dané téma.  
Student navrhne vhodné mechanické řešení upínací části mezi světelným zdrojem a světlovodem pro různé průměry světlovodů.**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**dle zadání vedoucího BP**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jaroslav Maloch, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**19. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**2. června 2010**

Ve Zlíně dne 18. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.

*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.

*vedoucí katedry*

Příjmení a jméno: ..... KRÁTKÝ PETR .....

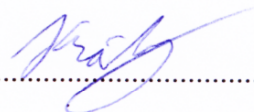
Obor: ..... T2 .....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně ..... 11.6.2010 .....

.....  


<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Teoretická část bakalářské práce se zabývá podstatou světla a jeho parametry. Dále dostupnými světelnými zdroji a úvodem do problematiky vysokorychlostních kamer. Cílem praktické části je návrh tří komponentů konstrukce laboratorního zdroje světelného záření pro vysokorychlostní kameru. Návrh obsahuje mechanické řešení upínací části mezi světelným zdrojem a světlovodem, mechanický držák ovládacích prvků a konstrukci konzoly pro uchycení přístroje na stativ.

Klíčová slova: světlo, světelný zdroj, světlovod, kleština, vysokorychlostní kamera

## **ABSTRACT**

Theoretical part of this Bachelor thesis is concerned with principle of light and its parameters, available light sources and introduction to problematics of high speed cameras. The aim of practical part is to design three parts of construction of laboratory source of light for high speed camera. The design includes the mechanical solution of clamping between light source and light guide cable, mechanical holder for control elements and construction of console for mounting the device on a tripod.

Keywords: light, light source, light guide cable, collet, high speed camera

Děkuji vedoucímu mé práce Ing. Jaroslavu Malochovi, CSc., za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytoval v průběhu vypracování bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 SVĚTLO.....</b>	<b>12</b>
1.1 FREKVENCE.....	14
1.2 POLARIZACE.....	14
1.3 AMPLITUDA.....	15
1.4 JAS.. ..	15
1.5 INTENZITA OSVĚTLENÍ.....	15
1.6 SVĚTELNÝ TOK.....	16
1.7 SVÍTIVOST .....	17
1.8 TEPLOTA CHROMATIČNOSTI .....	17
1.9 INDEX BAREVNÉHO PODÁNÍ – CRI (COLOR RENDERING INDEX) .....	19
1.10 STROBOSKOPICKÝ JEV .....	19
<b>2 SVĚTELNÉ ZDROJE .....</b>	<b>20</b>
2.1 BĚŽNĚ UŽÍVANÉ UMĚLÉ ZDROJE SVĚTELNÉHO ZÁŘENÍ, VYUŽÍVAJÍCÍ PŘEMĚNU ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	21
2.1.1 Žárovky .....	21
2.1.2 Výbojky .....	22
2.1.3 Světelné diody - LED (Light Emitting Diodes) .....	24
<b>3 SVĚTELNÉ ZDROJE PRO VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMERY.....</b>	<b>27</b>
3.1 VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMERY .....	27
3.1.1 Důležité parametry a příklady použití.....	28
3.1.2 Obecné výhody a nevýhody .....	29
3.2 OSVĚTLENÍ PRO ZÁZNAM POMOCÍ VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMERY .....	29
3.2.1 Přímé osvětlení.....	30
3.2.2 Nepřímé osvětlení .....	30
3.3 NEVÝHODY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ PŘI POUŽITÍ PRO OSVĚTLENÍ ZÁBĚRŮ VYSOKORYCHLOSTNÍCH KAMER .....	31
3.3.1 Žárovky .....	31
3.3.2 Výbojky .....	31
3.3.3 Světelné diody - LED (Light Emitting Diodes) .....	32
<b>4 SOUHRN TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>33</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>34</b>
<b>5 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>35</b>
<b>6 UPÍNACÍ ČÁSTI MEZI SVĚTELNÝM ZDROJEM A SVĚTLOVODEM .....</b>	<b>36</b>
6.1 REDUKČNÍ KLEŠTINOVÁ VLOŽKA PRO PRŮMĚR KONCOVKY 5 MM .....	37
6.2 REDUKČNÍ KLEŠTINOVÁ VLOŽKA PRO PRŮMĚR KONCOVKY 6 MM .....	38
6.3 REDUKČNÍ KLEŠTINOVÁ VLOŽKA PRO PRŮMĚR KONCOVKY 8 MM .....	38
6.4 REDUKČNÍ KLEŠTINOVÁ VLOŽKA PRO PRŮMĚR KONCOVKY 10 MM .....	38
<b>7 DRŽÁK OVLÁDACÍCH PRVKŮ.....</b>	<b>39</b>



7.1	DRŽÁK OVLÁDACÍCH PRVKŮ – VARIANTA 1. ....	42
7.2	DRŽÁK OVLÁDACÍCH PRVKŮ – VARIANTA 2. ....	46
7.3	DRŽÁK OVLÁDACÍCH PRVKŮ – VARIANTA 3. ....	50
7.4	DRŽÁK OVLÁDACÍCH PRVKŮ – VARIANTA 4. ....	54
7.5	DRŽÁK OVLÁDACÍCH PRVKŮ – VARIANTA 5. ....	58
7.6	SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT DRŽÁKU OVLÁDACÍCH PRVKŮ .....	64
<b>8</b>	<b>KONZOLE PRO UCHYCENÍ PŘÍSTROJE NA STATIV .....</b>	<b>65</b>
8.1	KŘÍŽOVÝ PŘÍČNÍK.....	66
8.2	OTOČNÝ DRŽÁK .....	66
8.2.1	Otočný držák s kruhovým otvorem pro použití s aretačním šroubem .....	67
8.2.2	Otočný držák s výřezem pro použití s aretační maticí .....	67
8.3	MATICE A ŠROUB S PLATOVÝM MADLEM.....	68
8.3.1	Matice s plastovým madlem.....	68
8.3.2	Šroub s plastovým madlem .....	68
8.4	STŘEDOVÝ ŠROUBOVÝ SPOJ .....	69
8.4.1	Středový šroubový spoj – 1. varianta .....	69
8.4.2	Středový šroubový spoj – 2. varianta .....	70
8.4.3	Středový šroubový spoj – 3. Varianta .....	70
8.4.4	Středový šroubový spoj – 4. varianta .....	71
8.4.5	Středový šroubový spoj – 5. varianta .....	71
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>87</b>

## ÚVOD

Záznamy pořízené vysokorychlostní kamerou přináší velice cenné informace k pochopení dějů, jež není možné zpozorovat pouhým okem pro jejich vysokou rychlost. Tyto záznamy se používají pro analýzu a objasnění skutečného chování zmíněných dějů. Díky tomu je i na všeobecně známé děje poskytnut zcela nový úhel pohledu, čehož využívají mimo jiné i tvůrci filmů. K vytvoření takového záznamu je však zapotřebí nejen vysokorychlostní kamera samotná, ale také kvalitní a dostatečné osvětlení. Toho lze docílit například použitím umělého zdroje světelného záření. Jeho cena však dosahuje astronomických výšek vzhledem k výrobním nákladům a užitým vlastnostem. Stejně tak cena vysokorychlostních kamer bývá značná, avšak v poměru k užitným vlastnostem a výrobním nákladům je úměrná.

Bakalářská práce se bude zabývat návrhem částí alternativního zdroje světelného záření, jehož cena je i při kusové výrobě minimální oproti profesionálním výrobkům. Zdroj je řešen pro přímé osvětlení s doplňkem o upínací mechanismus pro případné nepřímé osvětlení s použitím optického kabelu.

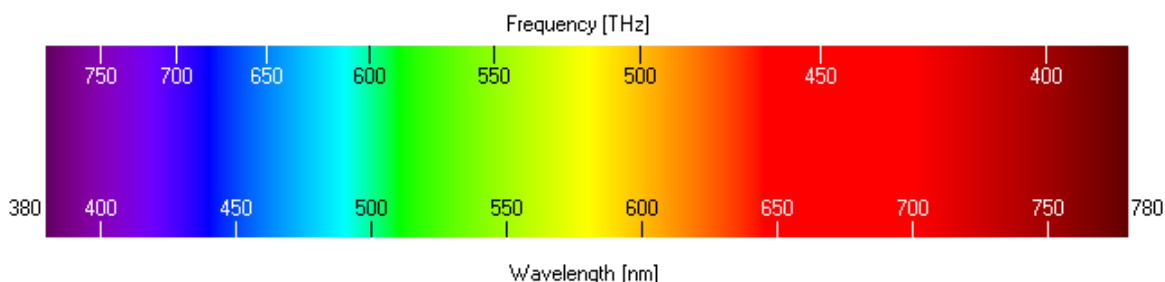
Teoretická část bude věnována podstatě světla a jeho parametrům, které považuji za klíčové zejména při výběru vhodného světelného zdroje. Dále pak běžně dostupným světelným zdrojům, které se jeví jako použitelné pro tuto aplikaci. Závěrem teoretické části bude úvod do problematiky vysokorychlostních kamer a přehled principiálních variant zdrojů světelného záření pro pořízení záznamu pomocí těchto kamer.

Praktická část bude obsahovat návrh části konstrukce samotné. Především mechanické řešení upínací části mezi světelným zdrojem a světlovodem.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 SVĚTLO

Viditelné světlo je v podstatě elektromagnetické záření s vlnovou délkou mezi 400 nm až 760 nm. Různé vlnové délky vnímáme jako barvu světla a to od fialové s nejkratší vlnovou délkou po červenou s nejdelší vlnovou délkou. Pod spodní hranicí je ultrafialové záření (zkráceně UV, s vlnovou délkou 1 nm až 400 nm, pro člověka neviditelné způsobující zvýšenou pigmentaci {ztmavnutí} pokožky čili opálení) a nad horní hranicí je záření infračervené (zkráceně IR, s vlnovou délkou 760 nm až 1 mm, pro lidské oko neviditelné, vnímatelné pomocí kožních receptorů jako teplo). Barevná citlivost jednotlivých pozorovatelů je odlišná, tudíž i šířka viditelného spektra je individuální. Proto také nelze přesně přiřadit odpovídající barvu dané vlnové délce, zejména pak v přechodových oblastech. Obsahuje-li světlo pouze jednu vlnovou délku, hovoříme o monochromatickém (jednobarevném) záření. V případě polychromatického (mnohobarevného) záření jde o světlo složené z více vlnových délek. [1], [11], [12], [23], [60]



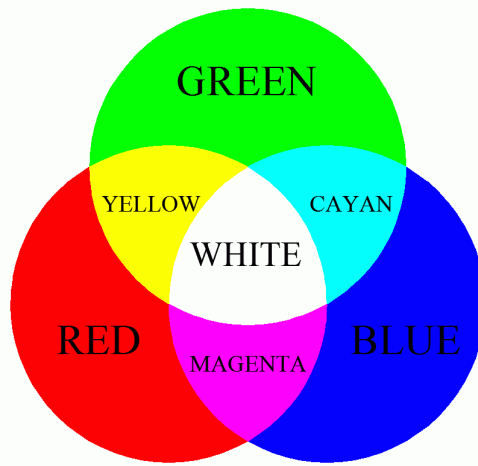
Obrázek 1. Přibližné rozložení barev ve viditelném spektru [60]

Lidské oko vnímá tři základní barvy při fotopickém vidění<sup>1</sup>. Je to červená (R – red), zelená (G – green) a modrá (B – blue). Pomocí intenzit jednotlivých složek, pak vnímá všechny ostatní barvy. Bílá vzniká aditivním<sup>2</sup> nebo subtraktivním<sup>3</sup> skládáním barev. Aditivní způsob, při kterém se sčítají intenzity jednotlivých složek základních barev, se používá při míchání barev světla a definuje se tak model RGB. Subtraktivním způsobem je definován model CMY. Využívá odečítání intenzit jednotlivých složek doplňkových barev k barvám základním. Jsou to zeleno-modrá (azurová, C – cyan), modro-červená (purpurová, M – magenta) a žlutá (Y – yellow). Například u tiskáren je tento model doplněn o černou barvu (K – black) pro lepší podání tmavých barev, vzniká tak CMYK model.

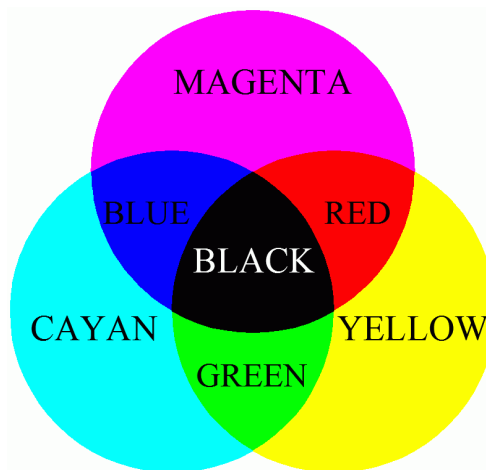
<sup>1</sup> Fotopické vidění = barevné (denní, čípkové) vidění za silného světla [57].

<sup>2</sup> Aditivní = sčítací, skládací [57].

<sup>3</sup> Subtraktivní = odčítací, rozdílový [57].



Obrázek 2. Aditivní skládání barev, barevný model RGB



Obrázek 3. Subtraktivní skládání barev, barevný model CMY

Základními vlastnostmi světla jsou frekvence (barva), polarizace (úhel vlnění) a amplituda. Parametry světla, kterými jej dále definujeme, jsou jas (v kandelách na metr čtvereční [ $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ]), intenzita osvětlení (vyjádřena v luxech [ $\text{lx}$ ]), světelný tok (jednotkou je lumen [ $\text{lm}$ ]), svítivost (udána v kandelách [ $\text{cd}$ ]). Pro bílé světlo je to navíc také teplota chromatičnosti (jednotkou je Kelvin [ $\text{K}$ ]) a index barevného podání. [11], [23]

Světelně technické veličiny se dají rozdělit dle metod měření:

- vizuální (subjektivní) – indikátorem je lidský zrak
- fyzikální (objektivní) – měření fyzikálními čidly

Nynějším všeobecným požadavkem je snadné a rychlé měření těchto veličit, z tohoto důvodu se upřednostňuje fyzikální měření. To bývá zpravidla přesné, jelikož se při něm používá kvalitních fotoelektrických článků. [5]

## 1.1 Frekvence

Frekvence je počet kmitů (opakování, celých cyklů) periodického děje za časovou jednotku (nejčastěji za sekundu). Vlnová délka je vzdálenost, kterou urazí vlna během jednoho kmity (cyklu).

Převodní vztah mezi frekvencí a vlnovou délkou:

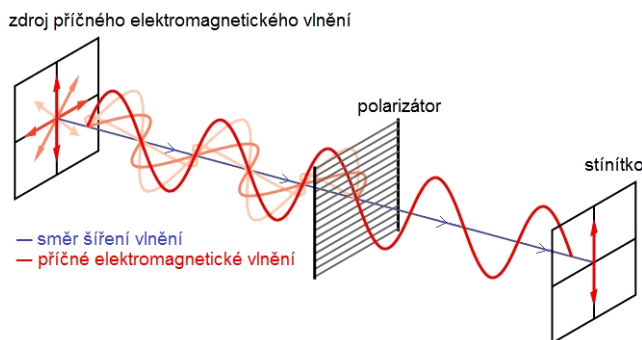
$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

f	[Hz]	– frekvence
c	[m·s <sup>-1</sup> ]	– rychlost šíření světla ve vakuu (c = 299 792 458 m·s <sup>-1</sup> )
λ	[m]	– vlnová délka [14]

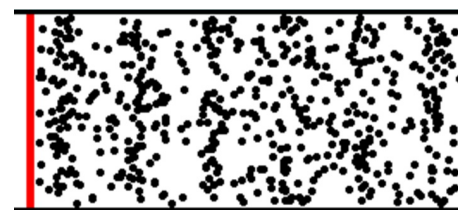
## 1.2 Polarizace

Polarizace je jev, který se vyskytuje pouze u příčného vlnění. Příčným vlněním se vyznačuje veškeré elektromagnetické vlnění (mimo jiné také světlo). V případě podélného vlnění je amplituda lineární se směrem šíření vln a mění se vzdálenost (hustota) mezi jednotlivými podélnými vlnami. Postupuje-li tato změna v izotropním a homogenním prostředí má konstantní fázovou rychlost. Mechanické vlnění (mimo jiné i zvuk), u něhož dochází k podélnému vlnění, lze označit také jako tlakovou vlnu.

Polarizovaná vlna má pouze určitý směr, který je kolmý ke směru šíření. K tomuto výběru dochází prostřednictvím polarizátoru. Používá se například při fotografování pro odfiltrování světelných odrazů. [15]



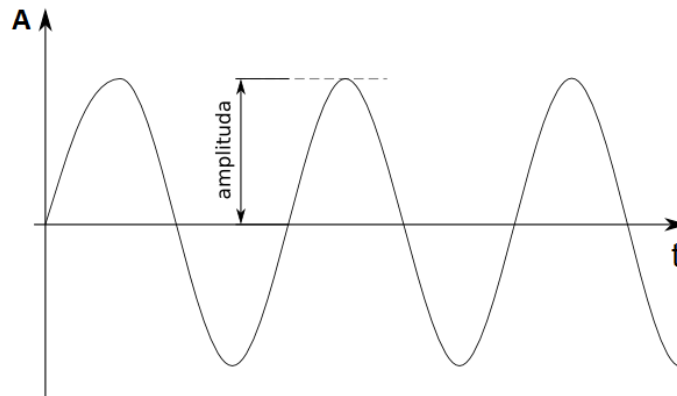
Obrázek 4. Schéma polarizátoru [15]



Obrázek 5. Podélná vlna [55]

### 1.3 Amplituda

Někdy označována jako výkmit či rozkmit, je maximální velikost periodicky se měnících veličin. Obecně se označuje  $A_m$ , v případě okamžité velikosti vychýlení je to pak  $a_m$  či  $A$ . Amplituda světla ovlivňuje jeho intenzitu, s jakou světlo vnímáme. [16], [40]



Obrázek 6. Amplituda [16]

### 1.4 Jas

Jde o fotometrickou veličinu definovanou jako měrnou veličinu svítivosti. Je udávána v hodnotách svítivosti na jednotku plochy. Pro měření jasu se používá tzv. jasoměru, což jsou zařízení složená z fotočlánku, optického systému pro vymezení prostorového úhlu, měřícího a vyhodnocovacího systému.

$$L = \frac{dI}{dS \cdot \cos \alpha_k} \quad (2)$$

L	[cd·m <sup>-2</sup> ]	– jas
I	[cd]	– svítivost
$\alpha_k$	[°]	– úhel odklonu paprsků od kolmice normály elementu plochy
dS	[m <sup>2</sup> ]	– element ozařované plochy [4], [5], [17], [41], [42]

### 1.5 Intenzita osvětlení

Je fotometrická veličina nazývána také jako osvětlivost případně osvětlenost, která je definována pomocí světelného toku dopadajícího na určitou plochu.

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (3)$$

E	[lx]	– intenzita osvětlení
dΦ	[lm]	– element toku světelného zdroje vyzařující do elementu prostorového úhlu $d\Omega$ [sr]
dA	[m <sup>2</sup> ]	– element kulové plochy vymezené prostorovým úhlem

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (4)$$

E	[lx]	– intenzita osvětlení
$\Phi$	[lm]	– světelný tok ze světelného zdroje
S	[m <sup>2</sup> ]	– plocha, na kterou dopadají paprsky

Jde-li o bodový zdroj světla, pak platí:

$$E = \frac{I_b}{r^2} \cdot \cos \alpha \quad (5)$$

E	[lx]	– intenzita osvětlení
$I_b$	[lm]	– svítivost bodového zdroje
r	[m]	– vzdálenost od světelného zdroje
$\alpha$	[°]	– úhel dopadajících paprsků na normálu plochy

Intenzita osvětlení je tudíž nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti a klesá se zvětšujícím se úhlem, pod kterým dopadají paprsky. Její jednotkou je lux, který je definován jako osvětlení plochy jednoho metru čtverečného, na který dopadá světelný tok jednoho lumenu.

Běžnou hodnotou intenzity osvětlení ve vnitřních prostorách je 100 až 2000 lx, měřením při letním slunečném dni (na volném prostranství, v zeměpisných šířkách ČR) lze naměřit hodnoty přes 70 000 lx. Bývá měřena pomocí luxmetrů ve kterých je mimo jiné součástí také fotoelektrický článek. [3], [5], [18], [41], [42]

## 1.6 Světelný tok

Jde o světelně technickou veličinu odpovídající zářivému toku. Vyjadřuje schopnost zářivého toku způsobit zrakový vjem. Světelný tok  $\Phi$  monochromatického záření vlnové délky  $\lambda$  o zářivém toku  $\Phi_e$  je dán vztahem:

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \quad (6)$$

$\Phi(\lambda)$	[lm]	– světelný tok monochromatického záření vlnové délky $\lambda$
$K(\lambda)$	[lm·W <sup>-1</sup> ]	– světelný účinek monochromatického záření vlnové délky $\lambda$
$\Phi_e(\lambda)$	[W]	– zářivý tok monochromatického záření vlnové délky $\lambda$
$K_m$	[lm·W <sup>-1</sup> ]	– maximum světelného účinku monochromatického záření
$V(\lambda)$	[-]	– poměrná účinnost monochromatického záření vlnové délky $\lambda$

Maximum světelného účinku monochromatického záření  $K_m$  je stanoveno jako světelný účinek monochromatického záření  $K(\lambda)$  základní vlnové délky  $\lambda = \lambda_m = 555,0155$  nm. U normálního fotometrického pozorovatele při fotopickém vidění je to 683 lm·W<sup>-1</sup>. [3], [19]



## 1.7 Svítivost

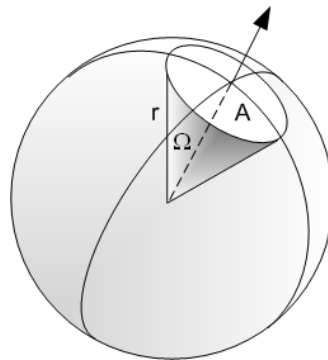
Svítivost je veličina, kterou lze stanovit pouze pro bodový zdroj (to znamená zdroj světla o rozměrech zanedbatelných vzhledem ke vzdálenosti tohoto zdroje od kontrolního bodu). Pomocí ní se udává prostorová hustota světelného toku v různých směrech od zdroje.

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (7)$$

I	[cd]	– svítivost
dΩ	[sr]	– element prostorového úhlu, do kterého zdroj svítí
dΦ	[lm]	– element světelného toku od zdroje vyzařující do elementu prostorového úhlu dΩ [sr]

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot (1 - \cos \beta) \quad (8)$$

Ω	[sr]	– prostorový úhel, do kterého zdroj svítí
β	[°]	– poloviční úhel kužele, do kterého zdroj svítí [3], [20], [41], [42]

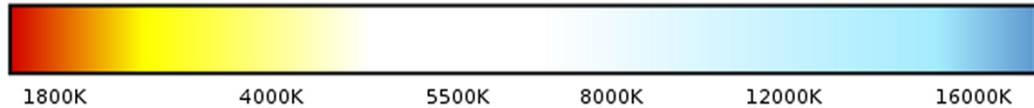


Obrázek 7. Vymezení prostorového úhlu [22]

## 1.8 Teplota chromatičnosti

Nazývá se též barevná teplota a označuje se  $T_c$ . Její jednotkou je Kelvin [K] a je možné ji odečíst z kolorimetrického trojúhelníku. Za ideální standard se považuje záření absolutně černého tělesa. Teplota chromatičnosti odpovídá teplotě absolutně černého tělesa, aby chromatičnost<sup>4</sup> jeho záření byla stejná se zářením z uvažovaného zdroje. Křivky spektrálního složení však nemusí být stejné. Nemá-li uvažovaný zdroj spojité spektrum, bývá tato hodnota pouze orientační a mluvíme o náhradní teplotě chromatičnosti. Běžné denní světlo je o teplotě chromatičnosti od 6000 K do 8000 K. [26], [39], [46], [58]

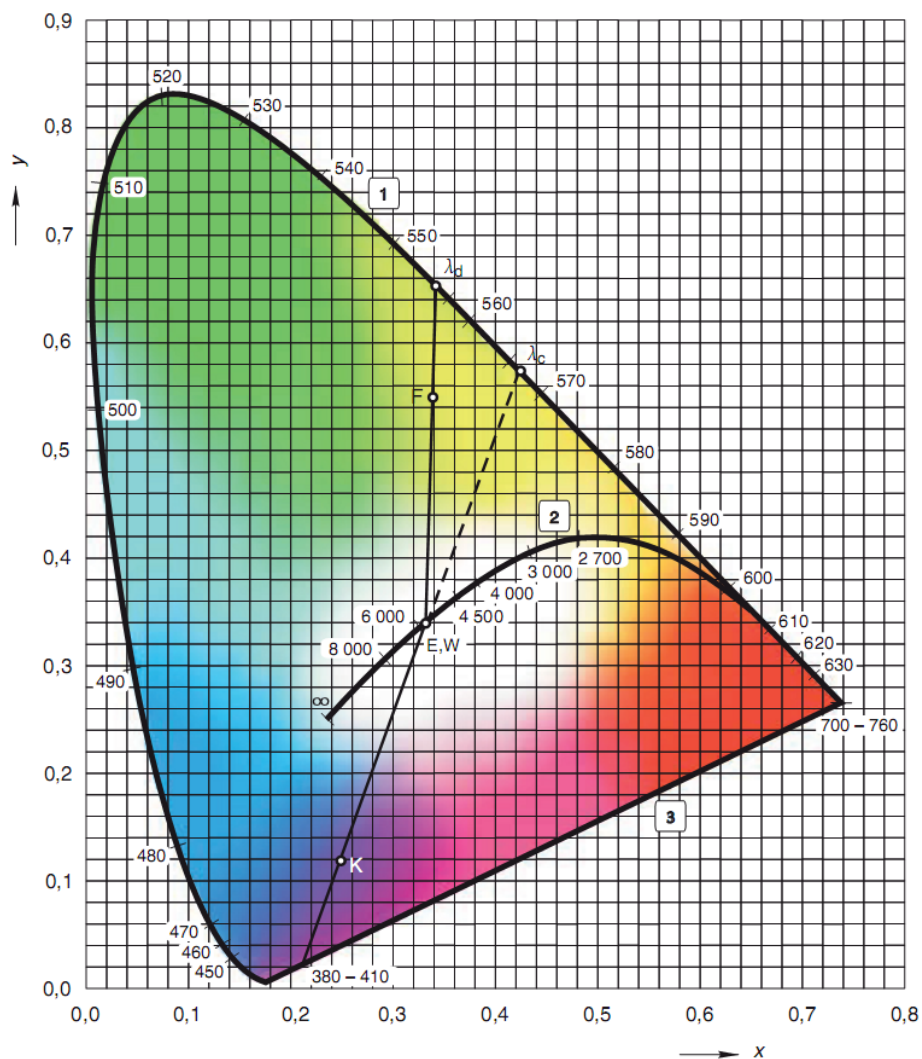
<sup>4</sup> Chromatičnost = barevné vlastnosti světla [6].



Obrázek 8. Zbarvení světla v závislosti na teplotě chromatičnosti [26]

Obrázek 9 zachycuje normální trojúhelník barev a digram chromatičnosti dle CIE<sup>5</sup> zobrazený v pravouhlých souřadnicích. Kde: 1 – křivka barev s vyznačenými vlnovými délkami, 2 – křivka teplotních zářičů s vyznačenou stupnicí teplot v kelvinech, 3 – přímka purpurů.

Přímka  $\lambda_c$  je doplňková vlnová délka k záření charakterizovanému bodem K v oblasti purpurů a  $\lambda_d$  vyznačuje náhradní vlnovou délku k záření charakterizovanému bodem F.



Obrázek 9. Diagram chromatičnosti mezinárodní kolorimetrické soustavy XYZ zobrazený v pravouhlých souřadnicích x, y [6]

<sup>5</sup> CIE = Commission internationale de l'éclairage – mezinárodní komise pro osvětlování [28].

## 1.9 Index barevného podání – CRI (color rendering index)

Bývá označován  $R_a$ . Jde o zhodnocení věrnosti vjemu barev osvětlením uvažovaného zdroje a barevném vjemu vzniklém ve slunečním světle. Nabývá hodnot od  $R_a = 0$  (nemožnost rozeznání barev) do  $R_a = 100$  (shodnost podání barev uvažovaného zdroje se slunečním světlem). [27]

## 1.10 Stroboskopický jev

Stroboskopický jev (efekt) se vyskytuje tam, kde je periodický pohyb reprezentován nespojitými (diskrétními) vzorky. Jde o optický klam, ke kterému dochází vlivem setrvačnosti zrakového vjemu, kdy nedokážeme od sebe rozlišit jednotlivé zrakové vjemy.

Jeho využitím je například seřizování zapalování u automobilů a motocyklů za pomoci stroboskopu, kontrola tisku ve vysokorychlostních tiskárenských strojích.

Tento jev je nežádoucí všude tam, kde jsou nezakrytované periodicky se pohybující části na dosah člověka.

U světleného zdroje, se zanedbatelnou světelnou setrvačností, napájeného ze střídavého napětí dochází k rozsvěcování a zhasínání (např. 100 krát za sekundu u napětí s frekvencí 50 Hz). Pozorujeme-li v takovémto osvětlení otáčející se předmět, který je vždy v okamžiku rozsvícení ve stejné poloze, bude se nám zdát, že se netočí. Případně se nám bude zdát, že se točí pomaleji, eventuálně i opačně je-li v okamžiku osvětlení jeho poloha nepatrně odlišná. Použitím zdroje s větší světelnou setrvačností, kdy nestihne poklesnout světelný tok po dobu zhasínání k nulové hodnotě, je tento jev eliminován. [1], [21]

## 2 SVĚTELNÉ ZDROJE

Obecně lze světelné zdroje rozdělit na:

- přírodní (slunce, blesk atd.)
- umělé (svíčka, žárovka atd.) [43]

Podle způsobu vzniku světla je lze dále rozdělit takto:

- sáláním tepla (záření černého tělesa)
  - žárovky
  - sluneční světlo
- zářením plazmatu
  - oheň
  - oblouková lampa
- atomovou spektrální emisí (spontánní či stimulované emise)
  - laser a maser
  - světlo emitující diody (LED)
  - plynové výbojky
- urychlením volného nosiče náboje (obvykle elektronu)
- luminiscencí
  - Fotoluminiscence
  - Elektroluminiscence
  - Katodoluminiscence
  - Chemoluminiscence
  - Radioluminiscence
  - Triboluminiscence
- fluorescencí
- fosforencí
  - katodové záření
- radioaktivním rozpadem
- anihilací páru částice – antičástice [23]

## 2.1 Běžně užívané umělé zdroje světelného záření, využívající přeměnu elektrické energie

Mezi běžně užívané umělé zdroje světelného záření, využívající přeměnu elektrické energie, lze zařadit tyto zdroje.

