



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**KONCEPCE MONTÁŽNÍHO PŘÍPRAVKU PRO  
MONTÁŽ LED MODULU SVĚTLOMETŮ**

THE MOUNTING JIG CONCEPT FOR MOUNTING THE LED HEADLIGHT MODULE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Jan Žlebek

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Zeizinger, Ph.D.

BRNO 2022





# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	<b>Bc. Jan Žlebek</b>
Studijní program:	Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	<b>Ing. Lukáš Zeizinger, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2021/22

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

## **Koncepce montážního přípravku pro montáž LED modulu světlometů**

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

Konstrukční návrh univerzálního montážního přípravku s cílem minimalizovat dobu výrobního cyklu. Univerzální přípravek bude sloužit k automatizované výrobě projekčního LED modulu, který bude použit jako podsestava ve finální montáži světlometu. Tento přípravek musí být univerzální pro případ různých rozměrů modulů.

Technické parametry zadání:

Ideální montážní cyklus (takt linky) kolem 10 sec

Možnost nastavit fixační body.

### **Cíle diplomové práce:**

Popis a kritická rešerše komponentů světlometu.

Druhy LED projekčních modulů.

Montážní postup.

Koncepční návrhy přípravků.

Koncepční návrhy způsobů nastavování fixačních bodů.

Finální technické řešení přípravku.

Ověření stability dílů při montáži.

Simulační ověření deformace přípravku.

Volba materiálu vzhledem k předpokládanému vysokocyklovému opotřebením materiálu.

Sestava přípravku.

### Seznam doporučené literatury:

FROCHTE, Jörg. Finite-Elemente-Methode. 2. Mnichov, Německo: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG; 2., aktualisierte und erweiterte edition, 2021. ISBN 344646915X.

CHAPELLE, Dominique a Klaus-Jürgen BATHE. The finite element analysis of shells: fundamentals. 2nd ed. New York: Springer, c2011. Computational fluid and solid mechanics. ISBN 978-364-2164-071.

BONET, Javier, Antonio J. GIL a Richard D. WOOD. Nonlinear solid mechanics for finite element analysis: dynamics. New York: Cambridge University Press, 2020.

BHATTACHARJEE, Sudip Sankar, M. A. CRISFIELD a Richard D. WOOD. Finite element analysis of solids and structures: dynamics. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2021. ISBN 978-103-2041-582.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je navrhnout koncept univerzálního přípravku pro montáž LED modulu světlometu. Úvodní část práce se věnuje jednotlivým komponentům světlometu, jako jsou například plošné spoje, chladiče, optické prvky apod. Dále je v práci uveden přehled v současnosti používaných druhů modulů od základní reflektorové techniky až po nejmodernější projekční moduly. Další část diplomové práce je zaměřena na koncepční návrhy, jak dané moduly upevnit na paletky. Následuje konstrukční řešení paletky, která byla dále pomocí metody MKP ověřena, zdali vyhovuje zadaným parametrům. V poslední části práce je shrnutí výhod a nevýhod při implementaci navrhovaného způsobu do výroby.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Světlomet, modul, přípravek, paletka, montáž, montážní linka, automatizace

## ABSTRACT

The aim of this thesis is to propose the concept of a universal preparation for mounting the LED module of the headlamp. The first part of the thesis is devoted to individual components of the headlamp, such as printed circuit boards, coolers, optical elements, etc. Furthermore, the thesis provides an overview of the types of modules currently used, from basic reflector technology to the most modern projection modules. The next part of the thesis is focused on conceptual designs for mounting the modules on pallets. It continues by the design of the pallet, which was further verified by the FEM method whether it complies with the given parameters. The last part of the thesis summarizes the advantages and disadvantages in the implementation of the proposed method into the production.

## KEYWORDS

Headlamp, module, assembling jig, palette, assembly, assembly line, automation

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŽLEBEK, Jan. *Koncepce montážního přípravku pro montáž LED modulu světlometů*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139623>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Lukáš Zeizinger.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Lukáše Zeizingera Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 20. května 2022

.....

Jan Žlebek

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Lukáši Zeizingerovi Ph.D. za velkou ochotu a přínosné konzultace při psaní této diplomové práce. Poděkování patří také společnosti Hella autotechnik s.r.o., panu Ing. Davidu Machýčkovi a panu Ing. Michalovi Žlebku za poskytnutí cenných rad a důležitých informací. Také bych rád poděkoval všem lidem, kteří mě při studiu a psaní diplomové práce podporovali.

# OBSAH

Úvod.....	11
<b>1 Komponenty světlometu.....</b>	<b>12</b>
1.1 Plošné spoje .....	12
1.1.1 FR4 .....	12
1.1.2 ALU IMS .....	13
1.1.3 CU IMS .....	14
1.1.4 Flex board .....	14
1.1.5 Keramické pcba .....	15
1.2 Chladiče .....	16
1.2.1 Odlévaný chladič .....	17
1.2.2 Plechový chladič .....	17
1.2.3 Nýtovaný chladič .....	18
1.2.4 Extrudovaný chladič .....	18
<b>2 Moduly.....</b>	<b>19</b>
2.1 Základní součásti bi-led modulu .....	19
2.2 Druhy modulů .....	21
2.2.1 Bi-led .....	22
2.2.2 Matrix .....	23
2.2.3 Bi-matrix .....	24
2.2.4 Bi-led flat .....	24
2.2.5 SSL HD .....	25
<b>3 Standardizace.....</b>	<b>26</b>
3.1 Standardizace montážních linek .....	27
3.2 Standardizované díly .....	28
3.3 Specifické díly .....	28
<b>4 Montážní postup.....</b>	<b>29</b>
<b>5 koncept fixačních bodů .....</b>	<b>33</b>
5.1 Způsoby nastavování fixačních pinů .....	34
5.1.1 Mechanické.....	34
5.1.2 Elektrické.....	35
5.1.3 Pneumatické.....	38
5.1.4 Kombinované nastavování .....	39
<b>6 Konstrukční řešení .....</b>	<b>40</b>
6.1 Upevnění rámečku .....	41
6.1.1 Konstrukce fixačního pinu.....	44
6.1.2 Návrh materiálu hrotu.....	46
6.2 Upnutí chladiče.....	47
6.3 3D model paletky.....	49
6.4 Návrh kluzného pouzdra.....	53
<b>7 Ověření deformace .....</b>	<b>57</b>
7.1 Postup ověření deformace.....	57

7.2	Návrh tloušťky paletky.....	63
<b>Závěr</b>	.....	<b>68</b>
<b>Použité informační zdroje</b>	.....	<b>69</b>
<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b>	.....	<b>73</b>
<b>Seznam příloh</b>	.....	<b>75</b>



## ÚVOD

V posledních několika letech došlo v automobilovém průmyslu k velkému technickému pokroku a jinak tomu nebylo ani v oblasti osvětlení automobilů. Světlomety se staly nejen výrazným designovým prvkem aut, ale i komplexním technickým zařízením, které se stará nejen o komfortní osvětlení vozovky, ale i o osvětlení vozidla. Kvalita osvětlení má značný vliv i na bezpečnost provozu.

Podobně jako u aut, i moderní světlomety mají své stupně výbavy. Tato variace výrazným způsobem komplikuje výrobu světlometů, kdy je pro každý druh světlometu požadována jedna jednoúčelová montážní linka.

Samotný vývoj a montáž výrobní linky stojí velké množství finančních prostředků, což se projevuje ve výsledné prodejní ceně výrobku pro odběratele. Vzhledem k velkému tlaku od automobilových závodů na nákupní ceny komponent musí firmy dodávající do automotive průmyslu reagovat a hledat způsoby, jak snížit prodejní cenu a udržet si tak konkurenceschopnost při zachování rentability.

Jednou z věcí, kde je možné ušetřit, je zavést tzv. modulární (univerzální) platformu. Ta umožňuje snížit náklady na vývoj, ušetřit finance za montážní linky, zefektivnit výrobu, optimalizovat vytižení linky, získat větší množstevní slevy na nakupované díly (především elektroniku) a mnohé další. Díky tomu lze ušetřit výraznou část výrobních nákladů.

# 1 KOMPONENTY SVĚTLOMETU

Moderní světlomety se skládají z velkého množství komponentů. Každý z nich zajišťuje ve světlometu danou funkci, např. LED čipy se starají o zdroj světla, řídicí jednotky o správné fungování světlometu, nastavovací systémy o správné nasměrování světelného toku, dekorativní prvky o designovou stránku, spojovací materiál o soudržnost všech komponentů a mnohé další.

## 1.1 PLOŠNÉ SPOJE

PCB (Printed circuit board) neboli deska plošných spojů je jedna ze základních komponentů používaných v elektronice a v automobilovém průmyslu tomu není jinak. Na této destičce bývá osazeno i několik stovek komponentů jako jsou rezistory, kondenzátory, konektory, LED čipy, různé druhy obvodů, které se starají o správný chod svítidla. Pro použití ve světlometech a zadních svítilnách je využíváno 5 základních druhů plošných spojů. Některé nachází větší zastoupení, některé menší.

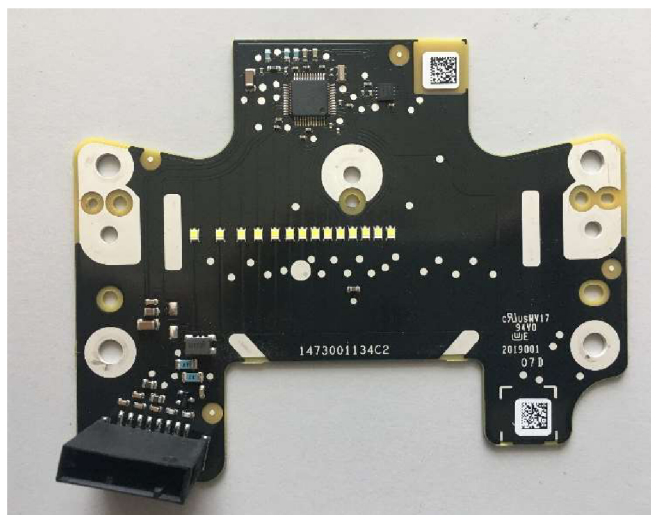
### 1.1.1 FR4

FR4 neboli flame retardent 4. kategorie je druh materiálu, ze kterého se vyrábí plošné spoje. Z finančního hlediska se řadí mezi nejlevnější způsoby osazení plošného spoje. Z tohoto důvodu je velmi často využíván pro hlavní a signální funkce světlometu. Mezi hlavní funkce se řadí světla potkávací a dálková, mlhová světla. Pod pojmem signální funkce světlometu je možné si představit denní svícení, poziční světla a směrová světla. Mezi doplňkové osvětlení se řadí funkce jako coming-home, leaving home, corner light nebo side light (druh osvětlení sloužící pro přisvětlování do zatáček).

Při porovnání s hliníkovým nebo měděným plošným spojem nedisponuje FR4 tak velkou tepelnou vodivostí ( $\lambda_{FR4} = 3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) a proto je v některých případech nezbytná kombinace s chladičem. Pro lepší přenos tepla od horní vrstvy, kde se nachází LED čip, do vrstvy spodní, kde se odpadní teplo odevzdává chladiči, se do okolí LED čipů zavádí tzv. prokovy. [1]

Prokov je dírka skrz celé PCB s průměrem do 0,4 mm, na jejíchž stěnách se nachází tepelně dobře vodivý materiál (nejčastěji měď). Ta velmi efektivně převede odpadní teplo z 1. vrstvy plošného spoje až do vrstvy poslední, kde se teplo předává do chladiče. [1][3]

Další možností, jak zefektivnit přenos tepla od plošného spoje na chladič, je přidání tzv. TIM (thermal interface material – teplovodivá pasta) mezi chladič a spoj. Tato pasta může zajišťovat nejen lepší přenos tepla ale zároveň i fixaci spoje PCB a chladiče. Více k této problematice je zpracováno v kapitole Chladiče na straně 16. Obr. 1 znázorňuje plošný spoj z materiálu FR4, použití v automobilu Audi A4 od výrobce Valeo.



Obr. 1 Plošný spoj FR4 – Audi A4 (Valeo)

### 1.1.2 ALU IMS

Další typ plošného spoje je tzv. ALU IMS (Aluminium insulated metal substrate), kdy jako základ slouží hliníková destička. Tento typ spoje bývá nejčastěji využit pro hlavní funkce světlometu a při použití technologie matrix s menším počtem LED čipů viz Obr. 2.



Obr. 2 Plošný spoj ALU IMS – BMW F60 Countrymen (Automotive Lighting)

Tepelná vodivost hliníkového IMS dosahuje hodnot uvedené v rovnici (1) v závislosti na typu použitých hliníkových slitin

$$\lambda_{ALU\ IMS} = 100 - 130\ Wm^{-1}K^{-1} \quad (1)$$

### 1.1.3 CU IMS

Pod pojmem CU IMS (Cooper insulated metal substrate) je možné si představit plošný spoj, který je velmi podobný ALU IMS, jen místo hliníkové destičky je použita měděná destička. Tento typ plošného spoje je ovšem z finančního pohledu velmi nákladný, a proto bývá využit jen v tepelně velmi náročných případech (technologie Matrix s velkým počtem LED čipů nebo velmi výkonná dálková světla). Jeho výhodou je velká tepelná vodivost, uvedená v rovnici (2).

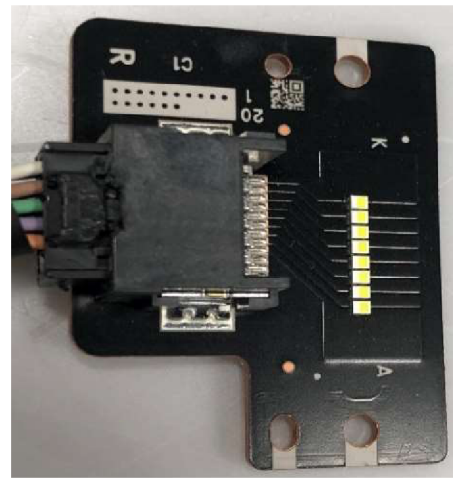
$$\lambda_{CU\ IMS} = 395\ Wm^{-1}K^{-1} \quad (2)$$

Obr. 3 vyobrazuje pohled ze zadní strany na měděnou destičku.

Obr. 4 znázorňuje přední stranu měděného plošného spoje, osazeného LED čipy.



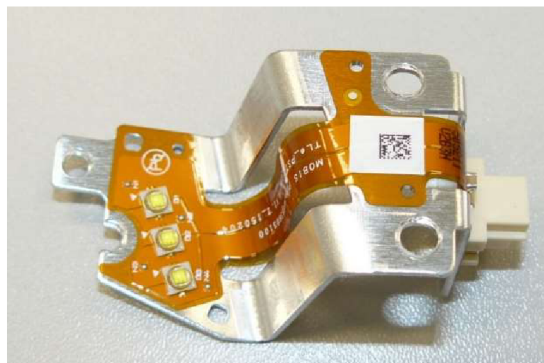
Obr. 3 Zadní strana CU IMS – Mazda 6 (Mobis)



Obr. 4 Přední strana CU IMS – Mazda 6 (Mobis)

### 1.1.4 FLEX BOARD

Pojem flex board představuje speciální typ tištěného spoje, který se vyznačuje svou ohebností. Ta je dána především vlastností materiálu a jeho tloušťkou, která se pro použití ve světlometech/zadních svítilnách pohybuje okolo  $t = 0,15\ mm$ . Své uplatnění má především v místech, kde je složitá geometrie. [1]



Obr. 5 Flex board – Kia Sorento (Mobis)

### 1.1.5 KERAMICKÉ PCBA

Zastoupení keramických plošných spojů vidíme v automobilovém průmyslu jen velmi zřídka. Ačkoliv keramické PCB jsou schopny pracovat při řádově vyšších teplotách s relativně malou tepelnou roztažností uvedenou v rovnici (3)

$$\alpha = 7,4 \cdot 10^{-6} mK^{-1} \quad (3)$$

Náročnost pájení jednotlivých komponentů na keramický podklad a křehkost samotné keramické destičky způsobují, že jsou tyto druhy plošných spojů ve výrobě nejméně využívány. *Obr. 6* znázorňuje keramické PCBA umístěné na plastovém chladiči.



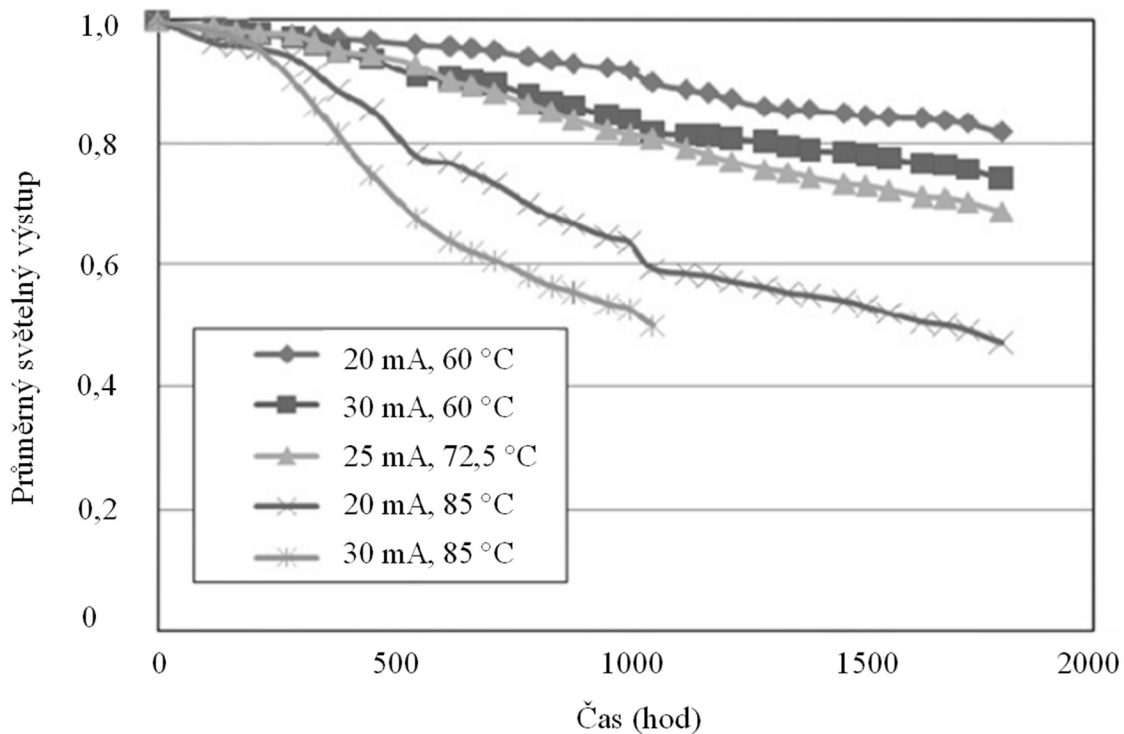
*Obr. 6 Osazené keramické PCBA na plastovém chladiči*

## 1.2 CHLADIČE

Při svícení pomocí LED diod vzniká velké množství nežádoucího odpadního tepla, které je potřeba odvádět od čipu pryč, jinak by hrozila degradace čipu – změna barvy, snížení světelného toku a životnosti čipu, až nenávratné poškození. V případě extrémních okrajových podmínek (vysoká okolní teplota) může dojít k situaci, kdy se teplota čipu začne přibližovat k teplotě kritické, uvedené v rovnici (4)

$$(T_{krit} = 110 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (4)$$

V takovém případě nastane tzv. deraiting – řízený pokles napájecího proudu. Tento jev snižuje generovaný světelný tok a dojde tak i k redukci generovaného tepla. Velikost teploty, ve které jsou LED čipy dlouhodobě provozovány, má významný vliv na pokles světelného toku zobrazeného v Obr. 7. [8][10]

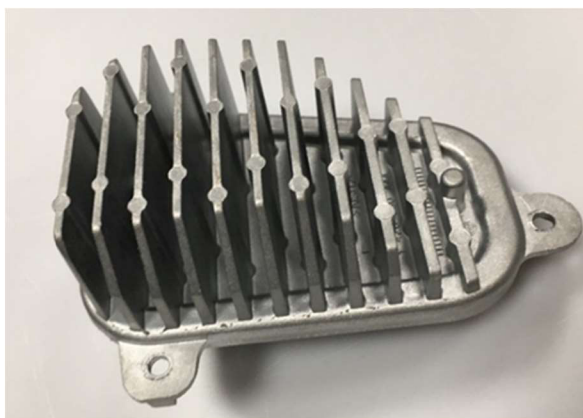


Obr. 7 Dlouhodobý vliv teploty a napájecího proudu na světelný tok LED čipu

### 1.2.1 ODLÉVANÝ CHLADIČ

Výhodou u odlévaných chladičů je možnost do jisté míry změnit slitinu dle potřeby (zvýšení nebo snížení tepelné vodivosti). Nejčastěji používanými slitinami jsou slitiny hliníku, mědi a železa (např.  $AlSi_{12}$ , popř.  $AlSi_{12}Cu_1Fe$ ), nebo slitiny magnesia s přidavkem zinku ( $MgAl_9Zn$ ).

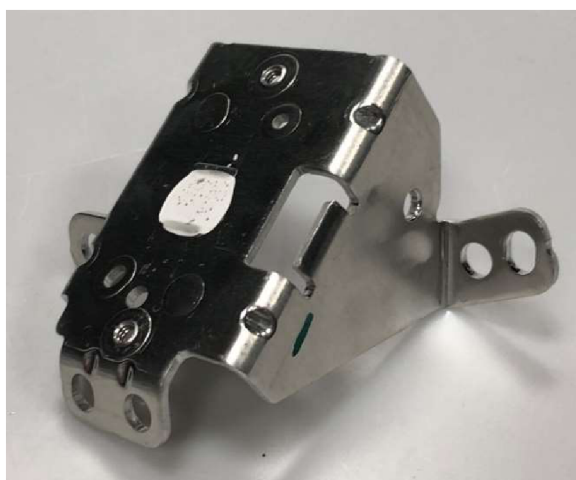
Oproti výhodě v podobě lehké změny materiálu je zde nevýhoda týkající se úpravy geometrie, kde jakákoliv změna znamená drahou úpravu formy. Odlévané chladiče se také v některých případech využívají jako výztuha světlometu, která zabraňuje padání světelné hranice při teplotních a vibračních zkouškách. Na *Obr. 8* je tlakově odlévaný chladič umístěný na vnější straně pouzdra světlometu.



*Obr. 8 Tlakově odlévaný chladič – Audi E-Tron (Automotive Lighting)*

### 1.2.2 PLECHOVÝ CHLADIČ

Plechový neboli ohýbaný chladič je tvořen z vystřihnutého plechu, který je následně pozohýbán do požadované geometrie. Výhodou jsou minimální výrobní náklady. Na *Obr. 9* lze vidět plechový chladič a místo na chladiči, kde byla nanесena termální pasta (bílá skvrna uprostřed).