### 2.1.1 Žárovky

K přeměně elektrické energie na světelnou se využívá tzv. inkandescenčního efektu<sup>6</sup> podle teorie záření absolutně černého tělesa při vysoké teplotě. Tímto černým tělesem je zde vlákno žárovky. Intenzita a barva záření jsou závislé na teplotě povrchu. Žárovky mají spojité světelné spektrum vyzařování,  $R_a = 95$ . Žárovky jsou primárními zdroji světla, kde světlo vzniká jedinou přeměnou energie. [10], [43], [54], [56], [63]

- **Klasické žárovky**

Současná konstrukce klasické žárovky vychází z původní Edisonovy konstrukce, kde bylo použito uhlíkové vlákno, které bylo vyrobeno zuhelnatěním bambusového vlákna. Umístěním vlákna do skleněné vakuové baňky bylo zabráněno oxidaci a hoření vlákna. Účinnost přeměny energie na viditelné spektrum záření této konstrukce je pouze 0,5 %. Další zlepšování této konstrukce vedlo k použití wolframového vlákna, jež je možné rozžhavit na vyšší teplotu a dosáhnout tak účinnosti přibližně 1 %. U dnešního konstrukčního uspořádání je použita jednou, případně dvakrát navinutá wolframová spirála jako vlákno. To je umístěno v baňce naplněné inertním plynem, například argonem. Tato konstrukce umožňuje rozžhavení povrchu vlákna na 2 800 K při 3% účinnosti přeměny energie na viditelné spektrum záření. Zvýšením teploty vlákna se urychlí jeho vypařování, to se následně přeruší a tím se žárovka znehodnotí. Dnes jsou klasické žárovky nejrozšířenějším zdrojem světla hlavně kvůli jejich ceně. Ta je díky velkosériové výrobě velmi nízká. [10], [35], [44], [54], [56], [63]

---

<sup>6</sup> Inkandescence = vyzařování světla, způsobené tepelným buzením – průchodem elektrického proudu pevnou vodivou látkou (s vysokou teplotou tání např. platina, wolfram, atd.) se pevná látka rozžhává na požadovanou teplotu, při které dochází k emisi viditelného záření [35], [63].

- **Halogenové žárovky**

Tyto žárovky využívají tzv. halogenový cyklus. Wolfram, který se odpařuje z vlákna, se v blízkosti baňky, kde je nižší teplota, slučuje s některým z halogenových prvků např. s bromem či jodem na halogenid wolframu. Tato sloučenina se vlivem koncentračního spádu vrací od stěny baňky zpět k vlákně, kde se při vyšší teplotě rozkládá zpět na wolfram a halogen. Velká hustota wolframu v blízkosti vlákna snižuje jeho vypařování a část wolframu se usazuje zpět na vlákno, což zvyšuje životnost žárovky. Tento cyklus nám umožňuje zvýšit provozní teplotu nutnou pro jeho správnou činnost. Zvýšením teploty je dosaženo až 6% účinnosti přeměny elektrické energie na světelnou. Běžné sklo by takto vysokou teplotu nevydrželo, je proto nutné použít sklo speciální, křemičité. To však přináší velkou nevýhodu při manipulaci s těmito žárovkami, vzhledem k jeho velké citlivosti na jakékoliv nečistoty (pot a soli na ruku). [10], [35], [44], [63]

### 2.1.2 Výbojky

K přeměně elektrické energie na světelnou se využívá elektrického výboje.

- **Nízkotlaké výbojky**

- *nízkotlaké rtuťové výbojky* (zářivky, úsporné zářivky či lidově „úsporné žárovky“) Principem je elektrický výboj ve rtuťových parách, který je zdrojem ultrafialového záření. Toto záření se následně mění na viditelné světlo vrstvou luminoforu. Chemické složení luminoforu ovlivňuje barevné podání a náhradní teplotu chromatičnosti. Zvláštním druhem nízkotlakých rtuťových výbojek jsou tzv. úsporné žárovky. Vyznačují se kompaktní konstrukcí, jejich nedílnou součástí jsou elektronické předřadníky, které jsou ovšem zdrojem vysokofrekvenčního rušení. [47], [54], [56]
- *nízkotlaké sodíkové výbojky* Principem je elektrický výboj v sodíkových parách, který je přímo zdrojem viditelného světla. Subjektivně velká účinnost je dána převažující žlutooranžovou barvou, která je blízká barvě maximální citlivosti lidského oka. Vzhledem k vysoké provozní teplotě výbojkové trubice je nutné ji tepelně izolovat. To je řešeno jejím uzavřením do další evakuované baňky. [48], [63]

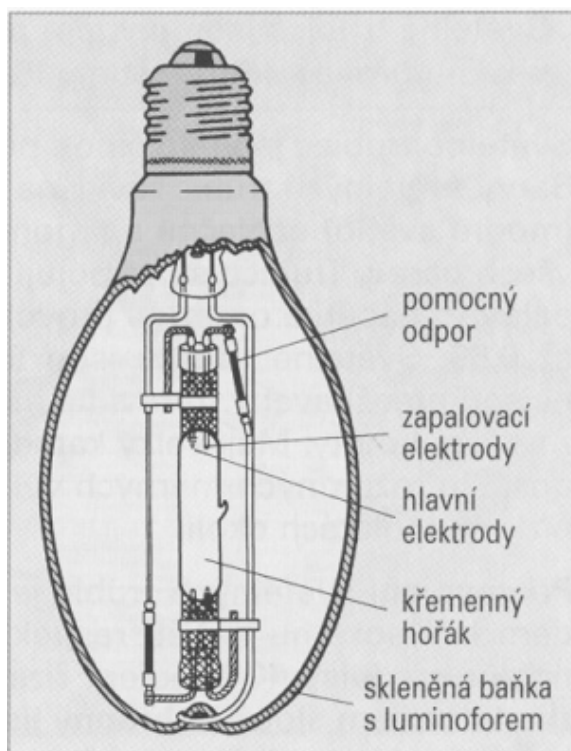
- *nízkotlaké indukční výbojky*

Na rozdíl od ostatních výbojek není pohyb elektronů vyvolán elektrickým polem, ale polem magnetickým o kmitočtu přibližně 2,5 MHz. Liší se také speciálním tvarem prostoru, ve kterém dochází k výboji. [49]

- **Vysokotlaké výbojky**

- *vysokotlaké rtuťové výbojky*

Základem je výboj ve rtuťových parách o vysokém tlaku uvnitř hořáku, jež se vyrábí například z křemičitého skla. Zvýšení tlaku par způsobuje zvýšení vlnových délek, měrného výkonu a zvýšení intenzity spojitého spektra vzniklého světla. Největší část záření tvoří nerezonanční čáry. Část se jich nachází v oblasti UV záření a část v oblasti modro-zelené. Vznikající záření však vůbec neobsahuje červenou barvu, proto tyto výbojky mají velice špatné barevné podání. Vnější baňka však může být uvnitř pokrytá vrstvou luminoforu, který svým spektrem záření alespoň částečně doplňuje chybějící červenou barvu. V případě baňky bez luminoforu bývá tato vyrobena z černého skla (Wood's glass). Toto sklo pohlcuje téměř všechno viditelné záření a propouští tak pouze UV záření. Jako zdroje silného UV záření se používají hořáky bez vnější baňky, což se negativně odráží na jejich životnosti. [37], [50], [63]



Obrázek 10. Řez vysokotlakou rtuťovou výbojkou [62]

- *vysokotlaké směšové výbojky*

V principu jde o kombinaci vysokotlaké rtuťové výbojky a žárovky. Uvnitř baňky je do série zapojené vlákno a hořák. Chybějící oblast červeného záření hořáku je doplněna zářením vlákna, jež zde také zastupuje funkci předřadníku. To umožňuje tuto výbojku umístit do patice namísto klasické žárovky. Vzniklé světlo je teple bílé s dobrým podáním barev a s prakticky okamžitě dosaženou hodnotou jmenovitého svitu. [51], [63]

- *vysokotlaké halogenidové výbojky*

Pracují na podobném principu jako vysokotlaké rtuťové výbojky. Pro zlepšení barevného podání je do hořáku přidán halogenid. To odstraňuje potřebu použití luminoforu v baňce. Aby nedocházelo ke změně kolorimetrických<sup>7</sup> parametrů v průběhu života výbojky, je hořák vyroben z průsvitného korundu. [52], [63]

- *vysokotlaké sodíkové výbojky*

Liší se oproti nízkotlakým sodíkovým výbojkám vyšším tlakem sodíkových par, což zvyšuje potřebnou koncentraci výkonu a tedy i pracovní teploty. Z těchto důvodů je nutné použití hořáku z průsvitného korundu. Výsledkem je vyšší index barevného podání. [53], [63]

- *vysokotlaké xenonové výbojky*

V principu se jedná o běžné vysokotlaké výbojky plněné xenonem. Jeho vyšší tlak má za následek větší počet čar ve spektru a tyto se mění v souvislé pásy, aniž by došlo ke zvýraznění některých barevných složek, čímž vzniká téměř bílé světlo velmi podobné světlu dennímu. Tahle vlastnost předurčuje tyto výbojky pro použití v reflektorech automobilů a jako bodové zdroje světla v promítacích zařízeních. [36], [39]

### 2.1.3 Světelné diody - LED (Light Emitting Diodes)

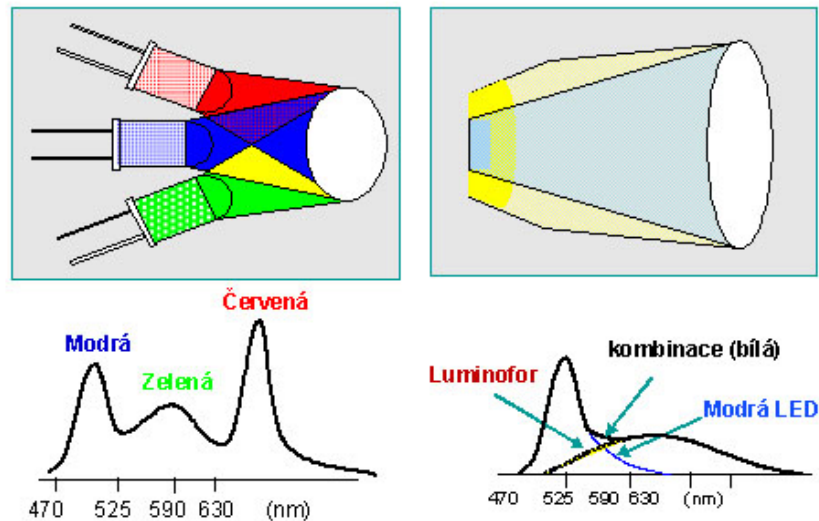
První červenou LED objevil roku 1962 Nick Holonyak. Až v roce 1971 byla vyvinuta zelená, žlutá a oranžová. Teprve v roce 1993 se podařilo zkonstruovat LED modrou a bílou roku 1995.

---

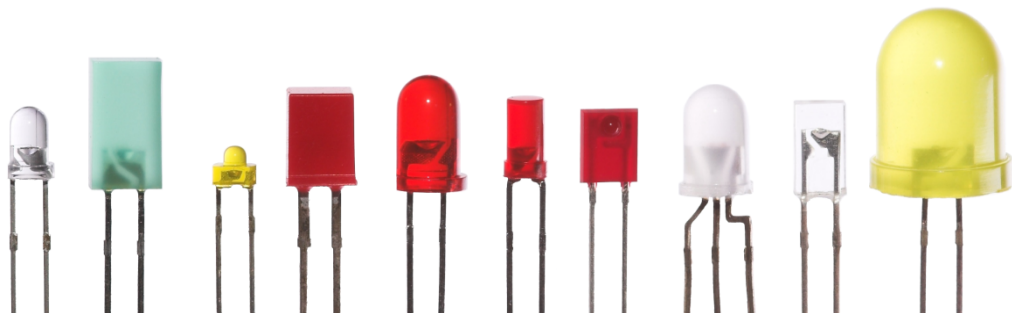
<sup>7</sup> Kolorimetrické parametry = parametry popisující barvy [6].



Princip vzniku záření je odlišný než u ostatních světelných zdrojů. Využívá se takzvané elektroluminiscence, což znamená, že záření vzniká průchodem proudu přes polovodičový přechod P-N v propustném směru. Tento přechod tak emituje nekoherentní světlo s úzkým spektrem. Vyzařované spektrum je závislé na materiálu použitého polovodiče. Například pro červenou a infra červenou je použit aluminum galium arsenid (AlGaAs), pro zelenou aluminum galium fosfid (AlGaP), pro žlutou, oranžovou galium arsenid fosfid (GaAsP) a selenid zinku (ZnSe) pro modrou. Bílé světlo nelze přímo emitovat, proto se k jeho získání využívá skládání barev, nebo přeměna záření pomocí luminoforu. Při skládání barev jsou samostatné LED čipy různých barev v těsné blízkosti uvnitř pouzdra diody. Obvykle se používá červená, zelená, modrá, v některých případech doplněná o žlutou, případně jen modrá se žlutou. U druhého způsobu je použita buď směs luminoforů (nejčastěji červeného, zeleného a modrého) k transformaci veškerého záření UV LED do viditelného spektra, nebo jen žlutý luminofor k přeměně části záření modré LED. Nejpoužívanějším způsobem je v současnosti modrá LED se žlutým luminoforem a to především kvůli nízké ceně. Důsledkem velmi vysoké rychlosti vývoje v této oblasti, je také velmi vysoká rychlost zastarávání informací.

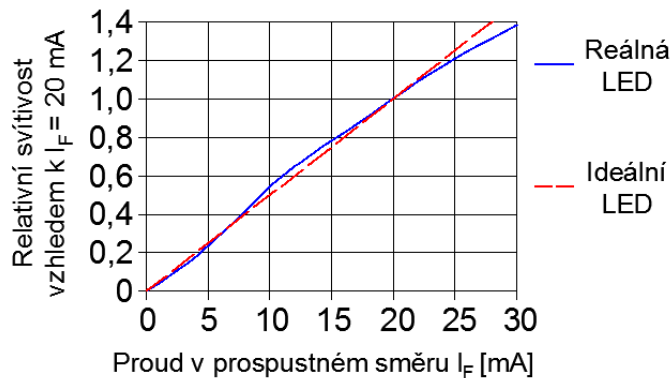


Obrázek 11. Vytvoření bílého světla pomocí LED [45]



Obrázek 12. Různá provedení pouzder LED [24]

Na trhu jsou k dostání LED různých barev (někdy i více barev v jednom pouzdře) a svítivosti. Vyrábí se jak v klasickém tak i SMD<sup>8</sup> provedení. V provedení pro klasickou montáž existuje celá řada tvarů a rozměrů pouzder. [2], [7], [9], [24], [45], [59], [64]



Obrázek 13. Závislost relativní svítivosti na procházejícím proudu v propustném směru ideální a skutečnou LED [2]

- **Organické světelné diody - OLED (Organic Light Emitting Diodes)**

Rozdíl oproti běžným anorganickým LED na bázi komplexní krystalické struktury je v použití organického materiálu ke generování světla. Skládají se ze substrátu, transparentní elektrody, jedné či více organických vrstev, opačné elektrody a pouzdra, které zabraňuje oxidaci. Tloušťka u OLED dosahuje pouze několik tisíců milimetrů. Výborný světelný výkon je vhodný zejména pro použití v extrémně tenkých a super jasných displejích se širokým pozorovacím úhlem, které navíc díky OLED nepotřebují zpětné prosvěcování jako u LCD displejů. Hlavní nevýhodou je velmi malá životnost, která je odlišná pro jednotlivé barvy. [7], [9], [29], [64]

- **Laserové diody**

Kvalitativně nový typ světelného zdroje je laser<sup>9</sup>, který pracuje na principu stimulované emise. Využívá k tomu zákonů kvantové mechaniky a termodynamiky. Světlo je koherentní, monochromatické, vyzařováno jako úzký paprsek. Laserové diody mají velkou účinnost a vysoký výkon. Na osvětlování jsou však nevhodné kvůli efektu zrnění, který vzniká vzájemnou koherencí fázově posunutých vlnoploch. Ten působí na lidské oko velmi rušivě a nepřírozeň. [25], [59]

<sup>8</sup> SMD = Surface-mount devices – elektronické součástky pro povrchovou montáž [38].

<sup>9</sup> Laser = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – zesilování světla stimulovanou emisí záření [25].

### 3 SVĚTELNÉ ZDROJE PRO VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMERY

Na světelné zdroje pro osvětlování záznamů pořizovaných za pomoci vysokorychlostních kamer jsou kladeny velké požadavky, vyplývající z následujících podkapitol.

#### 3.1 Vysokorychlostní kamery

Na princip jak zachytit rychlý pohyb tak, aby byl pozorovatelný lidským okem, přišel vynálezce a fotograf Eadweard Muybridge, když v roce 1878 dokázal, že kůň v klusu má všechny 4 nohy ve vzduchu. Využil k tomu 24 fotoaparátů rovnoměrně rozestavených kolem dráhy, přes kterou byly nataženy provázky ovládající pružinové závěrky. Harold Eugene Edgeton vyvinul v roce 1931 výbojkové světlo, které použil v blesku, díky kterému vyfotografoval kulku v letu. Tyto historické události byly důležitým krokem při vývoji video záznamu vůbec. Vysokorychlostní kamera (High Speed Camera) někdy označována také jako rychlostní, rychloběžná kamera nebo zkráceně jen rychlokamera, je optoelektronické zařízení pro pořizování obrazového záznamu s vysokou frekvencí snímání. Obrazový záznam je v podstatě určitý počet snímků snímáných kamerou v pravidelných časových intervalech. Ten může být analogový (zaznamenávaný na kinematografický filmový pás) či digitální (zaznamenávaný na datové médium). Při použití analogového záznamu je kinematografický filmový pás o velké rychlosti veden nad rotujícím hranolem, nebo zrcadlem. To nahrazuje otevírání a uzavírání mechanické závěrky. U digitálního záznamu jsou data z elektronického snímače ukládána přímo na datové médium, což umožňuje jednoduše měnit frekvenci i dobu snímání. Z omezení datového toku k datovému médiumu vyplývá závislost rozlišení obrazového záznamu na frekvenci snímání. Digitální vysokorychlostní kamery bývají zpravidla bez displeje, s minimem ovládacích prvků a s vystupujícím objektivem. Ovládaní kamery a nastavení parametrů nahrávky se dělá prostřednictvím externího zařízení, nejčastěji ovládacím panelem, případně pomocí počítače. Uvnitř krytu kamery se ukrývají špičkové optoelektronické součásti. Pořízený záznam může být jak barevný, tak i černobílý. Za určitých okolností může být výhodnější černobílý, a to jak z důvodu menšího objemu přenášených a zpracovávaných dat, necitlivost na teplotu chromatičnosti osvětlení, tak i možnosti zvýraznit některou z barev osvětlením pomocí monochromatického záření. Výrobci těchto zařízení jsou mimo jiné AOS Technologies (CH), Fastec Imaging (USA), NAC Image Technology (J), PCO Imaging (D), Vision Research (USA). Nejpožívanějšími vysokorychlostními kamerami na celém světě jsou v současnosti především zařízení japonské značky Olympus a americké Redlake. [31], [32], [61]

### 3.1.1 Důležité parametry a příklady použití

Všude kolem nás je hodně rychlých jevů a činností. Zatím co například rychlovarná konvice vaří vodu jen o něco rychleji než konvice pomalovarná, tak rychlovlak může být až o řád čili až 10x rychlejší oproti vlaku normálnímu. Rozdíl ve frekvenci (rychlosti) snímání mezi běžnou a vysokorychlostní kamerou je mnohonásobně vyšší. Běžná digitální kamera snímá rychlostí 25 fps<sup>10</sup> (dle standardu pro kódování analogového barevného televizního signálu PAL). U vysokorychlostní je to běžně od tisíce po statisíce fps, což je o 2 až 4 řády rychlejší. Podobně propastný rozdíl je například v rychlosti hlemýždě v porovnání s chodcem (stokrát až tisíckrát rychlejší) či autem jedoucím maximální rychlostí v obci (desetisíckrát rychlejší). Díky tomu je použití vysokorychlostních kamer vhodné zejména pro snímání extrémně krátkých a rychlých dějů, které jsou lidským zrakem nepostřehnutelné. Například pro balistické experimenty, vysokorychlostní obrábění, nárazové testy automobilů a podobně. [13], [61]

Mnoho dějů, nejen ve strojích a mechanismech, probíhá během například 100 ms. Běžnou kamerou zaznamenáme snímek každých 40 ms, takže z celého děje zaznamenáme pouze 2,5 snímku. Použitím vysokorychlostní kamery o frekvenci 1000 fps již zaznamenáme 100 snímků z téhož děje. Při následném přehrávání pořízeného záznamu 10x pomalejší rychlostí tak dosáhneme 2,5 fps ze záznamu běžnou kamerou což bude působit velmi skokově. Na rozdíl od 100 fps ze záznamu vysokorychlostní kamerou, který bude naprosto plynulý.

Dalším důležitým parametrem je rychlost clony v kameře určující dobu expozice<sup>11</sup> snímku. Ta se obvykle pohybuje v setinách, tisícinách sekundy. Nelze ji zaměňovat za záznamovou frekvencí, což je rychlost, s jakou se ukládají jednotlivé snímky na záznamové médium. Většina běžných kamer je vybavena vysokorychlostní clonou. Clona může snímat děj s časem 0,0005 s na snímek, pořád však zůstává celkový počet snímků za sekundu roven 25 (u běžné digitální kamery). [13]

---

<sup>10</sup> Frames per second = snímků za sekundu [30].

<sup>11</sup> Expozice = proces vystavení kinematografického filmového pásu či senzoru dopadajícímu světlu, nebo také jeho celkové množství [33].

### 3.1.2 Obecné výhody a nevýhody

Velmi velkou výhodou digitální nahrávky je její použití nejen pro kvalitativní analýzu zaznamenaného děje případně jevu, ale také i pro analýzu kvantitativní, to jest pro hodnocení na základě aktuálních hodnot fyzikálních veličin. Díky možnosti přiřazení času k jednotlivým snímkům je možné porovnáním sousedních snímků stanovit vektor rychlosti a zrychlení pohybujících se částí, rychlost změny tvaru, nebo vizuálních projevů sledovaných jevů a podobně. Přesnost hodnot stanovených tímto způsobem je především ovlivněna kvalitou (rozlišením) záznamu, bitovou hloubkou, metodu kvantifikace dat a kvalitou optické soustavy (objektivu), jež trpí vadami zobrazení jako je distorze, astigmatismus a podobně. Při použití kvalitních objektivů jsou však tyto vady zanedbatelné. Proto se pro přesná měření používají speciálně kalibrované objektivy. Podstatný faktor ovlivňující přesnost hodnot a kvalitu nahrávky je také správné zaostření objektivu na snímáný předmět po celou dobu záznamu, především pak u nahrávek pohybujícího se objektu.

Důsledkem vysoké frekvence snímání je náročnost zpracovávání velkého množství dat. Vezmeme-li dnes již běžnou snímkovací rychlost 20 000 fps při rozlišení 250 x 200 bodů je na každou vteřinu záznamu potřeba kapacita 1GB. Pro představu se pak na jeden disk DVD vejde pouze 4,7 sekundy nekomprimovaného černobílého záznamu. Větší rozšíření těchto kamer zatím znemožňuje jejich vysoká pořizovací cena, která se u kamery se snímání rychlostí několik desítek tisíc fps včetně příslušenství pohybuje od jednoho miliónu korun výše. Poměr cena / frekvence snímání je však lepší než u běžných kamer, protože při frekvenci vyšší o 3 až 4 řády je cena vyšší pouze o 2 řády. Dalším negativním faktorem je nutnost dostatečného osvětlení zaznamenávané scény. Například při použití vysokorychlostní kamery s rychlostí snímání o desítkách tisíc fps může být záznam pořízený na přímém poledním slunečním světle hodně tmavý nebo zcela černý. Proto je pro snímání pomocí vysokorychlostní kamery zapotřebí použití výkonného osvětlení. [13], [30]

## 3.2 Osvětlení pro záznam pomocí vysokorychlostní kamery

Pro zajištění dostatečného osvětlení v místě snímání děje, musíme zvolit vhodný způsob osvětlení. Může to být osvětlení přímé, nebo nepřímé. Výrobci obou způsobů osvětlení jsou LAT elektronik AB (S), Motion Endgineering Company (USA) a také většina výrobců vysokorychlostních kamer.

### 3.2.1 Přímé osvětlení

Je uskutečňováno umístěním svítidla před místo snímání pomocí vysokorychlostní kamery. Mezi výhody toho způsobu patří použití libovolného typu svítidla s dostatečnou svítivostí. Nevýhodou bývají velké prostorové požadavky svítidla zejména při vhodném umístění pro osvětlení malých míst, nutnost odvádět velké množství tepla a omezené použití pro teplocitlivé materiály.

### 3.2.2 Nepřímé osvětlení

Bývá zpravidla řešeno pomocí flexibilních optických (světlovodných) kabelů, světlovodů, které se skládají z množství optických vláken. Vlákná bývají plastová, skleněná, nebo z kombinace obou materiálů. Skládají se z jádra a obalu. Světlo se v nich přenáší pomocí totálního vnitřního odrazu, ke kterému dochází na rozhraní prostředí s rozdílným indexem lomu. Optické kabely se vyrábí ve dvou provedeních, orientované a neorientované. Orientované mají přesné pořadí a rozložení vláken na začátku i na konci, což se odráží na výši jejich ceny. Používají se spíše pro přenos obrazu. U neorientovaných optických kabelů není řazení dodrženo, nicméně pro použití k přenosu světla to není překážkou. Vstupní část flexibilních optických kabelů tvoří válcovitá část s osazením, viz Obrázek 14. Každý výrobce si volí průměr tohoto konce a uspořádání optických vláken v něm. Hlavními výhodami tohoto osvětlení je téměř nulový přenos tepla od zdroje světla, velmi malé rozměry konce, ze kterého vychází světlo, malé ztráty světla, různé možnosti tvarových zakončení. Mezi nevýhodami patří nutnost použití optické soustavy pro koncentraci paprsků světelného zdroje do vstupního konce a cena těchto optických kabelů. [34]



Obrázek 14. Vstupní část flexibilních optických kabelů

### 3.3 Nevýhody světelných zdrojů při použití pro osvětlení záběrů vysokorychlostních kamer

Pro lepší orientaci v široké škále typů světelných zdrojů je vhodné provést jednoduché srovnání hlavních nevýhod jednotlivých typů. Je však nutné brát v potaz i aktuálnost informací, protože zatím nebyl využit celý potenciál některých typů světelných zdrojů a dá se proto předpokládat jejich další vývoj a možná vylepšení. Zejména u výbojek a světelných diod – LED.

#### 3.3.1 Žárovky

- vysoké provozní teploty těchto zdrojů
- **Klasické žárovky**
  - dle rozhodnutí Evropské komise se od září 2012 nebudou prodávat číré typy, matné typy nahrazují produkty energetické třídy A [8]
  - nízký poměr světelného toku a příkonu
- **Halogenové žárovky**
  - dle rozhodnutí Evropské komise se od září 2012 budou prodávat pouze v energetické třídě A [8]
  - nízký poměr světelného toku a příkonu
  - krátká životnost [10], [35], [43], [44]

#### 3.3.2 Výbojky

- nebezpečí vzniku stroboskopického jevu
- produkování velkého množství tepla a s tím spojená vysoká teplota těchto zdrojů
- nutná synchronizace frekvence výbojů s frekvencí snímací
- **Nízkotlaké výbojky**
  - *nízkotlaké rtuťové výbojky* (zářivky, úsporné zářivky či lidově „úsporné žárovky“)
    - nízký index barevného podání
  - *nízkotlaké sodíkové výbojky*
    - nulový index barevného podání
  - *nízkotlaké indukční výbojky*
    - velké rušení

- **Vysokotlaké výbojky**
  - vysokotlaké rtuťové výbojky
    - nízký index barevného podání
  - vysokotlaké směšové výbojky
    - nižší index barevného podání
  - vysokotlaké halogenidové výbojky
    - některé typy trpí změnou kolorimetrických parametrů v průběhu života
  - vysokotlaké sodíkové výbojky
    - velmi nízký index barevného podání
  - vysokotlaké xenonové výbojky
    - velmi nebezpečná svým vnitřním přetlakem zejména na konci životnosti [36], [39], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53]

### 3.3.3 Světelné diody - LED (Light Emitting Diodes)

- nutnost chlazení u výkonových typů
- zvyšující se teplota čipu urychluje jeho degradaci a snižuje světelný tok
- **Organické světelné diody – OLED (Organic Light Emitting Diodes)**
  - velmi krátká životnost
- **Laserové diody**
  - nevhodné z důvodu zrnění [9], [24], [25], [29], [45], [59], [64]



## 4 SOUHRN TEORETICKÉ ČÁSTI

Volba vhodného umělého světelného zdroje je vždy závislá na konkrétních podmínkách a vlastnostech snímaného děje. Srovnáním nevýhod jednotlivých druhů je vidět vhodnost poměrně nových světelných zdrojů – LED. Jejich cena je sice stále ještě vyšší v poměru ke světelnému výkonu, nicméně se stále vyvíjí a zdokonalují. S ohledem na vývoj cen v historii dnes již běžných typů, se dá do budoucna předpokládat další snížení cen, v důsledku masového rozšíření i u výkonových typů. Jejich ostatní vlastnosti jsou velmi výhodné. Proto byly zvoleny do konstrukce, na které se podílím v praktické části.

Návrhy konstrukcí optických zařízení vyžadují přesné vzájemné ustavení optických dílů. Vzájemným ustavením světelného zdroje a světlovodu se zabývá praktická část. Součástí praktické části jsou i další mechanické konstrukce.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem této bakalářské práce je návrh tří částí mechanické konstrukce laboratorního zdroje světelného záření pro vysokorychlostní kameru.

První část bude věnována návrhu mechanické konstrukce upínací části mezi světelným zdrojem a světlovodem pro různé průměry světlovodů. Obsahem bude soupis vstupních požadavků na konstrukci, jejich zhodnocení, volba vhodné konstrukční varianty doplněná schémata jednotlivých konstrukcí.

Tématem druhé části bude návrh mechanické konstrukce držáku ovládacích prvků. Ta bude taktéž obsahovat soupis vstupních požadavků na konstrukci a jejich zhodnocení. Dále bude obsahovat návrh několika variant doplněných o pevnostní analýzy. Následovat bude srovnání variant s volbou vhodné varianty.

Poslední část bude zaměřena na návrh mechanické konstrukce konzole pro uchycení přístroje na stativ. I zde bude soupis vstupních požadavků na konstrukci a jejich zhodnocení. Závěrem budou uvedeny jednotlivé části konstrukce a u některých z nich také různé konstrukční varianty.

## 6 UPÍNACÍ ČÁSTI MEZI SVĚTELNÝM ZDROJEM A SVĚTLOVODEM

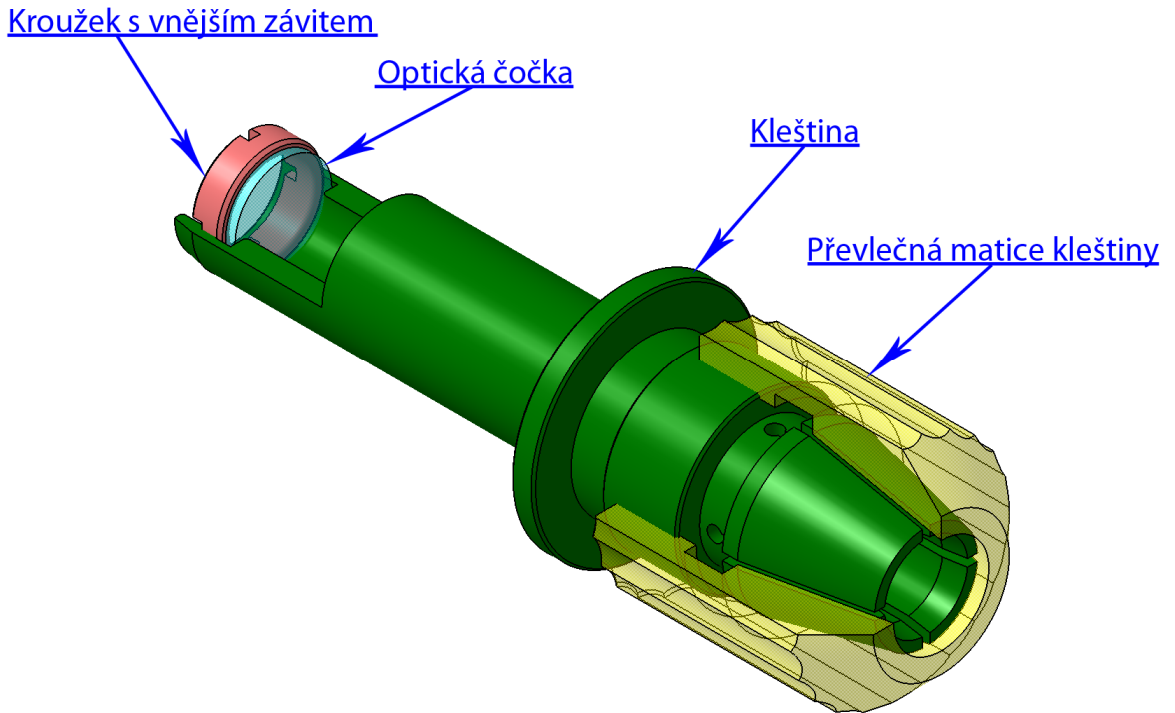
Vstupními požadavky na upínací část mezi světelným zdrojem a světlovodem jsou:

- a) možnost jednoduchého uchycení a uvolnění světlovodu bez pomoci nástroje,
- b) možnost uchycení světlovodů o průměrech vstupní části 5, 6, 8 a 10 mm,
- c) možnost uchycení do kleštiny na výstupu z přístroje o vnitřním průměru 16 mm,
- d) aretace proti náhodnému vypadnutí světlovodu při manipulaci s přístrojem,
- e) souosost světelného paprsku a vstupní části světlovodu,
- f) možnost uchycení optické čočky,
- g) možnost osového posunutí pro vzájemné nastavení ohniskové vzdálenosti čočky a zrcadla.

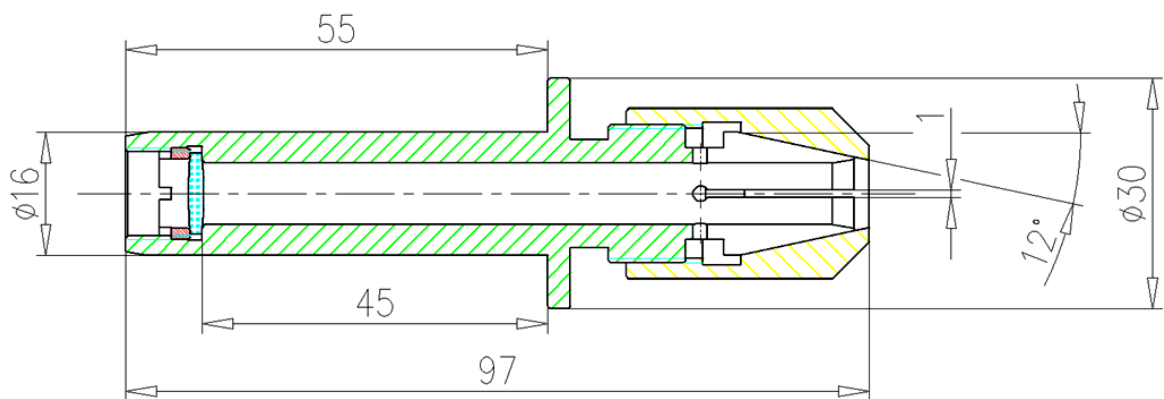
Po zhodnocení vstupních požadavků se jeví vhodné použití upínacích kleštin. Jelikož se vstupní části světlovodů od sebe liší nejen průměrem, ale i počtem a uspořádáním samotných optických vláken, je nutné použít odlišné optické čočky pro jednotlivé typy vstupních částí. Výměna jednotlivých čoček by byla náročná nejen vzhledem k nutnosti jejího přesného ustavení, ale hlavně z důvodu náchylnosti ke zhoršení optických vlastností v důsledku ušpinění či mechanického poškození. Proto byla zvolena konstrukce několika výměnných redukčních kleštinových vložek pro různé průměry, jejíž součástí je optická čočka uchycená ve válcové části. Za tuto část se pak celá tato vložka uchytí do kleštiny, která je na výstupu z přístroje. To umožní osové posunutí čočky vzhledem k zrcadlu.

Samotná konstrukce redukční kleštinové vložky je realizována pomocí kleštiny s převlečnou maticí s podélným drážkováním pro snadnější utahování rukou bez pomoci nástroje, optické čočky a kroužku s vnějším závitem pro její uchycení.

Kusovníky, výkresy sestav, výrobní výkresy, 3D modely dílů i sestav jednotlivých součástí všech variant jsou v elektronické příloze bakalářské práce.

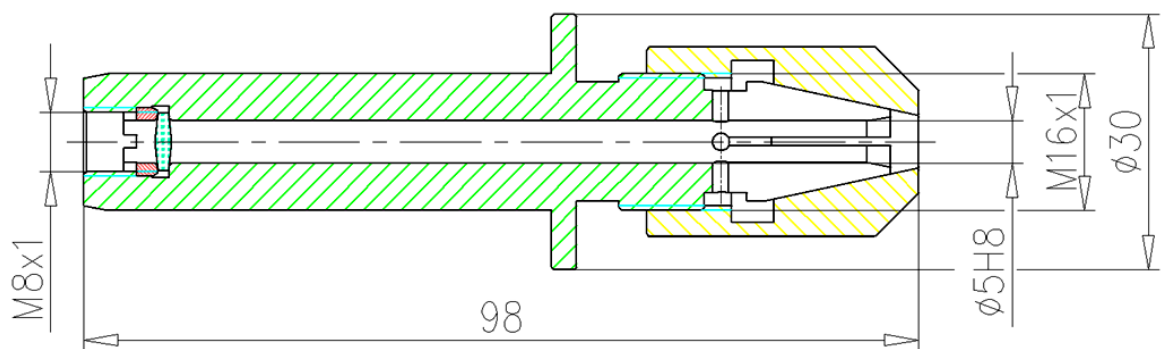


Obrázek 15. Částečný řez sestavou redukční kleštinové vložky s popisy



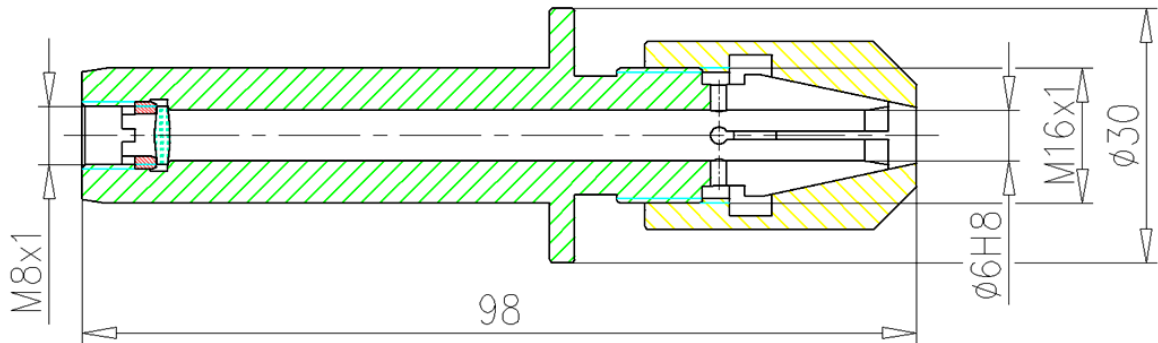
Obrázek 16. Obecné schéma sestavy redukční kleštinové vložky

### 6.1 Redukční kleštinová vložka pro průměr koncovky 5 mm



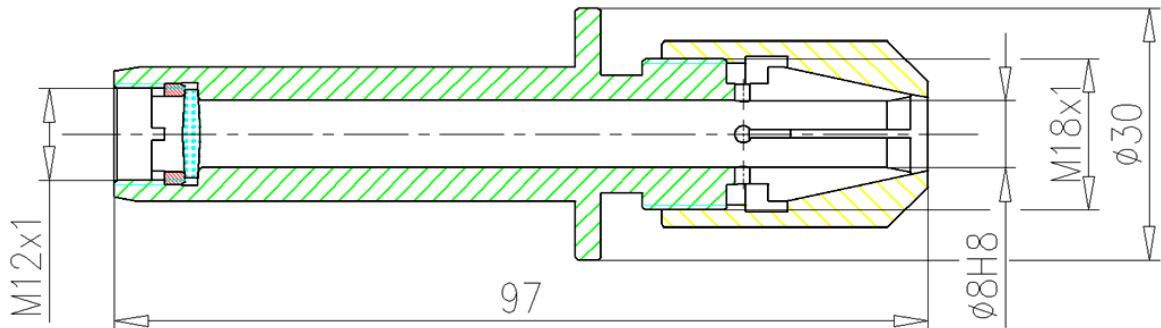
Obrázek 17. Schéma redukční kleštinové vložky pro průměr koncovky 5 mm

### 6.2 Redukční kleštinová vložka pro průměr koncovky 6 mm



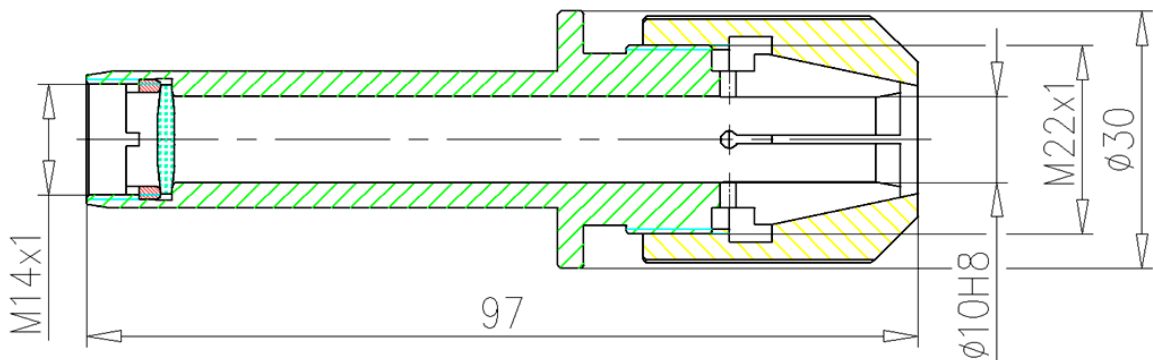
Obrázek 18. Schéma redukční kleštinové vložky pro průměr koncovky 6 mm

### 6.3 Redukční kleštinová vložka pro průměr koncovky 8 mm



Obrázek 19. Schéma redukční kleštinové vložky pro průměr koncovky 8 mm

### 6.4 Redukční kleštinová vložka pro průměr koncovky 10 mm



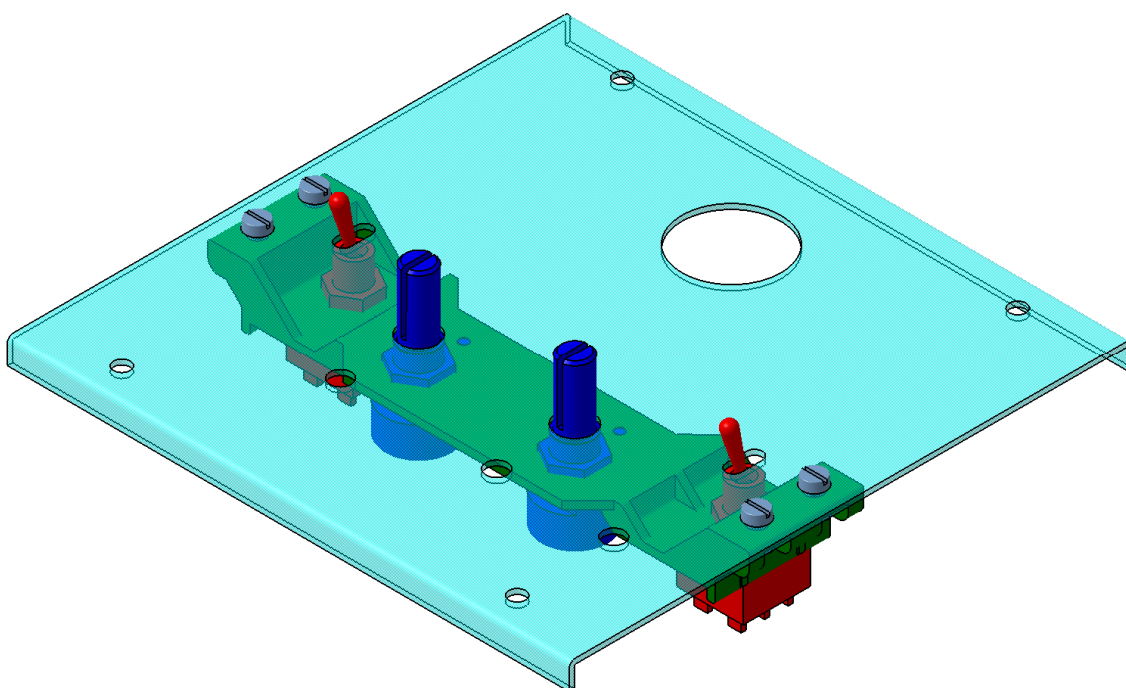
Obrázek 20. Schéma redukční kleštinové vložky pro průměr koncovky 10 mm

## 7 DRŽÁK OVLÁDACÍCH PRVKŮ

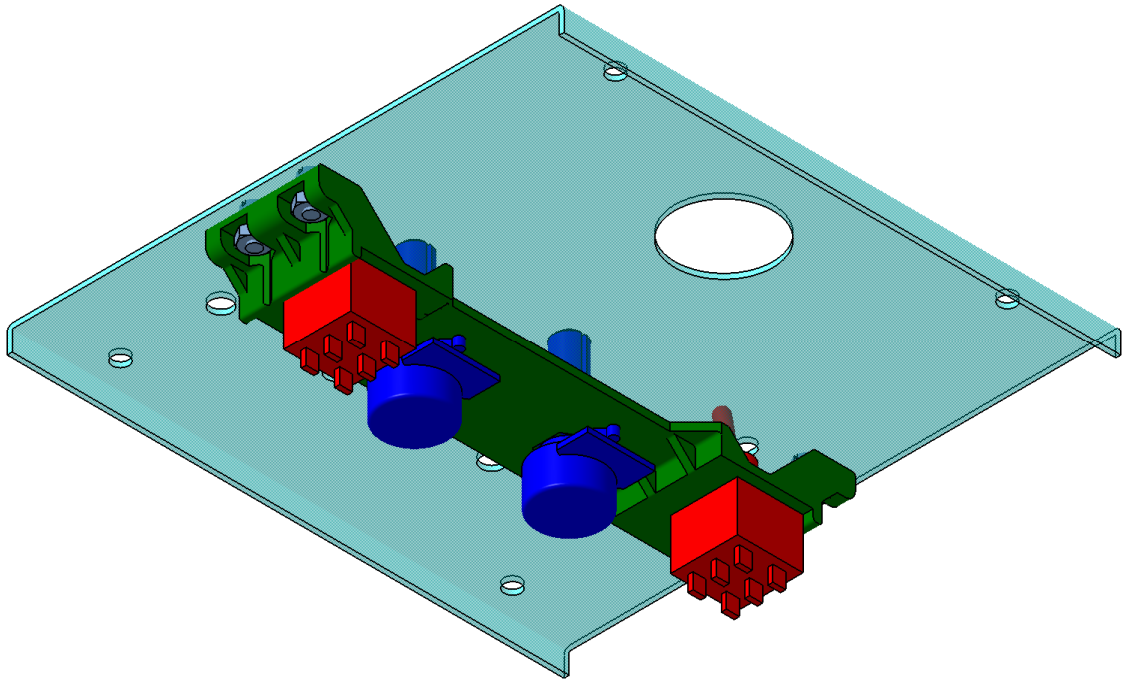
Ovládacími prvky u konstruovaného zdroje světelného záření budou 2 potenciometry a 2 vypínače. Požadavky na konstrukci držáku těchto prvků jsou:

- upevnění ovládacích prvků ve vhodné vzdálenosti od ovládacího panelu,
- zabránění pootočení při montáži,
- dostatečná pevnostní odolnost při běžném používání,
- dostatečná pevnostní odolnost při postavení přístroje na ovládací prvky,
- pro připevnění k ovládacímu panelu budou použity šrouby s válcovou hlavou.

U prototypu se bude držák vyrábět pomocí 3D tiskárny, která vytváří díly z ABS. Toto řešení je vhodné jen pro kusovou výrobu vzhledem k ceně takto vytvořených dílů. Obrázek 21 a Obrázek 22 zobrazují uspořádání ovládacích prvků na ovládacím panelu. Výrobní výkresy jednotlivých variant, včetně 3D modelů a FEM modelů jsou v elektronické příloze bakalářské práce.



Obrázek 21. Sestava ovládacího panelu – pohled ze shora



Obrázek 22. Sestava ovládacího panelu – pohled zdola

Navrhl jsem 5 variant držáku ovládacích prvků, které se liší zejména ve způsobu vyztužení. Toto vyztužení zvýší tuhost celého držáku, což se pozitivně projeví na komfortu při ovládání přístroje. Součástí každé z variant je pevnostní analýza provedená pomocí FEM systému, který je součástí programu CATIA v5R19 od společnosti Dassault Systèmes. Ta je bohužel pouze informativního charakteru, protože se nepodařilo v dostupné literatuře zjistit mechanické vlastnosti konkrétního materiálu, ze kterého bude držák vyráběn. I tak lze na základě těchto analýz porovnat tuhost jednotlivých konstrukčních variant mezi sebou a zjistit kritická místa, v nichž bude pravděpodobně docházet ke koncentraci napětí, což může v některých případech vést až ke vzniku trhlin. Použil jsem vlastnosti ABS z ukázkových záznamů CES – EduPack Software od společnosti Granta – Material Intelligence. [65]



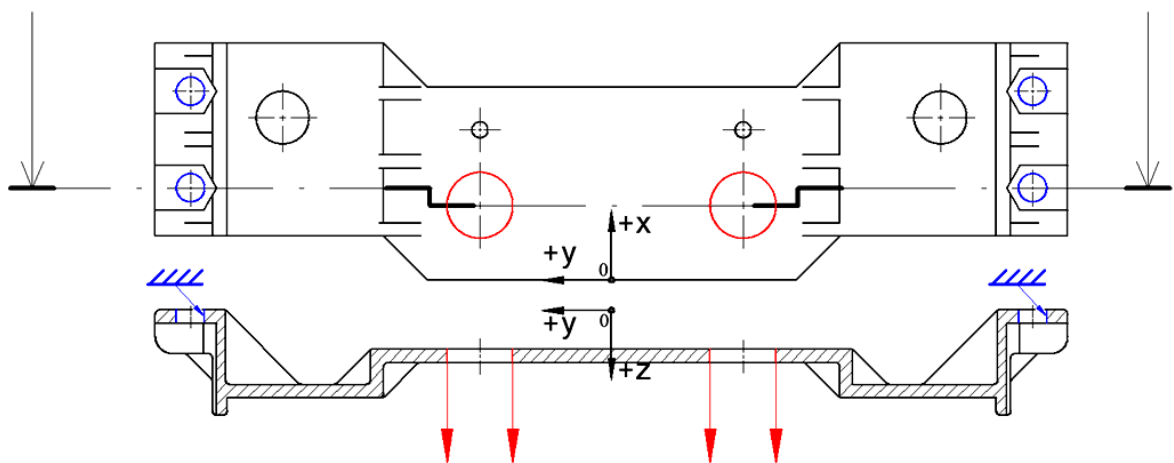
Tabulka 1. Některé vlastnosti ABS

Vlastnost	Velikost			Jednotky
	od	-	do	
Youngův modul	1,1	-	2,9	GPa
Poissonovo číslo	0,3908	-	1,032	-
Mez kluzu	18,5	-	51	MPa
Pevnost v tahu	27,6	-	55,2	MPa
Hustota	1010	-	1210	$\frac{kg}{m^3}$

Analýzy vycházejí z předpokladů:

- pevného uchycení držáku (odebrány všechny stupně volnosti) za všechny čtyři stěny otvorů pro šrouby po stranách (znázorněno modře na schématu),
- nuceného posunutí vnitřních stěn největších děr (zvýrazněných červeně) o jeden milimetr v kladném směru osy Z (znázorněno červenými šipkami),
- počátek souřadnicového systému a natočení souřadnicového systému je u všech variant včetně analýz stejný.

Získané velikosti reakcí jsou součtem reakcí ve všech čtyřech otvorech, za které je držák uchycen.

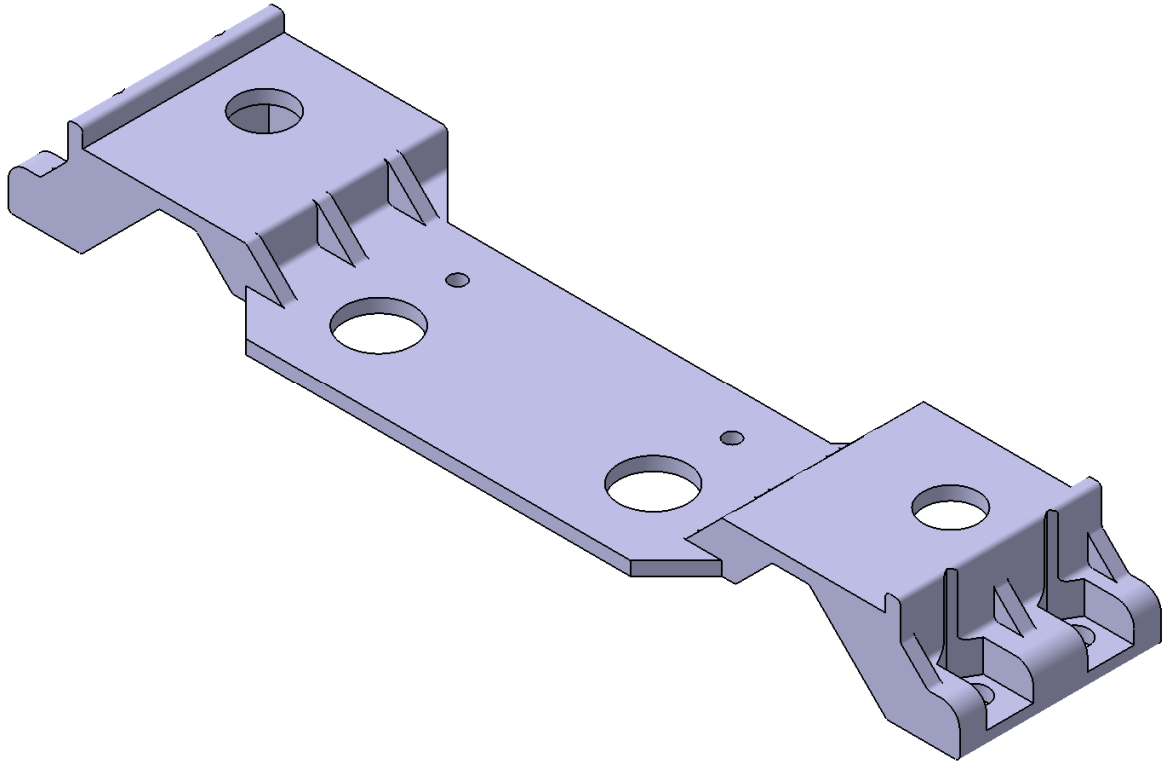


Obrázek 23. Schéma okrajových podmínek analýz

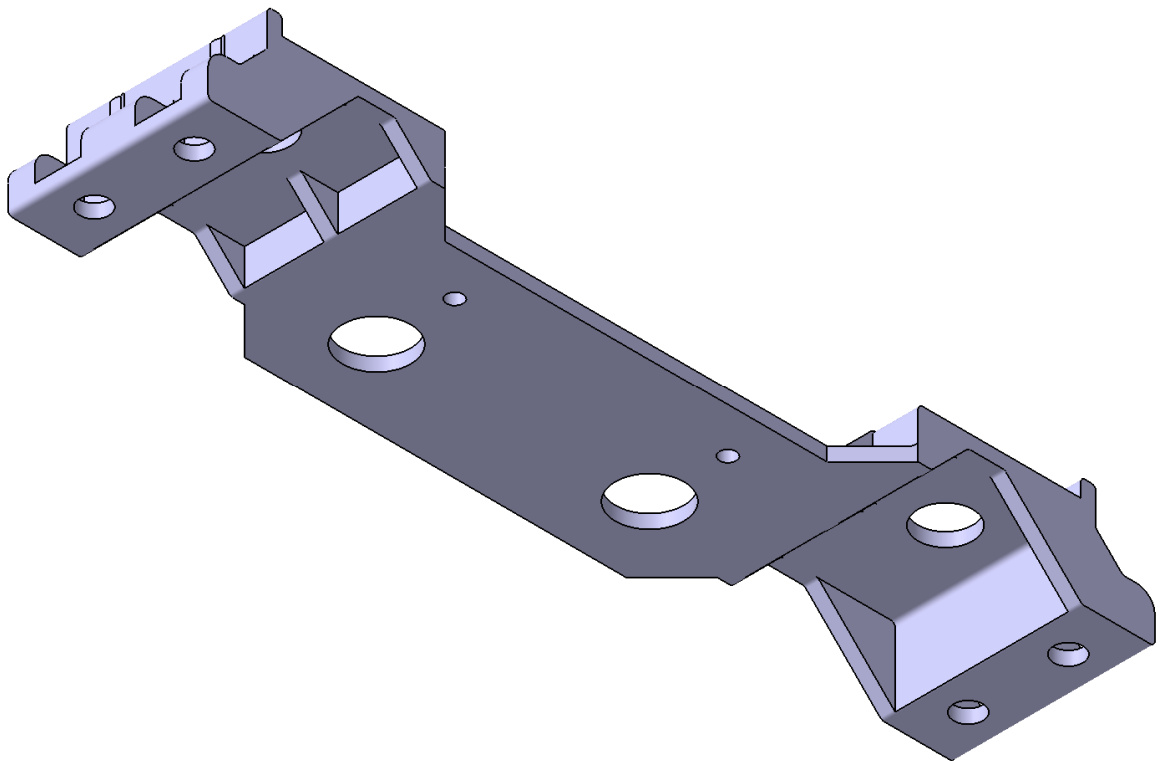
Výpočty byly provedeny pro nejnižší, střední a nejvyšší hodnotu Youngova modulu. Změna tohoto modulu neovlivní rozložení Von Misesova napětí, ani velikost translačních vektorů posunutí konečných prvků modelu držáku. Proto jsou u každé z variant jen obrázky získané výpočtem s jeho nejvyšší hodnotou.

### 7.1 Držák ovládacích prvků – varianta 1.

Toto řešení je jednoduché, vyztužení je realizováno pouze pomocí žeber.