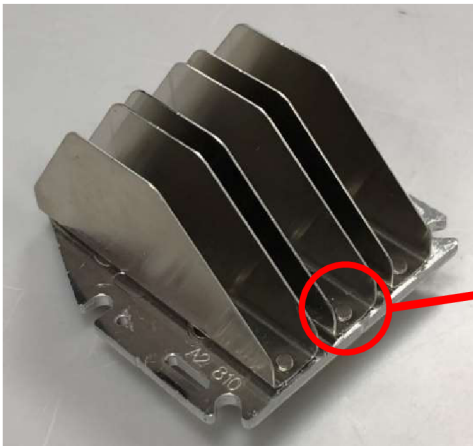


*Obr. 9 Plechový ohýbaný chladič*

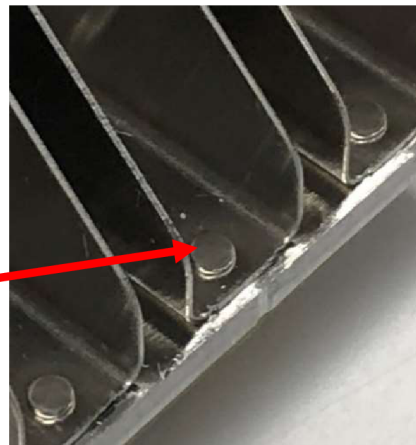


### 1.2.3 NÝTOVANÝ CHLADIČ

Základ pro nýtovaný chladič tvoří hliníková destička o tloušťce pohybující se v rozmezí od 4 do 8 mm. Na tu jsou dále nanýtována hliníková žebra. Tyto chladiče nedosahují takové geometrické variability jako chladiče odlévané, avšak je zde určitá možnost standardizace v podobě snadného přidání nebo odebrání žebra. Pokud se při tepelných zkouškách ukáže, že je chladič např. předdimenzován/poddimenzován, je jeho následná úprava velmi jednoduchá. *Obr. 100* znázorňuje plechový nýtovaný chladič, který je použit na signální funkci. Detail nýtování žebra je zobrazen na *Obr. 11*.



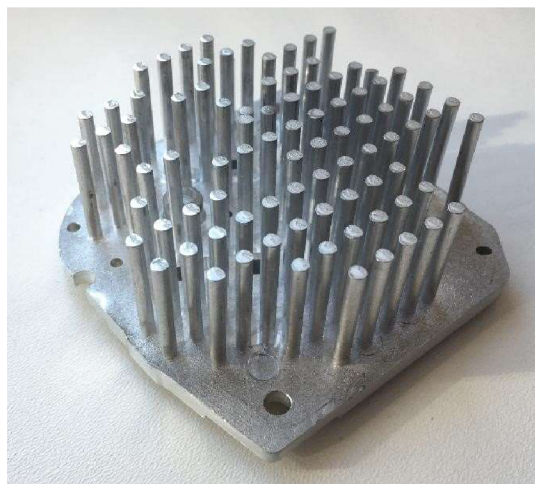
*Obr. 11 Detail nýtu*



*Obr. 10 Plechový nýtovaný chladič*

### 1.2.4 EXTRUDOVANÝ CHLADIČ

Výroba extrudovaného (protlačovaného) chladiče probíhá nahřátím monolitu hliníku, který je následně zatlačen do formy. Ta vytvaruje žebra v podobě válečků, hvězdiček nebo jiné požadované geometrie. *Obr. 12* představuje extrudovaný chladič, který byl použit pro automobil Golf A7.



*Obr. 12 Extrudovaný chladič (Hella)*



## 2 MODULY

Pod pojmem modul je označována skupina jednotlivých dílů, které společně tvoří světelný projektor, jenž usměřňuje výstupní světelné paprsky s ohledem na požadavky osvětlení (homologace). Světelné moduly nalezneme ve světlometech halogenových, xenonových i LED světlech. Na *Obr. 13* lze vidět projekční modul pro vozidlo značky Mercedes Benz.



*Obr. 13 Modul pro Mercedes Benz EQS*

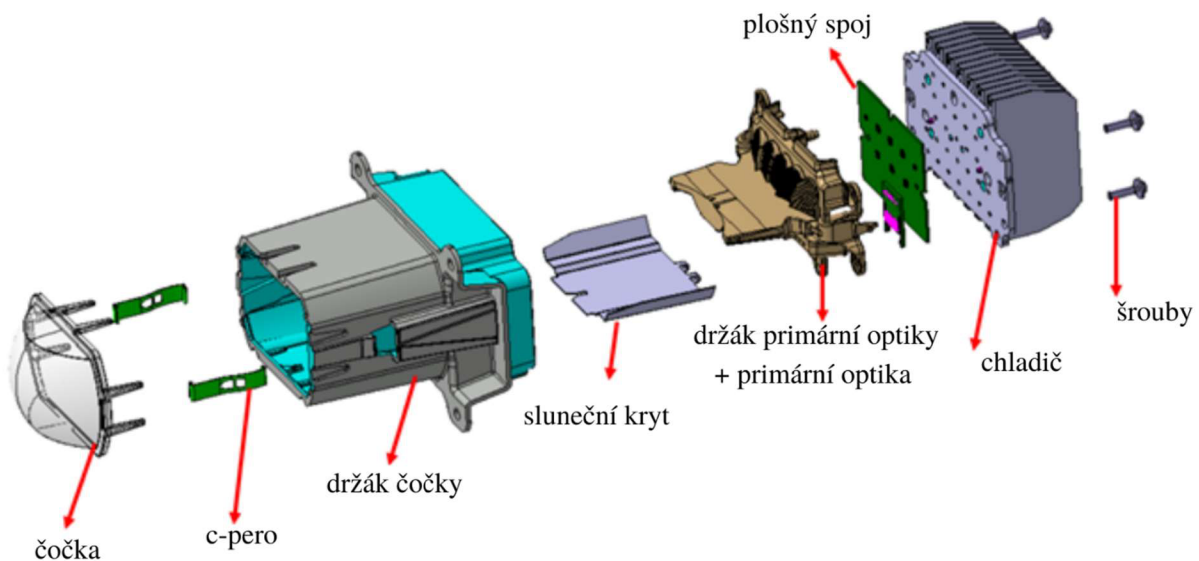
### 2.1 ZÁKLADNÍ SOUČÁSTI BI-LED MODULU

Sestava modulu s označením Bi-LED se skládá z dvojbypuklé (bikonvexní) čočky, která je připevněna k držáku čočky pomocí tzv. C-per nebo pružné geometrie držáku čočky (zacvaknuto do držáku). Čočka bývá použita z důvodu usměrnění světelných paprsků a zajištění homogenity vystupujícího světla.

Dále se v modulu nachází sluneční clonka, která bývá vložena do držáku čočky a přišroubena alespoň jedním šroubem. Následuje držák primární optiky, který zajišťuje správnou polohu optiky vůči LED čipům. Primární optika (silikonová nebo polykarbonátová) je vložena v držáku primární optiky.

Následuje plošný spoj, který bývá přišroubován nebo přilepen k chladiči. Mezi chladič a plošný spoj se dává termální pasta. Dalším prvkem je chladič, který může být přišroubován do rámečku nebo k držáku čočky. V poslední řadě jsou na modulu prvky, které mají na starosti designovou stránku modulu.

Celý modul je připevněn do pouzdra světlometu pomocí nastavovacích šroubů a krokových motorků, které se starají o správné horizontální a vertikální nastavení (aby nedocházelo k oslňování protijedoucích řidičů). Schéma skladby modulu popisuje *Obr. 14*.



Obr. 14 Schématické znázornění složení Bi-LED modulu

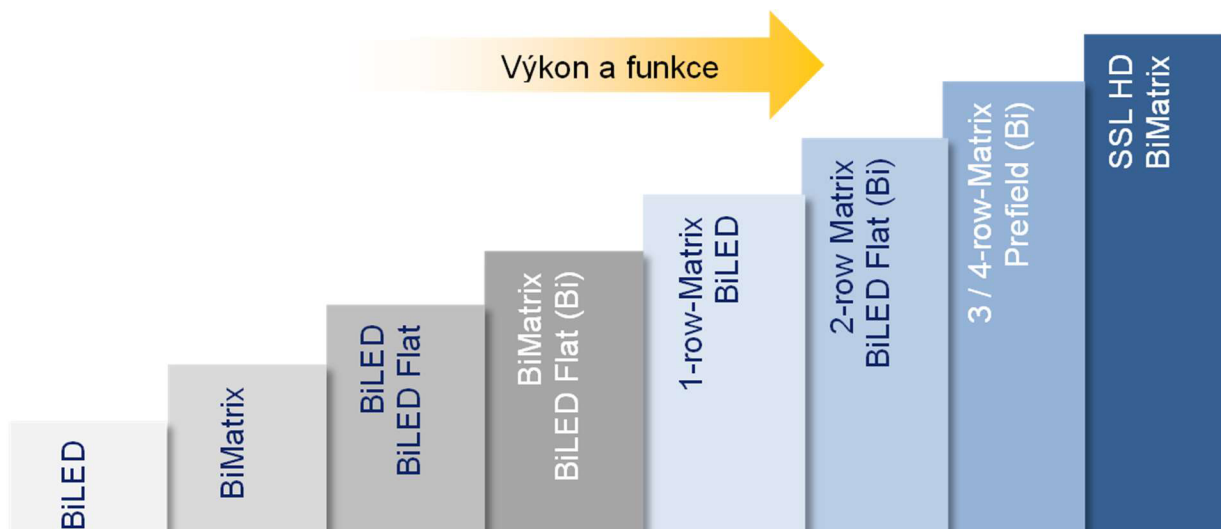
Jednotlivé komponenty jsou vyrobeny z různých materiálů. Dekorativní nebo optické prvky disponují povrchovou úpravou. Ta může spočívat v pokovení dekorativních prvků, nebo např. u optických prvků mikrostrukturou. Ta zajišťuje homogenitu vystupujícího světla. Příklady materiálů a různé druhy povrchových úprav jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1 Přehled používaných materiálů a druhy povrchových úprav na dílech modulu

Název komponentu	Materiál	Povrchová úprava
Čočka	Sklo/PMMA/PMMI/PC	Mikrostruktura
C-pero	Ocelový plech	Bez povrchové úpravy
Držák čočky	PBT nebo PA6 s přídavkem skleněných vláken	Může obsahovat dekorativní plochy => lesklé/matné části nebo pokovení
Sluneční kryt	Ocelový plech	Pokovení/začernění
Držák primární optiky	Ocelový plech	Bez povrchové úpravy
Primární optika	PC, PMMA, PMMI, silikon	Bez povrchové úpravy nebo mikrostruktura
PCBA	FR4/ALU IMS/CU IMS	Bez povrchové úpravy
Chladič	Slitiny hliníku	Bez povrchové úpravy
Šrouby	Ocel	Pozinkování/začernění

## 2.2 DRUHY MODULŮ

V současné době nabízí výrobci osvětlení velké množství různých druhů modulů. Tyto moduly se dělí do kategorií dle použitého světelného zdroje (čipu) a výstupní světelné funkce. Nejčastěji používaná sestava modulů nese označení 2-row Matrix v kombinaci s Bi-LED modulem.



Obr. 15 Rozdělení druhů modulů dle výstupní funkce

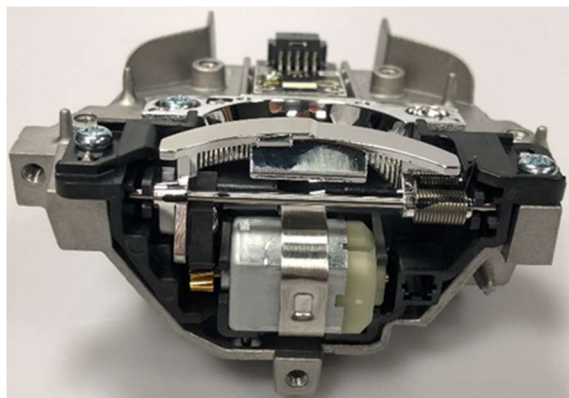
V jednom modulu se může nacházet více světelných funkcí, to znamená, že jeden modul může zajišťovat jak denní svícení, tak i dálková světla. Mezi další zdroje, které se nachází ve světlometu patří například rohové světlo, které přisvětluje vozovku před vozidlem ve směru, ve kterém vozidlo odbočuje. Další světelné funkce jsou popsány v Tab. 2.

Tab. 2 Popis světelných funkcí ve světlometu

Zkratka funkce	Anglický název funkce	Český název funkce	Popis funkce
LB	low beam	potkávací světlo	svícení za snížené viditelnosti
HB	hight beam	dálkové světlo	svícení za snížené viditelnosti
PHB	pernament hight beam	kontinuální dálkové světlo	adaptivní dálkové světlo
HB Spot	hight beam spot	bodové dálkové světlo	svícení za snížené viditelnosti zpravidla jízda nad 80 km/h
Prefield	prefield light	předpolí	osvětlení předpolí automobilu
CL	corner light	rohové světlo	přisvětlování do zatáček
AFS	adaptive front light system	adaptivní osvětlení automobilu	system, který reaguje na určité podněty (jízda na dálnici nebo ve městě, natačení světel do zatáček, regulace světelného toku vzhledem k podnětům jako je déšť, značky, chodci, protijedoucí vozidla apod.)

### 2.2.1 BI-LED

Bi-LED modul obstarává dvě hlavní funkce – dálkové a tlumené světlo, vycházející z jednoho modulu. Tato funkce může být zajištěna, že pro jednotlivé funkce jsou oddělené zdroje světla, tedy modul obsahuje 2 druhy LED čipů a dva různé druhy reflektorů. O přepínání mezi funkcemi se stará řídicí jednotka světlometu. Dalším způsobem, jak nastavit přepínání mezi potkávacím a denním světlem je pomocí mechanické clonky. Ta je ovládána pomocí malého elektromotorku viz *Obr. 16*.

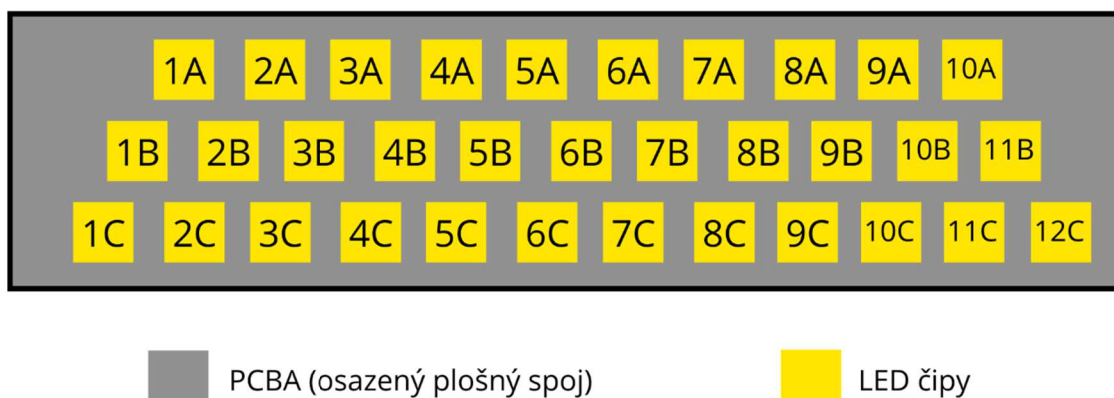


Obr. 16 Mechanická clonka a elektromotorek

### 2.2.2 MATRIX

Technologie matrix spočívá v rozdělení zdroje světla na několik segmentů ve vertikálním, popř. i horizontálním směru. Běžně se používá 3–100 segmentů v jedné až čtyřech řadách. Tyto jednotlivé segmenty jsou následně pomocí řídicí jednotky světlometu ovládány (vypnuty, zapnuty nebo je upraven jejich světelný tok) dle jízdních dat získaných z kamer a radarů automobilu, jako jsou protijedoucí vozidla, chodci ve vozovce, dopravní značení, GPS apod.

*Obr. 7* schematicky znázorňuje rozložení LED čipů na osazeném plošném spoji. V horní řadě A se zpravidla nachází nejmenší počet čipů, které obstarávají funkci dálkového světla. Menší počet čipů je dán faktem, že pro dálková světla není požadováno tak velké rozlišení (počet segmentů) jako např. u světel potkávacích (reprezentovány řadou B a C)



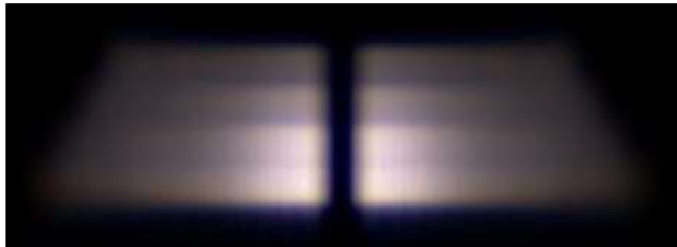
*Obr. 17* Schématické zobrazení matrix modulu s 33 LED čipy

Reálný průběh, jak světlo putuje od LED čipu k čočce, ukazuje *Obr. 18*, kde je znázorněn Tri-Matrix modul pro vozidlo Mercedes Benz s označením E-class.



*Obr. 18* Průběh toku světla od zdroje po výstup z modulu [4]

*Obr. 19* znázorňuje vypnutí celkem 4 segmentů (jedná se o čtyř-řádkový matrix) nacházejících se vertikálně nad sebou. Tento jev se v praxi běžně vyskytuje např. při ztlumení světel automobilu při detekci protijedoucího vozidla).



*Obr. 19* Ztlumené segmenty u čtyř-řádkového matrix modulu

### 2.2.3 BI-MATRIX

V modulu s označením Bi-Matrix (ve zkratce Bi-MxB) je zastoupena technologie osvětlení, kdy pro potkávací funkci je využito standardní rozložení světla (viz Bi-LED) a pro světlo dálkové je využito řady segmentů. To umožňuje mít neustále zapnutá dálková světla (tzv. adaptivní dálková světla) a řídicí jednotka dokáže utlumit jednotlivé segmenty dálkového světla v závislosti na protijedoucích vozidlech.

### 2.2.4 BI-LED FLAT

Modul s označením BiLED Flat využívá stejné technologie jako klasický modul BiLED. Jediný rozdíl spočívá velikosti daného modulu, především jeho výšce. Tento typ modulů byl vyvinut na základě potřeb zákazníků, kteří požadovali modul vhodný pro úzké přední světlomety.

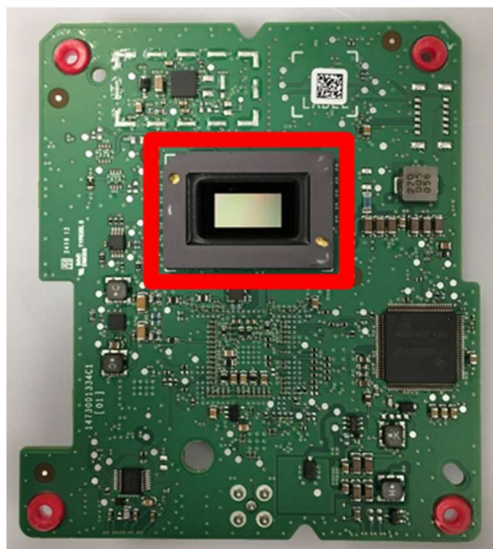


*Obr. 20* BMW 7 - znázornění úzkých světlometů [5]



### 2.2.5 SSL HD

Technologie produkce světla SSL HD se nyní řadí mezi nejvyspělejší technologie používané pro automobilový průmysl. Na plošce s plochou  $1,5 \text{ cm}^2$  (Obr. 21 – červený rámeček) se nachází přes 1,3 milionu kusů zrcátek, která jsou nezávisle na sobě ovládána mezi polohou, kdy se světlo odráží na silnici nebo do místa, kde dochází k pohlcení světla.



Obr. 21 Základní deska s osazenou zrcadlovou ploškou v červeném rámečku

Tento modul může disponovat rozlišením od 100 px do 1,3 Mpx (oproti nejlepším matrixovým modulům, které mají rozlišení maximálně 100 px). SSL HD moduly tak mají o 5 řádů větší rozlišení. Tato zrcátka odrážejí vygenerované světlo přes sadu čoček požadovaným směrem.

Pomocí SSL HD modulů je možné promítat na vozovku např. jízdní pruhy, šipky v kooperaci s navigačním systémem, omezení rychlosti, přechody pro chodce nebo řidiče upozornit na možné nebezpečí na silnici viz Obr. 22. Avšak tyto funkce nejsou pro automobily na evropském trhu v roce 2022 homologované. [6]

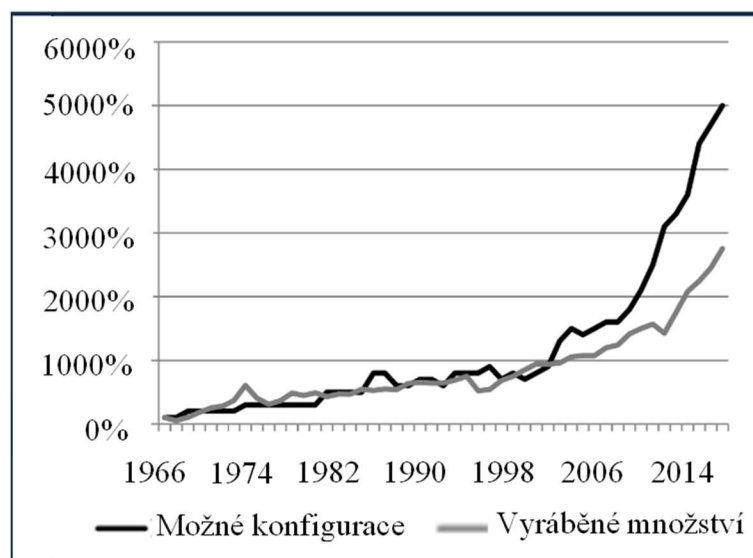


Obr. 22 Projekce prvků na silnici [7]

### 3 STANDARDIZACE

Standardizace se v automobilovém průmyslu uplatňuje již řadu let, např. ve formě tzv. modulárních platform (koncern Volkswagen – MQB, MSB, CMF apod., koncern PSA – PF3, PF3, EMP2 apod., Toyota – TNGA a další). Tyto platformy je poté možné konfigurovat s různými druhy pohonů, pohonných jednotek, druhy náprav a odpružení, s typy karoserií a mnohým dalším bez potřeby zavádět speciální výrobní linky pro rozdílné konfigurace automobilů. [20]

Obr. 23 znázorňuje dlouhodobý exponenciální rostoucí trend v oblasti počtu vyrobených kusů a počtu variant automobilů u automobilky Audi. Od roku 1966 do roku 2014 došlo ke zvýšení produkce aut o více než 2 500 % a k nárůstu možných konfigurací o 5 000 %. [21]



Obr. 23 Vývoj počtu variant vyráběných automobilů u automobilky Audi [11]

V současnosti se na výrobce světlometů stupňují požadavky týkající se ceny prodávaných světlometů. Je tak stále více kladen důraz na snížení výrobní ceny při zachování vysoké kvality výrobků. Z tohoto důvodu společnost Hella s.r.o. plánuje zavést tzv. standardizaci modulů neboli modulární architekturu. Jedná se o částečnou standardizaci dílů (nakupovaných i vyráběných) a standardizaci výroby.