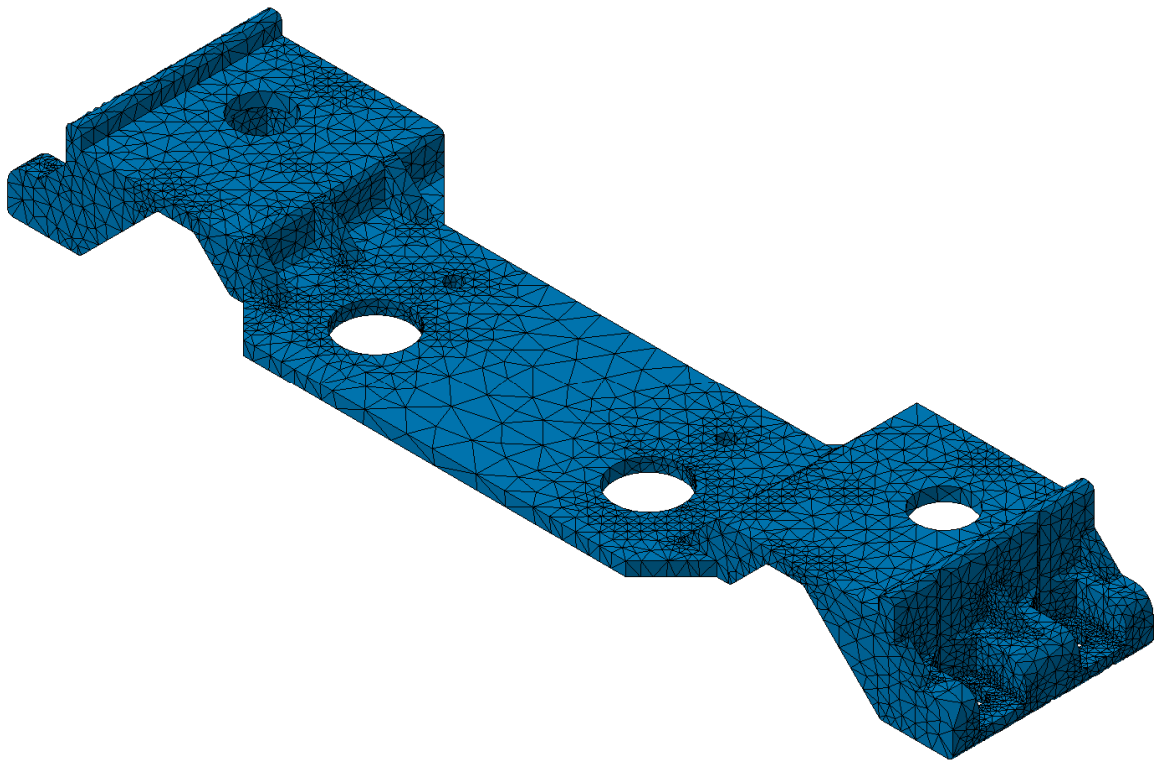


Obrázek 24. 3D model – 1. varianta držáku – horní pohled

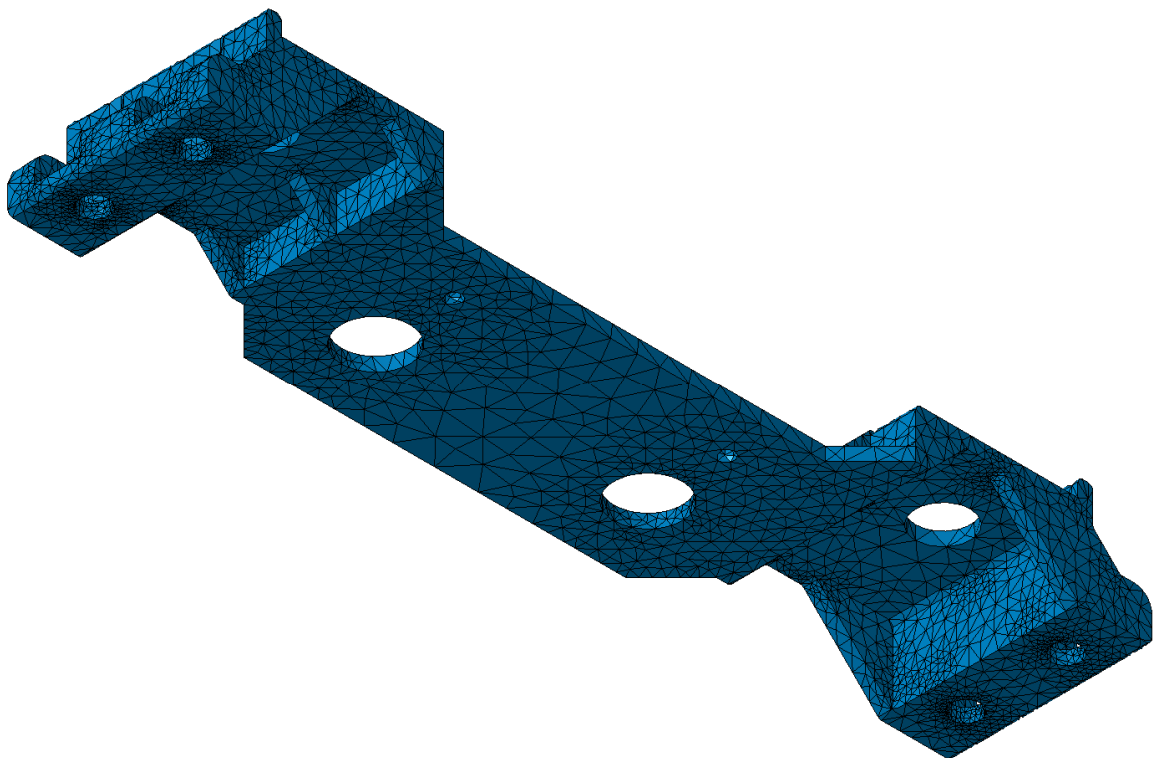


Obrázek 25. 3D model – 1. varianta držáku – dolní pohled

- *Pevnostní analýza*



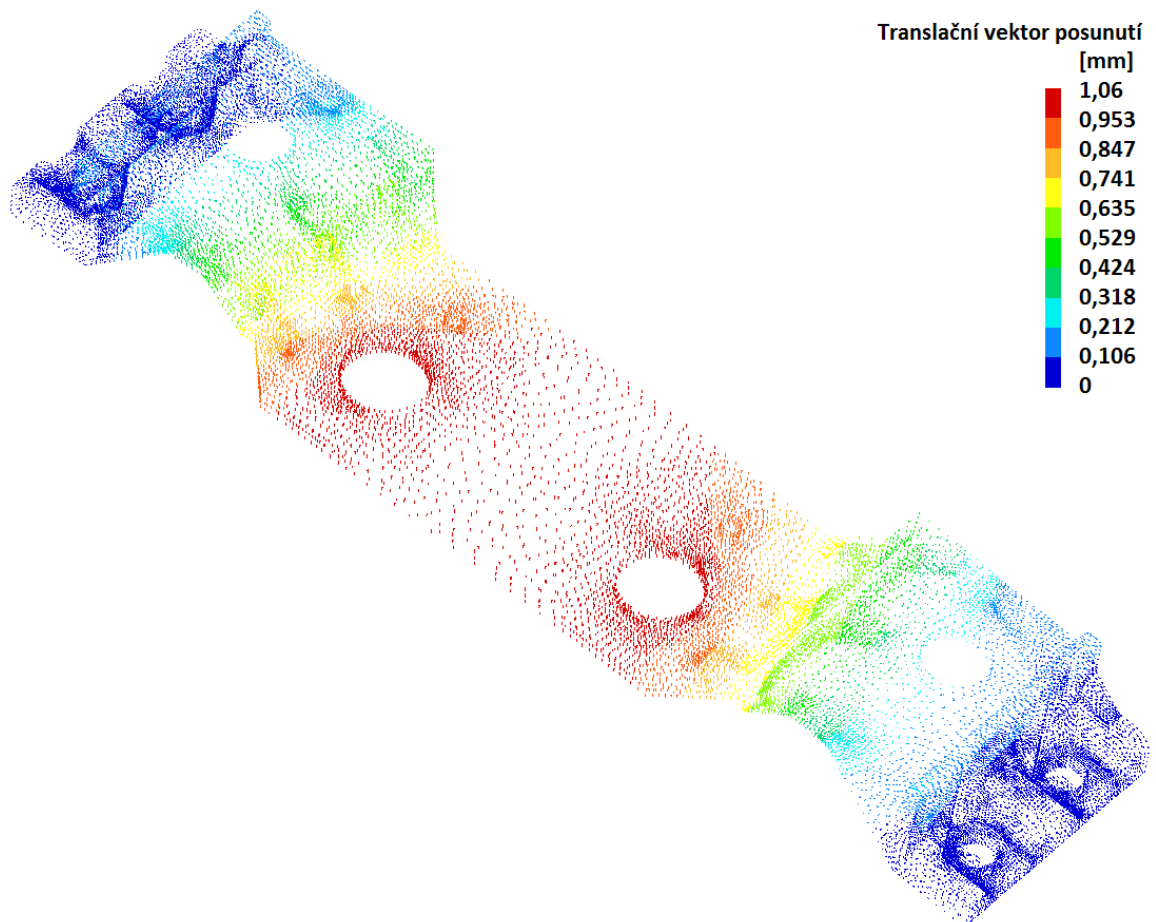
Obrázek 26. FEM model – 1. varianta držáku – horní pohled



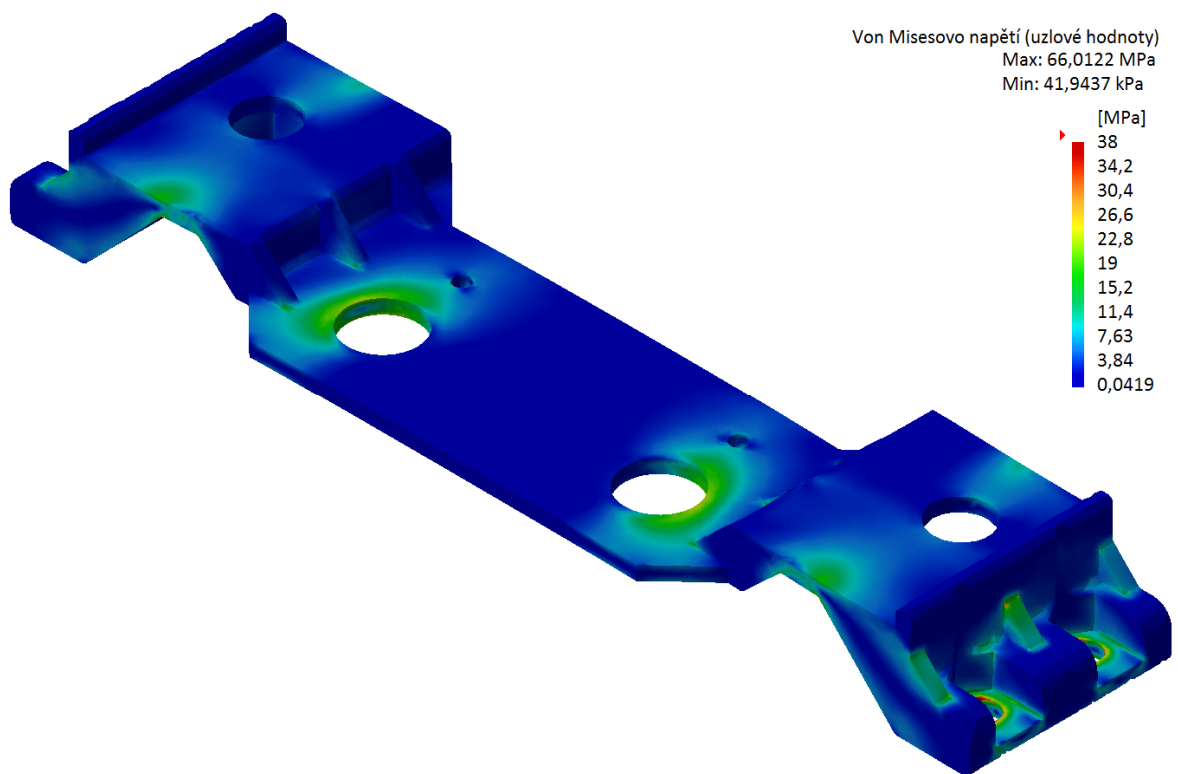
Obrázek 27. FEM model – 1. varianta držáku – dolní pohled

Tabulka 2. Reakce získané pomocí FEM analýzy – 1. varianta držáku

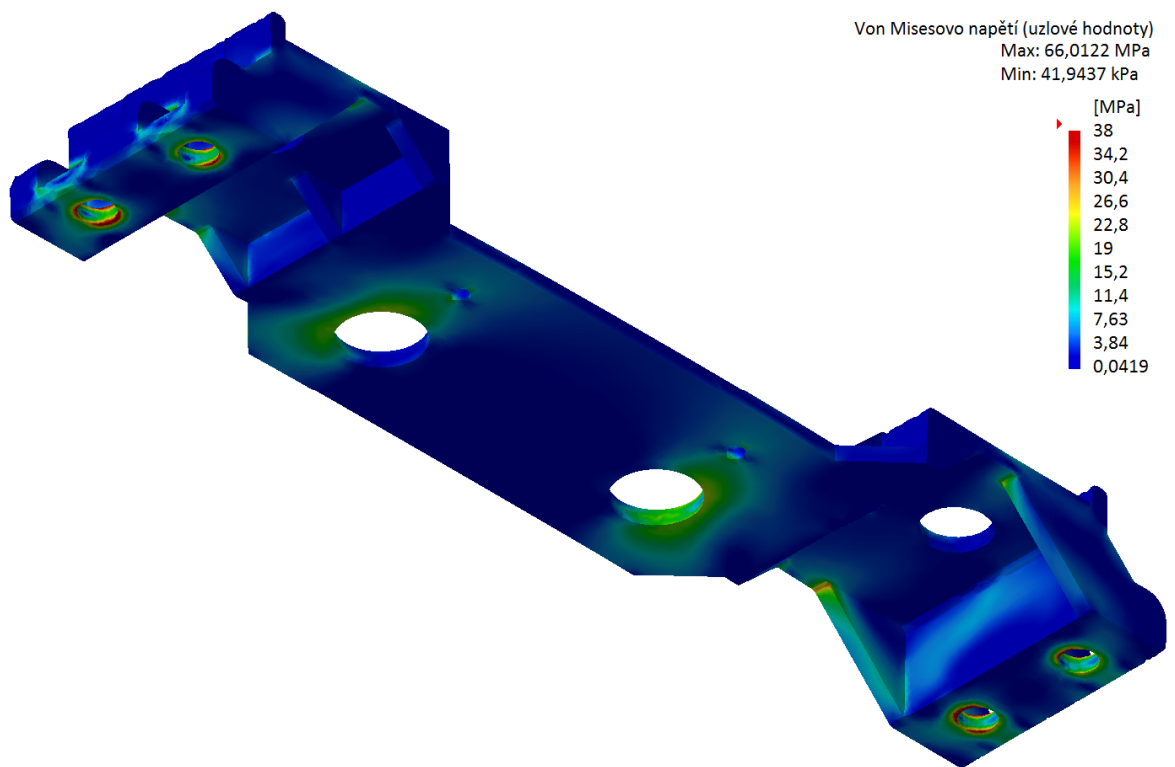
1. Varianta								
Youngův modul [GPa]	Chyba FEM modelu [%]	Největší posunutí [mm]	Reakce					
			R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	R <sub>z</sub>	M <sub>Rx</sub>	M <sub>Ry</sub>	M <sub>Rz</sub>
			[N]			[Nm]		
1,1	7,97679	1,06	0	0	- 9,272	- 0,000020120	0,109	0
2,0	7,97679	1,06	0	0	- 16,859	- 0,000036590	0,199	0
2,9	7,97679	1,06	0	0	- 24,446	- 0,000053050	0,288	0



Obrázek 28. Translační vektory posunutí konečných prvků – 1. varianta držáku



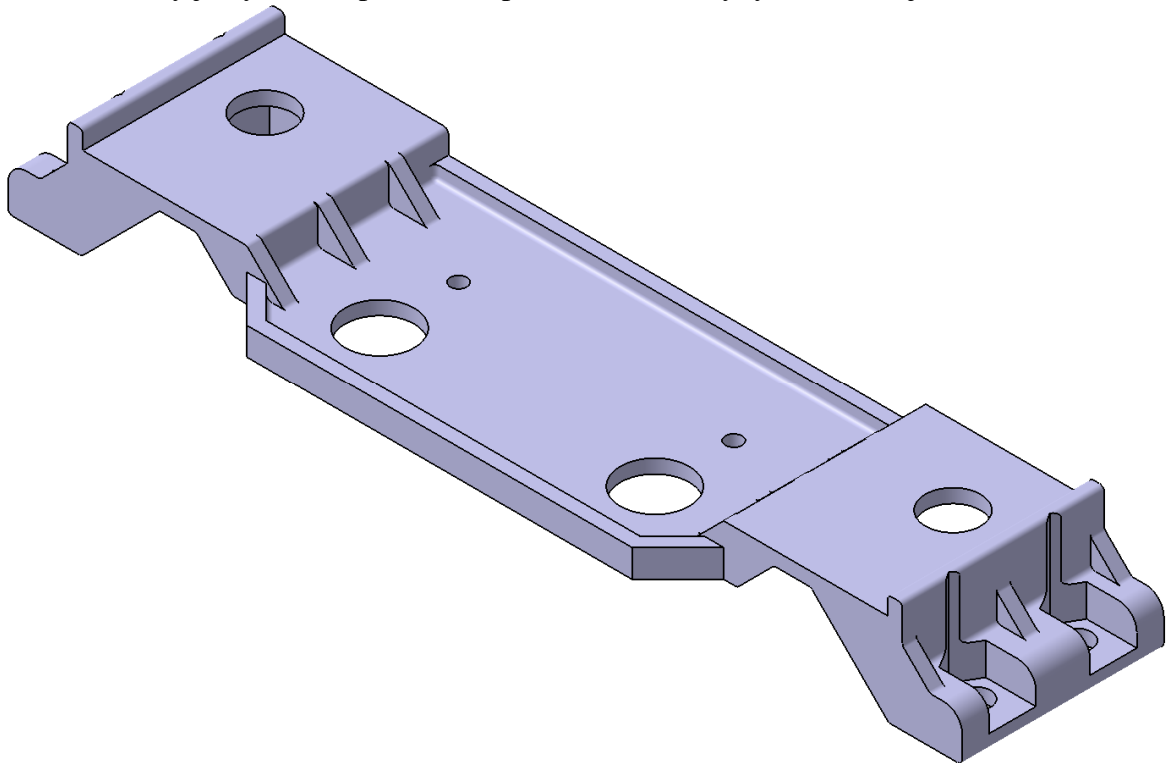
Obrázek 29. Rozložení Von Misesova napětí – 1. varianta držáku – horní pohled



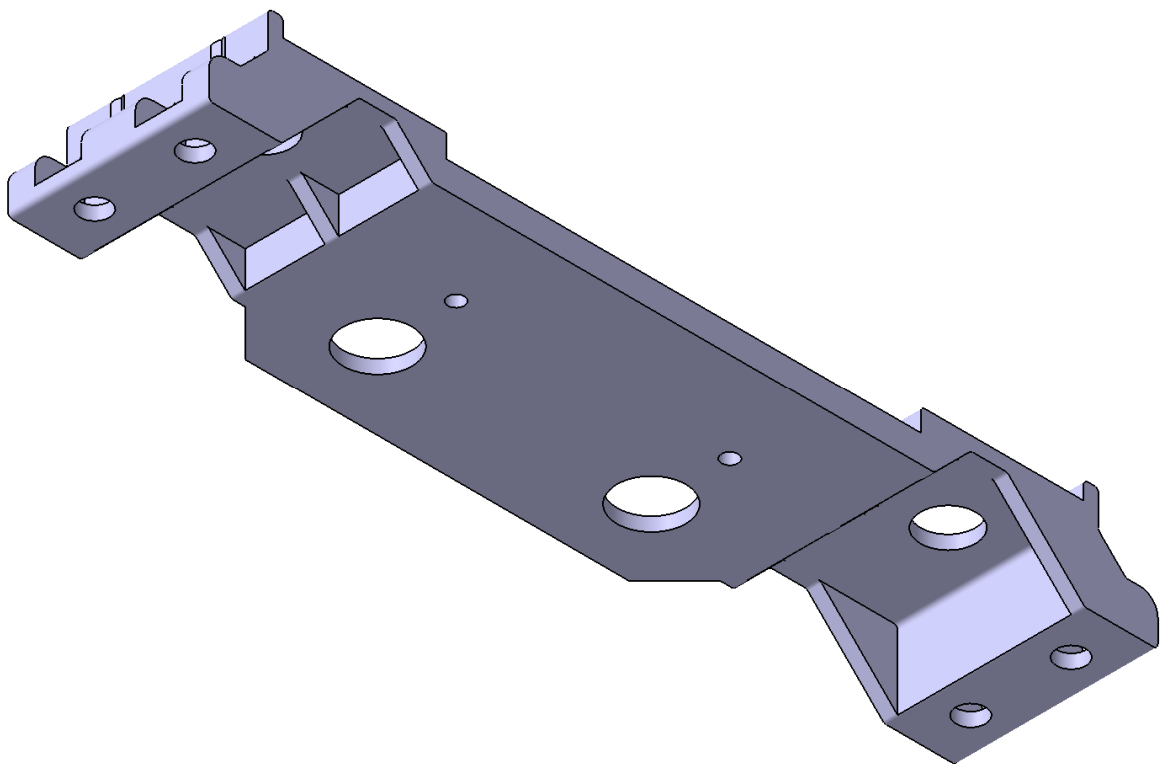
Obrázek 30. Rozložení Von Misesova napětí – 1. varianta držáku – dolní pohled

## 7.2 Držák ovládacích prvků – varianta 2.

U této varianty je vyztužení provedeno pomocí žeber a vyvýšení u okraje střední části.

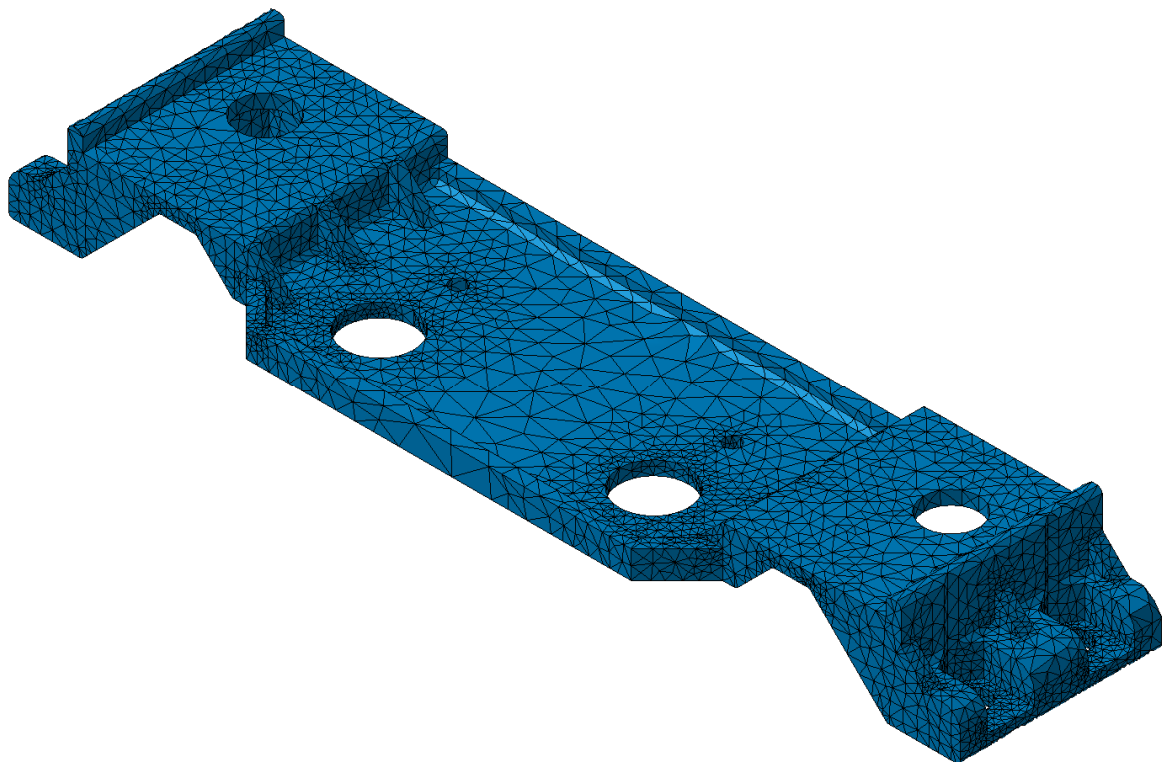


Obrázek 31. 3D model – 1. varianta držáku – horní pohled

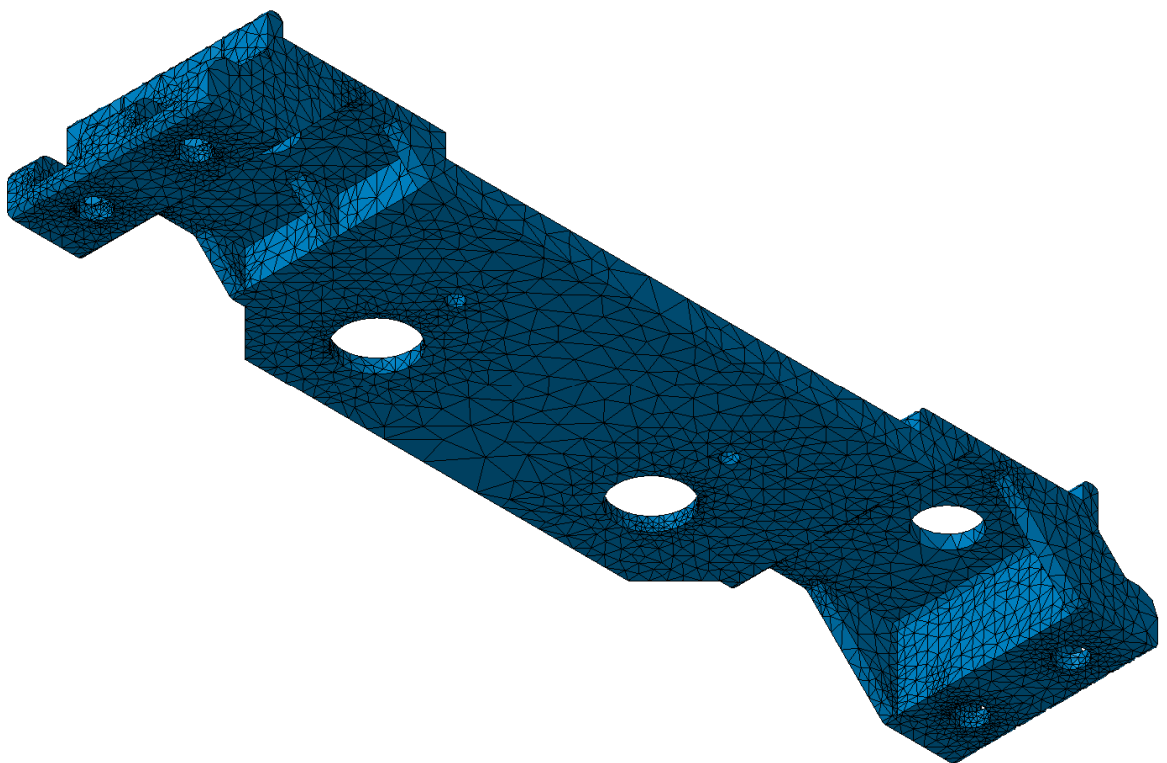


Obrázek 32. 3D model – 2. varianta držáku – dolní pohled

- *Pevnostní analýza*



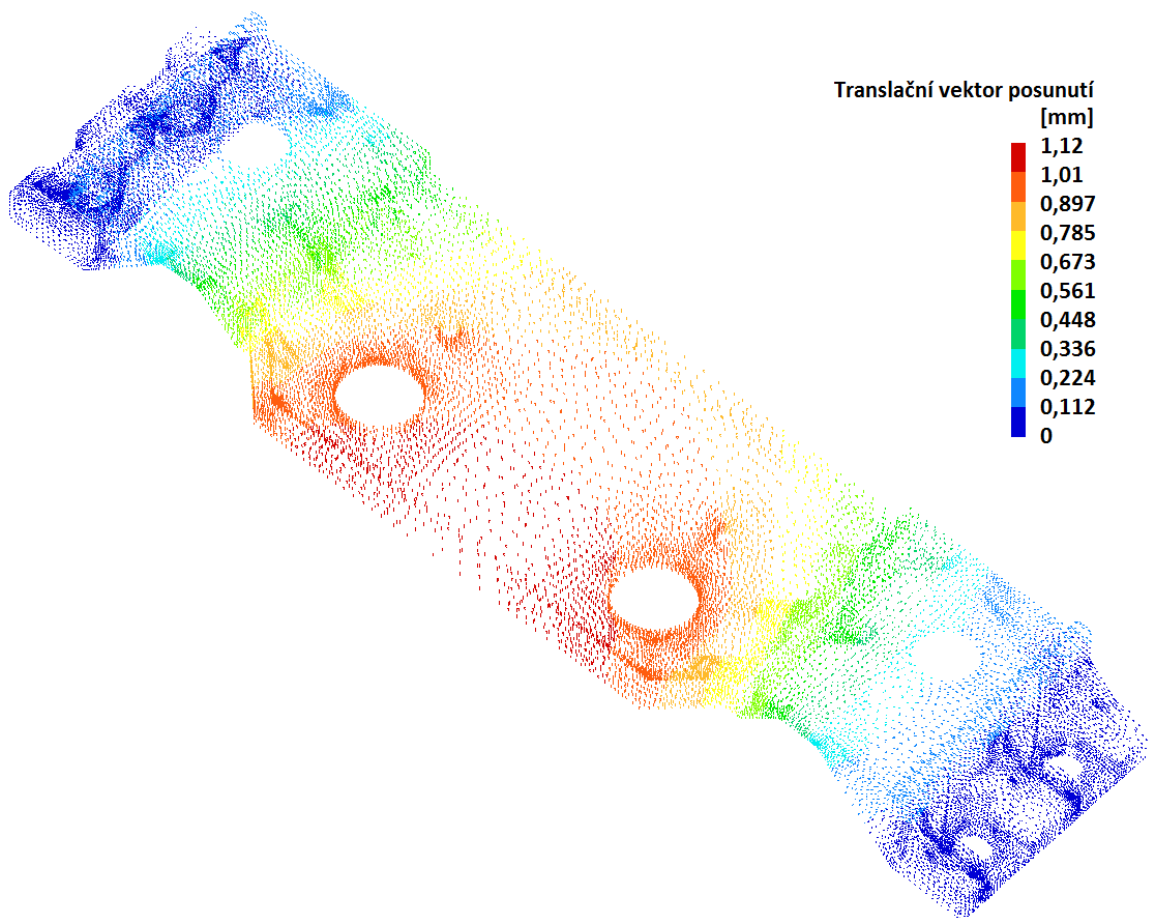
Obrázek 33. FEM model – 2. varianta držáku – horní pohled



Obrázek 34. FEM model – 2. varianta držáku – dolní pohled

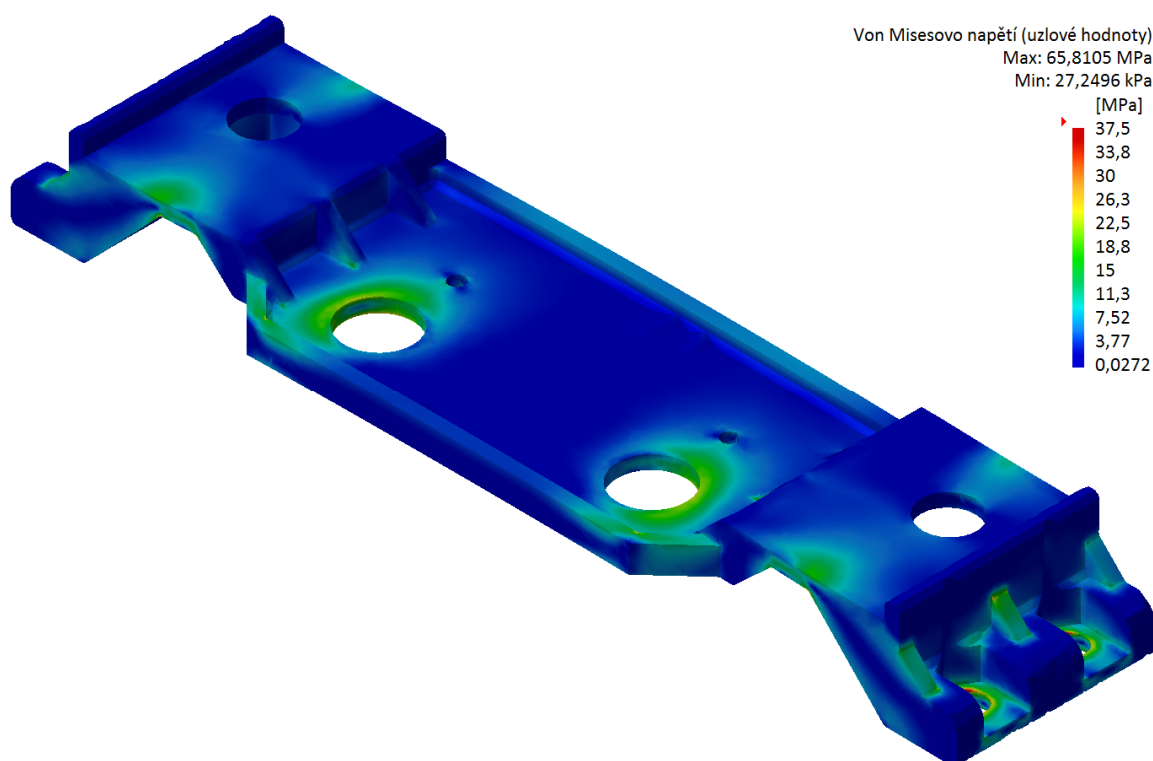
Tabulka 3. Reakce získané pomocí FEM analýzy – 2. varianta držáku

2. Varianta								
Youngův modul [GPa]	Chyba FEM modelu [%]	Největší posunutí [mm]	Reakce					
			R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	R <sub>z</sub>	M <sub>Rx</sub>	M <sub>Ry</sub>	M <sub>Rz</sub>
			[N]			[Nm]		
1,1	8,5882	1,12	0	0	- 10,543	- 0,000007798	0,128	0
2,0	8,5882	1,12	0	0	- 19,169	- 0,000014180	0,233	0
2,9	8,5882	1,12	0	0	- 27,795	- 0,000020560	0,337	0

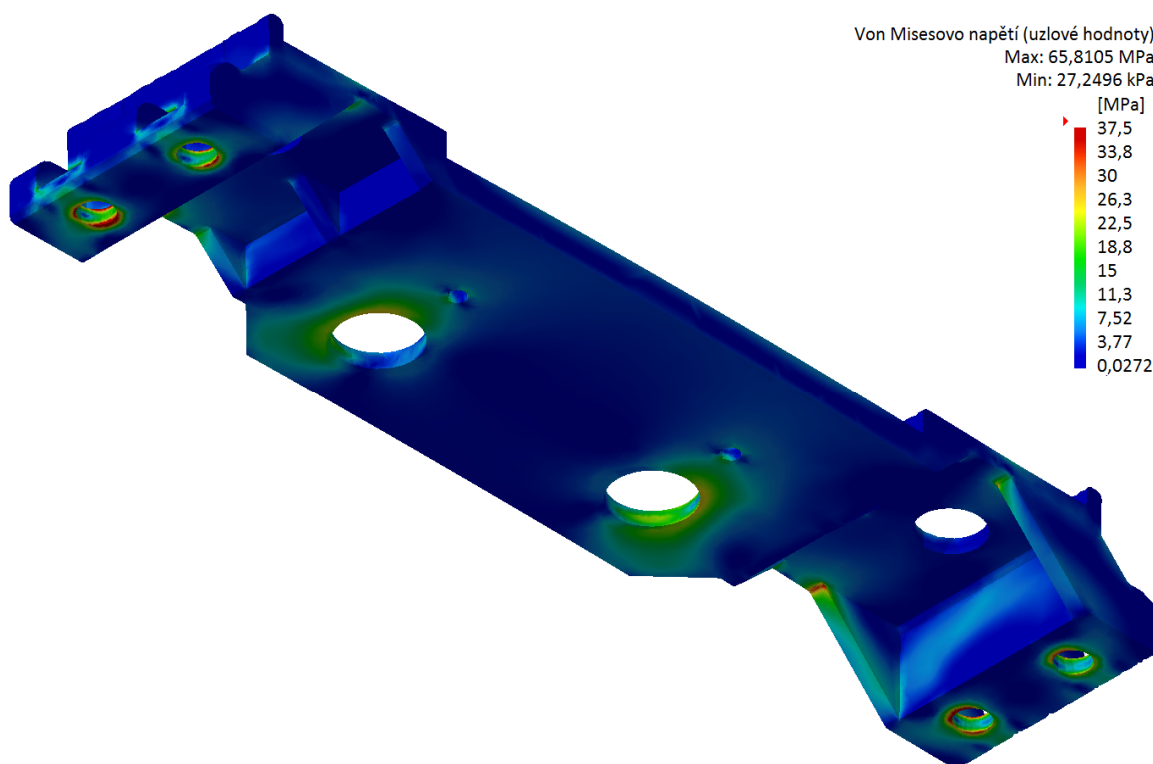


Obrázek 35. Translační vektory posunutí konečných prvků – 2. varianta držáku





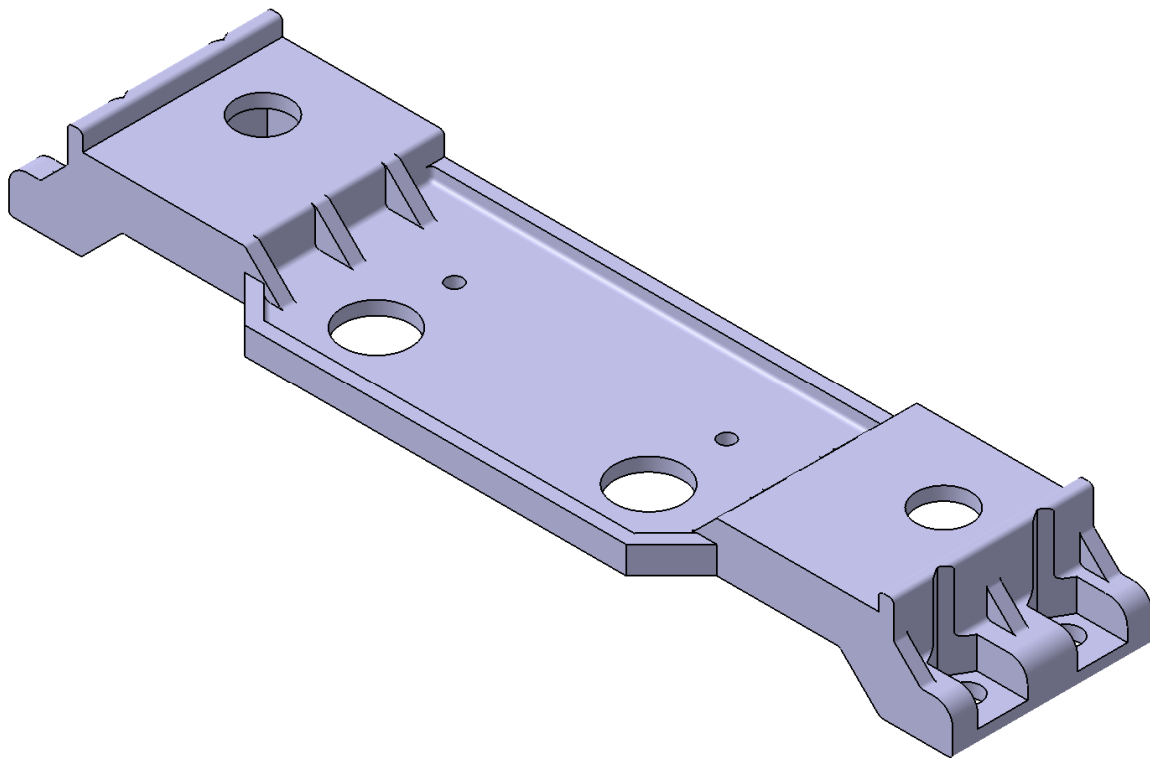
Obrázek 36. Rozložení Von Misesova napětí – 2. varianta držáku – horní pohled



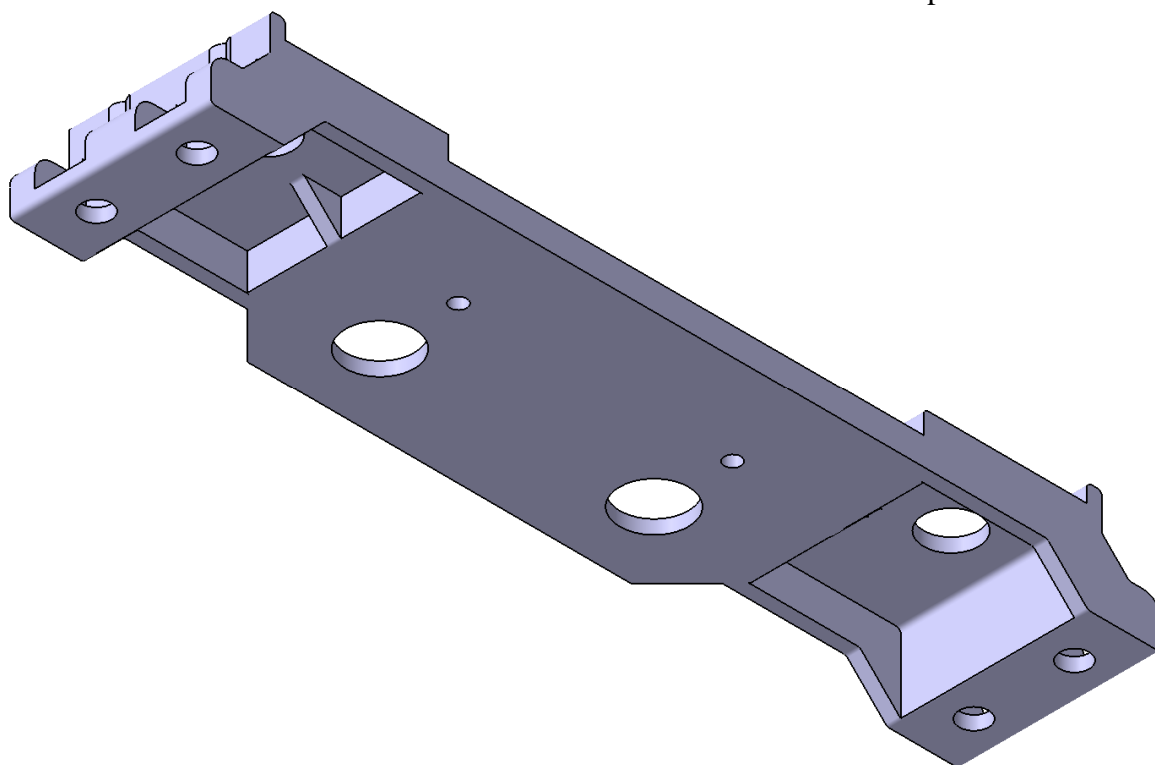
Obrázek 37. Rozložení Von Misesova napětí – 2. varianta držáku – dolní pohled

### 7.3 Držák ovládacích prvků – varianta 3.

Tato varianta se liší od předchozí, výstupky na místě krajních žeber.

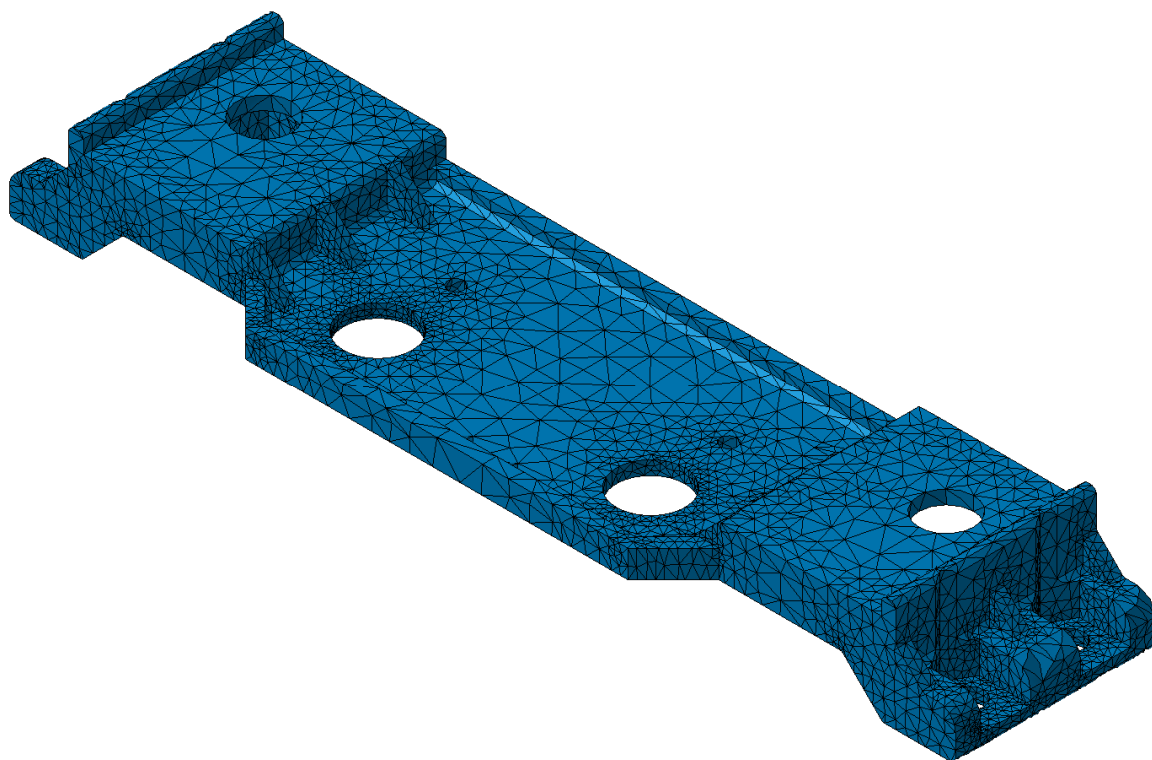


Obrázek 38. 3D model – 3. varianta držáku – horní pohled

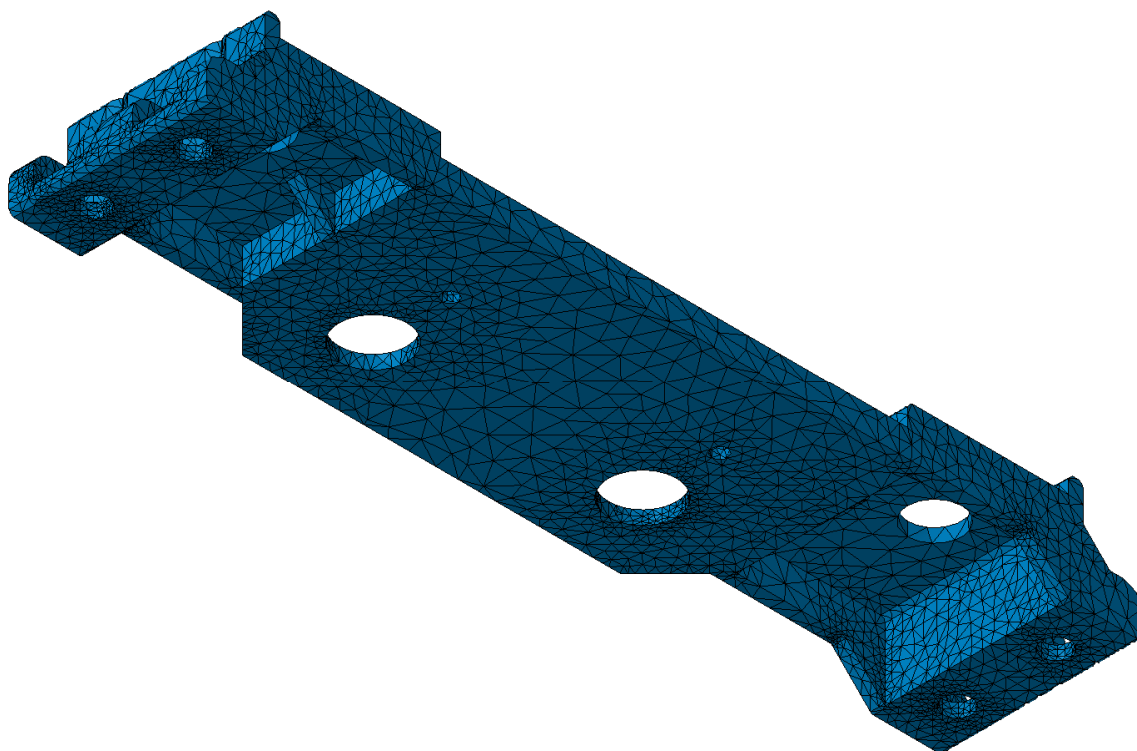


Obrázek 39. 3D model – 3. varianta držáku – dolní pohled

- *Pevnostní analýza*



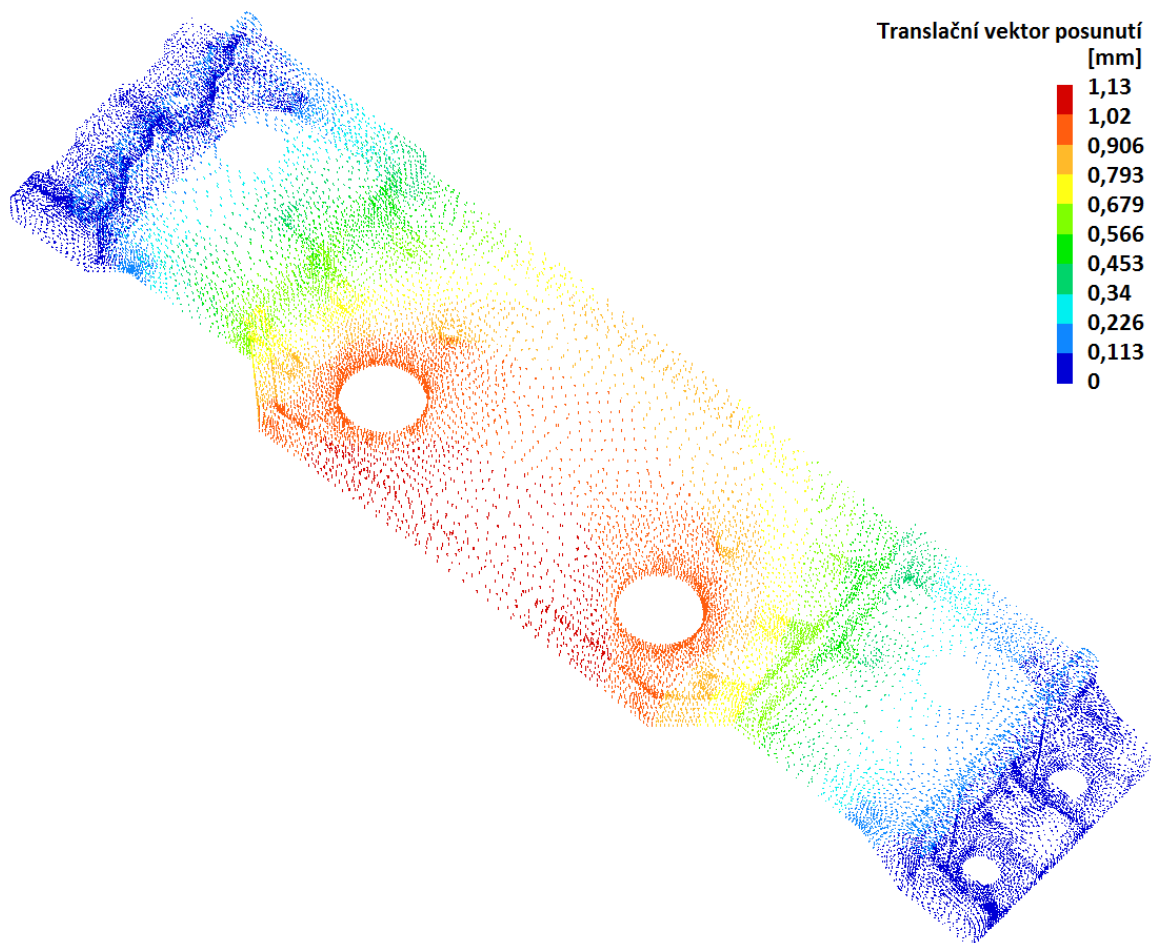
Obrázek 40. FEM model – 3. varianta držáku – horní pohled



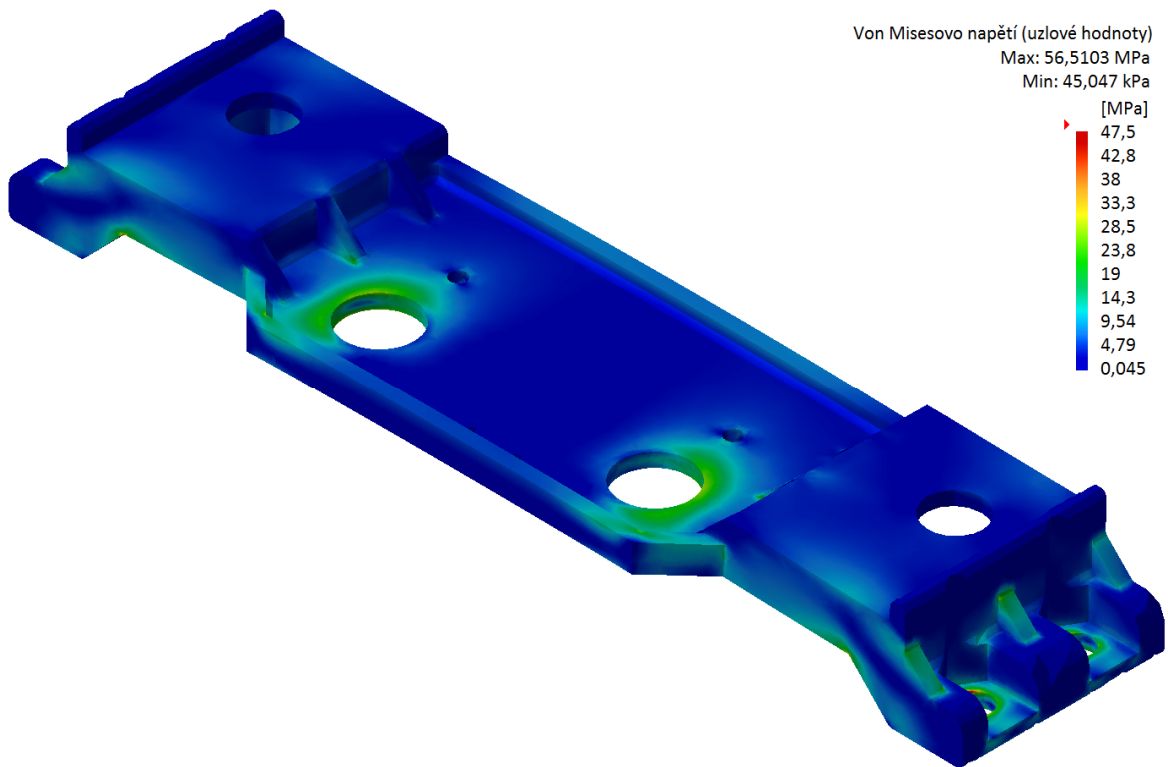
Obrázek 41. FEM model – 3. varianta držáku – dolní pohled

Tabulka 4. Reakce získané pomocí FEM analýzy – 3. varianta držáku

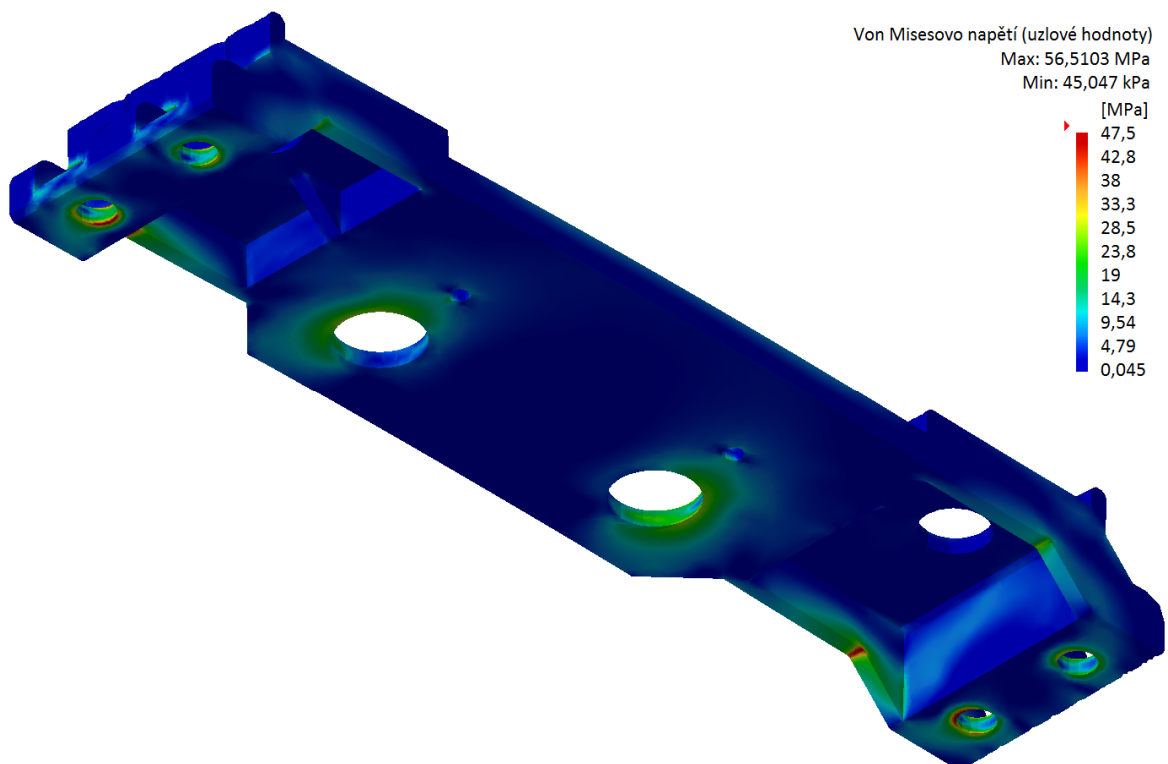
3. Varianta								
Youngův modul [GPa]	Chyba FEM modelu [%]	Největší posunutí [mm]	Reakce					
			R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	R <sub>z</sub>	M <sub>Rx</sub>	M <sub>Ry</sub>	M <sub>Rz</sub>
			[N]			[Nm]		
1,1	7,96669	1,13	0	0	- 14,007	- 0,000024960	0,162	0
2,0	7,96669	1,13	0	0	- 25,468	- 0,000045390	0,294	0
2,9	7,96669	1,13	0	0	- 36,929	- 0,000065810	0,426	0



Obrázek 42. Translační vektory posunutí konečných prvků – 3. varianta držáku



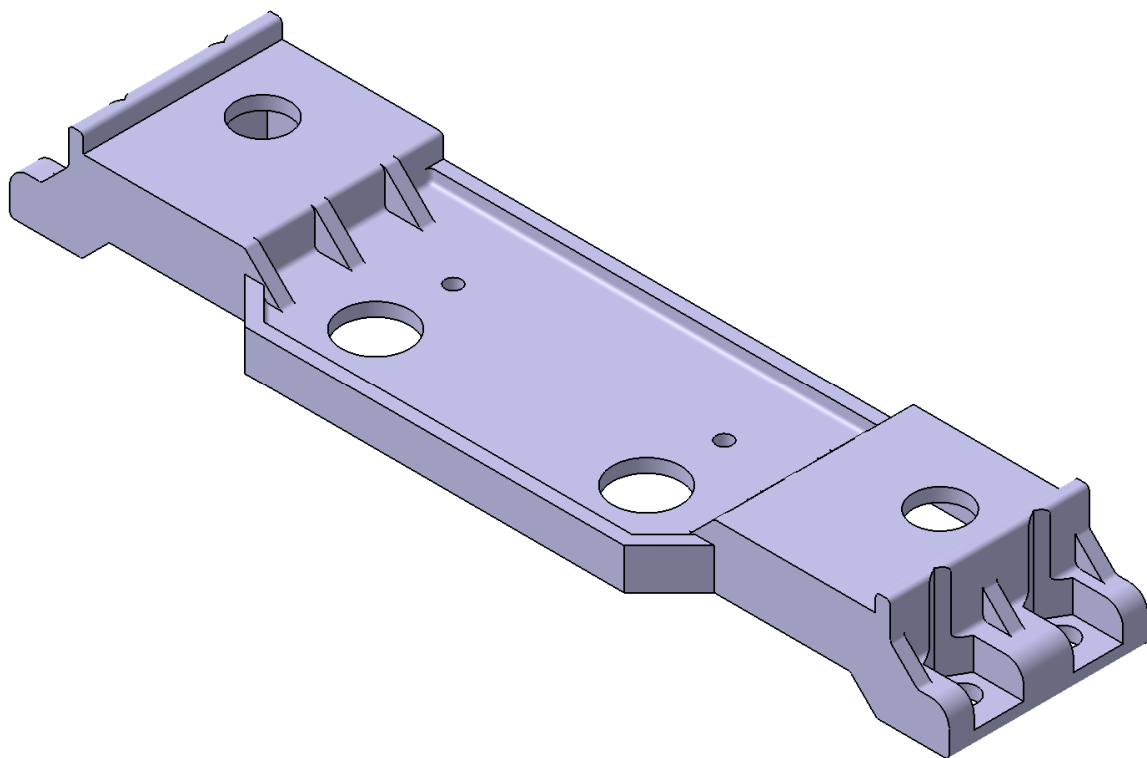
Obrázek 43. Rozložení Von Misesova napětí – 3. varianta držáku – horní pohled



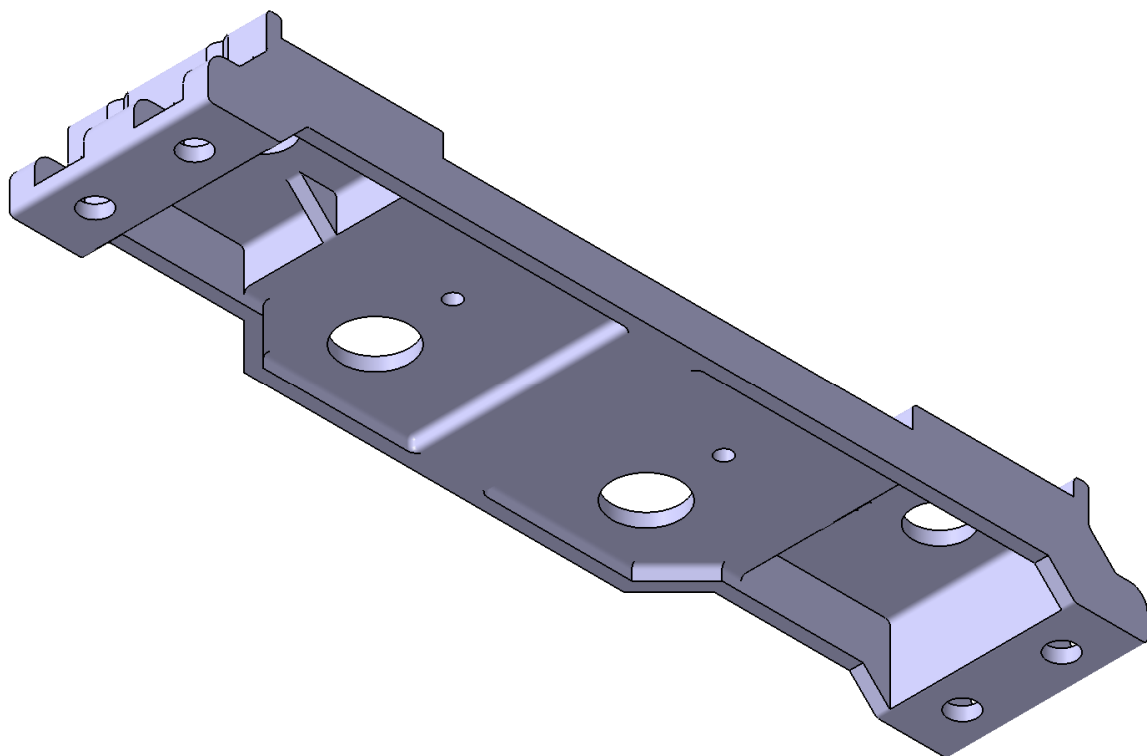
Obrázek 44. Rozložení Von Misesova napětí – 3. varianta držáku – dolní pohled

#### 7.4 Držák ovládacích prvků – varianta 4.

Čtvrtá varianta vychází ze třetí varianty, která je doplněna výstupky a příčnickem ve spodní části.