Hlavním cílem je snížení nákupní, výrobní a montážní ceny světlometů, což zajistí hospodářskou výhodu nad konkurencí. Mezi další výhody, které standardizace přináší, patří větší výrobní kapacita závodu, snížení nákladů na vývoj montážních linek, zkrácení dodací lhůty zákazníkům a zvýšení efektivity výroby.[18][19]



### 3.1 STANDARDIZACE MONTÁŽNÍCH LINEK

Montážní linky je možné rozdělit do 3 skupin (viz Obr. 24):

#### JEDNO-MODULOVÁ MONTÁŽNÍ LINKA

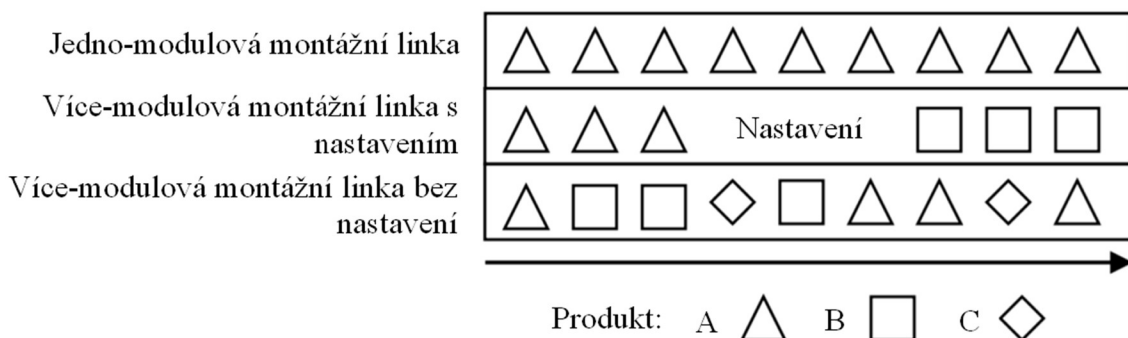
- Je určena pouze pro jeden konkrétní výrobek
- Po ukončení sériové výroby je linka zpravidla demontována
- Na projekt na specifické lince je používána jedna sada přípravků, která umožňuje montáž jednoho druhu výrobku

#### VÍCE-MODULOVÁ LINKA S NASTAVENÍM

- Disponuje schopností montáže více druhů výrobků
- Pořadí druhů výrobků má vliv na efektivnost linky – při každé změně typu výrobku (z výrobku A se přejde na montáž výrobku B) musí linka projít nastavovacím cyklem ⇒ snížení efektivnosti
- Po ukončení sériové výroby je linka zpravidla modifikována pro další druhy výrobků
- Na jedné modulové lince jsou používány různé druhy přípravků, které umožňují montáž více druhů výrobků

#### VÍCE-MODULOVÁ MONTÁŽNÍ LINKA BEZ NASTAVENÍ

- Podobně jako linka s nastavením disponuje schopností montáže dvou a více rozdílných výrobků
- Při změně výrobku není potřeba nastavovat linku a efektivita montážního cyklu je tedy zachována
- Na jedné velkokapacitní lince jsou používány univerzální přípravky umožňující výrobu několika různých typů produktů
- Avšak efektivita může být snížena vlivem rozdílného montážního času u různých výrobků, které vstupují na linku (vznik tzv. bottle neck – úzké místo)



Obr. 24 Druhy modulárních montážních linek [23]

Má-li být montážní linka určena pro montáž dvou nebo více rozdílných druhů modulů, je třeba zajistit:

- A. Totožnou polohu fixačních bodů na všech vyráběných modulech
  - Toto řešení je vhodné pro typově a rozměrově podobné moduly (BiLED, Matrix apod.), které jsou velkosériově vyráběny. Hlavní snahou je minimalizovat cenu produktu
- B. Možnost přizpůsobení přípravku různými RPS body
  - Řešení je ideální pro různé velikosti modulů s rozdílnými RPS body
  - Vhodné pro malosériovou výrobu s cílem minimalizovat náklady na přípravky

### 3.2 STANDARDIZOVANÉ DÍLY

Standardizované díly tvoří v současné době přibližně 25 % všech komponentů, které se nachází ve světlotech (velmi záleží na konkrétním typu světlotetu). Mezi díly, ze kterých se modul skládá a které podléhají modulární architektuře, je možné v současnosti zařadit:

1. Spojovací materiál
  - Šrouby, c-pera, lepidla, termální pasty
2. Elektronické součásti
  - Tištěný spoj (PCBA) a veškeré součástky na něm osazené
  - Krokové motorky
  - Ventilátory
3. Chladiče
  - V některých modulech se již využívají standardizované nýtované plechové chladiče

### 3.3 SPECIFICKÉ DÍLY

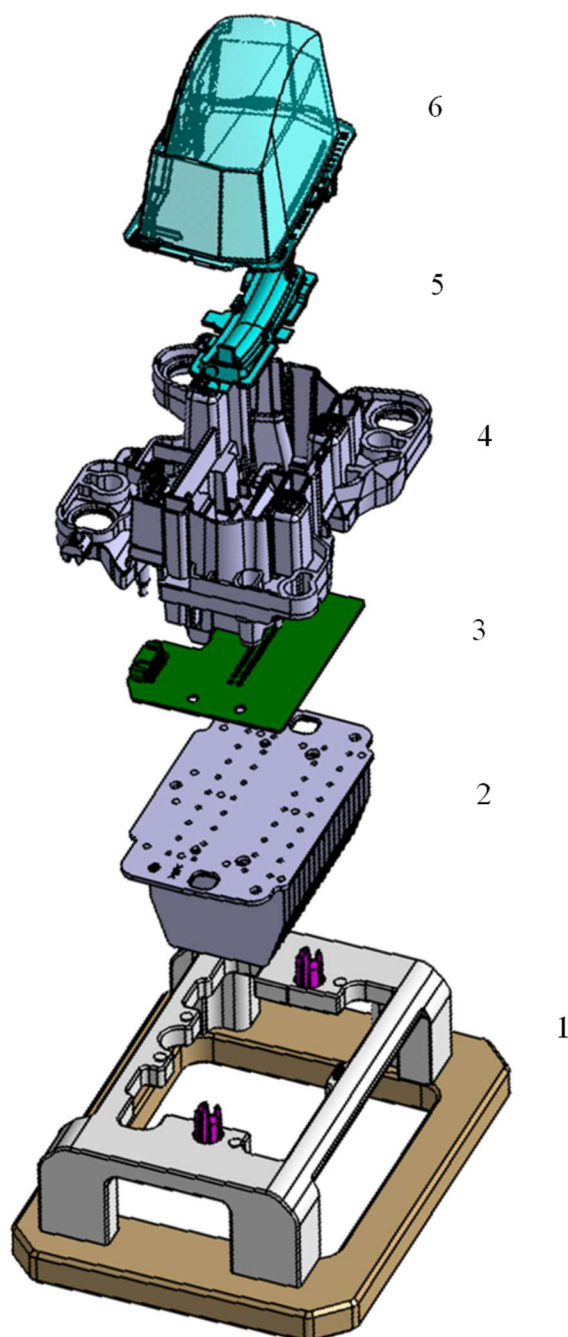
Pod pojmem specifické díly je možné si představit veškeré díly, které jsou pro každý jeden projekt (světlo) vyvíjeny zvlášť. Tyto díly již nenaleznou uplatnění v dalších projektech. Mezi hlavní představitele této skupiny dílů se řadí především dekorativní a designové prvky z důvodu, že požadavky zákazníka na vizáž světlotetu se neopakují. Tuto skupinu dílů dále rozšiřují komponenty jako rámečky, kabeláž. Dále sem patří komponenty jako rámečky, čočky, některé chladiče, krycí skla, pouzdra a kabeláž znázorněna na *Obr. 25*.



*Obr. 25 Hlavní rozvodná a řídicí kabeláž*

## 4 MONTÁŽNÍ POSTUP

Obr. 26 popisuje schématický návrh montážního postupu levého (z pohledu řidiče) modulu typu Bi-Matrix. Cílem vhodně optimalizované manuální montáže je tzv. sendvičové skládání dílů. Jedná se o princip, kdy je do paletky založen chladič a na něj se postupně vystaví celý modul. Výhodou této metody je, že modul nelze složit bez správného založení předchozího dílu, což přispívá k eliminaci zmetkovitosti výroby.



Obr. 26 Schématické znázornění montáže Bi-Matrix modulu

### POZICE 1 - PALETKA

Paletka je základní transportní prvek, který slouží pro uchycení a transport modulu na montážní lince po jednotlivých pracovištích pomocí dopravníku. Nejčastěji bývá vyrobena z hliníku. Předpokládaný počet paletek na jedné výrobní lince je 20 kusů.

### POZICE 2 - CHLADIČ S ŽEBRY

Podrobnému popisu chladičů se věnuje kapitola Chladiče na straně 16. Sestava chladiče s žebry je první zakládaný prvek v paletce, u kterého je kladen požadavek na přesnost založení a na možnou modularitu (změna počtu žeber v závislosti na tepelném výkonu LED čipů nebo změna základní destičky chladiče při zachování polohy fixačních bodů).

### POZICE 3 – PLOŠNÝ SPOJ

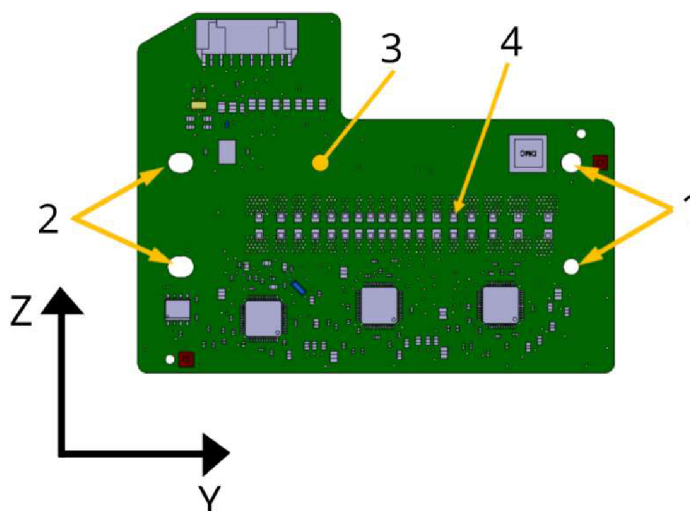
Před montáží plošného spoje k chladiči je nutné nanést vrstvu tepelné pasty (tzv. TIM – thermal interface material) pro lepší přenos odpadního tepla mezi PCBA a chladičem. Tato pasta může sloužit zároveň jako lepidlo.

Následně je na základní destičku chladiče přiloženo PCBA a vycentrováno pomocí pinů z montážního přípravku. V závislosti na použité technologii je PCBA přišroubováno, přilepeno nebo přinýtováno k chladiči.

Toleranční hodnoty úzce souvisí s druhem modulu. V případě, že se jedná o jednoduchou reflektorovou technologii svícení, tak se hodnoty usazení plošného spoje a chladiče pohybují v rozmezí od 0,1 – 0,2 mm. Hodnoty tolerancí u modulu Tri-Matrix uvádí *Tab. 3* a *Obr. 27*.

*Tab. 3 Hodnoty tolerancí vybraných komponentů u modulu Tri-Matrix*

Název tolerovaného prvku	Tolerance	Číslo v Obr. 27
Středící díry v osách Y a Z	0,05	1
Středící díry v osách Z	0,05	2
Rovinnost PCBA	0,1	3
Tolerance tloušťky LED čipu	0,035	4
Tolerance tloušťky vrstvy teplovodivé pasty	0,025	-



Obr. 27 Tolerované prvky na plošném spoji

#### POZICE 4 - RÁMEČEK

Rámeček je druh komponentu, který je nosným prvkem ostatních částí modulu ve světlometu. Je na něj připevněn chladič, tištěný spoj, optické součásti modulu (držák primární optiky, primární optika, sluneční štít, čočka) a dekorativní prvky, jako je např. pohledový kryt čočky. Samotný rámeček je s pouzdem světlometu propojen pomocí krokových motůrků, které zajišťují horizontální a vertikální nastavení modulu vůči pouzdu světlometu (funkce natáčení modulů do zatáček apod.).

Materiál, z něhož se nejčastěji rámečky vyrábí, se nazývá PBT (polybutylen-tereftalát) s příměsí skleněných vláken. Skleněná vlákna se do plastů přidávají z důvodu zvýšení pevnosti, teplotní odolnosti a jako zpomalovač hoření v případě požáru. Označení materiálu poté vypadá např. takto: PBT+GF30 – polybuten-tereftalát se 30 % skleněných vláken. Příklady materiálů, které obsahují skleněné vlákno jsou uvedeny v Tab. 4.

Tab. 4 Porovnání vlastností vybraných plastů obsahující skleněné vlákno.[11][12][13][16]

Druh materiálu	Výrobce granulátu	Pevnost v tlaku [MPa]	Pevnost v ohybu [MPa]
PBT+GF10	Dupont	10 000	140
PBT+GF20	DSM	9 750	145
PBT+GF30	Dupont	11 000	135
PA6T/XT-GF30	Dupont	10 000	190

## POZICE 5 - PRIMÁRNÍ OPTIKA

U technologie Matrix je potřeba použít primární optiku (sloužící místo reflektoru) pro správné trasování toku světla od jednotlivých LED čipů. Optiky jsou uloženy ve speciálním pouzdře, které při montáži zaručuje tvarovou stabilitu. Tato podsestava je následně šroubována/lepena do rámečku tak, aby tzv. prsty primární optiky končily 0,75-1 mm od LED čipů.

Primární optiky mohou být:

1. Silikonové – mají delší barevnou stálost než optiky z polykarbonátu (časem nežloutnou), disponují větší účinností – světelný paprsek neztrácí při průchodu optikou na intenzitě, avšak jejich výroba je technologicky mnohonásobně složitější a finančně dražší. Taktéž zaručit přesnou předmontáž silikonové optiky do speciálního pouzdra je náročnější, a to kvůli jejímu nestálému tvaru v nezafixovaném stavu.
2. Polykarbonátové – pro výrobu optik z PC se nejčastěji používá materiál PMMA (polymethylmethakrylát). Velkou výhodou jsou nižší pořizovací náklady granulátu společně s možností rychlejšího lisování, což se pozitivně projevuje v nižší výsledné ceně produktu. Stálost materiálu při působení teploty je do 70 °C, poté dochází k jeho plastifikaci. Pro aplikace, kde se dosahuje vyšších hodnot, je vhodné použít materiál PMMI, který je tepelně stálý až do teploty 150 °C.

## POZICE 6 - ČOČKA

Čočka bývá zpravidla upevněna do držáku čočky (tzv. lensholder), popř. přímo do rámečku. O fixaci čočky se starají tzv. C-pera, která se nasadí do drážky na čočce, a následně jsou nacvaknutá do protikusu. Další způsob fixace čočky je pomocí pružné geometrie držáku čočky, kdy se čočka nacvakne do držáku bez použití dalšího spojovacího materiálu.

Čočky obstarávají homogenitu vystupujícího světla a odstraňují ostré hranice, z tohoto důvodu je možné na povrchu čočky vidět jemnou čtvercovou strukturu viz *Obr. 28*.



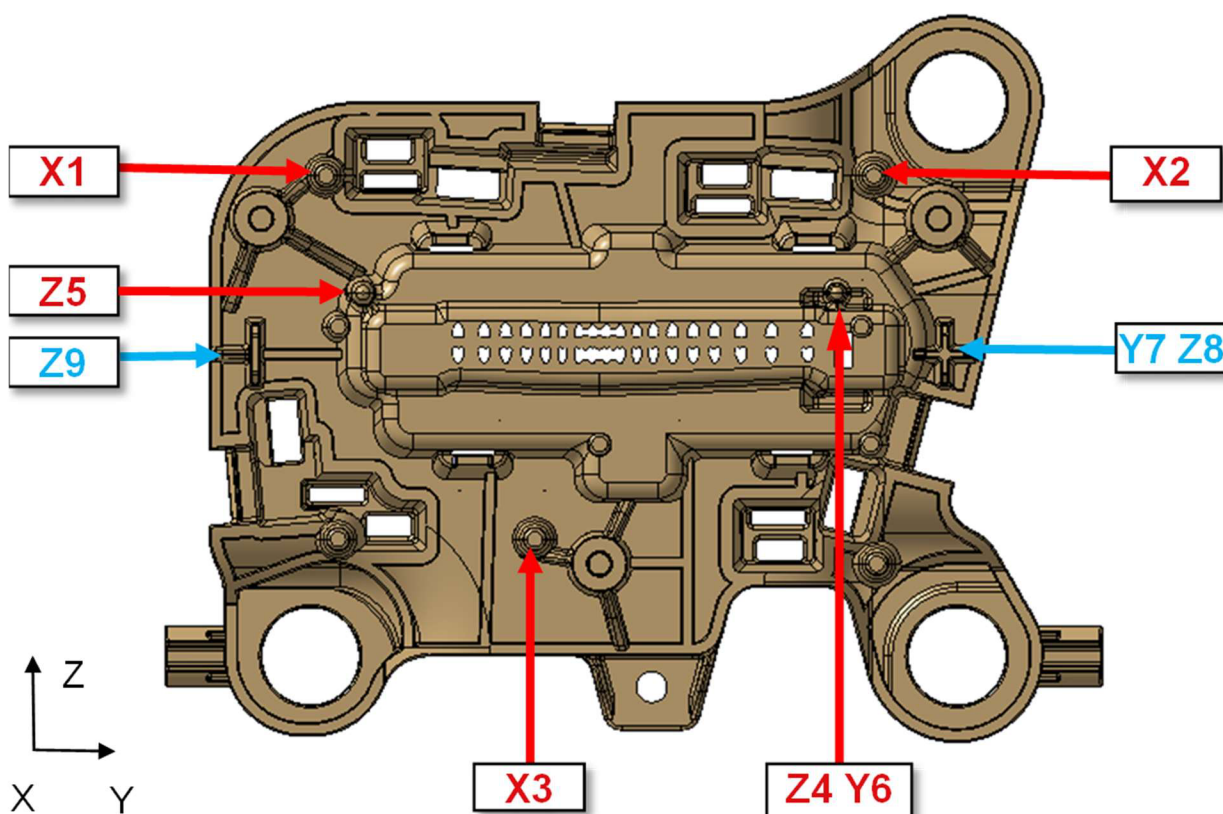
*Obr. 28 Mikrostruktura na čočce*



## 5 KONCEPT FIXAČNÍCH BODŮ

Při výrobě jednotlivých dílů (především takových, u kterých hraje výrobní/montážní přesnost důležitou roli pro správné plnění své funkce) se využívá pro kontrolu rozměrových přesností metoda RPS (Reference point system). Tato metoda spočívá v naskenování rozměrů výrobku a následném porovnání v softwaru s daty teoretickými.

Na *Obr. 29* jsou zaznačeny referenční body na nosném rámečku modulu určeného pro automobil Škoda Kodiaq. Tyto body jsou použity pro správné uchycení a vycentrování rámečku do montážního přípravku (červené značení), nebo určují správnou polohu dalších montovaných komponent (modré značení).



*Obr. 29 RPS body*

*X1, X2, X3 – RPS body pro kalibraci při montáži vůči PCBA v ose X*

*Z4, Z5 – RPS body pro kalibraci při montáži vůči PCBA v ose Z*

*Y6 – RPS bod pro kalibraci při montáži vůči PCBA v ose Y*

*Y7 – RPS bod pro kalibraci při montáži vůči paletce v ose Y*

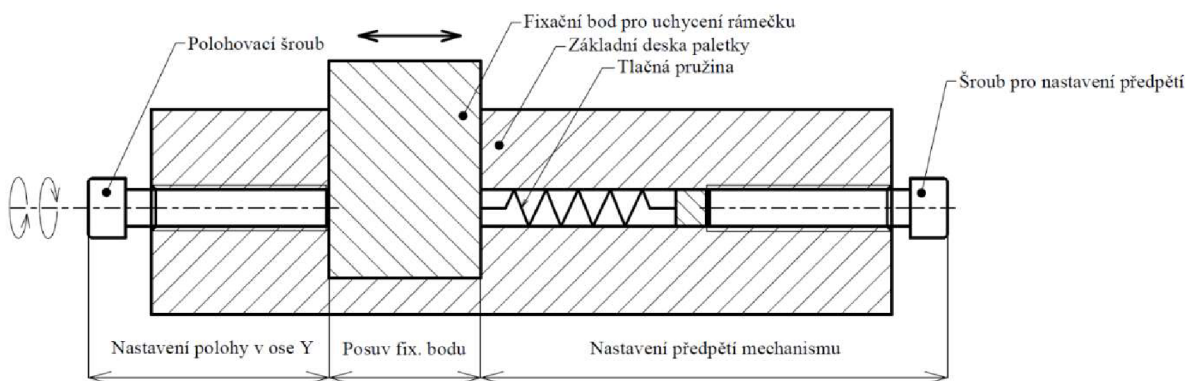
*Z8, Z9 – RPS body pro kalibraci při montáži vůči paletce v ose Z*

## 5.1 ZPŮSOBY NASTAVOVÁNÍ FIXAČNÍCH PINŮ

### 5.1.1 MECHANICKÉ

Mechanické nastavování polohy fixačních pinů je výhodné v relativně jednoduchém konstrukčním řešení, kdy poloha je nastavována pomocí polohovacího šroubu. Ten zajišťuje pohyb v ose Y. Pro zajištění samosvornosti šroubu a vymezení vůle závitů je do základní desky paletky vložena tlačná pružina, která působí silou  $F$  proti směru posuvu v ose Y. Pro přesné nastavení a kontrolu polohy fix. pinů by bylo nezbytné použít optickou kontrolu na nastavovacím stanovišti.

Samotný nastavovací mechanismus, tj. polohovací šroub, drážky pro posuv fixačního pinu, fixační pin, šroub pro nastavení předpětí, by bylo nutné zabezpečit před usazováním nečistot jako např. prachu, otřepů z jednotlivých plastových částí, které se mohou při montáži uvolnit, nebo šroubů, u nichž došlo k uvolnění ze šroubovacího zařízení viz schématický *Obr. 30*.



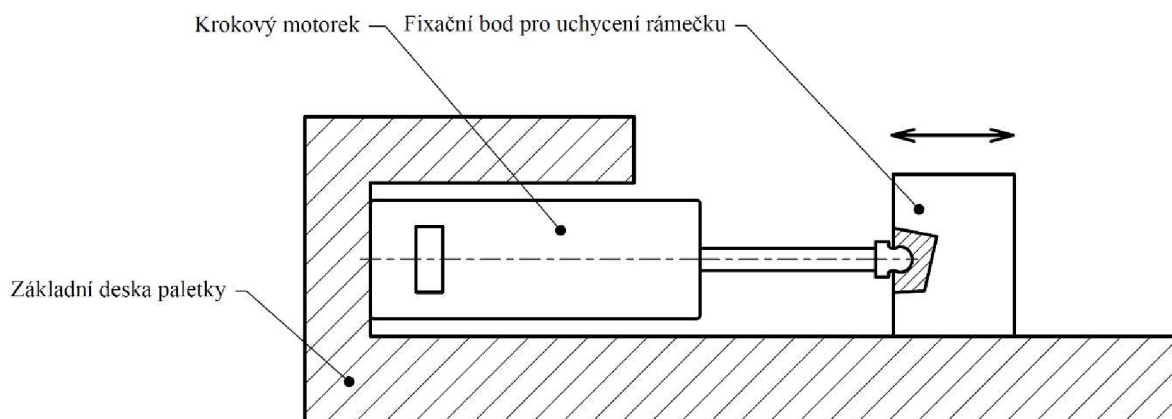
*Obr. 30 Schéma mechanické nastavování polohy fixačních pinů*



### 5.1.2 ELEKTRICKÉ

Pro elektrické nastavování fixačních pinů by bylo možné využít podobný princip, který je používán pro adaptivní nastavování polohy modulů vůči ose automobilu. Tedy pro pohyb v ose Y využít krokového motorku používaného ve světlometech. Výhoda používaných krokových motorků je samosvornost zařízení.

Základem pro nastavení pinů by byl krokový motorek, který by nastavoval polohu fixačního bodu viz schématický *Obr. 31*.