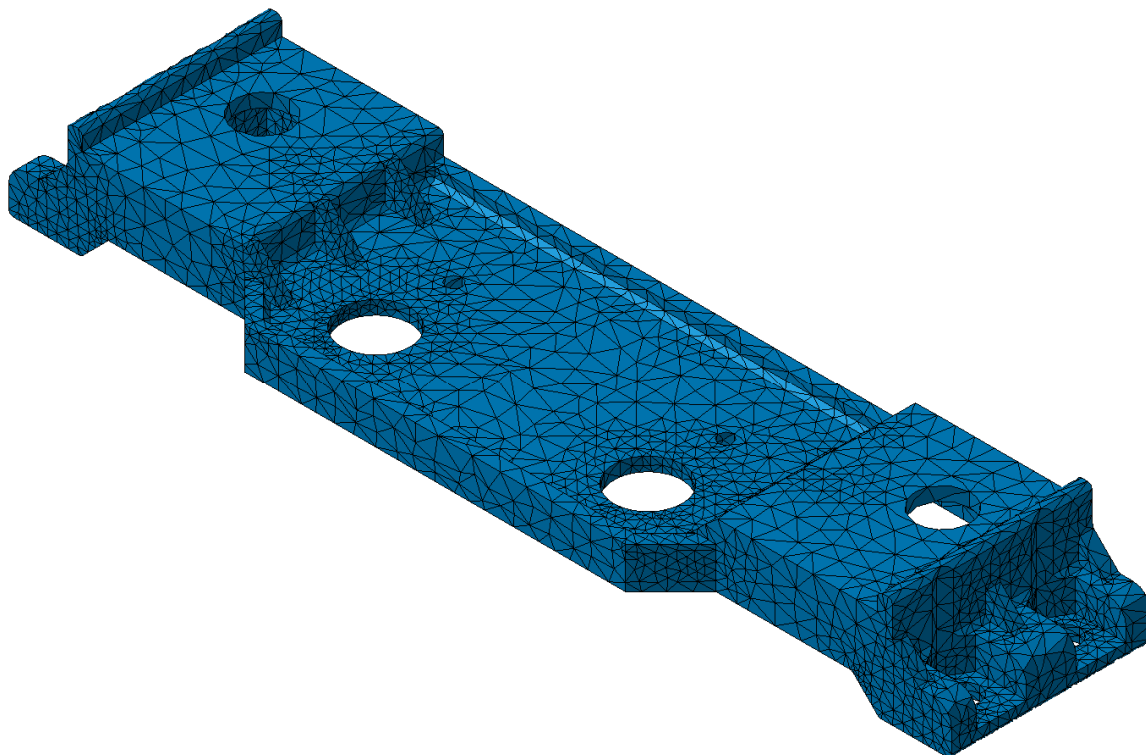


Obrázek 45. 3D model – 4. varianta držáku – horní pohled

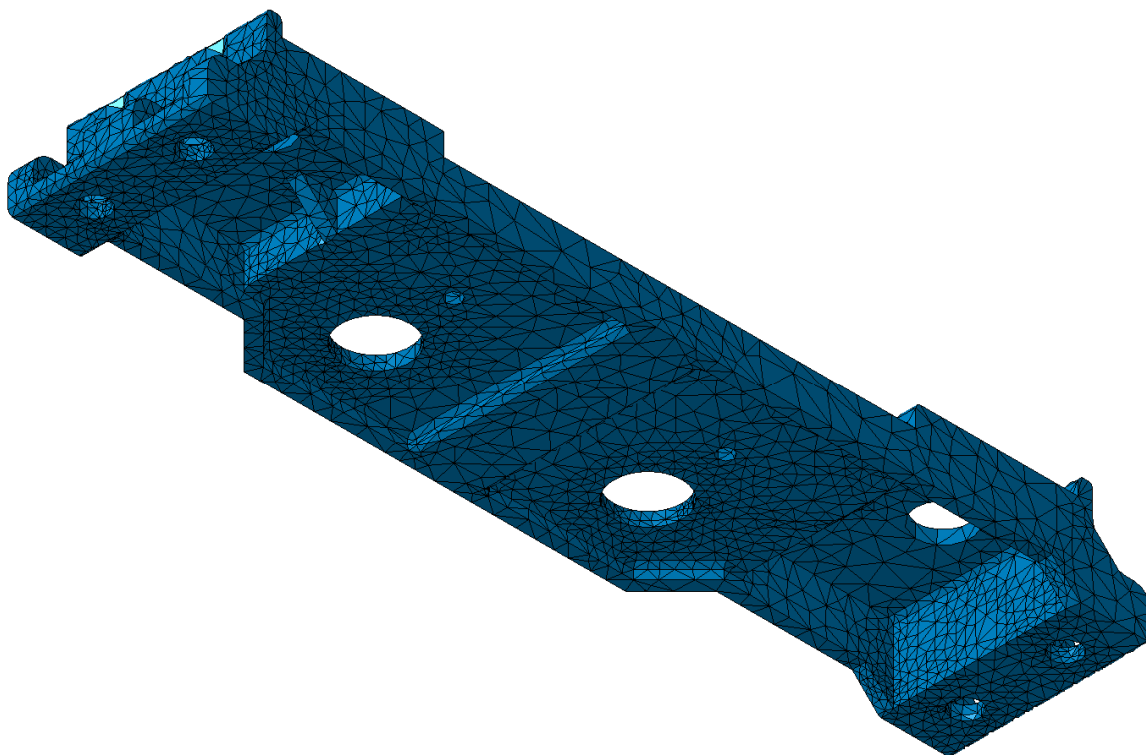


Obrázek 46. 3D model – 4. varianta držáku – dolní pohled

- *Pevnostní analýza*



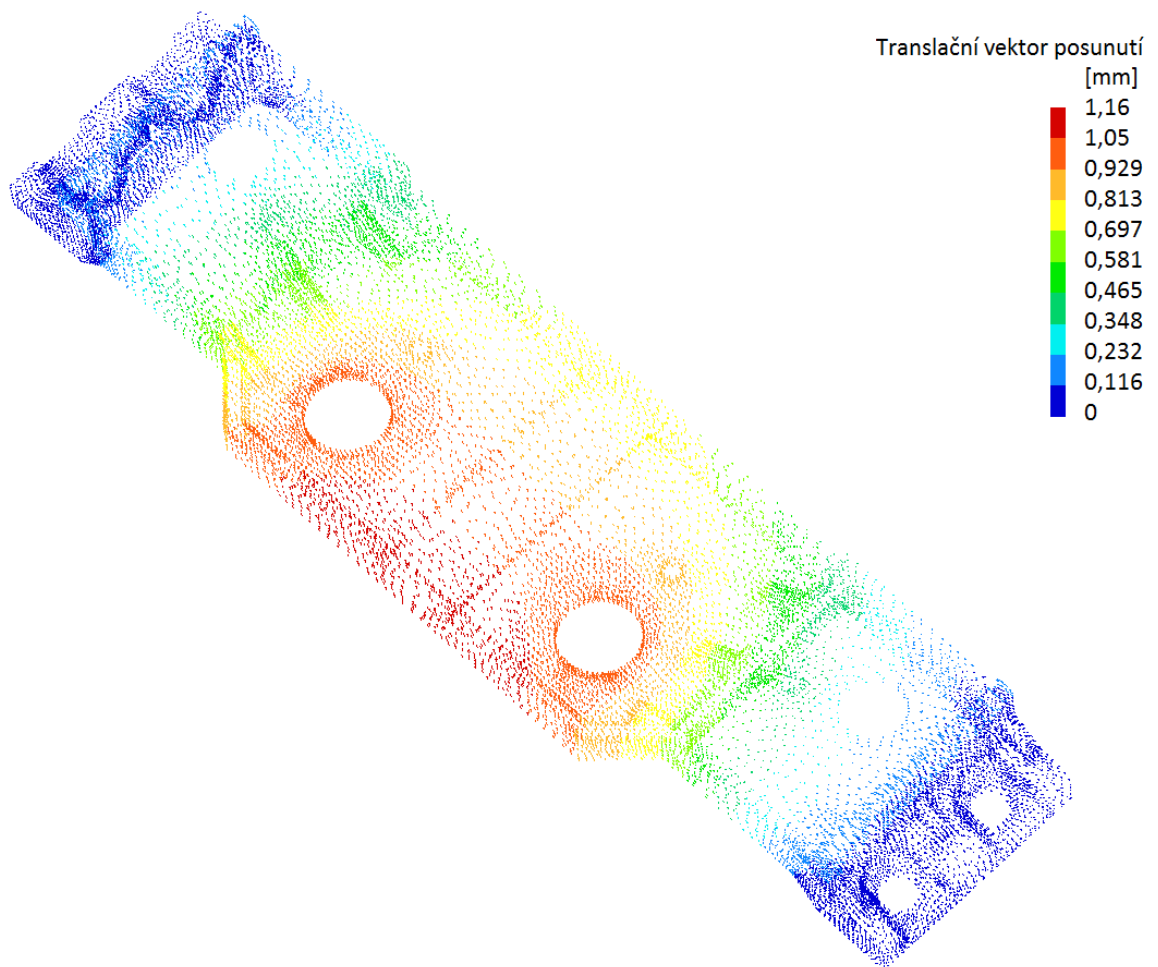
Obrázek 47. FEM model – 4. varianta držáku – horní pohled



Obrázek 48. FEM model – 4. varianta držáku – dolní pohled

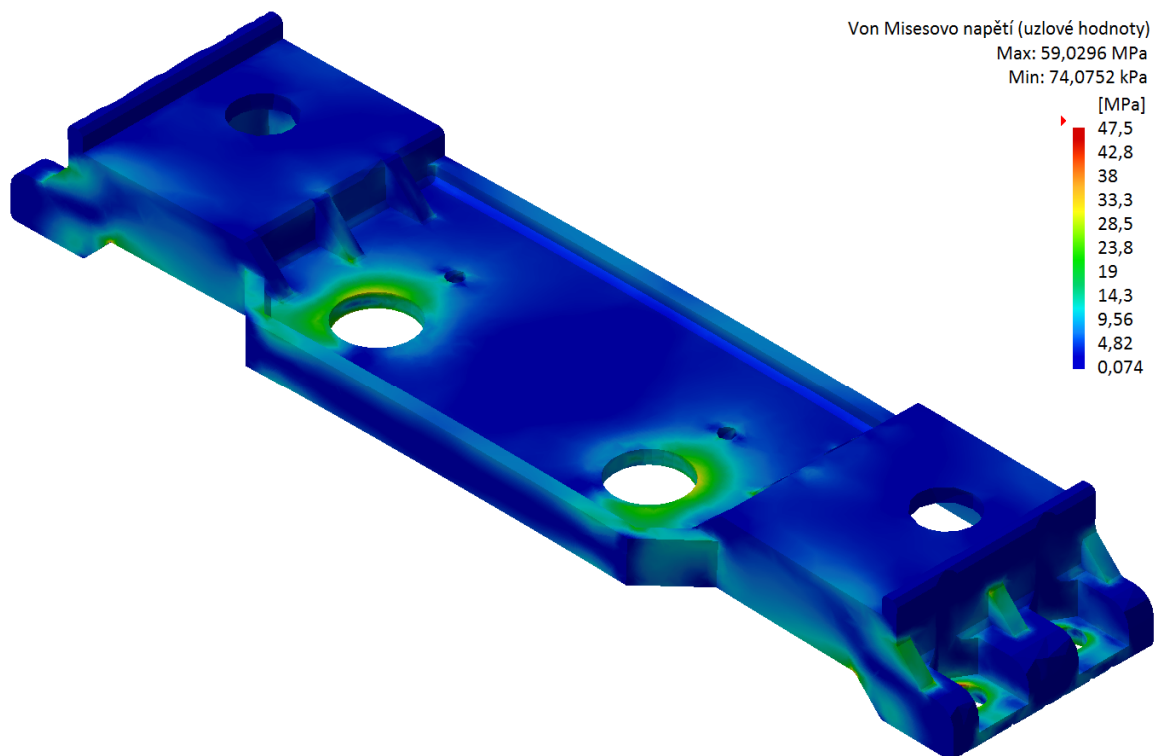
Tabulka 5. Reakce získané pomocí FEM analýzy – 4. varianta držáku

4. Varianta								
Youngův modul [GPa]	Chyba FEM modelu [%]	Největší posunutí [mm]	Reakce					
			R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	R <sub>z</sub>	M <sub>Rx</sub>	M <sub>Ry</sub>	M <sub>Rz</sub>
			[N]			[Nm]		
1,1	9,66437	1,16	0	0	- 17,654	- 0,000137500	0,197	0
2,0	9,66437	1,16	0	0	- 32,089	- 0,000250100	0,358	0
2,9	9,66437	1,16	0	0	- 46,542	- 0,000362600	0,518	0

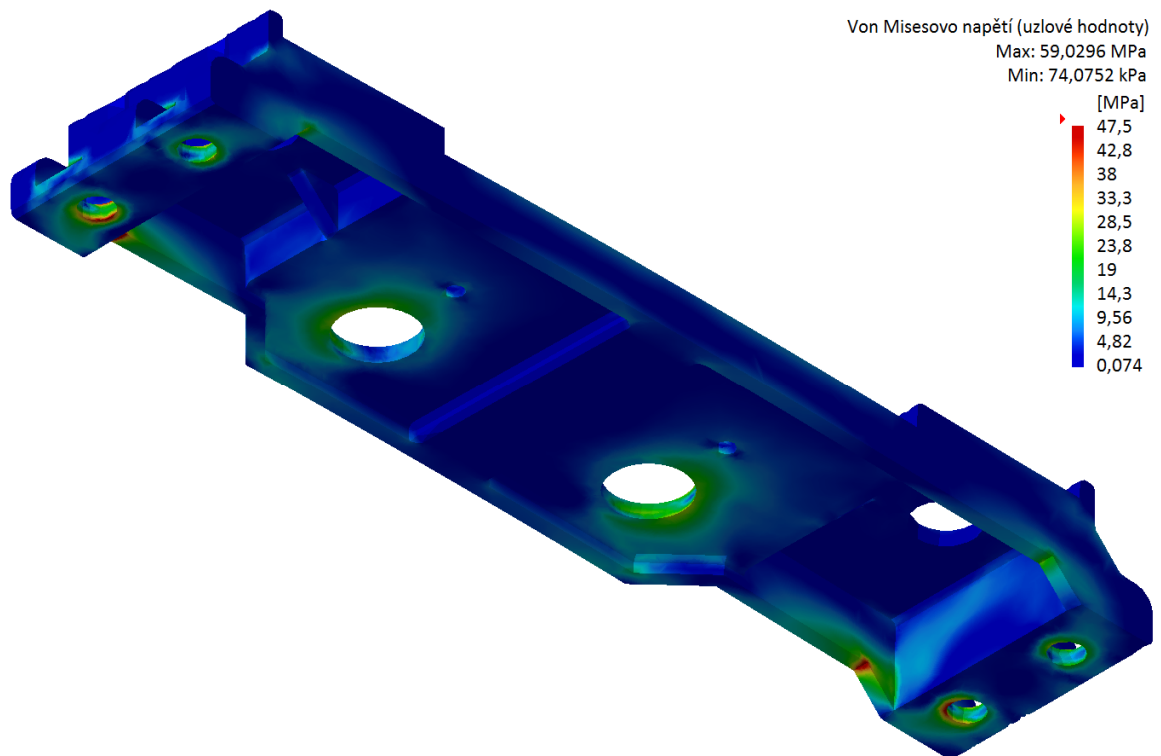


Obrázek 49. Translační vektory posunutí konečných prvků – 4. varianta držáku





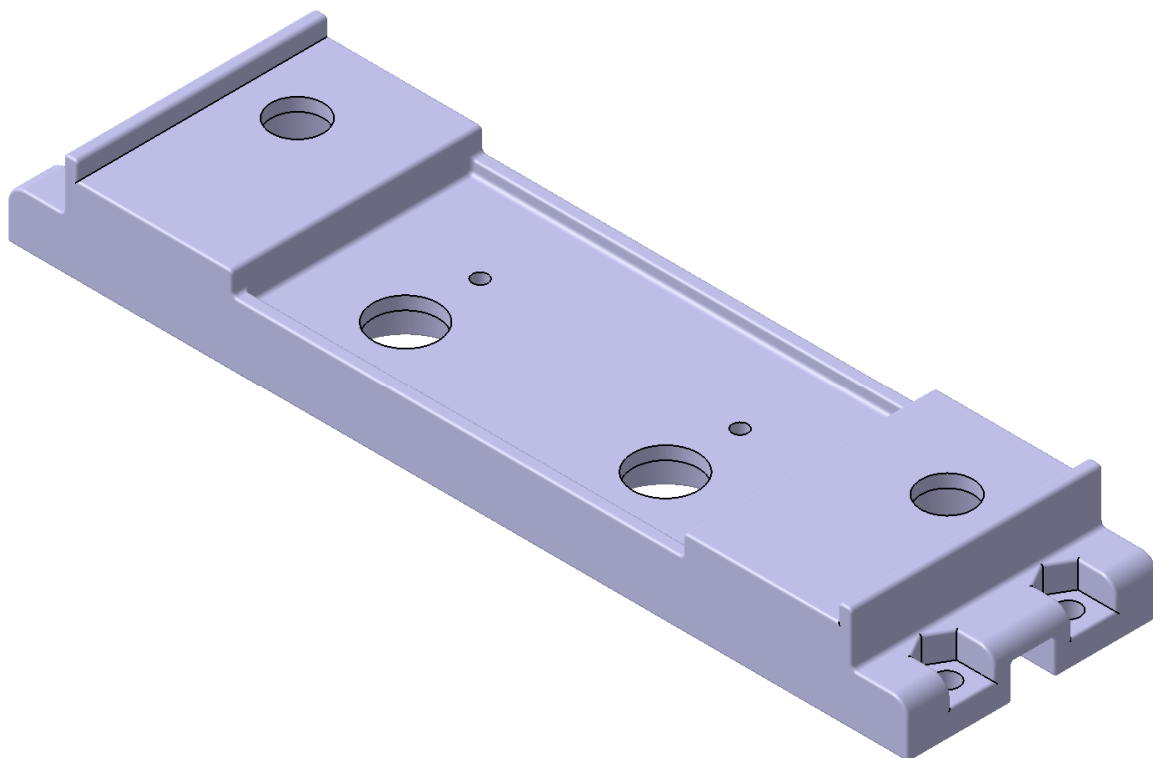
Obrázek 50. Rozložení Von Misesova napětí – 4. varianta držáku – horní pohled



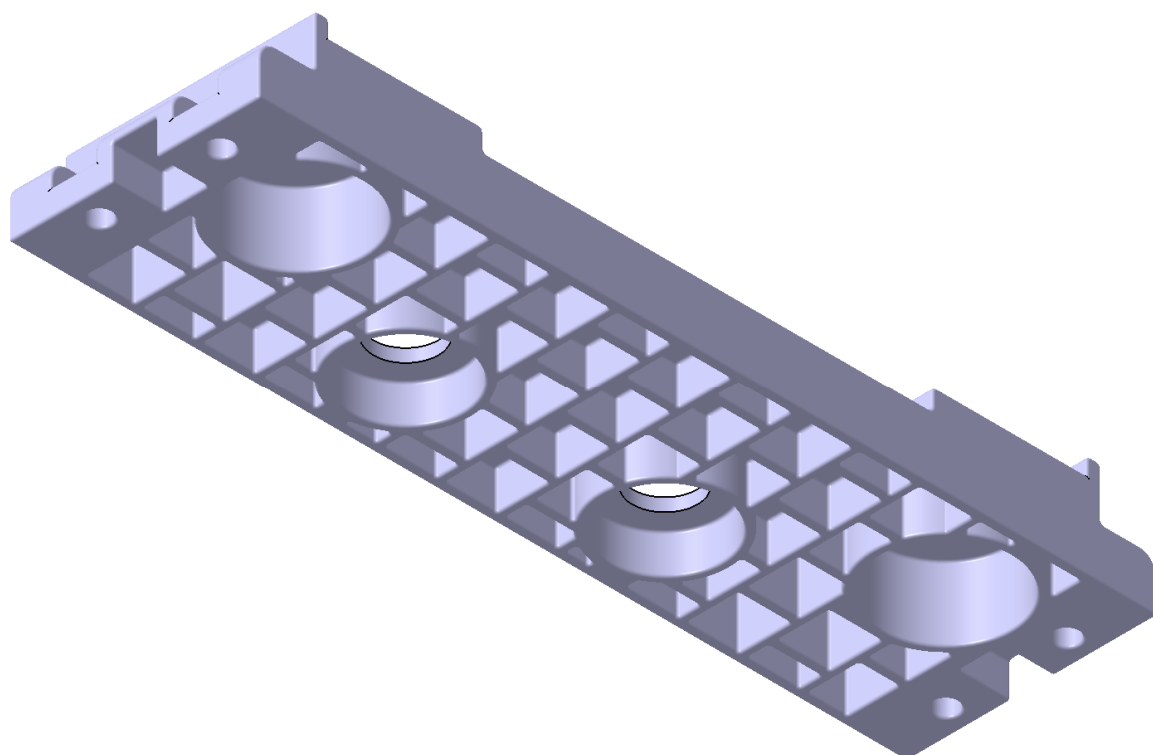
Obrázek 51. Rozložení Von Misesova napětí – 4. varianta držáku – dolní pohled

### 7.5 Držák ovládacích prvků – varianta 5.

Pátá varianta je řešena pomocí žeber ve spodní části se zaoblenými hranami.

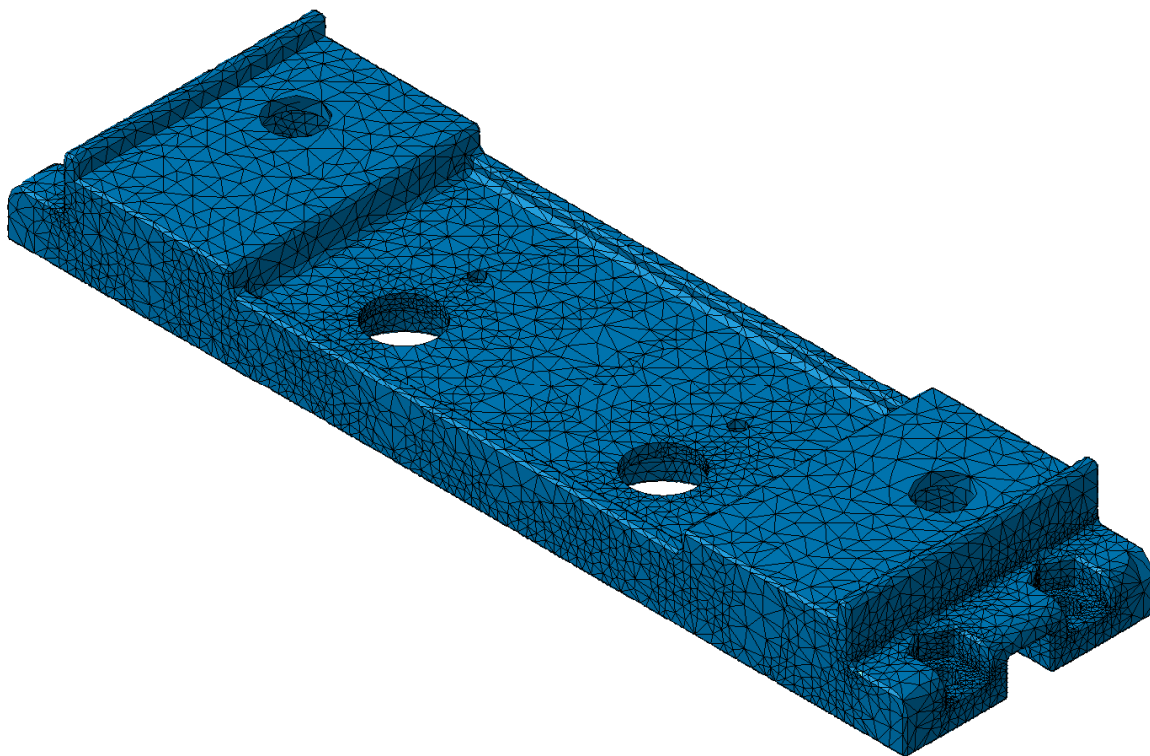


Obrázek 52. 3D model – 5. varianta držáku – horní pohled

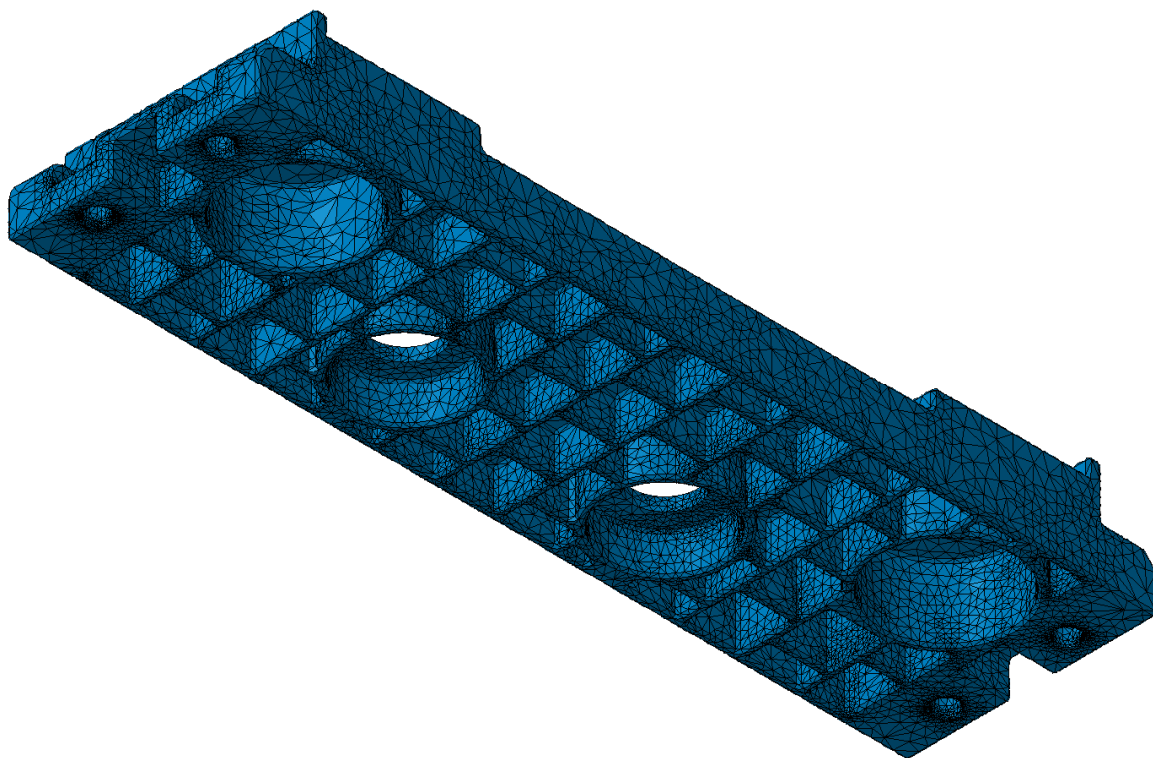


Obrázek 53. 3D model – 5. varianta držáku – dolní pohled

- *Pevnostní analýza*



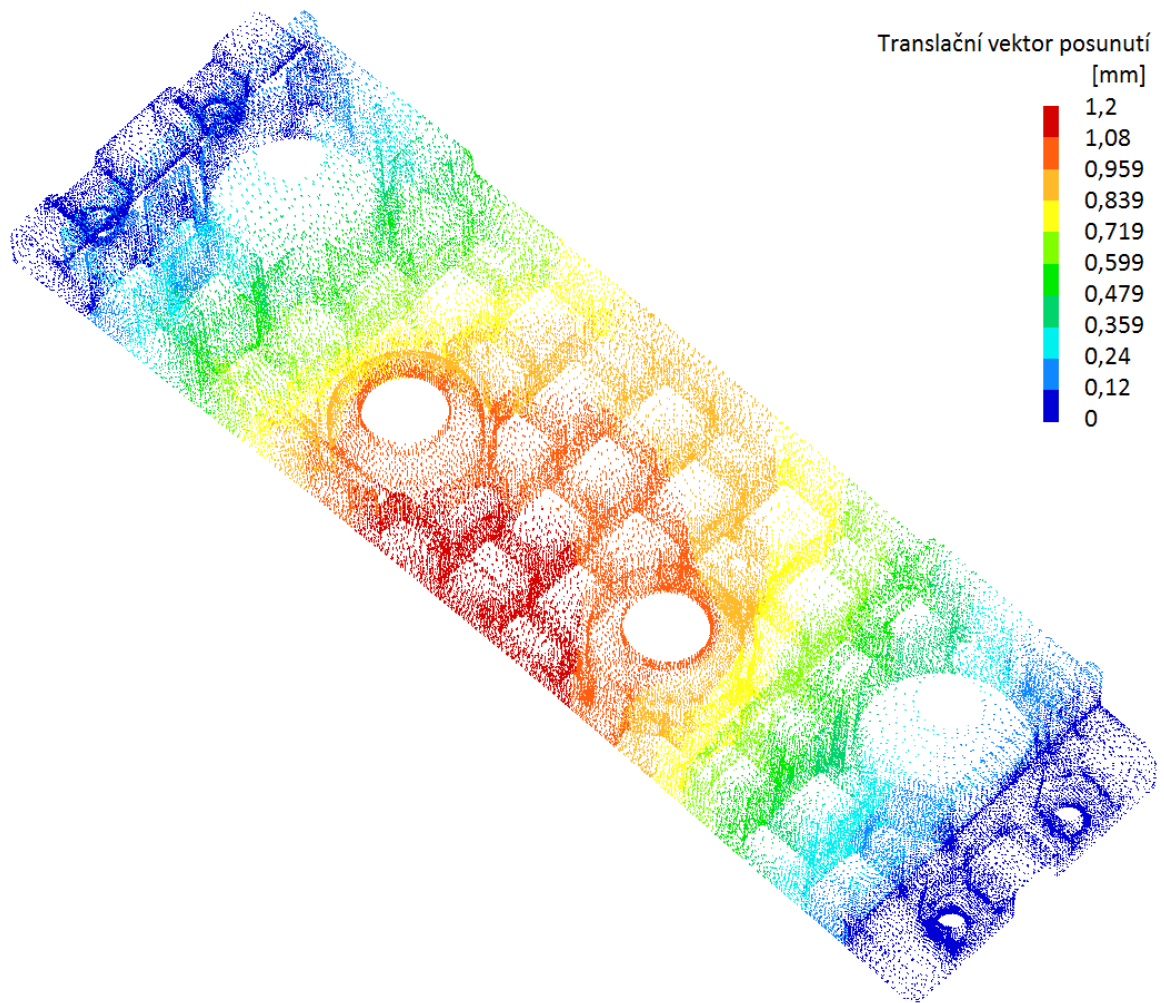
Obrázek 54. FEM model – 5. varianta držáku – horní pohled



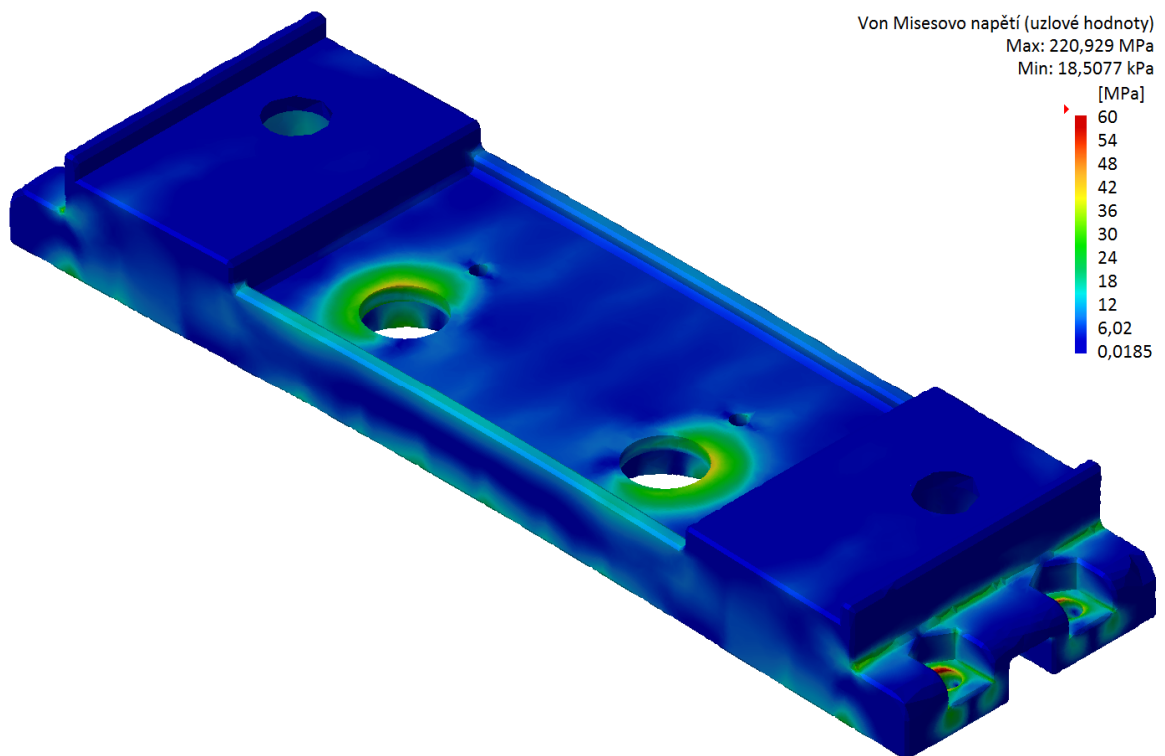
Obrázek 55. FEM model – 5. varianta držáku – dolní pohled