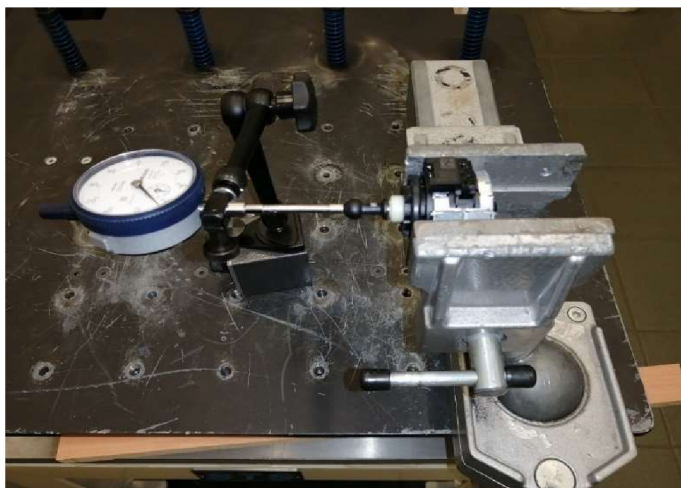


*Obr. 31 Schéma elektrického nastavování fixačních pinů*

Pro zjištění výrobních nepřesností u krokového motorku od výrobce Minebea s označením PL35L-A24-MAC3 bylo provedeno měření na 20 náhodně vybraných vzorcích. Měřila se axiální a radiální vůle na nastavovací hřídeli motorku. Tyto vůle bylo potřeba zjistit, aby se dala potvrdit nebo vyvrátit možnost použití nastavovacích motorků. Měřené vůle mají za následek nepřesně nastavenou polohu nebo nechtěný pohyb fixačního pinu. Způsob měření znázorňuje *Obr. 32* a *Obr. 33*. Při měření byly zjištěny následující hodnoty viz *Tab. 5* a *Tab. 6*.

Tab. 5 Naměřená axiální vůle na krokovém motorku

Číslo vzorku	Axiální vůle LWR [mm]	Jednotky
1	0,02	mm
2	0,02	mm
3	0,01	mm
4	0,02	mm
5	0,01	mm
6	0,01	mm
7	0,02	mm
8	0,01	mm
9	0,01	mm
10	0,01	mm
11	0,01	mm
12	0,02	mm
13	0,01	mm
14	0,02	mm
15	0,02	mm
16	0,01	mm
17	0,02	mm
18	0,01	mm
19	0,02	mm
20	0,01	mm
Průměrná odchylka	0,0145	mm



Obr. 32 Měření axiální vůle u krokového motorku

Z naměřených hodnot pro axiální vůli bylo zjištěno, že průměrná odchylka axiální vůle odpovídá hodnotě 0,0145 mm. Tato hodnota splňuje požadavky na toleranční řetězec. [1]

Tab. 6 Naměřené hodnoty radiální vůle na krokovém motorku

Číslo vzorku	Radiální vůle LWR	Jednotky
1	0,19	mm
2	0,18	mm
3	0,18	mm
4	0,18	mm
5	0,19	mm
6	0,18	mm
7	0,18	mm
8	0,18	mm
9	0,19	mm
10	0,18	mm
11	0,19	mm
12	0,18	mm
13	0,18	mm
14	0,18	mm
15	0,17	mm
16	0,17	mm
17	0,19	mm
18	0,19	mm
19	0,18	mm
20	0,19	mm
Průměrná odchylka	0,1825	mm



Obr. 33 Měření radiální vůle krokového motorku

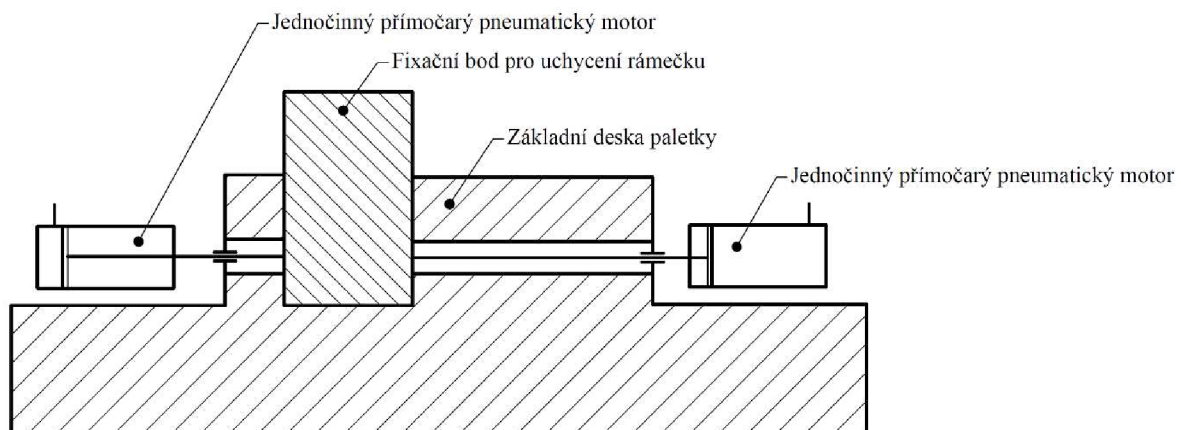
Hodnoty uvedené v Tab. 6 přesahují maximální povolenou odchylku danou tolerančním řetězcem. Z tohoto důvodu nebude nastavování pomocí krok. motorků uvažováno.

### 5.1.3 PNEUMATICKÉ

Pneumatické nastavování fixačních pinů je možné realizovat pro pohyb v jedné ose pomocí dvou jednočinných přímočarých pneumatických motorů, popř. pomocí jednoho kusu dvojčinného přímočarého pneumatického motoru s možností aretace požadované polohy. Fixací polohy je myšleno, že pokud paletka opustí výchozí nastavovací stanici a bude tedy odpojena od zdroje stlačeného vzduchu, může dojít k následnému pohybu fix. pinu (např. vlivem netěsnosti pneumatického systému nebo vlivem zatížení).

U nastavování pomocí pneumatického systému se vyskytuje problém ve formě ztrát tlaku v systému, a tudíž potřeba opakovaně napojovat paletky ke zdroji stlačeného vzduchu. Tento spoj a těsnění by musely vydržet opakování cyklů v miliónových řádech.

Taktéž z finančního pohledu je využití stlačeného média výrazně dražší. Je třeba počítat s náklady v podobě nákupu, provozu a údržby samotného kompresoru, úpravy (filtrování, odvlhčení, regulování tlaku) a rozvodu stlačeného média od kompresorovny až k požadovanému místu, které může být i stovky metrů vzdálené. Při porovnání s nastavením pomocí elektronických prvků, které je potřeba pouze připojit ke zdroji elektrické energie, se jeví pneumatické nastavování jako drahý způsob.



Obr. 34 Schéma pneumatického nastavování fixačních pinů

#### 5.1.4 KOMBINOVANÉ NASTAVOVÁNÍ

Ve výše zmíněných případech je uvažováno použití pouze jednoho konkrétního způsobu, jak polohu fixačních pinů na paletce nastavit. S tím je spojena problematika týkající se spolehlivého konstrukčního řešení, které musí ve výsledné kalkulaci vyjít ekonomicky výhodně.

Nejvhodnějším řešením nastavení polohy fixačních pinů je kombinace vícero jednotlivých způsobů. Např. využít mechanického nastavování pro pohyb v ose Y a ose Z. Následně pro pohyb v ose X využít elektrických krokových motorků či jiných variant.

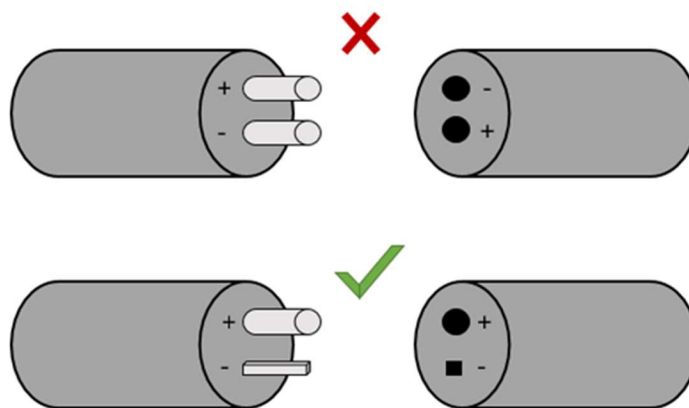
Taktéž se nabízí možnost využít pro nastavení fixačních pinů robota. Tato varianta má sice vyšší vstupní náklady, ale u velkosériových linek je vyvíjen tlak především na výslednou cenu výrobku. Tato vyšší počáteční investice by se rozpočítala mezi velké množství kusů a ve výsledku by pomohla snížit cenu výrobku. Z tohoto důvodu bude navrhované pracoviště plně automatizované.

## 6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Pro konstrukci paletky a výchozího nastavovacího pracoviště je snaha využívat co největší možné množství standardizovaných a sériově vyráběných dílů (stavebnicové systémy) např. konstrukční hliníkové profily s drážkou (3030, 4040) a k tomu určený spojovací materiál (úhelníky, šrouby a tzv. kameny), indukční přibližovací čidla, standardně prodávané pneumatické prvky, upínky, krokové motorky, kontrolní kamery apod.

Také je kladen důraz na co nejmenší hmotnost a rozměry paletky z důvodu redukce potřebného výkonu při pohybu na dopravníku a taktéž kvůli snazší manipulaci operátorem při zavádění paletek do výrobní linky. Menší rozměry představují finanční úsporu v podobě potřeby menšího prostoru pro skladování paletek.

Výraznou roli hraje také pořizovací cena paletky a její jednoduchost (důraz kladen na metodu KISS – keep it simple and success neboli snaha zachovat paletku jednoduchou a funkční). Při aplikování paletek do procesu, který není plně automatizovaný, se může snadno vyskytnout chyba v podobě zakládání dílů. Proto je zde vhodné zavést princip Poka Yoke. Tedy způsob, jak eliminovat možné chyby při montáži viz



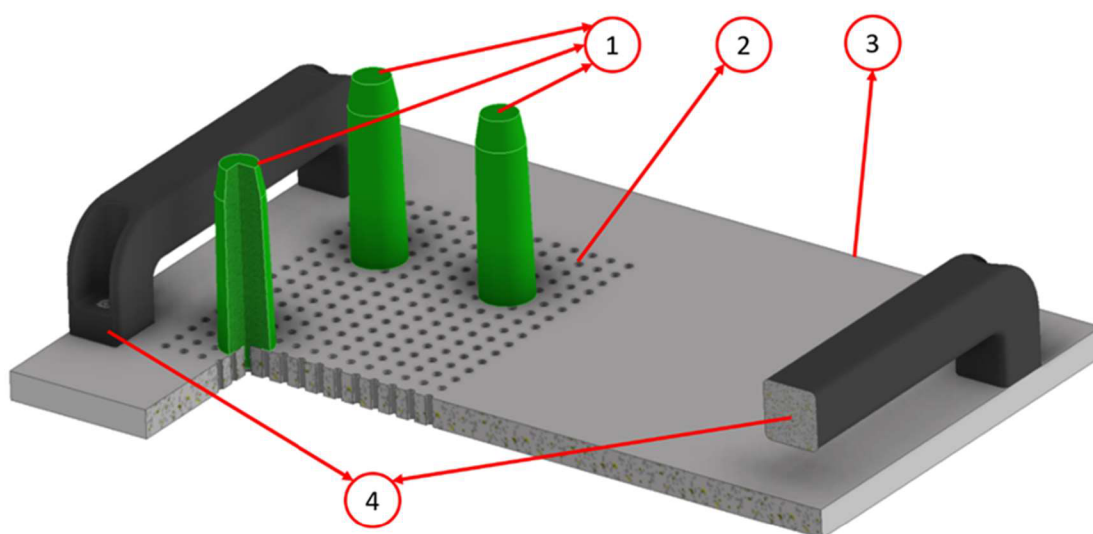
Obr. 35 Příklad principu POKA YOKE 70[14]

## 6.1 UPEVNĚNÍ RÁMEČKU

Při konstrukci paletky byla snaha o dodržování metody KISS. Způsob nastavování fixačních pinů pro rámeček vychází z jednoduchého konstrukčního řešení v podobě desky paletky, která má předem definovanou matici RPS bodů, tzn. míst, kam lze fixační body umístit. Celkem je v paletce umístěno 320 děr 16 x 20.

*Obr. 36* znázorňuje:

1. nastavovací fixační piny, na které je umístěn rámeček modulu
2. ekvivalent RPS bodů rámečku v podobě děr na paletce, ve kterých je vložena závitová vložka z tvrdokovu z důvodu cyklického používání závitu. Pokud by byl závit udělán přímo do hliníkové desky, hrozilo by, že při častém používání závitu vlivem fyzikálních vlastností použitého materiálu (hliníku) by mohlo dojít ke vzniku vůlí nebo možného poškození závitu a k potřebě vyrobít novou paletku.
3. základní deska paletky o rozměrech 270 x 200 x 7 mm
4. plastová madla pro snazší manipulaci s paletkou



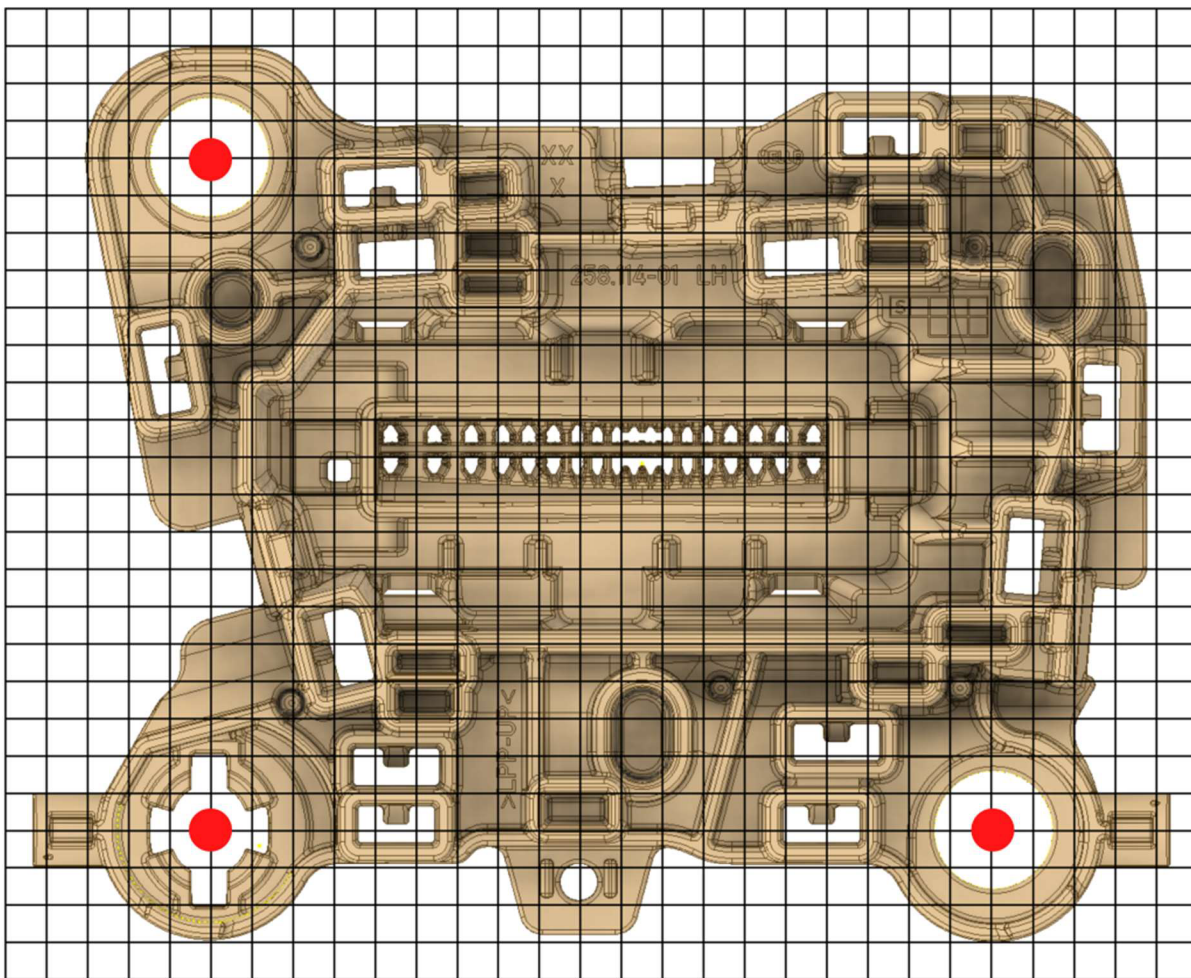
*Obr. 36* Částečný řez paletkou s RPS body



Maticový mechanismus zajišťuje nastavitelnost polohy v osách X a Y. Pro nastavení vhodné výšky fixačních bodů (osa Z) je využito rozdílné délky fixačních pinů.

Tento způsob nastavování polohy fixačních pinů pro rámeček nalezne využití ve stávajících projektech, ale i při plánování budoucích projektů, kdy konstrukční oddělení na začátku vývoje modulu dostane předem definovanou matici RPS bodů, kterou může neomezeně použít, aniž by docházelo ke konstrukčním změnám již využívané paletky. Jediná úprava, ke které dochází ve výrobním procesu, je nastavení fixačních pinů do správné pozice pomocí robota.

Pro vhodnou konstrukci je nezbytné mít na výběr z mnoha bodů viz *Obr. 37*.



*Obr. 37 Matice RPS bodů aplikovaná na rámeček modulu*



Pro plnou automatizaci je nezbytné umístit na nastavovací pracoviště robota, který bude schopen během taktu 10 vteřin vyměnit původní fixační body za body jiné, v závislosti na typu montovaného modulu. Nejvhodnější typem pro tento účel je tzv. karteziánský robot, kdy na konec ramena je nasazen dvouprstý rotační efektor viz *Obr. 38*.

Použití robota přináší další výhodu v podobě usazování jednotlivých fixačních bodů na správná místa v matici s vysokou rychlostí a přesností. V případě, že by tuto operaci prováděl operátor nebo seřizovač, mohlo by dojít k chybnému usazení bodů do matice a následnému pozastavení výrobního procesu. [15]



*Obr. 38 Karteziánský kloubový robot s rotačním efektozem [17]*

### 6.1.1 KONSTRUKCE FIXAČNÍHO PINU

Z důvodu automatizace bylo taktéž potřeba upravit geometrii fixačních pinů. Ta spočívala ve vytvoření vhodné geometrie pro snadné a spolehlivé uchopení. Vytvořená geometrie zajistí, aby při šroubování nedocházelo např. k prokluzu mezi fix. pinem a efektořem.

Fixační pin se skládá z celkem dvou částí, a to:

#### TĚLO FIXAČNÍHO PINU

Je mezikus mezi hrotem z ořezvzdorného materiálu a paletkou. Jeho geometrie je upravená pro automatizované nasazování do paletky. Pro uchopení efektořem slouží modře zvýrazněná plocha nacházející se na obou stranách těla. Tato plocha zajišťuje, že při montáži nedojde např. k prokluzu mezi efektořem a fixačním bodem.

V horní části se nachází závit pro upevnění hrotu.

V dolní části fix. pinu se nachází závrtný šroub. Ten zajišťuje, že i při velmi častém šroubování nedojde k výraznému opotřebení závrtu a vzniku nežádoucích vůlí. Tento jev by mohl nastat v případě, že by závrt byly vyřezány přímo do hliníku. Podobný princip je využit i v základní desce paletky, jen je využita samořezná závrtová vložka do hliníku. Při šroubování tedy dochází ke styku pouze legované oceli, nikoliv však hliníku.

V případě, že by i tak došlo k opotřebení spojovacích součástí, není potřeba vyrábět zcela nové tělo, stačí jen vyměnit opotřebované díly. *Obr. 39* znázorňuje 3D model těla fixačního pinu.



*Obr. 39 Konstrukce fixačního bodu*

### OTĚRUVZDORNÝ HROT FIXAČNÍHO PINU

Pro zaručení správného fungování montážní linky i po smontování velkého množství modulů je potřeba věnovat pozornost i vhodnému výběru materiálu, který je odolný proti otěru. Jeden z nejvíce namáhaných prvků na otěr jsou hroty u fixačních pinů. Ty jsou ve styku s rámečky právě v místech, kde se nachází dělicí rovina vstřikovací formy. To má za následek kontakt s možnými otřepy. Navíc v kombinaci s nejvíce využívaným materiálem na rámečky PBT-GF10/20/30 působí skleněné vlákno obsažené v materiálu jako abrazivo.

Při hledání vhodného materiálu je nutné vycházet z materiálů, které jsou ve společnosti Hella s.r.o. schváleny a povoleny pro použití ve výrobě.

Pokud se vychází z předpokladu, že na každou paletku budou použity 3 kusy hrotů, na lince se nachází 21 paletek, montážní linka je navržena na montáž 5 druhů modulů, jedná se tedy celkem o výrobu 315 kusů hrotů znázorněných na *Obr. 40*.



*Obr. 40 Otěruvzdorný hrot*

## 6.1.2 NÁVRH MATERIÁLU HROTU

### KOMPOZITNÍ MATERIÁLY HROTU

Při výběru z kompozitních materiálů je možnost volit z velkého množství druhů materiálů. Jako jeden z nejvhodnějších materiálů se jeví aramidové vlákno neboli kevlar. Ten byl v minulosti použit při montáži světlometů jako vanička (přípravek pro uchycení krycího skla).

Kevlarové vlákno se mimo jiné vyznačuje také velkou otěruvzdorností, která je v této aplikaci požadována. Velikou výhodou je taktéž možnost vytvořit polymery s příměsí kevlarového vlákna, avšak výrobní náklady pro vytvoření malosériové výroby by byly v porovnání s ostatními materiály řádově vyšší. [22]

### KERAMICKÉ A SKLENĚNÉ MATERIÁLY

Keramika nebo sklo se pro výrobu hrotů z hlediska odolnosti proti opotřebení jeví jako vhodný materiál, avšak se zde vyskytuje problém v podobě křehkosti. Ta by s sebou nesla riziko, že např. při manipulaci s paletkami mimo linku nebo při skladování by mohlo dojít k poškození daného dílu a k následné potřebě opravy. Z tohoto důvodu nebudou keramické a skleněné materiály uvažovány. Taktéž proces výroby je složitější a s tím je spojená i vyšší cena komponentů.

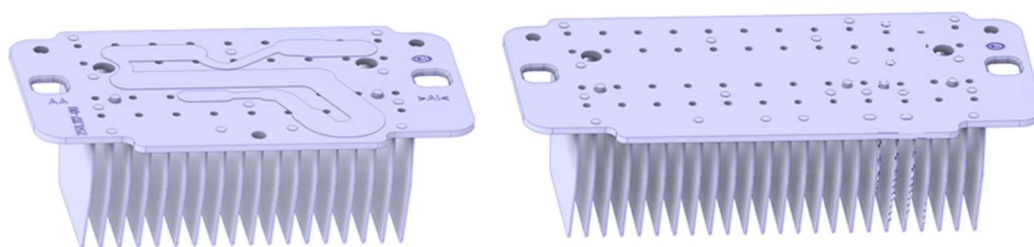
### ŽELEZNÉ MATERIÁLY

Železné materiály jsou pro výrobu hrotů nejvhodnější. Oproti výše zmíněným zástupcům disponuje výhodou, že není potřeba vytvářet např. vstříkovací formy, ale díky svému jednoduchému tvaru lze obrobit i na základním obráběcím stroji (např. soustruh). Tento faktor výrazně snižuje výrobní náklady, jelikož společnost Hella s.r.o. má tyto stroje k dispozici a může si tyto díly interně vyrobit.

Pro výrobu je zvolena manganová ocel s označením ČSN 41 3180 (13 180), která vyniká svojí schopností odolávat otěru a zároveň je velmi dobře obrobitelná za studena.

## 6.2 UPNUTÍ CHLADIČE

Pro chlazení modulů typu Matrix je ve společnosti Hella s.r.o. využíváno pouze nýtovaných chladičů, což přináší výrazné zjednodušení, jak daný chladič modulárně upevnit. Tyto chladiče se vyznačují stejnými základními destičkami. Jediné rozdíly jsou v délce chladičů, počtu a velikosti žeber (viz). To znamená, že pro univerzální uchycení je třeba vyřešit možnost nastavit polohu fixačních prvků v ose Y a zabezpečit, aby nedošlo ke kolizi, pokud budou žebra nahrazena za větší (dostatečný prostor v ose X). Obr. 41 porovnává dva chladiče, které se liší svojí délkou a počtem žeber.



Obr. 41 Porovnání různých nýtovaných plechových chladičů pro Matrix technologii

Konstrukční řešení, jak upnout chladič do paletky je znázorněno na Obr. 42.

### Pozice 1 – elektrické upínky

Elektrické upínky zabezpečují stabilitu chladiče při montáži v ose Z (zabraňují vypadnutí chladiče z paletky). Uložení chladiče do požadované polohy je zajištěno pomocí středících pinů pevného uchycení chladiče (pozice 3).

### Pozice 2 – fotometrický senzor

Při nastavování vzájemné vzdálenosti pozice 3 a pozice 6 je využito fotometrického senzoru. Tato informace je předávána PLC, které je umístěné na nastavovacím pracovišti. PLC se stará o nastavení správné vzdálenosti mezi pevným a pohyblivým držákem chladiče.

### Pozice 3 – pevný držák chladiče

Tento komponent slouží pro uložení chladiče a jeho vystředění pomocí středících bodů. Držák díky své geometrii taktéž zamezuje pohybu v osách X a Y. Na držáku je přišroubována otočná upínka.

### Pozice 4 – lineární vedení

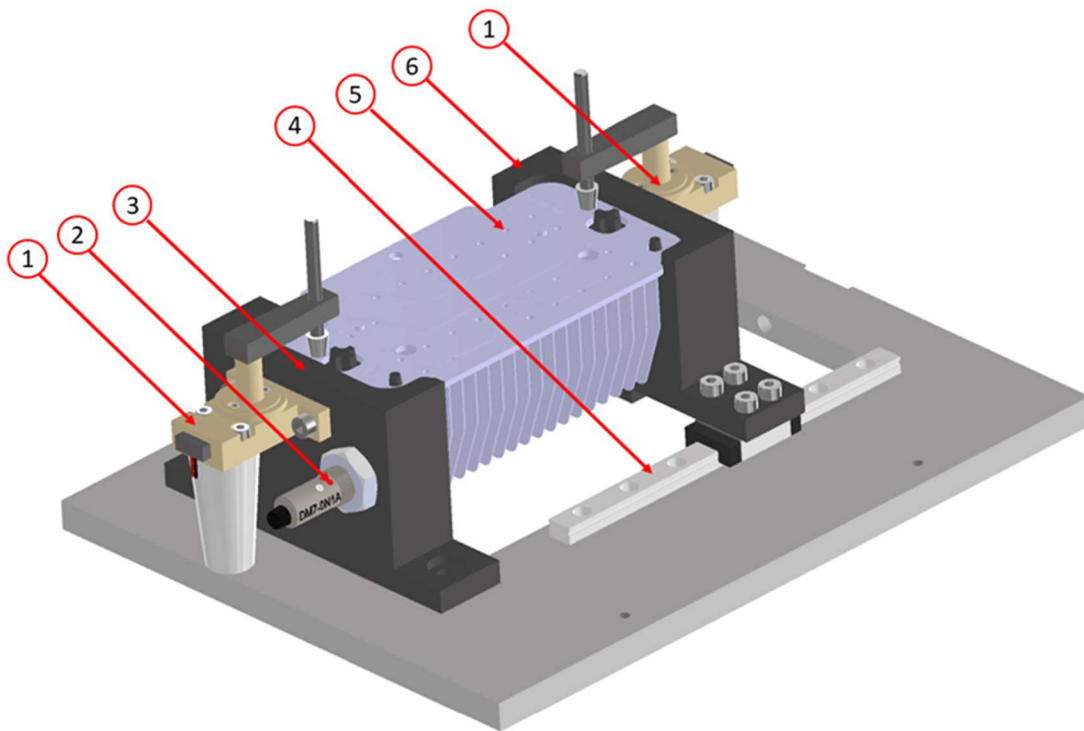
Lineární vedení umožňuje pohyb komponentu označeného pozicí 6 (pohyblivý držák chladiče) v ose Y za pomoci lineárního krokového motorku s nastavovacím šroubem.

### Pozice 5 – chladič

U chladiče se mění jeho délka v ose Y. Tyto varianty jsou ošetřeny možností nastavit různou délku. Dalším prvkem, který se na chladiči mění, je velikost a počet žebér. Kvůli velikosti žebra se nachází pod chladičem volný prostor. Počet žebér závisí na délce chladiče.

### Pozice 6 – pohyblivý držák chladiče

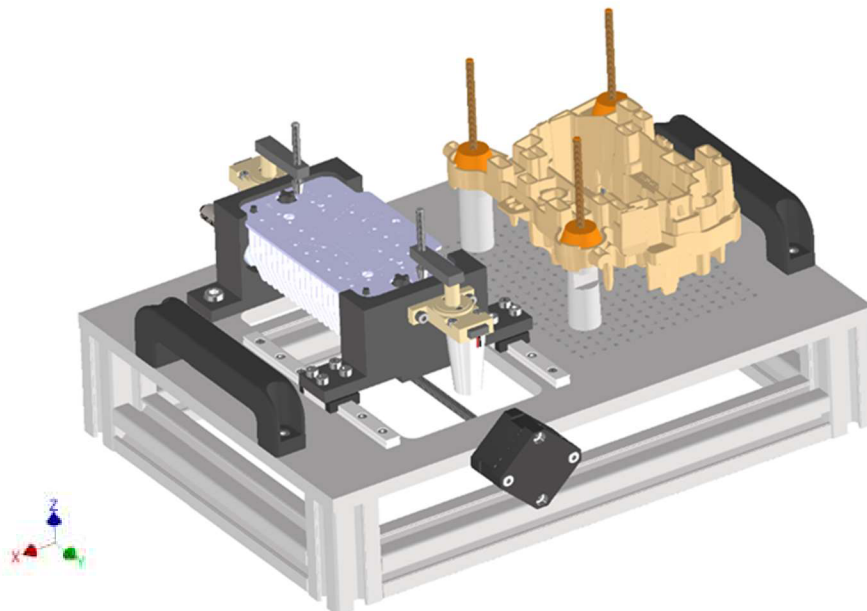
Pohyblivý držák chladiče umožňuje svým pohybem nastavit vzdálenost pro danou délku chladiče. Pohyb zajišťuje lineární krokový motor s nastavovacím šroubem.



Obr. 42 Upnutí chladiče do paletky

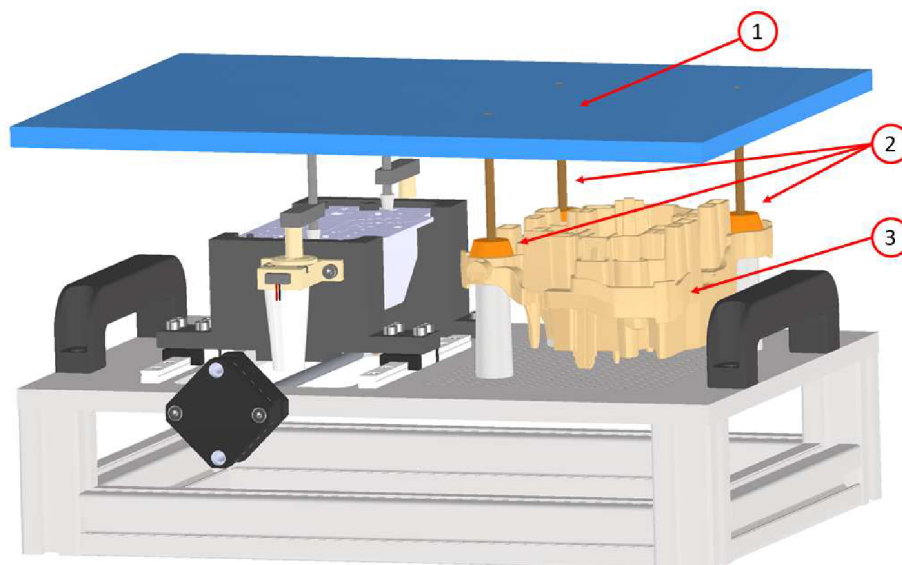
### 6.3 3D MODEL PALETKY

Obr. 43 znázorňuje hotový model paletky s upnutým rámečkem a chladičem. Konstrukčně je využito odlišného způsobu montáže, než je uvedeno na straně 29, a to tzv. paralelní metody montáže. Ta zkracuje takt linky a značným způsobem pomůže, aby takt linky dosáhl požadované hodnoty 10 sekund (mohou probíhat 2 operace zároveň na rámečku a na chladiči v jeden čas na jednom pracovišti



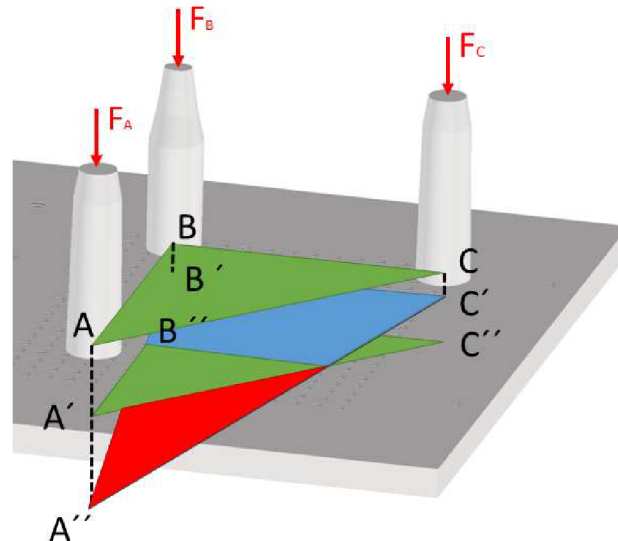
Obr. 43 Paletka s upnutým chladičem a rámečkem

Pozice č. 1 na Obr. 44 představuje schématický protikus paletky. Ten se pohybuje na vodících tyčích, linky v ose Z. Jsou na něm umístěny tzv. zacvakávací piny pro montáž jednotlivých dílů, senzory a piny pro upevnění rámečku ve správné pozici na paletce



Obr. 44 Fixace rámečku

Tyto piny (pozice č. 2) zajišťují správnou fixaci rámečku na každém pracovišti, kde jsou na rámeček montovány další komponenty (primární optika, sluneční štíty apod.). Vlivem zatížení jednotlivých fixačních pinů od upínek dochází k průhybu základní paletky a následnému posunu fix. pinů v osách X, Y a Z. To má za následek i posun bodů A, B, C (nezatížený stav) na body s označením A'', B'' a C'' (zatížený stav). Je důležité, aby nově vzniklá rovina (A'', B'', C'') ležela v tolerančním poli, které je vyhrazené rovinami A, B, C a A', B', C' viz Obr. 45.



Obr. 45 Schématické znázornění posuvu rovin  
 A, B, C – nezatížený stav – horní zelená rovina  
 A'', B'', C'' – zatížený stav – modro-červená rovina  
 prostor mezi rovinami A, B, C a A'', B'', C'' – zelené roviny – toleranční pole

Na Obr. 45 je nově vzniklá rovina znázorněna modrou a červenou barvou s označením A'', B'', C''. Modrá část roviny představuje tu část, jenž leží v tolerančním poli. Červená část nově vzniklé roviny nespadá do vymezeného tolerančního pole. Pro montáž Matrix modulů je tolerance vzdáleností dvou rovin  $t_{rov} = 0,05\text{mm}$ . Tato tolerance se odvíjí od tolerančního řetězce, který je navrhován při vývoji. [1]



Pro nastavení polohy fixačních prvků bylo využito lineárního krokového motoru od výrobce LDO Motors s parametry *Tab. 7* v kombinaci s lineárním vedením s vozíkem MGN9, které zajišťují vedení fix. prvků. Parametry uvedeny v *Tab. 7*.

*Tab. 7 Parametry lineárního krokového motoru*

Parametry lineárního krokového motoru		Jednotky
Průměr osy	6	mm
Proud	0,28	A
Napětí	7,56	V
Max. moment	0,18	Nm
Délka šroubu*	208	mm
Rozměry motoru	42x42x29	mm
Rychlost otáčení	45,5 - 50	s <sup>-1</sup>
Krok	1,8	° (200 kroků na 1 otáčku)
*Speciální úprava konce posuvného šroubu – bez závitu, aby bylo možné šroub uchytit do paletky (kluzného ložiska)		

Fixační prvky jsou připevněny na lineární vedení, aby nedocházelo k přímému dotyku mezi fix. prvky a základní destičkou palety. Podrobná specifikace je uvedena v *Tab. 8*.

*Tab. 8 Parametry lineárního vedení a vozíčku*

Parametry lineárního vedení		Parametry vozíčku	
Rozměry kolejnice	140x9x6 mm	Rozměry vozíčku	30x20x8 mm
Počet děr	7 ks	Materiál	ČSN 14 109 (ložisková ocel)
Materiál	ČSN 17 240 (nerezová ocel)	Výrobce	Hiwin
Výrobce	Hiwin		

Pro zajištění dílu při montáži byla nejprve uvažována mechanická upínka viz Obr. 47. Avšak pro plně automatizovanou linku je využití mechanicky ovládaných prvků nevhodné. Z tohoto důvodu byla pro upnutí chladiče zvolena elektrická otočná upínka od společnosti Presston s parametry viz *Tab. 9*. Na Obr. 46 je zobrazena elektrická upínka.



Obr. 47 Mechanická upínka fixující rámeček modulu



Obr. 46 Elektrická otočná upínka od společnosti Presston [27]

Tab. 9 Parametry elektrické upínky

Parametry upínky		Jednotky
Axiální tažná síla	1 – 3	kN
Max. upínací síla	2,7	kN
Upínací zdvih	25	mm
Upínací čas	0,5 – 3,5	s
Max. délka upínky	150	mm
Jmenovité napětí	24 V	V

## 6.4 NÁVRH KLUZNÉHO POUZDRA

Pro upevnění konce nastavovacího šroubu lineárního motoru je použito plastové pouzdro s označením GSM 0608-05 od výrobce VK ložiska. Oproti ložiskům valivým nebo kluzným disponují výrazně nižší cenou a parametry, které pro danou aplikaci bohatě dostačují. [28]

Vstupní parametry pro ověření životnosti jsou uvedeny v *Tab. 10*.

1. Doba provozu
  - Dimenzováno pro nastavování paletky 3krát za den (při každé změně směny dojde ke změně typu montovaného typu modulu)
  - Kalibrace rozměrů nastává 1krát za směnu
  - Celková doba provozu se spočítá dle rovnice (5)

$$3.10s + 3.10s = 60s/den \quad (5)$$

2. Požadovaná životnost
  - Minimálně 10 mil. cyklů
3. Rychlost otáčení
  - Dle typového listu krokového lineárního motorku max.  $50 \text{ s}^{-1}$
4. Maximální zatížení pouzdra
  - Pro daný rozměr 60 MPa

Tab. 10 Vstupní parametry pro výpočet trvanlivosti pouzdra [29][30][31]

Typ parametru	Hodnota	Jednotky
Vnitřní průměr	6	mm
Délka pouzdra	10	mm
Maximální okolní pracovní teplota	35	°C
Dovolené lineární opotřebení pouzdra	0,13	mm
Zatížení pouzdra statické	150	N
Obvodová rychlost čepu	0,015	ms <sup>-1</sup>
Součinitel opotřebení f <sub>1</sub>	52,8	mm <sup>3</sup> sN <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> 10 <sup>-4</sup>
Součinitel druhu pohybu f <sub>2</sub>	1,0	-
Součinitel teploty a nečistot f <sub>3</sub>	1,0	-
Maximální dovolené zatížení pouzdra P <sub>Dov</sub>	60	MPa
Maximální otáčky hřídele	50	s <sup>-1</sup>

## VÝPOČET

Výpočet maximální tlaku, který nastane na kluzné pouzdro vlivem zatížení od hřídele se spočítá dle rovnice (6)

$$P_{MAX} = \frac{4 * F}{\pi * d * l} = \frac{4 * 150}{\pi * 6 * 10} = 3,18 \text{ MPa} \quad (6)$$

Kde P<sub>MAX</sub> je maximální tlak, kterého se při zatížení kluzného pouzdra dosáhne. F je zatěžující síla, d odpovídá hodnotě průměru hřídele a l je délka kluzného pouzdra.

Dále musí platit podmínka uvedená v rovnici (7).

$$P_{MAX} \leq P_{DOV} \quad (7)$$

$$3,18 \text{ MPa} \leq 60 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje} \quad (8)$$

V rovnici (8) je potvrzena podmínka, že P<sub>MAX</sub> nikdy nedosáhne vyšší hodnoty než P<sub>Dov</sub>, neboli nedojde k zatížení kluzného pouzdra větším tlakem, než je tlak maximálně přípustný.

Rovnice č. (9) se zabývá výpočtem měrného zatížení pouzdra.

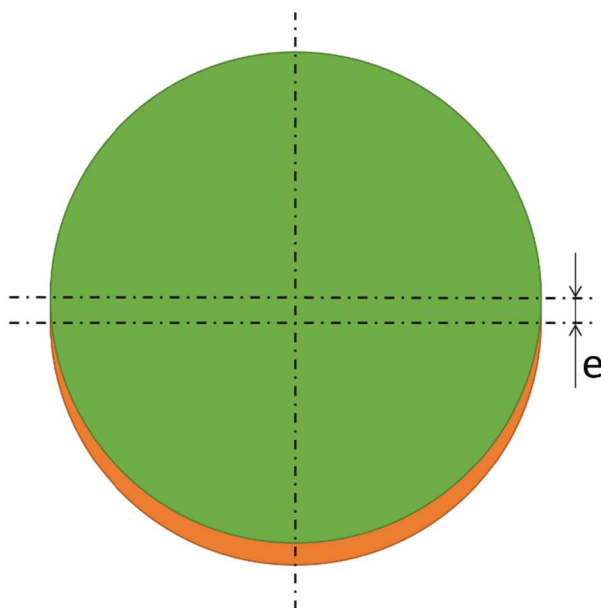
$$P_m = \frac{F}{d * l} = \frac{150}{6 * 10} = 2,5 \text{ MPa} \quad (9)$$

V rovnici (9) představuje  $P_m$  nominální tlak.

Rovnice (10) se věnuje výpočtu kluzné rychlosti, kde veličina  $n$  představuje otáčky hřídele a neznámá  $v$  je kluzná rychlost.

$$v = \frac{\pi * d * n}{6 * 10^4} = \frac{\pi * 6 * 50}{6 * 10^4} = 0,015 \text{ ms}^{-1} \quad (10)$$

*Obr. 48* znázorňuje schematicky opotřebenění kluzného pouzdra. Zelená barva představuje ideální stav, oranžová barva představuje již opotřebené kluzné pouzdro (opotřebenění pouze vlivem statické síly, tj. pouze v horizontálním směru). Toto opotřebenění má za následek vznik excentricity  $e$ . Maximální přípustná excentricita byla určena na hodnotu 0,2 mm.



*Obr. 48 Schéma excentricity*

Při délce pouzdra 10 mm vznikne obálka o objemu 1,18 mm<sup>3</sup>, tento objem představuje objemové opotřebení  $w$ , použité následně při výpočtu životnosti.

Výpočet životnosti pouzdra je uveden v rovnici (12). Rovnice (13) je vyjádření neznáme hodnoty  $t$  ze vztahu (12)

$$w = k * P_m * v * t \quad (12)$$

$$t = \frac{w}{k * P_m * v} \quad (13)$$

$$\frac{1,18}{9,6 * 10^{-4} * 2,5 * 0,015} = 327\,77,7 \text{ hod} \quad (14)$$

Při dosazení do rovnice (13) dostaneme vztah (14). Ve vztahu (12) představuje  $w$  objemové opotřebení a koeficient  $k$  konstantu úměrnosti. Neznámá  $t$  vyjde ve vztahu (14) v hodinách.

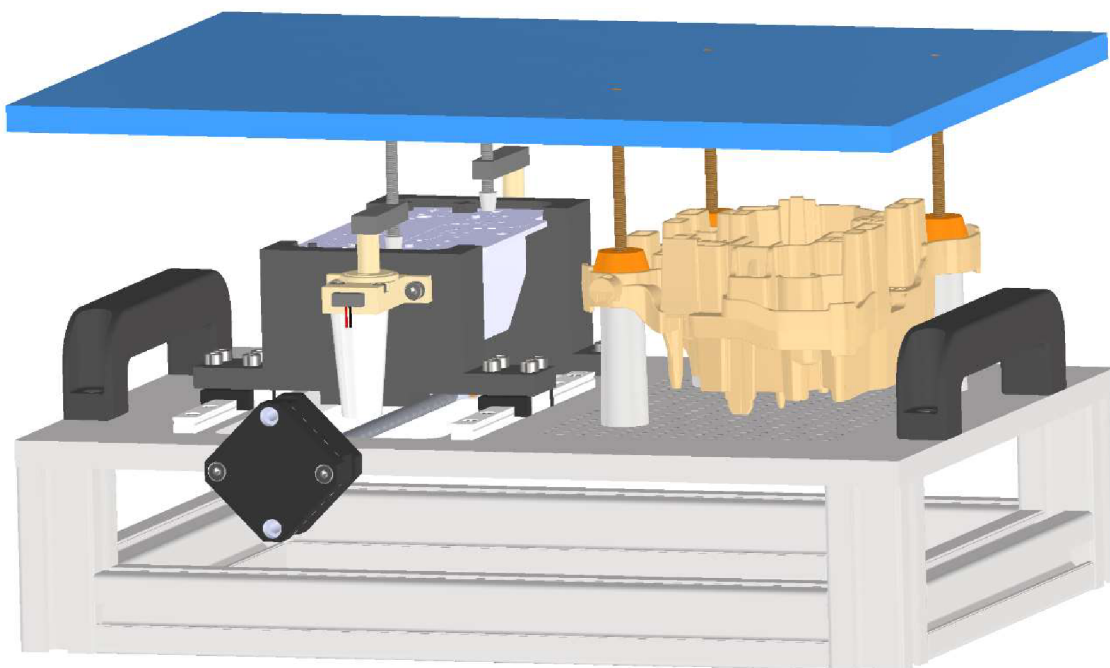
Z předchozích výpočtů vyplývá, že životnost kluzného pouzdra je 32 777,7 hodin. Tato hodnota by pro jinou aplikaci (např. nepřetržitý provoz) byla nedostačující. Avšak návrh byl proveden pro použití pouze 60 sekund za den, tedy životnost odpovídá 11,8 miliónů cyklů přenastavení, což je vzhledem k požadavkům dostačující.

## 7 OVĚŘENÍ DEFORMACE

Pro návrh tloušťky a ověření deformace paletky při zatížení bylo využito simulačního programu Apex Jaguar od společnosti MSC a objemové metody. V následujících odstavcích je uveden detailní postup, jak byla simulace prováděna.