Tabulka 6. Reakce získané pomocí FEM analýzy – 5. varianta držáku

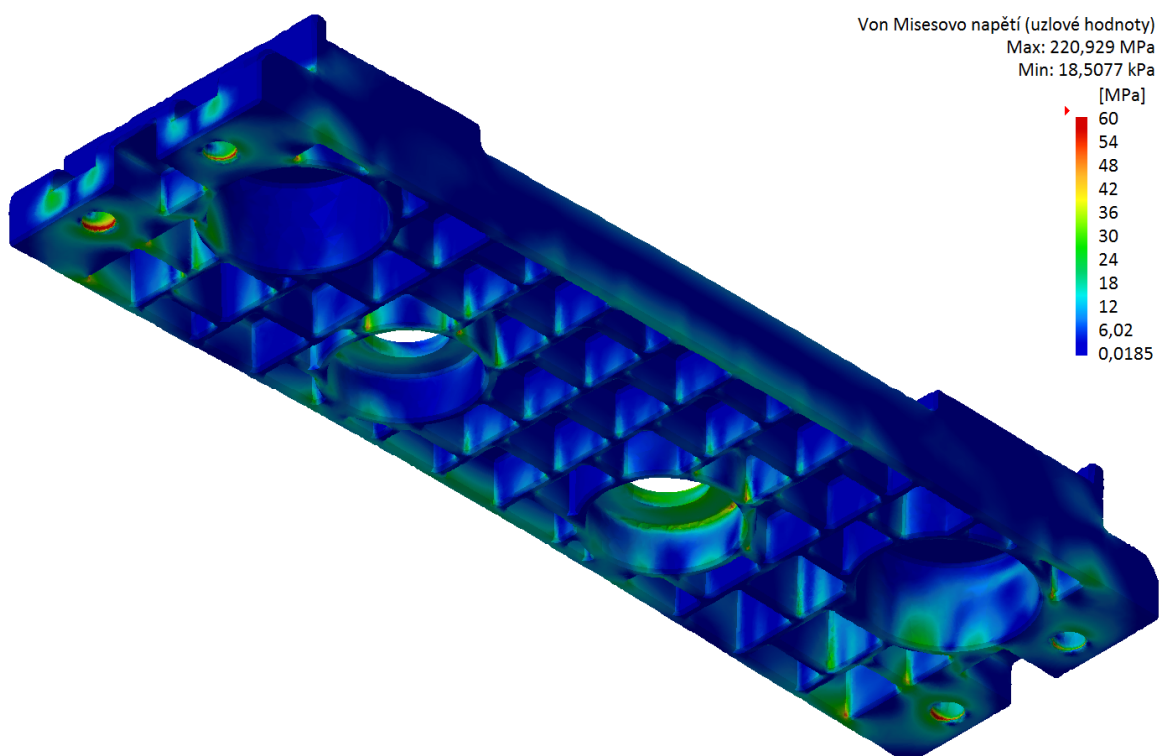
5. Varianta								
Youngův modul [GPa]	Chyba FEM modelu [%]	Největší posunutí [mm]	Reakce					
			R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	R <sub>z</sub>	M <sub>Rx</sub>	M <sub>Ry</sub>	M <sub>Rz</sub>
			[N]			[Nm]		
1,1	8,11289	1,2	0	0	- 49,664	- 0,007000000	0,495	0
2,0	8,11289	1,2	0	0	- 90,299	- 0,012000000	0,900	0
2,9	8,11289	1,2	0	0	- 130,933	- 0,017000000	1,305	0



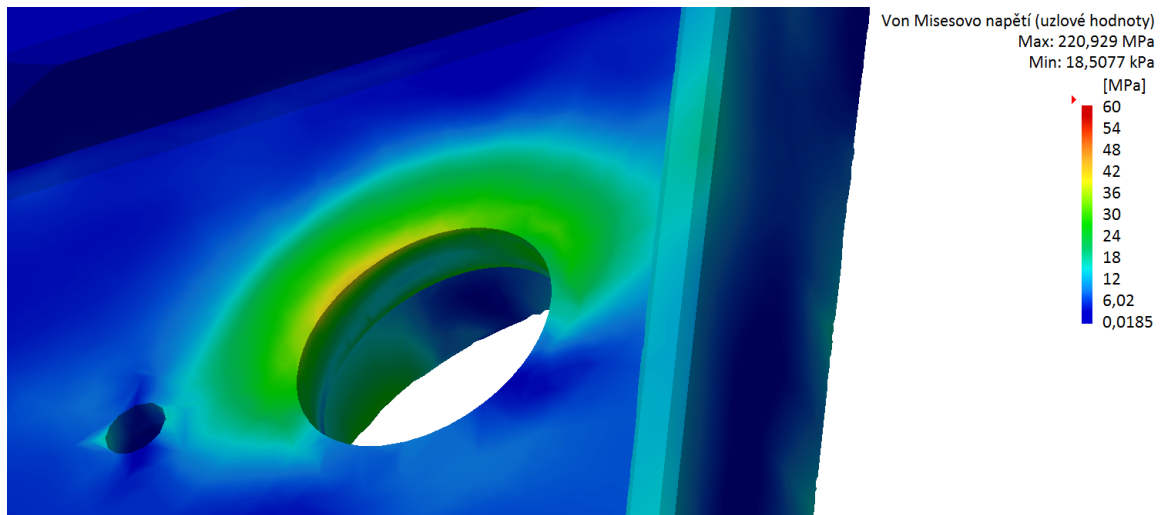
Obrázek 56. Translační vektory posunutí konečných prvků – 5. varianta držáku



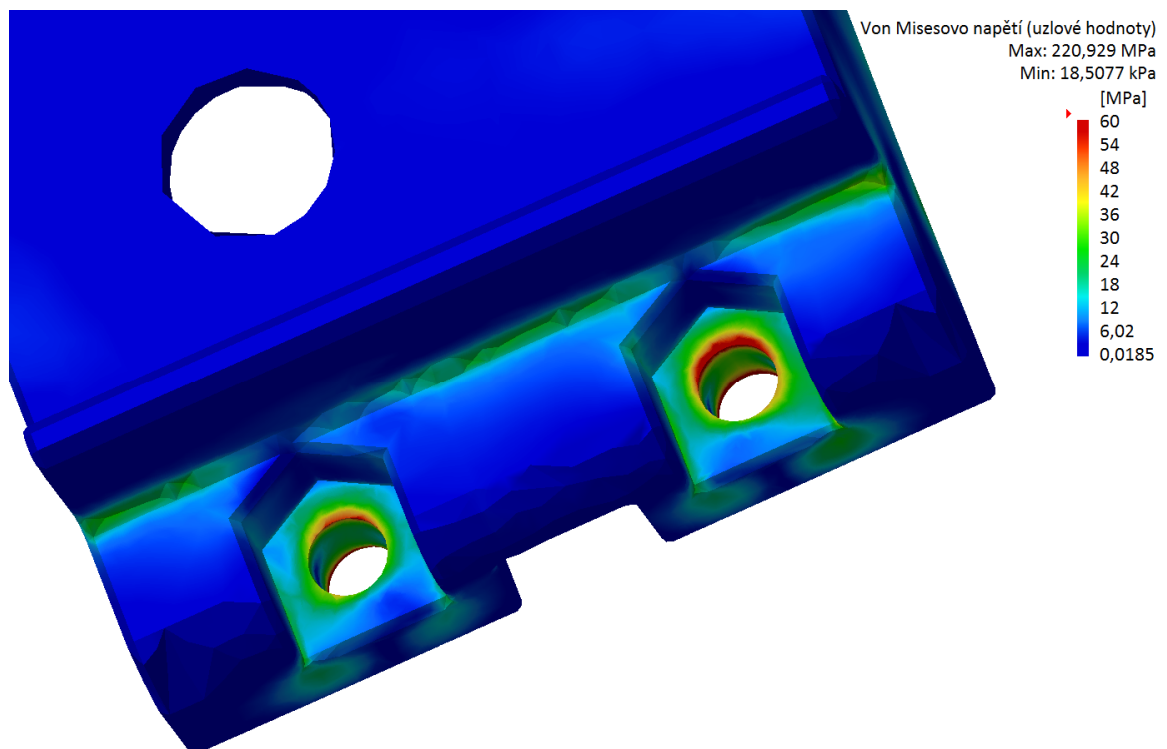
Obrázek 57. Rozložení Von Misesova napětí – 5. varianta držáku – horní pohled



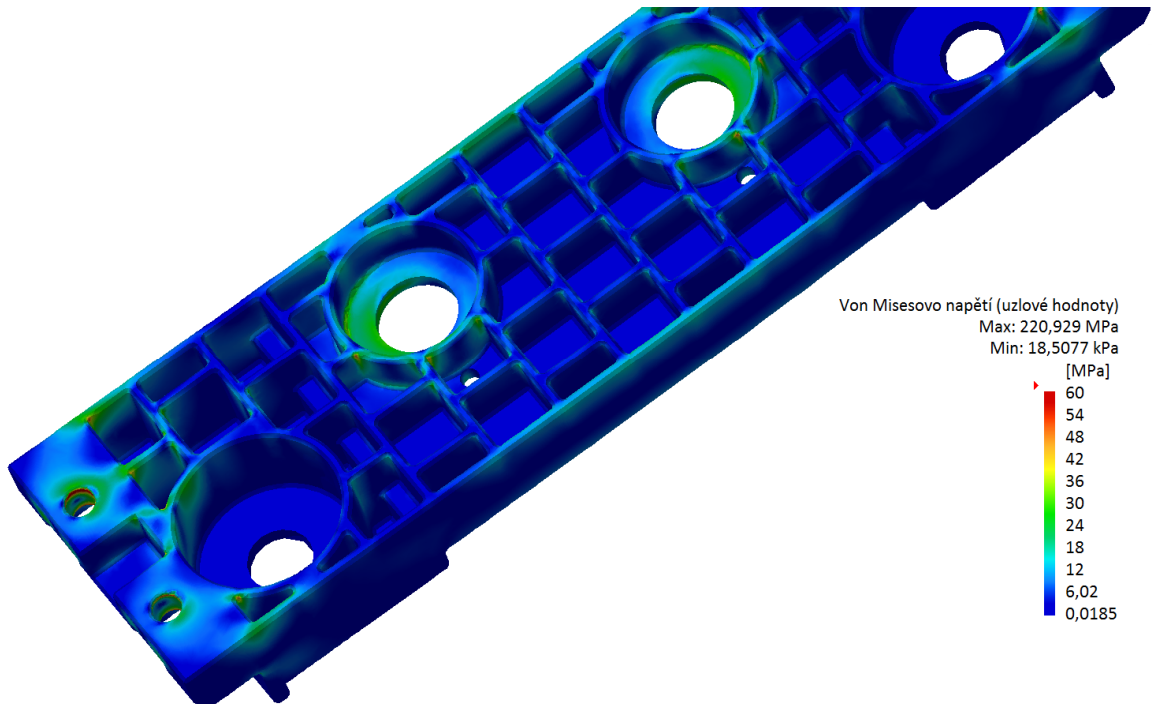
Obrázek 58. Rozložení Von Misesova napětí – 5. varianta držáku – dolní pohled



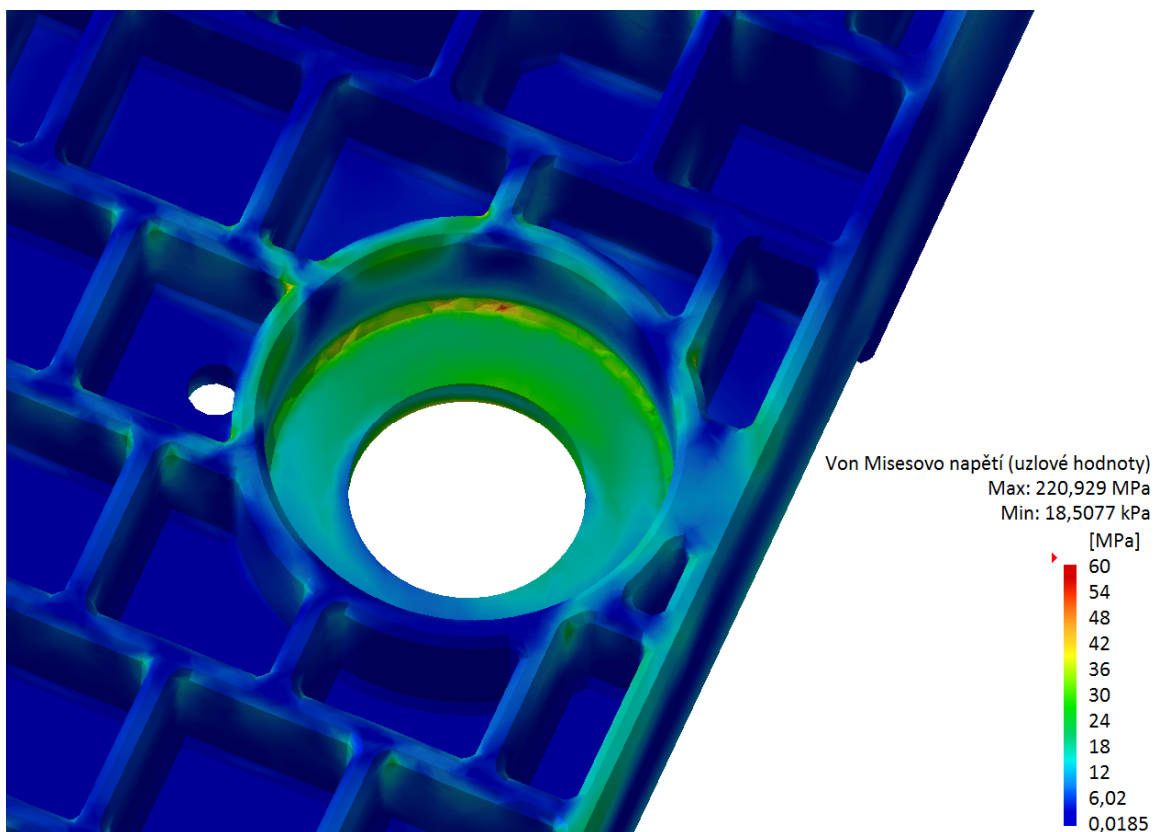
Obrázek 59. Rozložení Von Misesova napětí – 5. varianta držáku – Detail 1



Obrázek 60. Rozložení Von Misesova napětí – 5. varianta držáku – Detail 2



Obrázek 61. Rozložení Von Misesova napětí – 5. varianta držáku – Detail 3



Obrázek 62. Rozložení Von Misesova napětí – 5. varianta držáku – Detail 4

## 7.6 Srovnání jednotlivých variant držáku ovládacích prvků

Tabulka 2 až Tabulka 6 ukazují velikost síly nutné pro průhyb jednotlivých variant držáku o jeden milimetr. Tato síla je největší u 5. varianty. Ta se jeví díky své tuhosti jako nejvhodnější.



## 8 KONZOLE PRO UCHYCENÍ PŘÍSTROJE NA STATIV

Uchycení má umožnit:

- a) jednoduché upevnění přístroje na stativ bez pomoci nástroje,
- b) natočení do potřebné polohy a aretaci v této poloze taktéž bez pomoci nástroje,
- c) jednoduché demontování pro případ použití samotného přístroje.

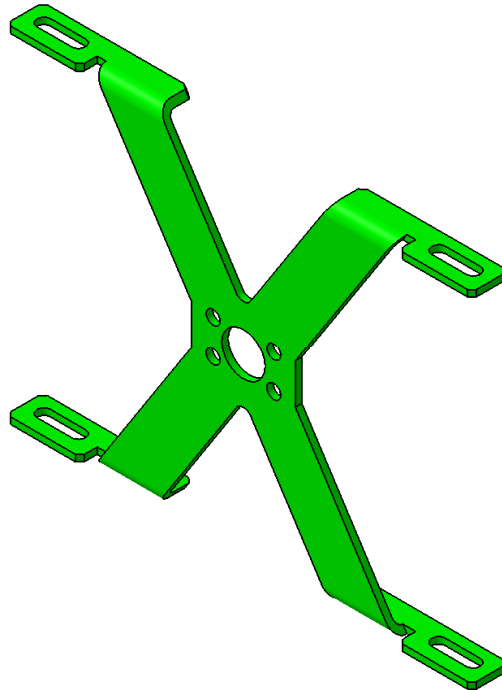
Aby bylo možné snadno manipulovat s přístrojem na otočném držáku, je vhodné umístit body styku přístroje s držákem do středu bočních stěn přístroje. To je zajištěno pomocí křížových příčniců ve tvaru písmene X, které jsou rozebíratelně spojeny s otočným držákem pomocí středových šroubových spojů a spojeny s tělem přístroje pomocí čtyř šroubů, jejichž matice jsou tvořeny otvory v rozpěrách mezi zrcadlem a držákem LED. Rozpěry včetně držáku LED a dalšího příslušenství jsou součástí již existující konstrukce zhotovené na Ústavu výrobního inženýrství UTB. Přístroj se v držáku uchytí ke stativu pomocí matice s plastovým madlem pro snadnější utahování rukou bez pomoci nástroje. Stejně tak matice či šrouby u jednotlivých variant středových spojů jsou vybaveny takovýmto plastovým madlem.

Konzole se skládá z křížových příčniců, středových šroubových spojů, otočného držáku a matice či šroubu s plastovým madlem pro připevnění konzole ke stativu.

Výrobní výkresy, výkresy sestav, kusovníky, 3D modely sestav i jednotlivých dílů jsou v elektronické příloze bakalářské práce.

## 8.1 Křížový příčník

Konstrukce křížového příčníku je vytvořena vyřezáním jeho rozvinutého tvaru do plechu a následným ohnutím do požadovaného tvaru. Otvory pro šrouby k připevnění příčníku s tělem přístroje jsou oválné z důvodu možnosti podélného nastavení vzhledem k těžišti.



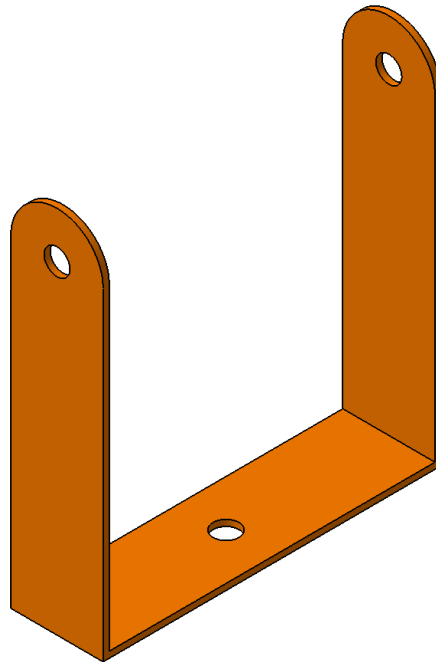
Obrázek 63. 3D model křížového příčníku

## 8.2 Otočný držák

Je řešen pomocí ohnutého plechu s otvory pro šrouby. Předpokládané použití je v kombinaci se stativem, ke kterému bude připevněn za kruhový otvor ve spodní části. Jeho výroba se však předpokládá až pro konkrétní stativ, aby se případné změny v konstrukci neřešili na již hotovém dílu.

### 8.2.1 Otočný držák s kruhovým otvorem pro použití s aretačním šroubem

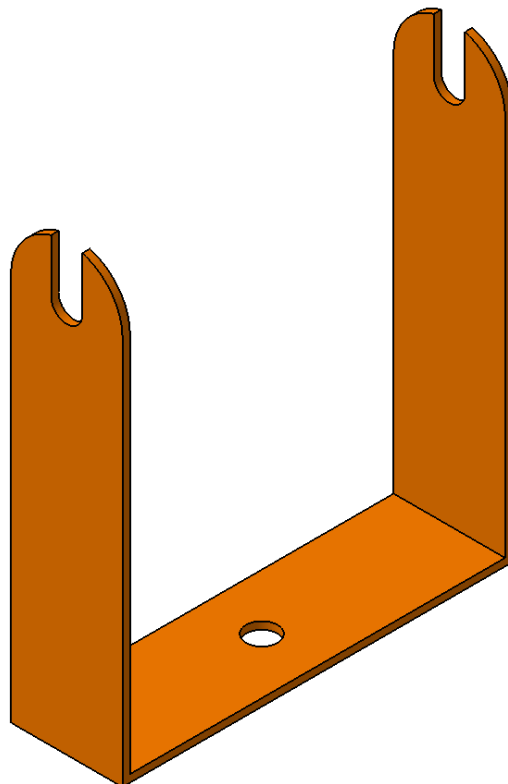
Je vhodný při použití aretačního šroubu s plastovým madlem.



Obrázek 64. 3D model otočného držáku s kruhovým otvorem pro aretační šroub

### 8.2.2 Otočný držák s výřezem pro použití s aretační maticí

Je vhodný při použití aretační matice s plastovým madlem.

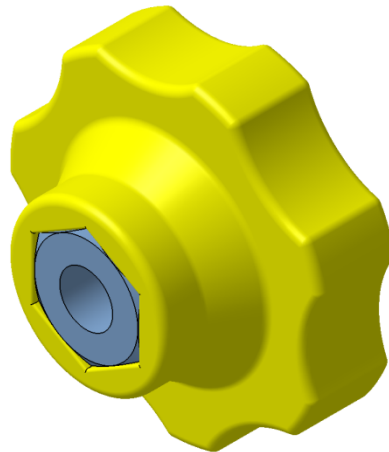


Obrázek 65. 3D model otočného držáku s výřezem pro šroub

### 8.3 Matice a šroub s platovým madlem

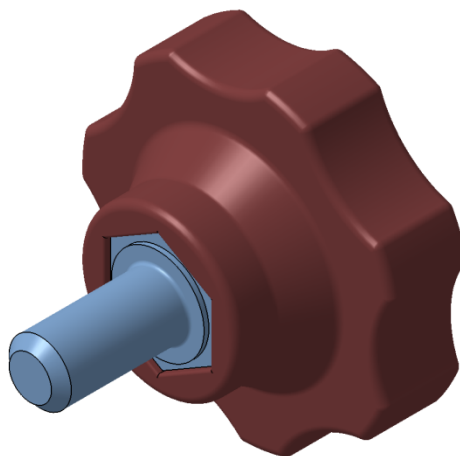
Jsou opatřeny plastovým madlem pro snadné utahování bez pomoci nástroje. Jejich konkrétní tvar je závislý na způsobu použité výroby. Například při vstříkování lze použít standardizovaný šroub či matici, ten vložit do formy, formu uzavřít a vstříknout plast, v takovém případě je však nutné přidat značné množství odlehčení. Při výrobě pomocí 3D tiskárny lze nachystat otvor na hlavu šroubu či matici a ty poté vlepít do hotového madla. V mém návrhu předpokládám výrobu 3D tiskárnou a vlepění standardizovaného šroubu respektive matice, proto je šestihřanný otvor v obou případech zvětšen o 0,1 mm po stranách a do hloubky. Vzniklý prostor je pro lepidlo.

#### 8.3.1 Matice s plastovým madlem



Obrázek 66. 3D model sestavy matice s plastovým madlem

#### 8.3.2 Šroub s plastovým madlem



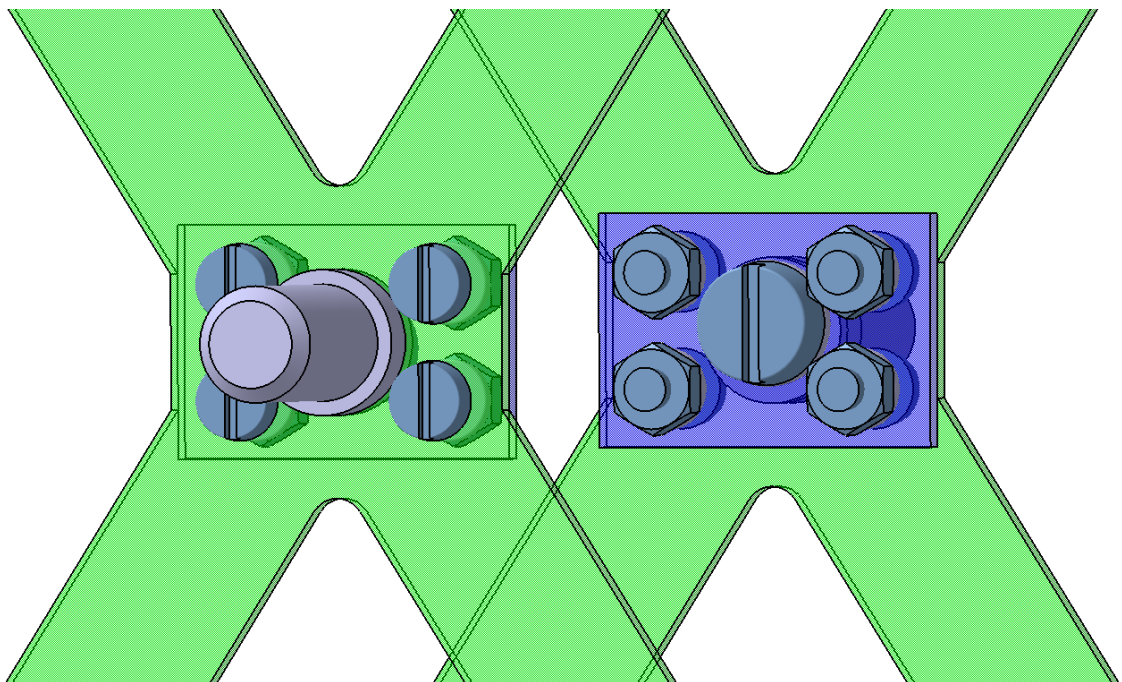
Obrázek 67. 3D model sestavy šroubu s plastovým madlem

## 8.4 Středový šroubový spoj

Bylo navrženo několik variant středového šroubového spoje, které se liší zejména v použití aretační matice či šroubu s plastovým madlem. Pokud by byl přístroj často používán bez konzoly a stativu jeví se vhodnější použití varianty se šroubem s madlem. Po demontování přístroje z konzoly nevyčnívá šroub na boku přístroje, což je vhodné z hlediska bezpečnosti. O takto vyčnívající šroub se dá lehce zavadit například oděvem a jeho následné strhnutí na podlahu může vést až k odpojení optického kabelu. Což je značně nebezpečné, jelikož se pracuje se silně koncentrovaným světelným zářením, které by mohlo v přímém kontaktu s okem způsobit jeho poškození. Nevýhodou této varianty je nutnost utěsnění okolí otvoru proti vnikání nečistot do vnitřních prostor přístroje.

### 8.4.1 Středový šroubový spoj – 1. varianta

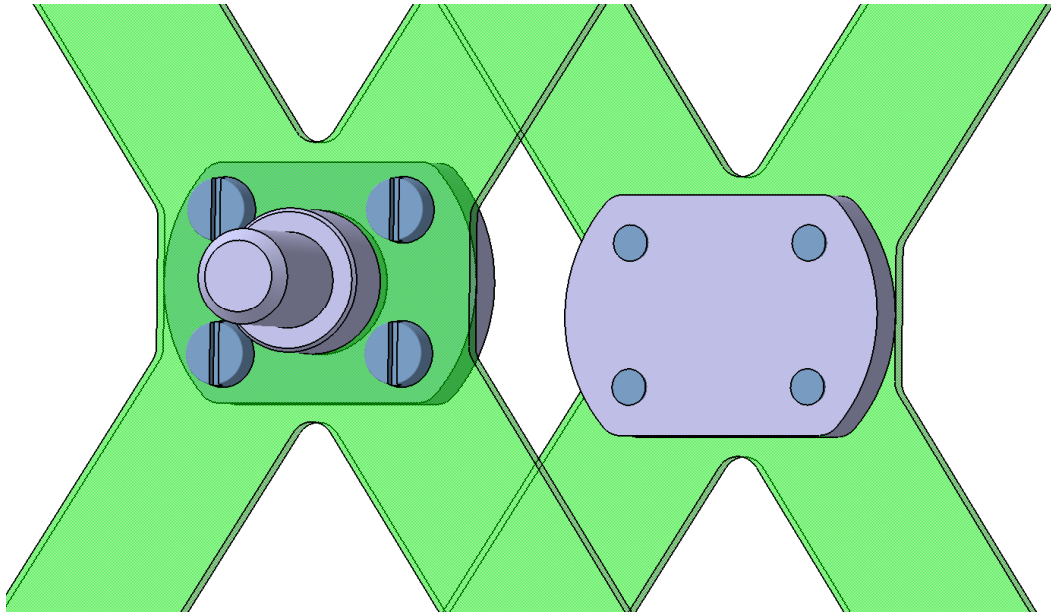
Tato varianta je použitelná v kombinaci s aretační maticí s plastovým madlem. Je konstrukčně jednoduchá, využívá obdélníkové podložky s pěti otvory. Za 4 krajní otvory se přišroubuje ke křížovému příčnicku. Excentrickým středovým otvorem se za pomoci šroubu připevní tato podložka k čepu s vnějším závitem. Tím je zabráněno přenosu utahovacích či povolovacích momentů z čepu na šroub.



Obrázek 68. 3D model sestavy středového šroubového spoje – 1. varianta

### 8.4.2 Středový šroubový spoj – 2. varianta

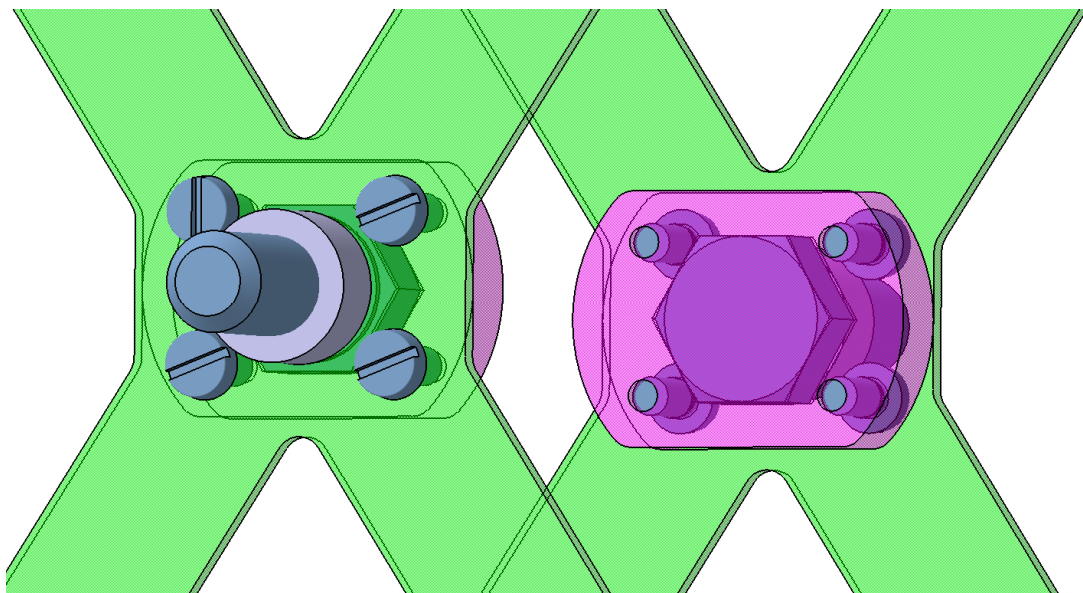
Stejně jako předchozí varianta využívá i tato aretační matici v plastovém madle. Středový šroub je vytvořen jako výstupek ze základny podložky, ve které jsou 4 díry se závitem, pomocí kterých je celý tento šroub přimontován ke křížovému příčnicku.