### 7.1 POSTUP OVĚŘENÍ DEFORMACE

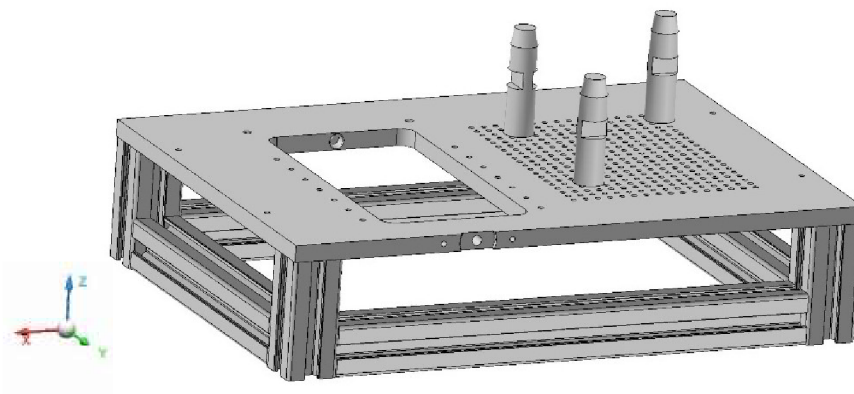
1. V prvním kroku byla vymodelována kompletní sestava paletky v programu Autodesk Inventor Professional 2022 viz *Obr. 49*. Modelace obsahovala i nakupované komponenty, jako jsou: elektrické upínky, pojezdové mechanismy, madla, spojovací materiál, krokový motorek apod. Horní modrá deska představuje protikus paletky, který se v závislosti na prováděné montážní akci mění na každém pracovišti.



*Obr. 49 Kompletní sestava paletky s chladičem a rámečkem*

2. Dále byla sestava naimportována do programu Apex (viz *Obr. 50*) a upravena pro výpočet. První část úpravy spočívala v odstranění komponentů, které nemají na výpočet vliv, popř. je vliv velmi malý až zanedbatelný (např. madla paletky, sestavy pro uchycení chladiče, šrouby, lineární pojezdy apod.).

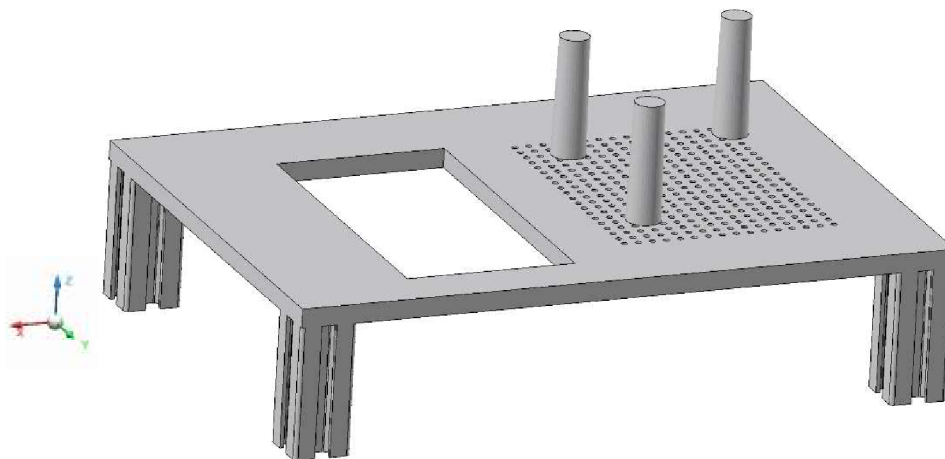




Obr. 50 Sestava po odstranění komponentů, které nemají vliv na výpočet

3. V následujícím kroku byla sestava zjednodušena pro výpočet, tedy odstraněny díry, zrušeno zaoblení a zkosení, upravena geometrie fixačních pinů apod. Výjimku ve zjednodušování tvoří pouze matice děr, která slouží pro upevnění fixačních pinů viz Obr. 51.

Tato matice děr představuje již výraznou změnu geometrie oproti teoreticky zjednodušenému modelu, kde by se tyto díry nenacházely. Z tohoto důvodu byla matice děr zachována pro výpočet. Taktéž byly jednotlivé díly sloučeny do jedné sestavy pomocí booleovské funkce.



Obr. 51 Sestava po zjednodušení geometrie

4. V dalším kroku bylo potřeba přiřadit použitý materiál, ze kterého jsou komponenty vytvořeny.

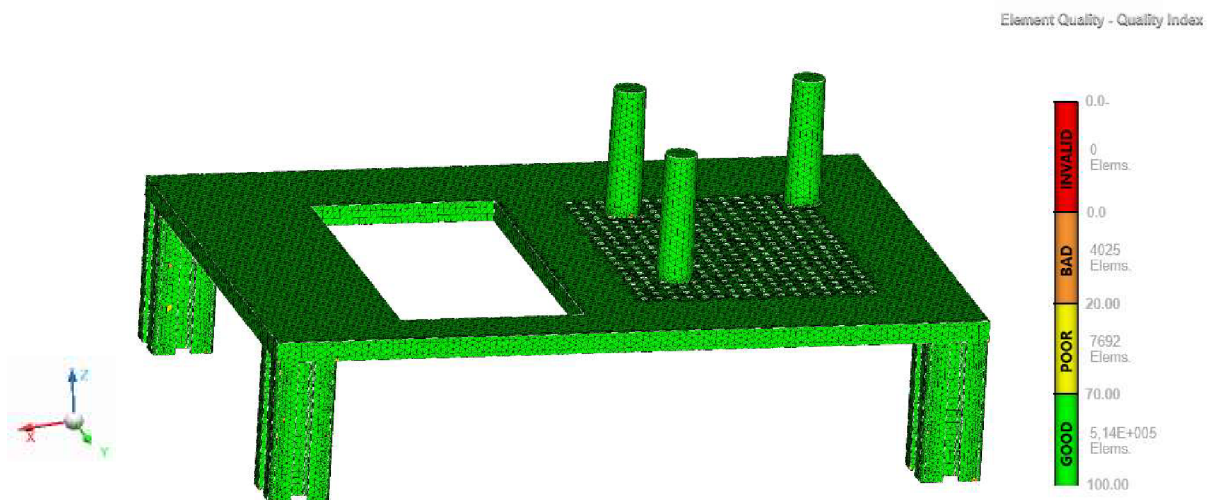
Pro profily od společnosti Alutec KK s.r.o. byl zvolen standardně používaný materiál slitiny hliníku (AlMgSi 0,5 F22) s označením EN AW-6060 T6 s povrchovou úpravou (vrstva eloxolu o tloušťce 15 mikronů). [32][33][34]

Pro základní desku paletky byl navržen materiál s označením EN AW-2011. Tato slitina je vhodná pro výrobu strojních dílů, je určena i k vysokorychlostnímu obrábění, při kterém tvoří krátkou třísku. Její značná výhoda je ve vysoké odolnosti proti únavě materiálu. [35]

Pro fixační piny je navržena slitina hliníku s označením EN AW-2007. Tato slitina má velmi podobné vlastnosti jako slitina EN AW-2011, avšak je tvrdší, což přináší výhodu v podobě otěruvzdornosti. [35]

Pro hrot, který je nasazen na fixačním pinu, byl určen materiál s označením ČSN 41 3180 (13 180). Manganová ocel díky své schopnosti otěruvzdornosti je vhodným materiálem pro toto použití. Taktéž její snadná obrobitelnost přispívá ke snížení nákladů.

5. Následně byla na celou sestavu aplikována síť. Jelikož je objekt počítán jako objemové těleso, byla využita 3D síť o velikosti prvku 5 mm. Po vygenerování sítě bylo nutné opravit neplatné prvky (invalid) pomocí funkce přemístění uzlů (node move) v kombinaci s funkcí přesunutí hrany/vrcholu (vertex/edge drag), jinak by nebylo možné v dalších krocích simulaci spustit. Celkem byla sestava rozdělena na 525 717 prvků viz *Obr. 52*.



*Obr. 52 Nasíťovaný model*

*Element kvality index – ukazatel kvality prvků*

*Invalid – neplatné prvky, počet neplatných prvků: 0*

*Bad – špatné prvky, počet špatných prvků 4025*

*Poor – ucházející prvky – počet ucházejících prvků 7692*

*Good – správné prvky, počet správných prvků 514 000*

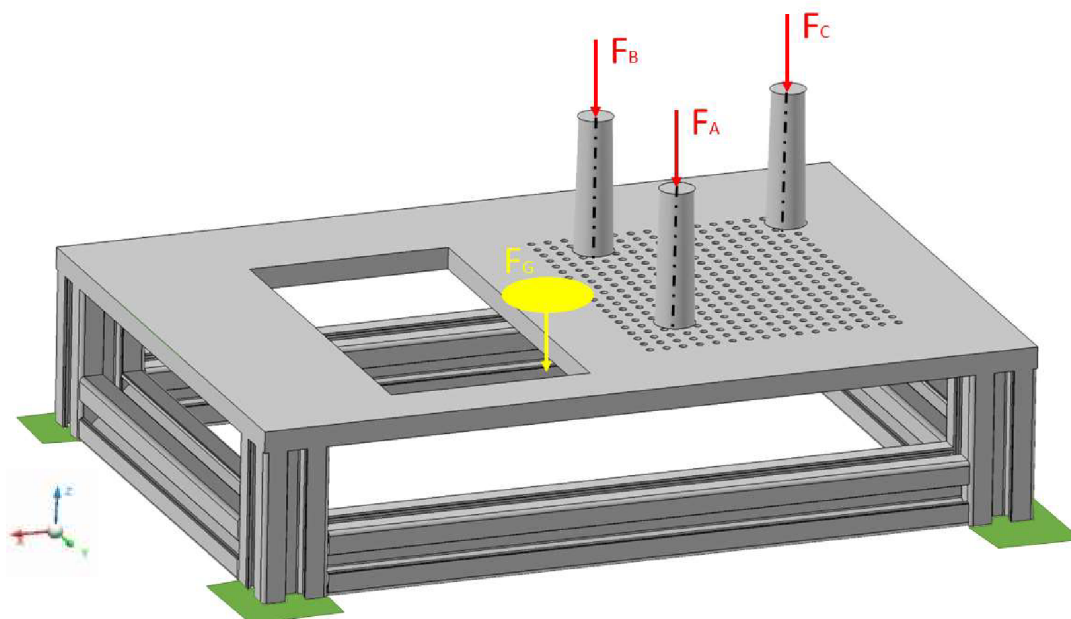
6. Dále bylo nutné aplikovat zatížení a vazby na sestavu  
Síly uvedené v rovnici (15) působí kolmým směrem vzhledem k základní desce paletky (záporný směr osy Z).

$$F_A = F_B = F_C = 150 \text{ N} \quad (15)$$

Gravitační zrychlení v záporném směru osy Z je definováno pomocí rovnice (16).

$$F_G = 9,81 \text{ ms}^{-2} \quad (16)$$

*Obr. 53* specifikuje umístění vazby vetknutí, ta byla aplikována na zeleně vyznačené plochy (spodní plochy profilů).

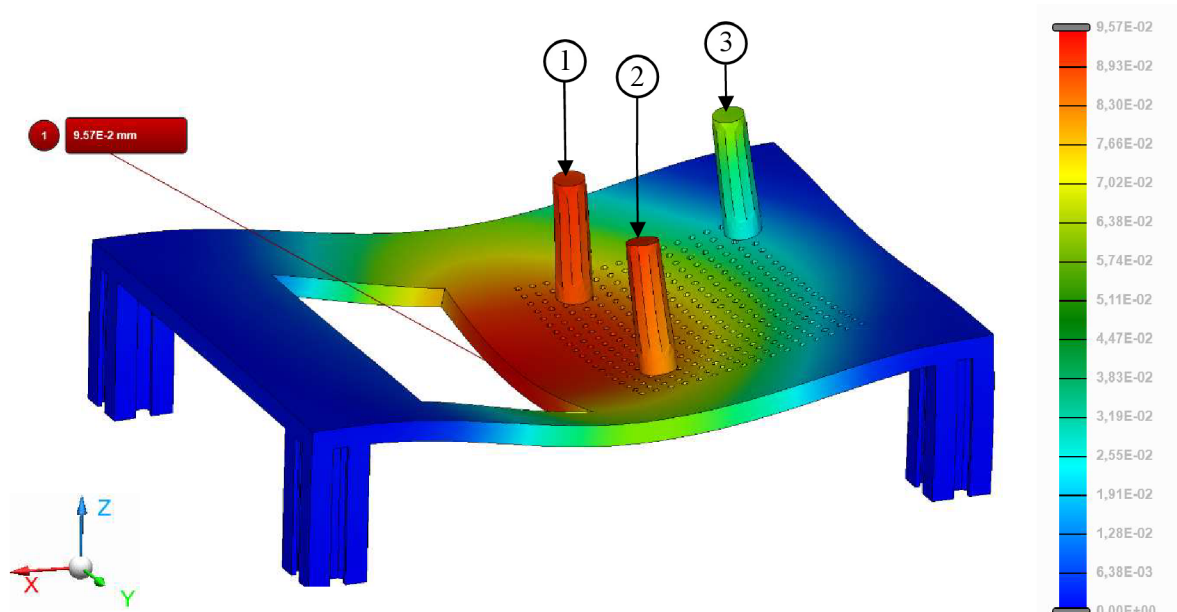


Obr. 53 Zatížení a zavazbení sestavy

7. Posledním krokem před samotným vyhodnocením výsledků bylo spuštění simulace

#### VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ SIMULACE

Při dodržení všech předem stanovených okrajových podmínek a vstupních parametrů bylo zjištěno, že maximální celkové posunutí, které na paletce nastalo, odpovídá hodnotě 0,095 mm. Toto posunutí však není směrodatné, jelikož nastalo v místě, kde neovlivňuje polohu fixačních pinů. Potřebné posunutí se nachází na horní ploše fixačních pinů (viz Obr. 54 – označeno čísly). Výsledky posunutí v daných místech s označením 1, 2 a 3 jsou uvedeny v Tab. 11.



Obr. 54 Výsledné posunutí

Tab. 11 Posuvy definovaných fixačních bodů

Měřené místo	Posunutí	Jednotky
1	0,093	mm
2	0,096	mm
3	0,026	mm

Z tabulky vyplývá, že posunutí ve všech třech místech je nevyhovující. Z tohoto důvodu bude nutné provést návrh tloušťky základní desky paletky tak, aby maximální celkové posunutí v místech fixačních pinů dosahovalo hodnoty 0,05 mm.

Pro návrh tloušťky základní desky paletky je vhodné použít střednicovou metodu. Její velká výhoda spočívá v tom, že není potřeba při každém iteračním výpočtu měnit vstupní 3D data, ale lze tloušťku desky nastavit v programu Apex pomocí funkce sections. Nevýhodou je nutnost převedení celého modelu na střednicový model a potřeba správného pospojování komponent.

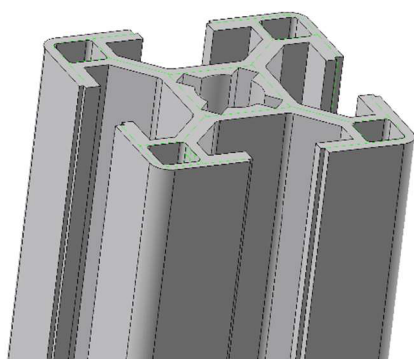
## 7.2 NÁVRH TLOUŠŤKY PALETKY

Pro vytvoření střednicového modelu je třeba veškeré komponenty, které mají být součástí výpočtu, převést na plochy, kterým je následně přidělena tloušťka. Tyto plochy je třeba vhodně pospojovat mezi sebou tak, aby střednicový model co nejlépe nahrazoval skutečný 3D model. Dále je nezbytné definovat místa, kde se tyto plochy navzájem dotýkají, vytvořit síť prvků, přiřadit materiály apod.

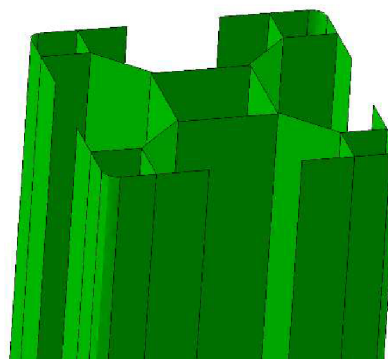
### POSTUP PRÁCE

Postup práce byl v prvních dvou bodech totožný, jako v kapitole 7.1.

1. Import vymodelované sestavy do programu Apex
2. Zjednodušení sestavy pro výpočet
3. Vytvoření střednic z následujících komponentů pomocí funkce pro tvorbu střednic (mid surface)
  - A. Alutec KK profily a jejich převedení je znázorněno na Obr. 55 a Obr. 56.

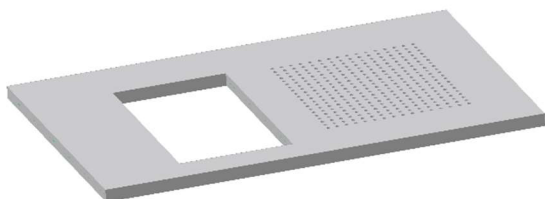


Obr. 55 Objemový profil Alutec KK profilu, před převedením na střednicový model, bylo třeba zavést zjednodušení geometrie

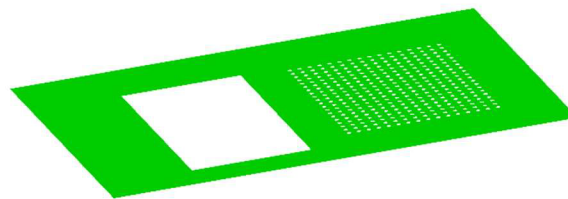


Obr. 56 Střednicový profil Alutec KK, nadefinovaná tloušťka stěn odpovídá hodnotě 2 mm

- B. Základní deska paletky je znázorněna na Obr. 55. Obr. 56 představuje převedený objemový model na model střednicový.



Obr. 55 Objemový profil základní desky po zjednodušení geometrie



Obr. 56 Střednicový model základní desky palety



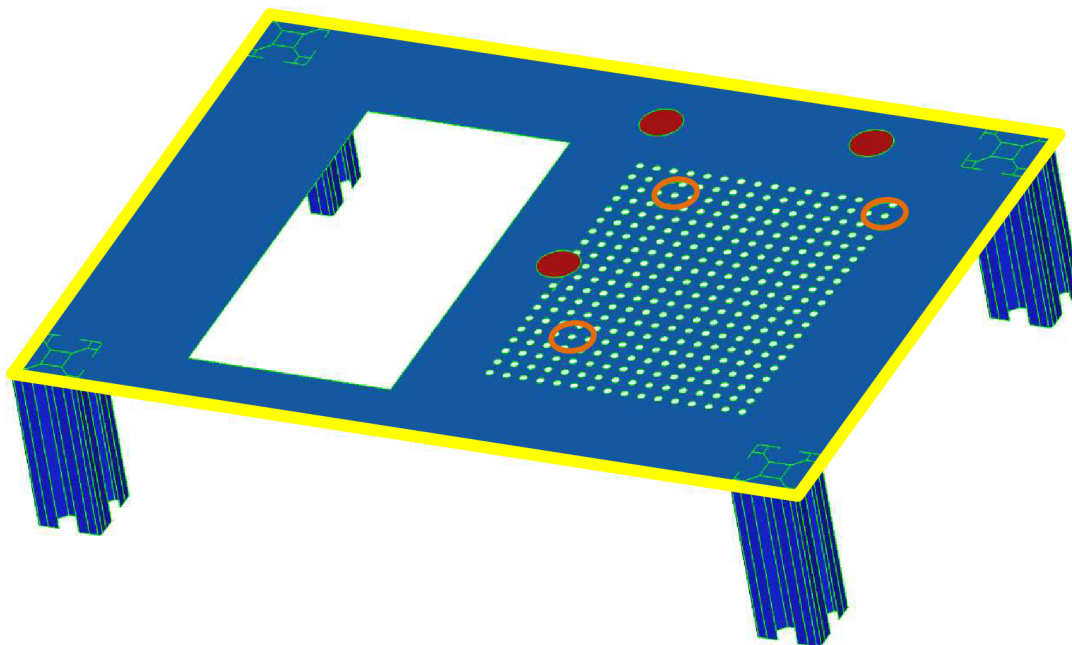
### C. Fixační piny

U fixačních pinů bylo využito odlišného způsobu vytvoření střednicové náhrady, a to tak, že nejprve byly vytvořeny střednice fix. pinů (*Obr. 57*– červené prvky), které byly následně promítnuty na rovinu představující základní desku.

Dále pomocí funkce dělení povrchů (split surface) byla střednice desky rozřezána tak, aby došlo k rozdělení desky na část, kde se nachází fix. piny (ohraničení plochy znázorněno oranžovou barvou) a na část, která svojí tloušťkou odpovídá pouze základní desce.

Pro plochu, kde se nachází fixační piny, byla přidělena tloušťka odpovídající délce fixačních pinů, tedy  $t_1=72,2$  mm (oranžové ohraničení plochy).

Plocha ohraničená žlutě (základní deska paletky) má definovanou tloušťku  $t_2=7$  mm pro první iterační výpočet (žluté ohraničení plochy) viz *Obr. 57*.

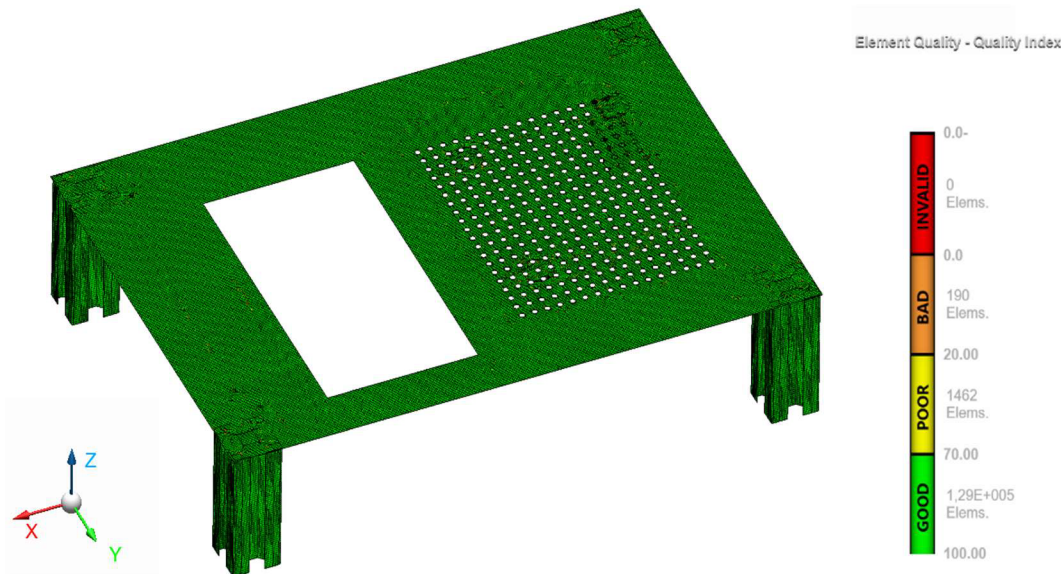


*Obr. 57 Znáznornění tloušťky střednic fixačních pinů a ohraničené plochy*

4. Vytvoření řezu jednotlivých ploch, tj. místa, kde se navzájem dotýkají 2 a více ploch od různých těles.
5. Přiřazení tloušťky jednotlivých plochám.
6. Sloučení všech komponentů pomocí booleovské funkce. Tento krok má důležitý vliv na následnou kvalitu sítě – její provázanost mezi jednotlivými součástmi, a tedy tendenci se přiblížit ke skutečným hodnotám.



7. Přiřazení materiálů jednotlivým částem sestavy. Materiály byly zachovány stejné jako v objemovém výpočtu na straně 59 pro všechny komponenty sestavy.
8. V dalším kroku proběhlo síťování modelu. Jelikož se jedná o střednicový model, je možné pro přesnější výsledek zvolit menší prvek sítě při zachování podobného nebo i menšího počtu prvků jako při objemovém výpočtu. Velikost prvku sítě byla zvolena na 1 mm a celkový počet prvků sítě byl 130 642. Taktéž pro bezproblémové spuštění simulace v následujících krocích bylo nezbytné opravit všechny neplatné prvky v síti.