Obrázek 69. 3D model sestavy středového šroubového spoje – 2. varianta

### 8.4.3 Středový šroubový spoj – 3. Varianta

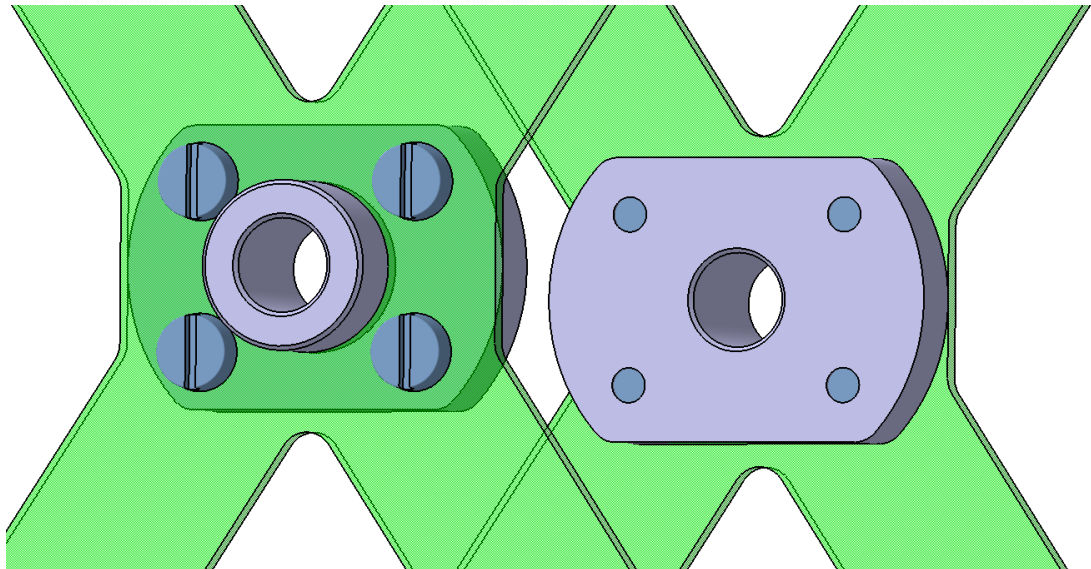
Tahle varianta je podobná předchozí jen s tím rozdílem, že středový šroub je normalizovaný, uchycený za hlavu v šestihřanném otvoru vytvořeném v základně podložky a opatřený distančním kroužkem se závitem.



Obrázek 70. 3D model sestavy středového šroubového spoje – 3. varianta

#### 8.4.4 Středový šroubový spoj – 4. varianta

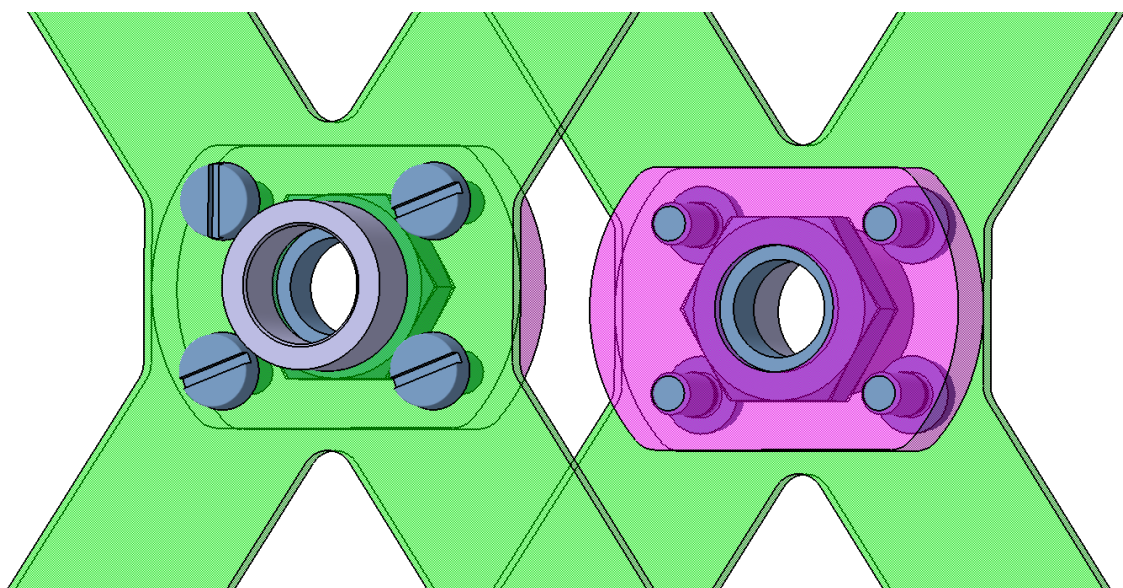
U této konstrukční varianty je použito aretačního šroubu s madlem. Matice je vytvořena v základně podložky, která je pomocí čtyř děr se závitem připevněná ke křížovému příčníku.



Obrázek 71. 3D model sestavy středového šroubového spoje – 4. varianta

#### 8.4.5 Středový šroubový spoj – 5. varianta

Pátá varianta využívá taktéž aretačního šroubu s madlem. Matice je tu však použita normalizovaná a je upevněna v šestihorném otvoru základny. Distanční kroužek je k této matici přilepen.



Obrázek 72. 3D model sestavy středového šroubového spoje – 5. varianta

## ZÁVĚR

Teoretická část bakalářské práce byla zpracována jako úvod k pochopení dané problematiky. Ta se v jednotlivých blocích zabývá světlem samotným, jeho parametry a jevem s ním spojeným. Dále také světelné zdroje s principiálním popisem činnosti běžně užívaných umělých světelných zdrojů. Poslední blok je věnován problematice vysokorychlostních kamer, osvětlení záznamů pořizovaných pomocí vysokorychlostních kamer a volbě vhodného světelného zdroje pro toto osvětlení.

Návrh mechanické konstrukce vychází z rešeršní studie a dále z podkladů konstrukce, která je vyvíjena Ústavem výrobního inženýrství UTB.

První část řeší mechanickou konstrukci upínací části mezi světelným zdrojem a světlovodem pro různé průměry světlovodů. Je realizována pomocí několika redukčních kleštinných vložek, které se budou připojovat do kleštiny, která je na výstupu světelného zdroje. Součástí každé redukční vložky je i optická čočka, která soustředí odražené světlo světelných diod od zrcadla do vstupní koncovky světlovaného kabelu.

Druhá část se zabývá návrhem konstrukce držáku ovládacích prvků. Bylo v ní navrženo 5 variant, které byly mezi sebou porovnány díky provedené pevnostní analýze každé z nich. Tyto pevnostní analýzy jsou pouze informativní, vhodné jen pro porovnání tuhostí jednotlivých konstrukčních variant mezi sebou. A to, protože se nepodařilo v dostupné literatuře zjistit přesné materiálové vlastnosti materiálu, ze kterého by měl být držák vyráběn.

Třetí část je věnována návrhu konstrukce konzoly sloužící pro uchycení přístroje ke stativu. Ta je složena z více částí a to z křížových příčníků, středových šroubových spojů, otočného držáku, aretačních šroubů, případně i aretačních matic. U každého dílu byl navržen různý počet variant od jedné do pěti. Volba vhodné konstrukce bude záviset na volbě stativu, na kterém se případně bude přístroj používat.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] SYNEK, Svatopluk, SKORKOVSKÁ, Šárka. *Fyziologie oka a vidění*. 1. vyd. Praha : Grada, 2004. 96 s., 8 s. barevné přílohy. ISBN 80-247-0786-1.
- [2] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky - 3. díl*. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2005, 1. reset 2007. 160 s. ISBN 978-80-7300-184-1.
- [3] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky (3) : světelnětechnické veličiny (1. část). *Světlo : časopis pro světelnou techniku a osvětlování*. 2009, roč. 12, č. 01, s. 40-43. Dostupný také z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38554.pdf>>. ISSN 1212-0812.
- [4] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky (3) : světelnětechnické veličiny (2. část). *Světlo : časopis pro světelnou techniku a osvětlování*. 2009, roč. 12, č. 02, s. 52-57. Dostupný také z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38906.pdf>>. ISSN 1212-0812.
- [5] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky (4) : základy fotometrie (1. část). *Světlo : časopis pro světelnou techniku a osvětlování*. 2009, roč. 12, č. 03, s. 44-48. Dostupný také z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/pdfclick.php?id=39195>>. ISSN 1212-0812.
- [6] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky (5) : základy nauky o barvě (1. část). *Světlo : časopis pro světelnou techniku a osvětlování*. 2009, roč. 12, č. 05, s. 64-66. Dostupný také z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39809.pdf>>. ISSN 1212-0812.
- [7] DVOŘÁČEK, Vladimír. Světelné zdroje - světelné diody. *Světlo : časopis pro světelnou techniku a osvětlování*. 2009, roč. 12, č. 05, s. 68-71. Dostupný také z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/pdfclick.php?id=39810>>. ISSN 1212-0812.
- [8] MÍCHALOVÁ, Monika. Smernica EuP 2005/32/EG o svetelných zdrojoch pre domácnosti. *Světlo : časopis pro světelnou techniku a osvětlování*. 2009, roč. 12, č. 03, s. 32. Dostupný také z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39201.pdf>>. ISSN 1212-0812.
- [9] KRULIŠ, Luboš. LED – nová generace v osvětlování. *Světlo : časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. 2006, roč. 9, č. 04 [cit. 2010-01-11]. Dostup-

- ný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=35924](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=35924)>. ISSN 1212-0812.
- [10] LIBRA, Martin, KLUIBER, Zdeněk. Klasická žárovka neztrácí svůj význam ani ve třetím tisíciletí : 70 let od smrti velkého vynálezce. *Elektro : odborný časopis pro elektroniku* [online]. 2003, roč. 13, č. 01 [cit. 2010-01-11]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=25295](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25295)>. ISSN 1210-0889.
- [11] LIBRA, Martin, ŠTĚRBA, Jan, BLÁHOVÁ, Ilona. Fyzikální podstata světla. *Světlo : časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. 2000, roč. 3, č. 04 [cit. 2010-01-11]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=22854](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=22854)>. ISSN 1212-0812.
- [12] BOGUSZAKOVÁ, Jarmila. Fyziologie oka a vidění : Vybrané kapitoly z fyziologie zraku. *Světlo : časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. 2003, roč. 6, č. 04 [cit. 2010-01-11]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=23169](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=23169)>. ISSN 1212-0812.
- [13] SVOBODA, Štěpán. Digitální vysokorychlostní kamery pomáhají řešit problémy chodu strojů a výrobních linek. *Automa : časopis pro automatizační techniku* [online]. 2004, roč. 11, č. 08 [cit. 2010-01-11]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=32518](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32518)>. ISSN 1210-9592.
- [14] Frekvence. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-01-15 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Frekvence>>.
- [15] Polarizace (vlnění). In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2008-10-16 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Polarizace\\_\(vlnění\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Polarizace_(vlnění))>.
- [16] Amplituda. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2009-10-01 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Amplituda>>.

- [17] Jas. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2009-12-28 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Jas>>.
- [18] Intenzita osvětlení. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2009-08-22 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Intenzita\\_osvětlení](http://cs.wikipedia.org/wiki/Intenzita_osvětlení)>.
- [19] Světelný tok. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-02-11 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Světelný\\_tok](http://cs.wikipedia.org/wiki/Světelný_tok)>.
- [20] Svítivost. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-01-22 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Svítivost>>.
- [21] Stroboskopický jev. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-02-08 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Stroboskopický\\_jev](http://cs.wikipedia.org/wiki/Stroboskopický_jev)>.
- [22] Prostorový úhel. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-01-05 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Prostorový\\_úhel](http://cs.wikipedia.org/wiki/Prostorový_úhel)>.
- [23] Světlo. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-01-15 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Světlo>>.
- [24] LED. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-02-04 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/LED>>.
- [25] Laser. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-02-05 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>>.

- [26] Barevná teplota. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2009-10-16 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Barevná\\_teplota](http://cs.wikipedia.org/wiki/Barevná_teplota)>.
- [27] Index podání barev. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-01-08 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Index\\_podání\\_barev](http://cs.wikipedia.org/wiki/Index_podání_barev)>.
- [28] Mezinárodní komise pro osvětlování. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-01-08 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/CIE>>.
- [29] OLED. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-02-08 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/OLED>>.
- [30] Snímková frekvence. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-01-15 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Snímková\\_frekvence](http://cs.wikipedia.org/wiki/Snímková_frekvence)>.
- [31] Video. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-01-04 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/Video>>.
- [32] Chronofotografie. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-02-11 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Chronofotografie>>.
- [33] Expozice (fotografie). In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2009-08-15 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Expozice\\_\(fotografie\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Expozice_(fotografie))>.
- [34] Optické vlákno. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-02-12 [cit.

- 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Optické\\_vlákno](http://cs.wikipedia.org/wiki/Optické_vlákno)>.
- [35] Žárovka. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-02-06 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Žárovka>>.
- [36] Xenonová výbojka. In *Wikipedie : otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , strana naposledy edit. 2010-02-06 [cit. 2010-02-14]. Česká verze. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Xenonová\\_výbojka](http://cs.wikipedia.org/wiki/Xenonová_výbojka)>.
- [37] Wood's glass. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , last modif. on 9 February 2010 [cit. 2010-02-14]. Anglická verze. Dostupný z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Wood's\\_glass](http://en.wikipedia.org/wiki/Wood's_glass)>.
- [38] Surface-mount technology. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2001- , last modif. on 6 March 2010 [cit. 2010-03-14]. Anglická verze. Dostupný z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Surface-mount\\_technology](http://en.wikipedia.org/wiki/Surface-mount_technology)>.
- [39] Usporyvm. *Světelné zdroje* [online]. c2001 , aktualizace provedena 09. 08. 2009 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <[http://usporovm.sweb.cz/verejne\\_osvetleni/svetelne\\_zdroje.htm](http://usporovm.sweb.cz/verejne_osvetleni/svetelne_zdroje.htm)>.
- [40] *Světlo a jeho vlastnosti* [online]. c2002 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <[http://skripta.dictor.net/obecna\\_min/o\\_531.php](http://skripta.dictor.net/obecna_min/o_531.php)>.
- [41] NIESIG, Petr. *Fotometrické veličiny* [online]. 2000, poslední aktualizace byla provedena: srpen 2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.elkovo-cepelik.cz/dalsi/teorie---svetelna-technika/fotometricke-veliciny.htm>>.
- [42] NIESIG, Petr. *Fotometrie* [online]. 2000, poslední aktualizace byla provedena: srpen 2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.elkovo-cepelik.cz/dalsi/teorie---svetelna-technika/fotometrie.htm>>.
- [43] NIESIG, Petr. *Světelné zdroje* [online]. 2000, poslední aktualizace byla provedena: srpen 2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.elkovo-cepelik.cz/dalsi/teorie---svetelna-technika/svetelne-zdroje.htm>>.

- [44] NIESIG, Petr. *Žárovky a halogenové žárovky* [online]. 2000, poslední aktualizace byla provedena: srpen 2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.elkovo-cepelik.cz/dalsi/teorie---svetelna-technika/zarovky-a-halogenove-zarovky.htm>>.
- [45] NIESIG, Petr. *LED - světelné diody (Light Emitting Diodes)* [online]. 2000, poslední aktualizace byla provedena: srpen 2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.elkovo-cepelik.cz/dalsi/teorie---svetelna-technika/led---svetelne-diody-light-emitting-diodes.htm>>.
- [46] NIESIG, Petr. *Základy nauky o barvě* [online]. 2000, poslední aktualizace byla provedena: srpen 2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.elkovo-cepelik.cz/dalsi/teorie---svetelna-technika/zaklady-nauky-o-barve.htm>>.
- [47] NIESIG, Petr. *Zářivky* [online]. 2000, poslední aktualizace byla provedena: srpen 2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.elkovo-cepelik.cz/dalsi/teorie---svetelna-technika/zarivky.htm>>.
- [48] NIESIG, Petr. *Nízkotlaké sodíkové výbojky* [online]. 2000, poslední aktualizace byla provedena: srpen 2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.elkovo-cepelik.cz/dalsi/teorie---svetelna-technika/nizkotlake-sodikove-vybojky.htm>>.
- [49] NIESIG, Petr. *Indukční výbojky* [online]. 2000, poslední aktualizace byla provedena: srpen 2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.elkovo-cepelik.cz/dalsi/teorie---svetelna-technika/indukcni-vybojky.htm>>.
- [50] NIESIG, Petr. *Vysokotlaké rtuťové výbojky* [online]. 2000, poslední aktualizace byla provedena: srpen 2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.elkovo-cepelik.cz/dalsi/teorie---svetelna-technika/vysokotlake-rtutove-vybojky.htm>>.
- [51] NIESIG, Petr. *Směšové výbojky* [online]. 2000, poslední aktualizace byla provedena: srpen 2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.elkovo-cepelik.cz/dalsi/teorie---svetelna-technika/smesove-vybojky.htm>>.
- [52] NIESIG, Petr. *Halogenidové výbojky* [online]. 2000, poslední aktualizace byla provedena: srpen 2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.elkovo-cepelik.cz/dalsi/teorie---svetelna-technika/halogenidove-vybojky.htm>>.

- [53] NIESIG, Petr. *Vysokotlaké sodíkové výbojky* [online]. 2000, poslední aktualizace byla provedena: srpen 2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.elkovo-cepelik.cz/dalsi/teorie---svetelna-technika/vysokotlake-sodikove-vybojky.htm>>.
- [54] BERAN, Leoš. *Člověk, energie a ekologie CE - KEL* [online]. c2005 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <[http://www.mti.tul.cz/files/ce/ce\\_03.pdf](http://www.mti.tul.cz/files/ce/ce_03.pdf)>.
- [55] *Mechanické vlnění* [online]. 2008 , last modified 07-Jun-2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.gjp.cz/storage/file/Ko/17mechanickevlneni.ppt>>.
- [56] Katedra didaktiky fyziky, Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze. *Jak funguje žárovka a zářivka* [online]. 2008, 2008-03-27 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=109>>. ISSN 1803-4179.
- [57] *ABZ.cz : slovník cizích slov - on-line hledání* [online]. c2005-2006 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://slovník-cizich-slov.abz.cz/>>.
- [58] *Měření barevných souřadnic světla pomocí Donaldsonova kolorimetru* [online]. c2006-2010 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <[http://www.ueen.feec.vutbr.cz/light-laboratory/files/sylabus/01\\_Mereni\\_barevnych\\_souradnic\\_svetla\\_pomoci\\_Donaldsonova\\_kolorimetru.pdf](http://www.ueen.feec.vutbr.cz/light-laboratory/files/sylabus/01_Mereni_barevnych_souradnic_svetla_pomoci_Donaldsonova_kolorimetru.pdf)>.
- [59] KREJČÍ, Robert, HULICIUS, Eduard. *Polovodičové lasery a LED-ky : parametry, aplikace, srovnání* [online]. 23.04.2007 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.microdesignum.cz/clanky/Polovodicove-lasery-a-LED-ky.html>>.
- [60] *Visible Light Spectrum and Hydrogen Emission / Absorption Spectra* [online]. since 1 Nov 98 , updated 31 Jul 2006 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.efg2.com/Lab/ScienceAndEngineering/Spectra.htm>>.
- [61] KOMENDA, Jan, NOVÁK, Miroslav. *Co je vysokorychlostní kamera?* [online]. [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.rucevzhuru.cz/index.php/component/content/article/53-rychllokamery/133-kamery.html>>.

- [62] SMOLÍK, Jiří. *Elektrické světlo - skripta* [online]. 2006 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.jsmilek.cz/skripta%20pdf/enz%20svetlo%20n1%20skripta.pdf>>.
- [63] Energ [spol. s. r. o.]. *Světelné zdroje* [online]. c2001-2007 [cit. 2010-02-14]. Dostupný z WWW: <[http://www.energetik.cz/hlavni3.html?m1=/vyuziti/s\\_zdroje.html](http://www.energetik.cz/hlavni3.html?m1=/vyuziti/s_zdroje.html)>.
- [64] SLOVÁK, Filip. *Analýza parametrů světloemitujících diod*. [s.l.], 2009. ix, 117 s. České vysoké učení v Praze. Fakulta elektrotechnická. Katedra elektroenergetiky. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Pavelka. Dostupný z WWW: <[https://dip.felk.cvut.cz/browse/pdfcache/slovaf1\\_2009dipl.pdf](https://dip.felk.cvut.cz/browse/pdfcache/slovaf1_2009dipl.pdf)>.
- [65] GRANTA, Filip. *Analýza parametrů světloemitujících diod*. [s.l.], 2009. ix, 117 s. České vysoké učení v Praze. Fakulta elektrotechnická. Katedra elektroenergetiky. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Pavelka. Dostupný z WWW: <<http://www.grantadesign.com/education/ABS.htm>>.



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$\alpha$	[°]	– úhel dopadajících paprsků na normálu plochy
$\alpha_k$	[°]	– úhel odklonu paprsků od kolmice normály elementu plochy
$\beta$	[°]	– poloviční úhel kužele, do kterého zdroj svítí
$\kappa(\lambda)$	[lm·W <sup>-1</sup> ]	– světelný účinek monochromatického záření vlnové délky $\lambda$
$\kappa_m$	[lm·W <sup>-1</sup> ]	– maximum světelného účinku monochromatického záření
$\lambda$	[m]	– vlnová délka
$\Phi$	[lm]	– světelný tok ze světelného zdroje
$\Phi(\lambda)$	[lm]	– světelný tok monochromatického záření vlnové délky $\lambda$
$\Phi_e(\lambda)$	[W]	– zářivý tok monochromatického záření vlnové délky $\lambda$
$d\Phi$	[lm]	– element světelného toku zdroje vyzařujícího do elementu prostorového úhlu $d\Omega$ [sr]
$\Omega$	[sr]	– prostorový úhel, do kterého zdroj svítí
$d\Omega$	[sr]	– element prostorového úhlu, do kterého zdroj svítí
$A_m$	[-]	– maximální velikost amplitudy
$a_m, A$	[-]	– okamžitá velikost amplitudy
$dA$	[m <sup>2</sup> ]	– element kulové plochy vymezené prostorovým úhlem
$c$	[m·s <sup>-1</sup> ]	– rychlost šíření světla ve vakuu ( $c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )
$E$	[lx]	– intenzita osvětlení
$f$	[Hz]	– frekvence
$I$	[cd]	– svítivost
$I_b$	[lm]	– svítivost bodového zdroje
$L$	[cd·m <sup>-2</sup> ]	– jas
$M_{Rx}$	[N]	– reakční moment vzhledem k ose X
$M_{Ry}$	[N]	– reakční moment vzhledem k ose Y
$M_{Rz}$	[N]	– reakční moment vzhledem k ose Z
$r$	[m]	– vzdálenost od světelného zdroje
$R_a$	[-]	– index barevného podání
$R_x$	[N]	– silová reakce ve směru osy X
$R_y$	[N]	– silová reakce ve směru osy Y
$R_z$	[N]	– silová reakce ve směru osy Z
$dS$	[m <sup>2</sup> ]	– element ozařované plochy
$S$	[m <sup>2</sup> ]	– plocha, na kterou dopadají paprsky

t	[s]	– čas
T <sub>c</sub>	[K]	– teplota chromatičnosti
V(λ)	[-]	– poměrná účinnost monochromatického záření vlnové délky λ
fps		frames per sekond (= snímků za sekundu).
CIE		Commission internationale de l'éclairage (= mezinárodní komise pro osvětlování).
CMY		Cayan, Magenta, Yellow (= azurová, purpurová, žlutá).
CMYK		Cayan, Magenta, Yellow, black (= azurová, purpurová, žlutá, černá).
CRI		Color Rendering Index (= index barevného podání).
DVD		Digital Versatile Disc (= digitální víceúčelový disk).
IR		Infrared (= infračervená).
LASER		Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (= zesilování světla stimulovanou emisí záření).
LED		Light Emitting Diodes (= světlo emitující diody).
OLED		Organic Light Emitting Diodes (= organické světlo emitující diody).
RGB		Red, Green, Blue (= červená, zelená, modrá).
UV		Ultraviolet (= ultrafialová).

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1. Přibližné rozložení barev ve viditelném spektru [60] .....	12
Obrázek 2. Aditivní skládání barev, barevný model RGB .....	13
Obrázek 3. Subtraktivní skládání barev, barevný model CMY .....	13
Obrázek 4. Schéma polarizátoru [15] .....	14
Obrázek 5. Podélná vlna [55] .....	14
Obrázek 6. Amplituda [16] .....	15
Obrázek 7. Vymezení prostorového úhlu [22].....	17
Obrázek 8. Zbarvení světla v závislosti na teplotě chromatičnosti [26].....	18
Obrázek 9. Diagram chromatičnosti mezinárodní kolorimetrické soustavy XYZ zobrazený v pravoúhlých souřadnicích x, y [6] .....	18
Obrázek 10. Řez vysokotlakou rtuťovou výbojkou [62] .....	23
Obrázek 11. Vytvoření bílého světla pomocí LED [45].....	25
Obrázek 12. Různá provedení pouzder LED [24] .....	25
Obrázek 13. Závislost relativní svítivosti na procházejícím proudu v propustném směru ideální a skutečnou LED [2].....	26
Obrázek 14. Vstupní část flexibilních optických kabelů .....	30
Obrázek 15. Částečný řez sestavou redukční kleštinové vložky s popisy .....	37
Obrázek 16. Obecné schéma sestavy redukční kleštinové vložky.....	37
Obrázek 17. Schéma redukční kleštinové vložky pro průměr koncovky 5 mm.....	37
Obrázek 18. Schéma redukční kleštinové vložky pro průměr koncovky 6 mm.....	38
Obrázek 19. Schéma redukční kleštinové vložky pro průměr koncovky 8 mm.....	38
Obrázek 20. Schéma redukční kleštinové vložky pro průměr koncovky 10 mm.....	38
Obrázek 21. Sestava ovládacího panelu – pohled ze shora .....	39
Obrázek 22. Sestava ovládacího panelu – pohled zdola.....	40
Obrázek 23. Schéma okrajových podmínek analýz.....	41
Obrázek 24. 3D model – 1. varianta držáku – horní pohled.....	42
Obrázek 25. 3D model – 1. varianta držáku – dolní pohled .....	42
Obrázek 26. FEM model – 1. varianta držáku – horní pohled.....	43
Obrázek 27. FEM model – 1. varianta držáku – dolní pohled.....	43
Obrázek 28. Translační vektory posunutí konečných prvků – 1. varianta držáku.....	44
Obrázek 29. Rozložení Von Misesova napětí – 1. varianta držáku – horní pohled.....	45
Obrázek 30. Rozložení Von Misesova napětí – 1. varianta držáku – dolní pohled.....	45

Obrázek 31. 3D model – 1. varianta držáku – horní pohled.....	46
Obrázek 32. 3D model – 2. varianta držáku – dolní pohled.....	46
Obrázek 33. FEM model – 2. varianta držáku – horní pohled.....	47
Obrázek 34. FEM model – 2. varianta držáku – dolní pohled.....	47
Obrázek 35. Translační vektory posunutí konečných prvků – 2. varianta držáku.....	48
Obrázek 36. Rozložení Von Misesova napětí – 2. varianta držáku – horní pohled.....	49
Obrázek 37. Rozložení Von Misesova napětí – 2. varianta držáku – dolní pohled.....	49
Obrázek 38. 3D model – 3. varianta držáku – horní pohled.....	50
Obrázek 39. 3D model – 3. varianta držáku – dolní pohled.....	50
Obrázek 40. FEM model – 3. varianta držáku – horní pohled.....	51
Obrázek 41. FEM model – 3. varianta držáku – dolní pohled.....	51
Obrázek 42. Translační vektory posunutí konečných prvků – 3. varianta držáku.....	52
Obrázek 43. Rozložení Von Misesova napětí – 3. varianta držáku – horní pohled.....	53
Obrázek 44. Rozložení Von Misesova napětí – 3. varianta držáku – dolní pohled.....	53
Obrázek 45. 3D model – 4. varianta držáku – horní pohled.....	54
Obrázek 46. 3D model – 4. varianta držáku – dolní pohled.....	54
Obrázek 47. FEM model – 4. varianta držáku – horní pohled.....	55
Obrázek 48. FEM model – 4. varianta držáku – dolní pohled.....	55
Obrázek 49. Translační vektory posunutí konečných prvků – 4. varianta držáku.....	56
Obrázek 50. Rozložení Von Misesova napětí – 4. varianta držáku – horní pohled.....	57
Obrázek 51. Rozložení Von Misesova napětí – 4. varianta držáku – dolní pohled.....	57
Obrázek 52. 3D model – 5. varianta držáku – horní pohled.....	58
Obrázek 53. 3D model – 5. varianta držáku – dolní pohled.....	58
Obrázek 54. FEM model – 5. varianta držáku – horní pohled.....	59
Obrázek 55. FEM model – 5. varianta držáku – dolní pohled.....	59
Obrázek 56. Translační vektory posunutí konečných prvků – 5. varianta držáku.....	60
Obrázek 57. Rozložení Von Misesova napětí – 5. varianta držáku – horní pohled.....	61
Obrázek 58. Rozložení Von Misesova napětí – 5. varianta držáku – dolní pohled.....	61
Obrázek 59. Rozložení Von Misesova napětí – 5. varianta držáku – Detail 1.....	62
Obrázek 60. Rozložení Von Misesova napětí – 5. varianta držáku – Detail 2.....	62
Obrázek 61. Rozložení Von Misesova napětí – 5. varianta držáku – Detail 3.....	63
Obrázek 62. Rozložení Von Misesova napětí – 5. varianta držáku – Detail 4.....	63
Obrázek 63. 3D model křížového příčnicku.....	66
Obrázek 64. 3D model otočného držáku s kruhovým otvorem pro aretační šroub.....	67

---

Obrázek 65. 3D model otočného držáku s výřezem pro šroub.....	67
Obrázek 66. 3D model sestavy matice s plastovým madlem .....	68
Obrázek 67. 3D model sestavy šroubu s plastovým madlem .....	68
Obrázek 68. 3D model sestavy středového šroubového spoje – 1. varianta.....	69
Obrázek 69. 3D model sestavy středového šroubového spoje – 2. varianta.....	70
Obrázek 70. 3D model sestavy středového šroubového spoje – 3. varianta.....	70
Obrázek 71. 3D model sestavy středového šroubového spoje – 4. varianta.....	71
Obrázek 72. 3D model sestavy středového šroubového spoje – 5. varianta.....	71

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1. Některé vlastnosti ABS.....	41
Tabulka 2. Reakce získané pomocí FEM analýzy – 1. varianta držáku .....	44
Tabulka 3. Reakce získané pomocí FEM analýzy – 2. varianta držáku .....	48
Tabulka 4. Reakce získané pomocí FEM analýzy – 3. varianta držáku .....	52
Tabulka 5. Reakce získané pomocí FEM analýzy – 4. varianta držáku .....	56
Tabulka 6. Reakce získané pomocí FEM analýzy – 5. varianta držáku .....	60

## SEZNAM PŘÍLOH

- P I: Model sestavy světelného zdroje vyvíjeného Ústavem výrobního inženýrství UTB
- P II: CD ROM s bakalářskou prací v přenosném formátu dokumentů (.pdf), 3D modely (.CATPart), FEM modely s okrajovými podmínkami (.CATAnalysis), výrobní výkresy (.CATDrawing i .pdf) a sestavy (.CATProduct i pdf) navrhovaných konstrukcí z programu CATIA v5R19, kusovníky (.pdf i .dwg) z programu AutoCAD 2010

**PŘÍLOHA P I: MODEL SESTAVY SVĚTELNÉHO ZDROJE  
VYVÍJENÉHO ÚSTAVEM VÝROBNÍHO INŽENÝRSTVÍ UTB**