Obr. 58 Pohled na nasítovaný model a schéma kvality prvků  
 Element kvality index – ukazatel kvality prvků  
 Invalid – neplatné prvky, počet neplatných prvků: 0  
 Bad – špatné prvky, počet špatných prvků 190  
 Poor – ucházející prvky – počet ucházejících prvků 1462  
 Good – správné prvky, počet správných prvků 129 000

9. Spuštění prvního iteračního kroku

Pro iterační výpočty byl zvolen krok odpovídající hodnotě 0,5 mm.

#### VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

V první simulaci bylo pomocí objemové metody ověřeno, zdali se paletka při zatížení prohne o více jak 0,05 mm v místech, kde se nachází fixační pin. Bylo zjištěno, že maximální průhyb základní desky odpovídá hodnotě 0,095 mm. Největší průhyb ovlivňující polohu fix. pinů se nacházel v místě fixačního pinu č. 2, kde dosahoval hodnoty 0,095 mm, tedy o 91 % větší průhyb, než povoluje toleranční řetězec.

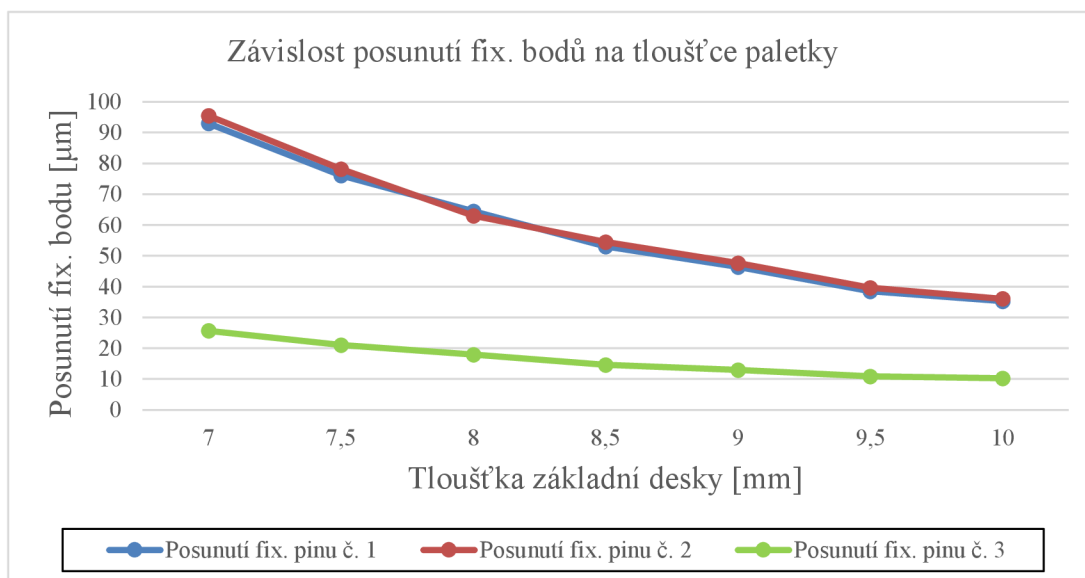
Bylo tedy nezbytné určit nejmenší možnou tloušťku základní desky paletky, která svým maximálním průhybem splní vstupní požadované parametry.

Následně bylo provedeno dalších 7 simulací na průhyb desky. Tloušťka paletky se pohybovala v intervalu  $\langle 7; 10 \rangle$  mm při zvoleném kroku 0,5 mm. Výsledky naměřených průhybů jsou uvedeny v *Tab. 12*.

*Tab. 12 Hodnoty deformací*

Tloušťka desky	Průhyb v místě fix. pinu č. 1	Průhyb v místě fix. pinu č. 2	Průhyb v místě fix. pinu č. 3	Jednotky
7	0,093	0,095	0,025	mm
7,5	0,076	0,078	0,021	mm
8	0,064	0,063	0,017	mm
8,5	0,053	0,054	0,014	mm
9	0,046	0,047	0,013	mm
9,5	0,038	0,039	0,010	mm
10	0,035	0,036	0,010	mm

Závislost deformace na tloušťce materiálu základní desky reprezentuje níže uvedený graf. Je patrné, že se nejedná o lineární závislost. S rostoucí tloušťkou materiálu se exponenciálně snižuje průhyb paletky. Tedy platí, že při navýšení tloušťky materiálu ze 7 mm na 7,5 mm nastal průhyb menší o 18,2 %. Kdežto při navýšení z 9,5 mm na 10 mm došlo ke zmenšení průhybu vzhledem k předchozí hodnotě pouze o 8,3 %.



*Obr. 59 Graf závislosti posunutí fixačního bodu na tloušťce paletky*

Z tabulky hodnot vyplývá, že minimální tloušťka paletky, kdy nedojde k většímu průhybu než 50  $\mu\text{m}$ , je 9 mm. Vzhledem k tomu, že pro konstrukci paletek a přípravků se do výroby standardně odebírají hliníkové plechy o tloušťce 10 mm, nabízí se tak možnost využít cenově výhodnější plech o tloušťce 10 mm (velkoodběratelské množstevní slevy na plech 10 mm) i za cenu, že přínos v podobě menší deformace nebude příliš velký.

V případě, že by se trvalo na použití plechu o tloušťce 9 mm nebo 9,5 mm, bylo by stejně nutné zakoupit normovaně vyráběný plech o tl. 10 mm a ten následně frézku upravit na požadovanou hodnotu. Tato činnost by ovšem opět zvýšila výrobní náklady. Je tedy vhodné využít hliníkový plech o síle 10 mm.

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout 3D model paletky a ověřit, zdali vyhovuje zadaným parametrům. První kapitola popisuje jednotlivé komponenty, které jsou využívány v předních světlometech. Další část diplomové práce je zaměřena na vytvoření komplexního přehledu a vysvětlení, na jakém principu fungují v současnosti využívané moduly.

Následně jsou popsány druhy montážních linek, jejich výhody a provoz, pro který jsou primárně určeny. Zároveň je vysvětlen pojem standardizace a uvedeny příklady, jaké díly jsou standardizované a které nikoliv. Dále je vysvětlen klasický montážní postup jednotlivých dílů i s podrobným popisem komponentů.

Kapitola 5 je zaměřena na konstrukční část, která začíná definováním RPS bodů na rámečku modulu. V dalším bodě jsou uvedeny koncepční návrhy, jakými lze fixační piny efektivně nastavit, a vypsány výhody a nevýhody jednotlivých způsobů.

V další části práce je popisována sestava paletky, maticový mechanismus RPS bodů. Část kapitoly je také věnována řešení upnutí rámečku a chladiče do paletky a přehledu parametrů u nakupovaných elektrických a mechanických komponentů. Následuje detailní popis konstrukce fixačního pinu a volba vhodného materiálu vzhledem k namáhání na otěr.

Následně se práce věnuje popisu 3D modelu sestavy paletky. Taktéž je zde charakterizována problematika týkající se stavu, který vzniká po zatížení paletky. Ta byla následně ověřena pomocí programu Apex Jaguar od společnosti MSC.

Z výsledků objemové simulace bylo patrné, že původně zvolená tloušťka základní desky nevyhovuje zadaným okrajovým podmínkám, a tak bylo potřeba pomocí iteračních výpočtů zjistit a navrhnout optimální tloušťku desky vzhledem ke vznikajícím deformacím a také výrobní ceně.

Pro použití ve společnosti Hella s.r.o. doporučuji využít paletku pro montáž modulů dle přiložených 3D dat s tloušťkou základní desky 10 mm.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] HENGSTEBECK, Brunne. *Modular LED Lighting Systems: lighting module*. Lippstadt, 2021.
- [2] GÁBIK, Kamil. Maskovat nebo nemaskovat prokovy?. *DPS Elektronika od A do Z: Odborný časopis a portál zaměřený na vývoj a výrobu elektroniky*. 2015, (5), 3.
- [3] *IPC-7251: Generic Requirements for Through-Hole Design and Land Pattern Standard*. 2008, 58.
- [4] MULTIBEAM LED headlamps on the E-Class; 84 pixel; light freely configurable in both headlamp; grid module; Digital Light. <https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Start.xhtml?oid=4836258> [online]. Available at: <https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/en/instance/picture/MULTIBEAM-LED-headlamps-on-the-E-Class.xhtml?oid=14956438>
- [5] 2020 BMW 7 750Li -Headlamp. *Car icos: Cars BMW 2020 BMW 7-Series* [online]. Available at: [https://www.caricos.com/cars/b/bmw/2020\\_bmw\\_7-series/images/31.html](https://www.caricos.com/cars/b/bmw/2020_bmw_7-series/images/31.html)
- [6] HUBER, Dr. Frank. High-resolution lighting system 'Digital Light SSL | HD': Over 30,000 pixels increase safety and comfort on the road: New lighting technology opens up a wide range of applications: optical lane assistant, for example, supports safe vehicle guidance. *Automotive world* [online]. Available at: <https://www.automotiveworld.com/news-releases/high-resolution-lighting-system-digital-light-ssl-hd-over-30000-pixels-increase-safety-and-comfort-on-the-road/>
- [7] TRACY, Martin. New automotive lighting technologies continue to help improve safety. *Vehlice servise PROS* [online]. Available at: <https://www.vehicleservicepros.com/service-repair/battery-and-electrical/article/21201364/new-automotive-lighting-technologies-continue-to-help-improve-safety>
- [8] BRARTL, Ján a Vlado JACKO. Nové materiály pre metrológiu dĺžky: Výzkum a vývoj. *Metrológia a skúšobníctvo* [online]. 3, 57 [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: [https://normy.unms.sk/files/Spravy/Metrologia/Prispevky\\_Metrologia\\_1\\_2014\\_web.pdf#page=4](https://normy.unms.sk/files/Spravy/Metrologia/Prispevky_Metrologia_1_2014_web.pdf#page=4)
- [9] *Operational Considerations for LED Lamps and Display Devices: Application Note 1005*. United states of America, 1998, 6. Dostupné z: <https://www.uv.es/~esanchis/cef/Caracteristicas/an1005.pdf>

- [10] WANG, Fu-Kwun and Chu TAO-PENG. *Lifetime predictions of LED-based light bars by accelerated degradation test.: Microelectronics Reliability* [online]. WANG, Fu-Kwun and Tao-Peng CHU. , 5. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0026271412000674?via%3Dihub>
- [11] Campus. *Campus: Arnite® TV4 260 SXF* [online]. 2021, 18.11.2021 [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: <https://www.campusplastics.com/campus/de/datasheet/Arnite%C2%AE+TV4+260+SEF/DSM/50/8f7c5bd9/SI?pos=3>
- [12] Campus. *Campus: rastin® SK605 BK85* [online]. 2021, 11.09.2021 [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: <https://www.campusplastics.com/campus/de/datasheet/Crastin%C2%AE+SK605+BK851/DuPont/52/c0607260/SI?pos=15>
- [13] Campus. *Campus: Arnite® TV4 261* [online]. 2021, 18.11.2021 [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: <https://www.campusplastics.com/campus/de/datasheet/Arnite%C2%AE+TV4+261/DSM/50/c90ad0d7/SI?pos=4>
- [14] *Lean Six Sigma: Poka-Yoke, vizualizace...* [online]. Available at: <https://lean6sigma.cz/poka-yoke-vizualizace/>
- [15] CHAKRABORTY, Esha. Design robotického ramene. *LambdaGeeks* [online]. Available at: <https://cs.lambdaGeeks.com/robotic-arm-design-types-applications/#end>
- [16] Campus. *Campus: Zytel® HTN WRF51G30 NC010* [online]. 2021, 11.09.2021 [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: <https://www.campusplastics.com/material/pdf/157129/ZytelHTN WRF51G30NC010?sLg=de&layout=automotiveoempdf&ci=4>
- [17] Karteziánský kloubový robot s rotačním efektozem. 2011. *Indiamart* [online]. Available at: <https://www.indiamart.com/proddetail/industrial-robot-arm-18072085973.html>
- [18] ANTONIOLLI, I., P. GUARIENTE, T. PEREIRA, L. PINTO FERREIRA a F.J.G. SILVA. *Standardization and optimization of an automotive components production line* [online]. Vigo (Pontevedra), Spain, 30.6.2017, 8 [cit. 2022-01-29].
- [19] KÜBER, Christian, et al. Method for a cross-architecture assembly line planning in the automotive industry with focus on modularized, order flexible, economical and adaptable assembly processes. *Procedia CIRP*, 2016, 57: 339-344.
- [20] JESÚS, F. Lampón, Pablo CABANELAS a Javier GONZÁLEZ-BENITO. The impact of modular platforms on automobile manufacturing networks. *Production Planning & Control* [online]. 2017(28), 335-348 [cit. 2022-01-29]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09537287.2017.1287442?scroll=top&needAccess=true>



- [21] KERN, W., et al. Alternatives to assembly line production in the automotive industry. In: *Proceedings of the 23rd international conference on production research (IFPR). 2015.*
- [22] ZHANG, Bo, et al. *Surface and interface modification of aramid fiber and its reinforcement for polymer composites* [online]. , 147. Available at: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305721000860?casa\\_token=GAfgO4hQdG4AAAAA:JSAXmjQOkQO-SLr72\\_cTNhMtUU7WcHPNwTRI5WPb0tqXx2eMIPTi22uWwVLV2AlaFBq-SFXEFl](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305721000860?casa_token=GAfgO4hQdG4AAAAA:JSAXmjQOkQO-SLr72_cTNhMtUU7WcHPNwTRI5WPb0tqXx2eMIPTi22uWwVLV2AlaFBq-SFXEFl)
- [23] BOYSEN, N. *Variantenfließfertigung. Mixed-model production.* 1 st ed. Wiesbaden: Dt. Univ. Verl.; 2005
- [24] XU, Li. 2020. *Caribou: Research and Development* [online]. Available at: <https://caribou3d.com/en/ldo-motors-shop/911-18-super-slim-pancake-ldo-42sth20-1004ah.html>
- [25] *Lineární krokové motory: krokové aktuátory* [online]. Brno. Available at: [https://www.servo-drive.cz/krokove\\_linearni\\_pohony\\_krokove\\_aktuatory.php](https://www.servo-drive.cz/krokove_linearni_pohony_krokove_aktuatory.php)
- [26] *YONGRUN: Linear Guide Rail* [online]. Lishui, Zhejiang. Available at: [https://www.cnballscrew.com/linear-guide/linear-guide-rail.html?gc\\_lid=Cj0KCQjw1NTBhCOARIsAGVHQc6vjc5sq7BoeK\\_Tx802uAHRVrr03InNOHzO3G1kqXmUL6znPRwbqDlaAoV2EALw\\_wcB](https://www.cnballscrew.com/linear-guide/linear-guide-rail.html?gc_lid=Cj0KCQjw1NTBhCOARIsAGVHQc6vjc5sq7BoeK_Tx802uAHRVrr03InNOHzO3G1kqXmUL6znPRwbqDlaAoV2EALw_wcB)
- [27] <https://www.presston.cz/>: *Elektrická otočná upínka* [online]. Brno. Available at: <https://www.presston.cz/obchod/roemheld/katalog/elektricke-otocne-upinky/>
- [28] VK ložiska: *Ložiska/Kluzná ložiska/Plastová pouzdra/GSM 0608-05. VK ložiska* [online]. Available at: <https://www.vkloziska.cz/gsm-0608-05>
- [29] E. SHIGLEY, Joseph, Charles R. MISCHKE and Richard G. BUDYNAS. 2010. *Konstruování strojních součástí.* 3. Brno: VUTIUM, 1160 p.
- [30] *Katalog KU pouzdra: Průvodce výběrem kluzných pouzder* [online]. In: . p. 91. Available at: [https://www.vkloziska.cz/files/editor\\_source/PDF\\_katalogy/Dle\\_typ\\_u\\_loziska/Katalog\\_KU\\_pouzdra\\_CZ.pdf](https://www.vkloziska.cz/files/editor_source/PDF_katalogy/Dle_typ_u_loziska/Katalog_KU_pouzdra_CZ.pdf)
- [31] Kluzná ložiska. *VK ložiska* [online]. Available at: [https://www.vkloziska.cz/files/editor\\_source/PDF\\_katalogy/Dle\\_typ\\_u\\_loziska/Katalog\\_KU\\_pouzdra\\_CZ.pdf](https://www.vkloziska.cz/files/editor_source/PDF_katalogy/Dle_typ_u_loziska/Katalog_KU_pouzdra_CZ.pdf)
- [32] *Mechanické a fyzikální vlastnosti hliníkových slitin: Využití jednotlivých hliníkových slitin v praxi. ALUNET: Hliníkové profily na míru* [online]. Available at: <http://www.alunet.cz/pouzito>



- [33] Normy tvrdosti hliníkových slitin. *ALUNET: Hliníkové profily na míru* [online]. Available at: <http://www.alunet.cz/normy-tvrdosti-hlinikovych-slitin>
- [34] Katalog Alutec K&K. 2015. *ALUTEC KK* [online]. Available at: <http://katalogalutecck.aspone.cz/>
- [35] *Alumeco: Datasheet 2007 rods and bars* [online]. Available at: <https://www.alumeco.cz/technick%C3%A9-informace/%C3%BA-daje-o-hlin%C3%ADku/datasheets/files/aluminium?s=0>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

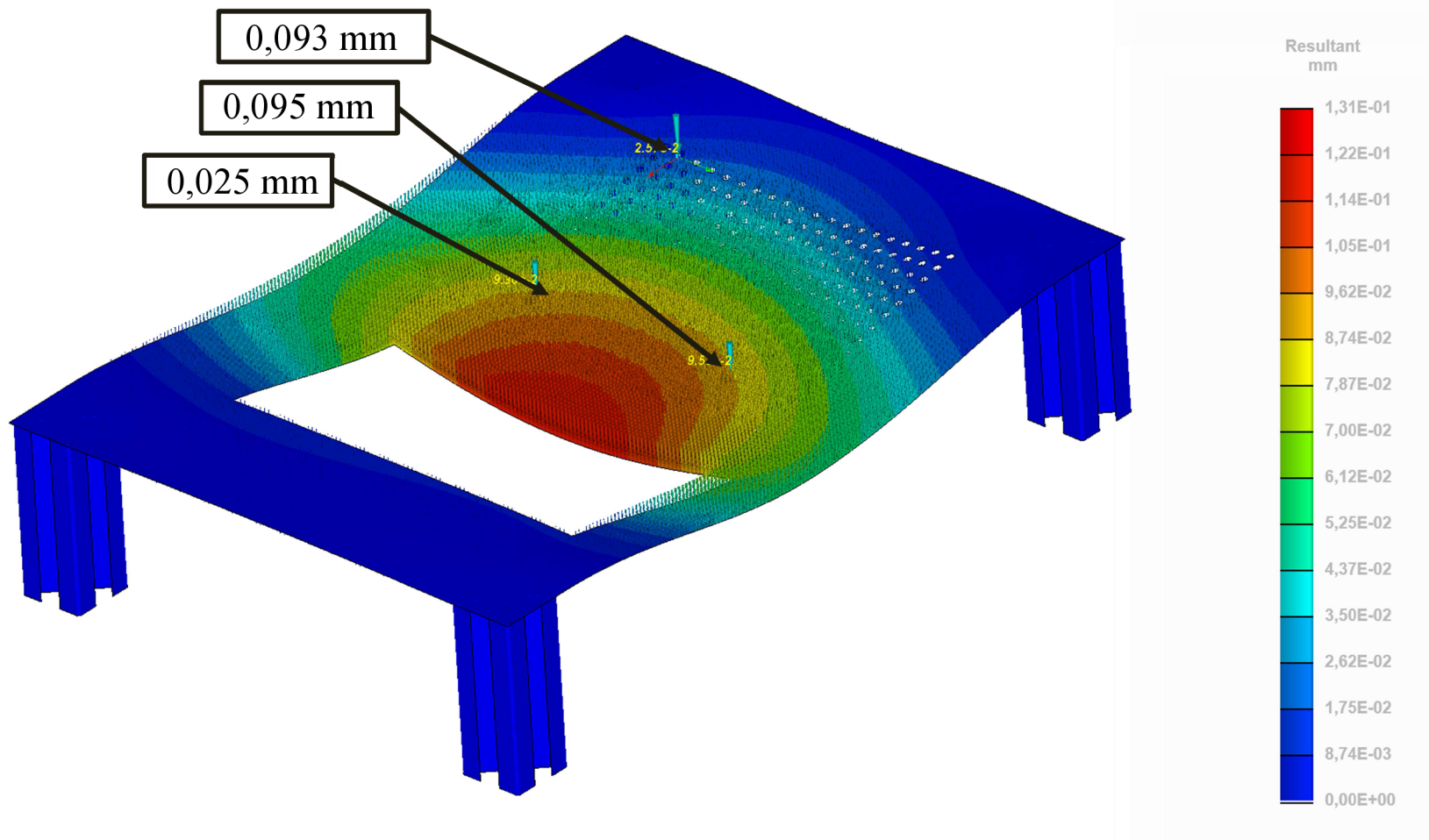
<i>AL</i>		Automotive Lighting
$\lambda_{ALU\ IMS}$	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Tepelná vodivost materiálu ALU IMS
$\lambda_{CU\ IMS}$	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Tepelná vodivost materiálu CU IMS
$\lambda_{FR4}$	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Tepelná vodivost materiálu FR4
<i>d</i>	[mm]	Průměr
<i>e</i>	[mm]	Excentricita
<i>F</i>	[Hz]	Frekvence
<i>F</i>	[N]	Síla
<i>f<sub>1</sub></i>	[mm <sup>3</sup> sN <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> 10 <sup>-4</sup> ]	Součinitel opotřebení
<i>f<sub>2</sub></i>	[-]	Součinitel opotřebení
<i>f<sub>3</sub></i>	[-]	Součinitel opotřebení
<i>GPS</i>		Globální polohovací systém
<i>k</i>	[mm <sup>3</sup> sN <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	Konstanta úměrnosti
<i>KISS</i>		Metoda zachování jednoduchosti
<i>l</i>	[mm]	Délka
<i>LED</i>		Dioda emitující světlo
<i>n</i>	[s <sup>-1</sup> ]	Otáčky
<i>PA6</i>	Polyamid	Typ používaného plastu
<i>PBT</i>	Polybutentetraftalát	Typ používaného plastu
<i>PC</i>	Polykarbonát	Typ používaného plastu
<i>P<sub>dov</sub></i>	[MPa]	Dovolený tlak
<i>P<sub>m</sub></i>	[MPa]	Nominální tlak
<i>P<sub>max</sub></i>	[MPa]	Maximální tlak
<i>PMMA</i>	Polymethylmethakrylát	Typ používaného plastu
<i>RPS</i>		Relativní bodový systém
<i>t</i>	[mm]	Tloušťka
<i>T</i>	[°C]	Teplota
<i>T</i>	[s]	Čas
<i>t<sub>1</sub></i>	[mm]	Délka pinů
<i>t<sub>2</sub></i>	[mm]	Délka pinů
<i>T<sub>rov</sub></i>	[mm]	Vzdálenost mezi rovinami
<i>w</i>	[mm <sup>3</sup> ]	Objemové opotřebení

$\sigma$	[MPa]	Napětí
$v$	[ms <sup>-1</sup> ]	Kluzná rychlost
$\alpha$	[m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Tepelná vodivost

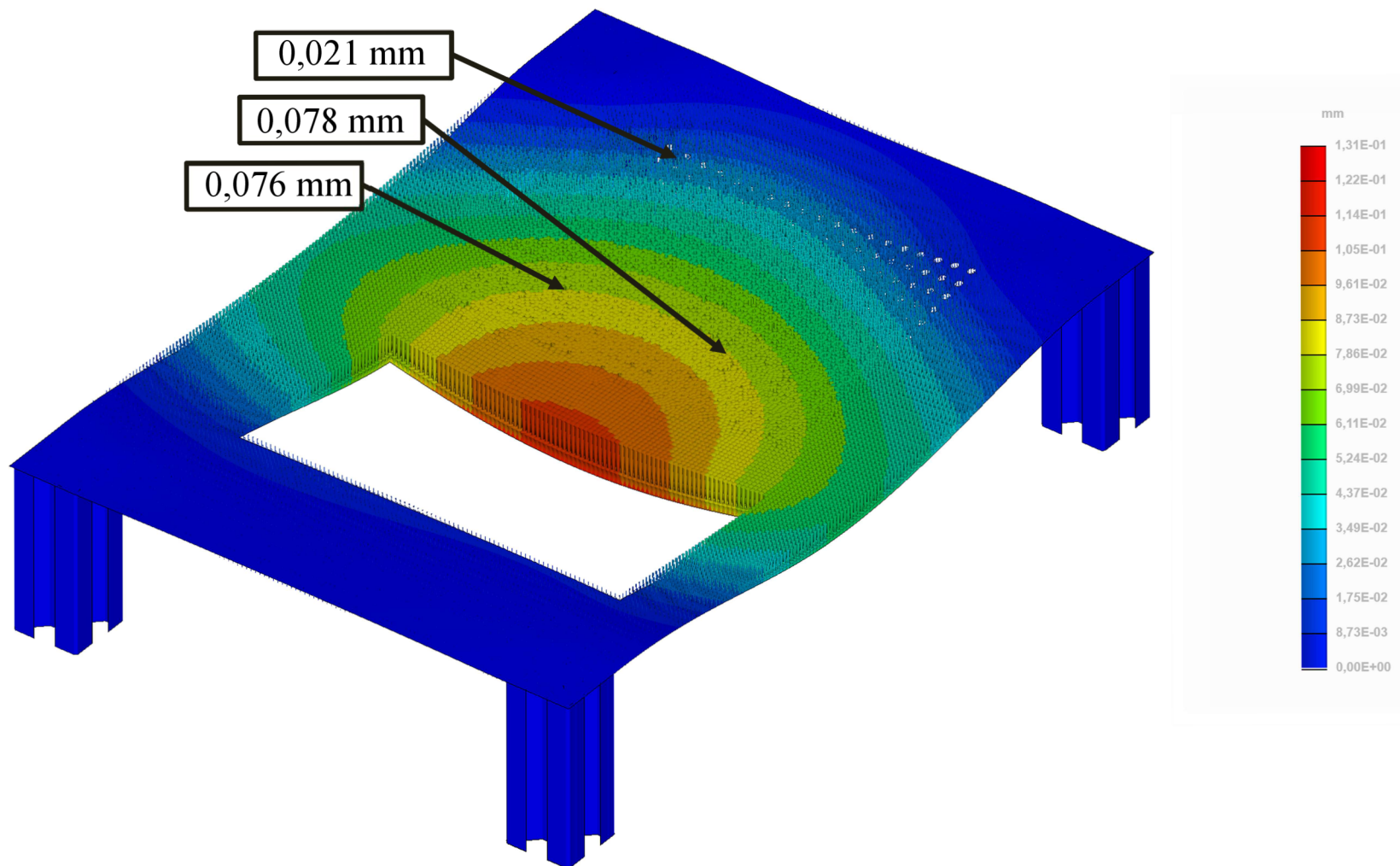
---

## SEZNAM PŘÍLOH

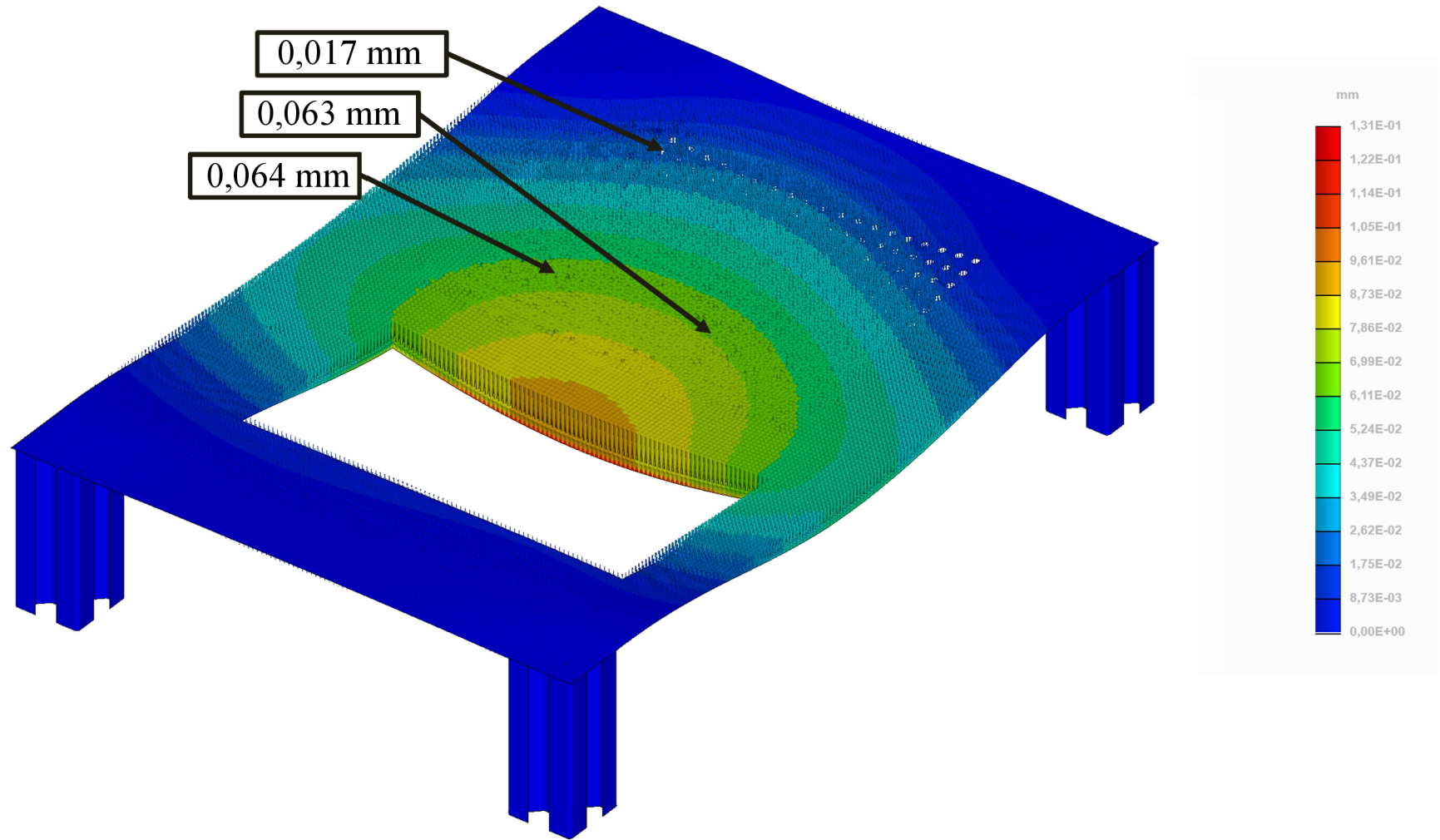
Příloha – A .....	I
-------------------	---



Obr. A 1 Zatížení paletky s tloušťkou základní desky 7 mm, relativní vykreslení průhybu v měřítku 1:10

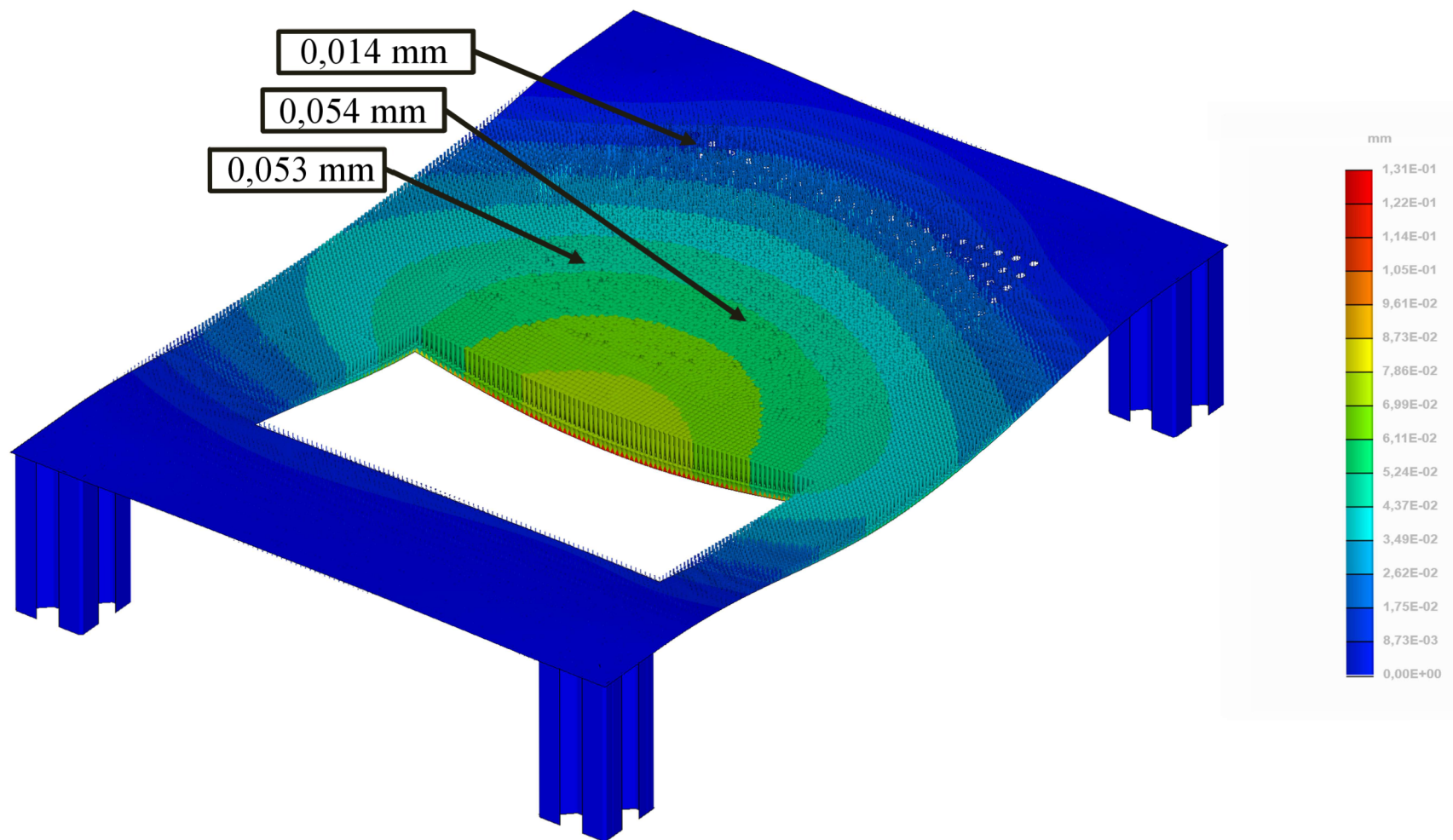


Obr. A 2 Zatížení paletky s tloušťkou základní desky 7,5 mm, relativní vykreslení průhybu v měřítku 1:10

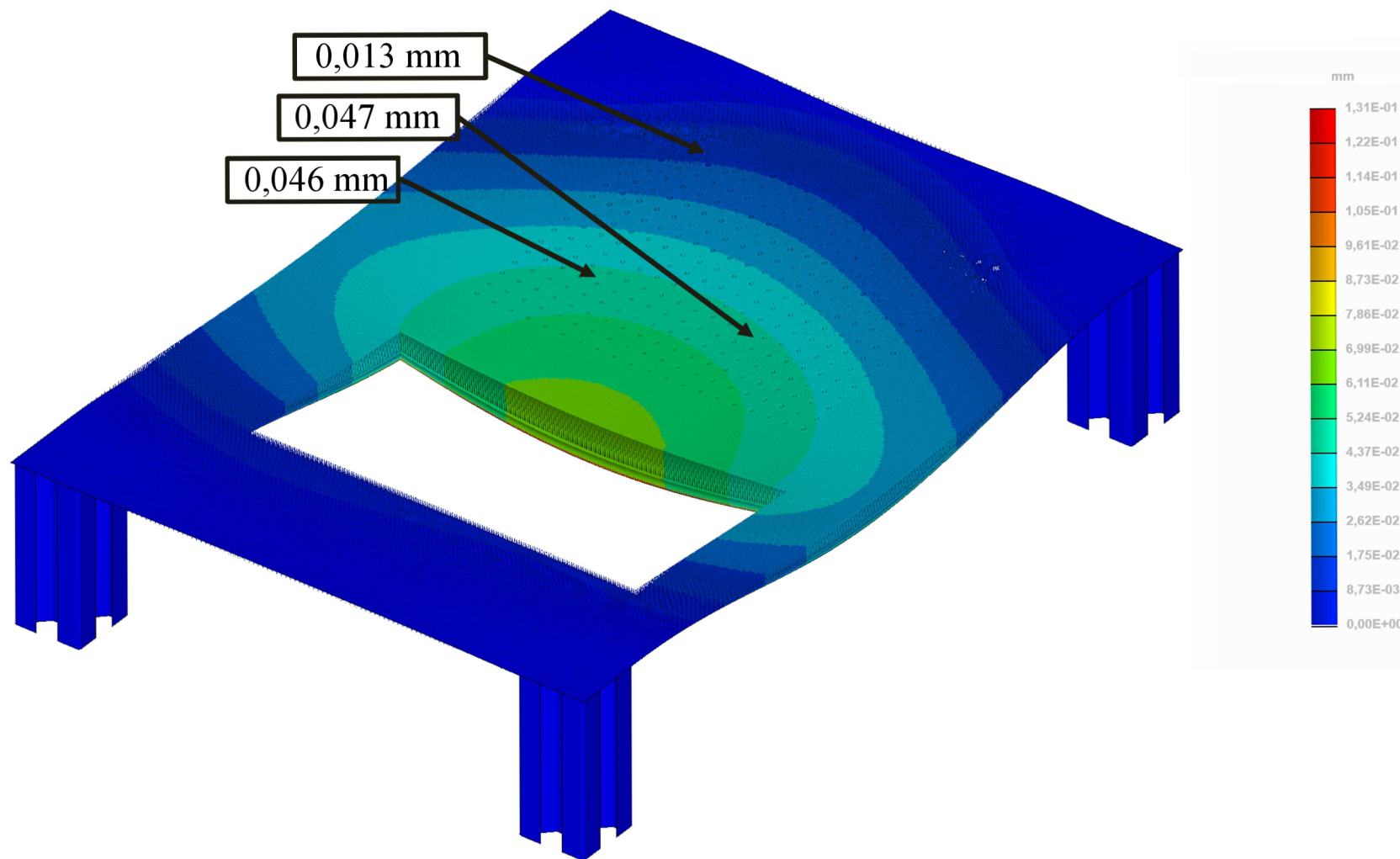


Obr. A 3 Zatížení paletky s tloušťkou základní desky 8 mm, relativní vykreslení průhybu  
v měřítku 1:10

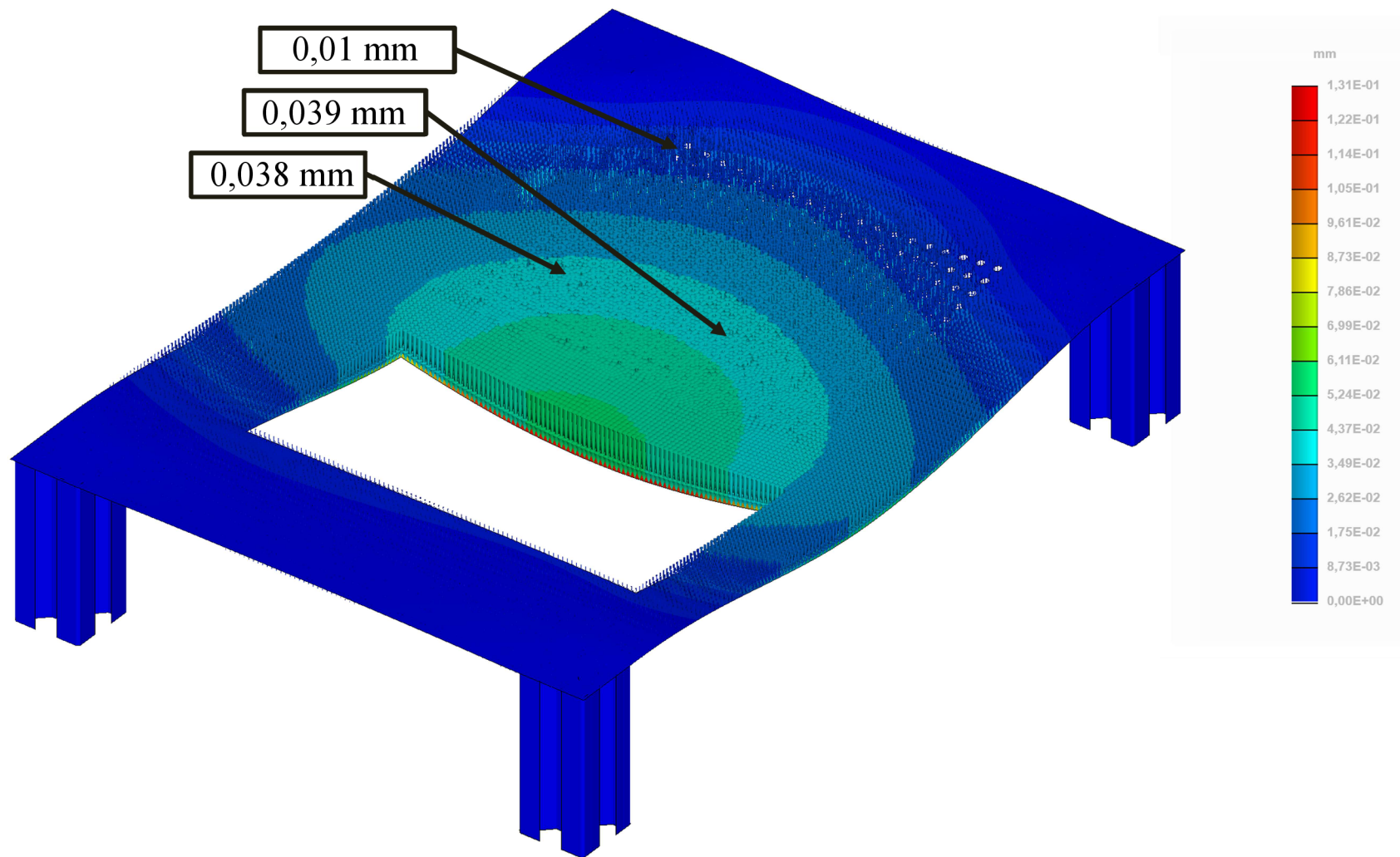




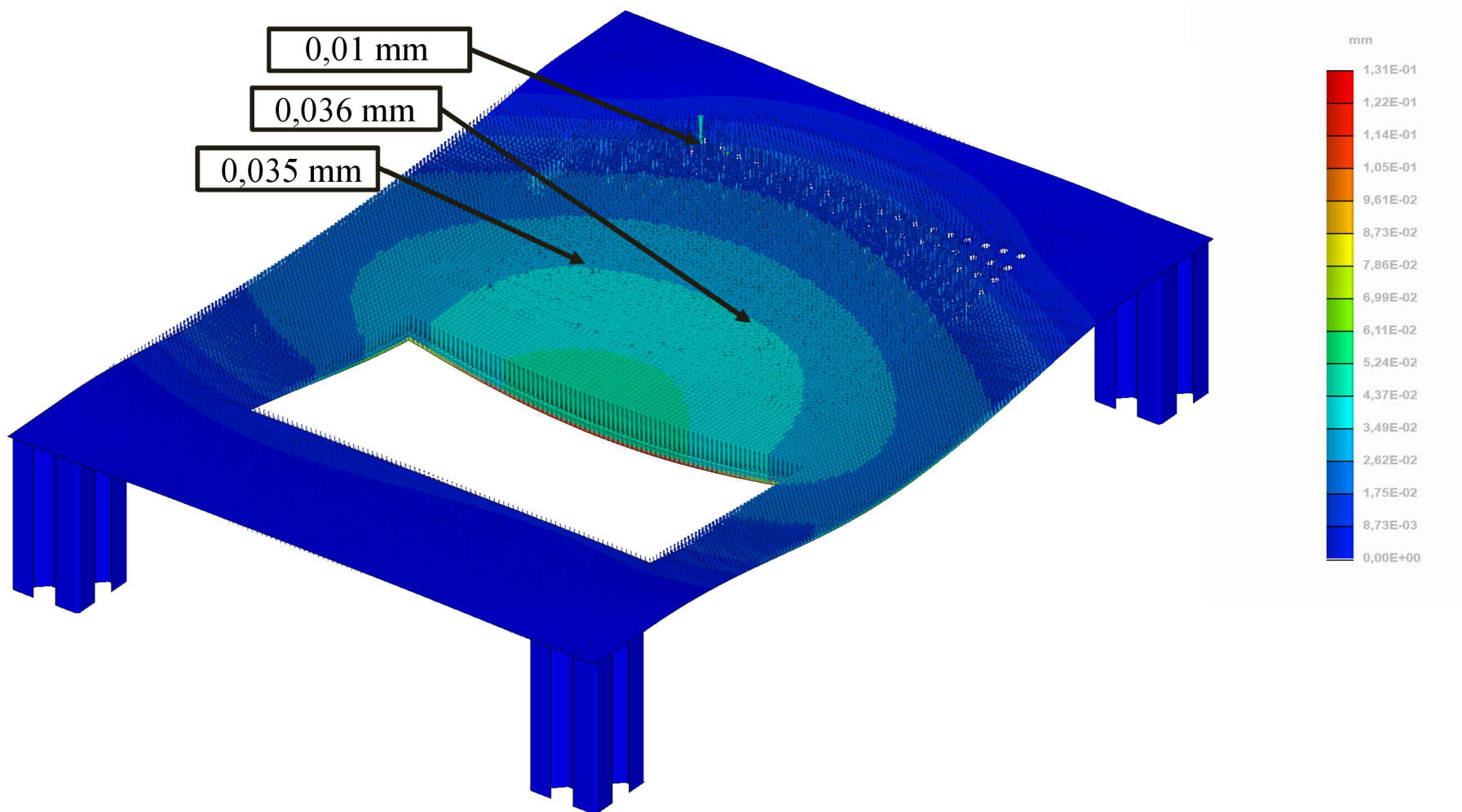
Obr. A 4 Zatížení paletky s tloušťkou základní desky 8,5 mm, relativní vykreslení průhybu v měřítku 1:10



Obr. A 5 Zatížení paletky s tloušťkou základní desky 9 mm, relativní vykreslení průhybu v měřítku 1:10



Obr. A 6 Zatížení paletky s tloušťkou základní desky 9,5 mm, relativní vykreslení průhybu v měřítku 1:10



Obr. A 7 Zatížení paletky s tloušťkou základní desky 10 mm, relativní vykreslení průhybu v měřítku 1:10