



# Konstrukční návrh plastového šasi AGV vozíku

## Diplomová práce

*Studijní program:*

N2301 Strojní inženýrství

*Studijní obor:*

Strojírenská technologie a materiály

*Autor práce:*

**Bc. Vítězslav Kadlec**

*Vedoucí práce:*

Ing. Pavel Brdlík, Ph.D.

Katedra strojírenské technologie





## Zadání diplomové práce

# Konstrukční návrh plastového šasi AGV vozíku

*Jméno a příjmení:* **Bc. Vítězslav Kadlec**  
*Osobní číslo:* S18000218  
*Studijní program:* N2301 Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* Strojírenská technologie a materiály  
*Zadávací katedra:* Katedra strojírenské technologie  
*Akademický rok:* **2019/2020**

### Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky konstrukce plastových dílů
2. Rozbor problematiky FEM analýz plastových dílů
3. Návrh konstrukce plastového šasi AGV vozíku
4. Ověření správnosti návrhu z hlediska funkčního a technologického
5. Vyhodnocení konstrukčních návrhů

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

tabulky, grafy  
cca 50 stran  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- [1] MALLOY, Robert A. Plastic part design for injection molding. New York: Hanser Publishers, 1994.
- [2] RAO, S. S. The finite element method in engineering Butterworth. 1999.
- [3]ZHOU, Huamin (ed.). Computer modeling for injection molding: simulation, optimization, and control. John Wiley & Sons, 2013.
- [4]FAZLOLLAHTABAR, Hamed; SAIDI-MEHRABAD, Mohammad. Autonomous Guided Vehicles. 2015.
- [5]MOORE, Philip, et al. Intelligent semi-autonomous vehicles in materials handling. Mechatronics, 1999, 9.7: 881-892.

*Vedoucí práce:*

Ing. Pavel Brdlík, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie

*Datum zadání práce:*

31. října 2019

*Předpokládaný termín odevzdání:*

7. června 2021

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

L.S.

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
vedoucí katedry

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

6. června 2021

Bc. Vítězslav Kadlec

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Pavlu Brdlíkovi, Ph.D. za skvělé vedení mé diplomové práce, jeho cenné rady a profesionální přístup. Chtěl bych také poděkovat rodičům a přítelkyni, kteří mi byli velkou oporou a podporovali mě během celého studia a při psaní diplomové práce. Dále chci poděkovat svému kolegovi Ing. Ondřeji Vohlídalovi, který mi umožnil tuto práci vytvořit. Za jeho skvělý přístup a podporu během celého projektu a při psaní diplomové práce.

## **ANOTACE**

Předmětem této diplomové práce je návrh konstrukce plastového šasi AGV. Teoretická část pojednává o problematice AGV systémů a vozíků, dále o problematice výpočtů pomocí Metod konečných prvků. Experimentální část se věnuje návrhu konceptu a specifikacím pro navrhované šasi. V konstrukční a výpočetní části jsou uvedeny jednotlivé fáze návrhu konstrukce šasi a krytu s pevnostními výpočty MKP. Výsledky jednotlivých výpočtů jsou vždy vyhodnoceny a je rozhodnuto, zda zvolený materiál je vhodné použít pro další návrhovou fázi.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

AGV systémy, AGV vozíky, metoda konečných prvků, návrh, konstrukce, šasi, pevnostní výpočet, analýza, napětí, deformace

## **ANNOTATION**

The subject of this thesis is the design structure of the plastic chassis AGV, for Magna Bohemia Ltd. Liberec. The theoretical part deals with the issues of AGV systems and trucks, as well as the issue of calculations using finite element methods. The experimental part deals with the design of the concept and specifications for the proposed chassis. In the structural and computational part, the individual phases of the design of the chassis and cover structure with FEM strength calculations are presented. The results of individual calculations are always evaluated and it is decided whether the selected material is suitable for the next design phase.

## **KEY WORDS**

AGV system, AGV trucks, finite element methods, design, construction, chassis, strength calculation, analysis, tension, deformation

## **OBSAH**

1	ÚVOD.....	10
2	TEORETICKÁ ČÁST.....	11
2.1	AGV VOZÍKY.....	11
2.1.1	HISTORIE AGV.....	11
2.1.2	NAVIGACE AGVS.....	14
2.1.3	SOUČÁSTI AGV – KONSTRUKCE.....	20
2.2	METODA KONEČNÝCH PRVKŮ (MKP).....	25
2.2.1	ROZDĚLENÍ ELEMENTŮ.....	26
2.2.2	VÝPOČETNÍ SÍŤ.....	29
2.2.3	VOLBA VELIKOSTI ELEMENTU SÍŤE.....	32
2.2.4	METODY VYTVÁŘENÍ SÍŤI.....	33
2.2.5	PROGRAMY MKP.....	36
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	37
3.1	AKTUÁLNĚ PROVOZOVANÁ (PLECHOVÁ) AGV V ZÁVODECH MAGNA.....	37
3.2	POŽADAVKY NAVRHOVANÉHO AGV.....	39
3.3	NÁVRH KONCEPTU AGV.....	41
4	KONSTRUKČNÍ NÁVRH ŠASI.....	47
4.1	PRVNÍ FÁZE NÁVRHU KONSTRUKCE AGV.....	47
4.1.1	NÁVRH PLASTOVÉHO ŠASI.....	47
4.1.2	NÁVRH KRYTU AGV.....	50
4.1.3	SPECIFIKACE VÝPOČTU PRVNÍHO NÁVRHU AGV.....	51
4.1.4	PEVNOSTNÍ VÝPOČET ŠASI AGV.....	52
4.1.5	PEVNOSTNÍ VÝPOČET KRYTU AGV.....	57
4.2	DRUHÁ FÁZE NÁVRHU KONSTRUKCE AGV.....	59
4.2.1	KONSTRUKCE ŠASI.....	59

4.2.2	PEVNOSTNÍ VÝPOČET ŠASI.....	63
4.3	TŘETÍ FÁZE NÁVRHU KONSTRUKCE AGV .....	67
4.3.1	KONSTRUKCE ŠASI.....	67
4.3.2	KONSTRUKCE KRYTU.....	73
4.3.3	PEVNOSTNÍ VÝPOČET ŠASI.....	75
4.3.4	PEVNOSTNÍ VÝPOČET KRYTU .....	78
5	ZÁVĚR.....	79



## **PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK**

AGVS	system automaticky naváděného vozíku (Automatic Guided Vehicle System).
AGV	automaticky naváděný vozík (Automatic Guided Vehicle).
TTL logic	polovodičový logický obvod.
PLC	programovatelný logický obvod (Programmable Logic Controller).
VDI	asociace německých inženýrů (Association of German Engineers).
MKP	metoda konečných prvků (FEM – Finite Element Method).
CAD	počítačem podporované projektování (Computer-aided Design).
CAM	počítačová podpora obrábění (Computer-aided Manufacturing).
CAE	počítačová podpora inženýrské analýzy (Computer-aided Engineering).
PP LGF40	materiál Polypropylen s příměsí dlouhých skelných vláken o množství 40 %.
PP TD20	materiál Polypropylen s příměsí talku 20 %.

# 1 ÚVOD

AGV (automated guide vehicle), neboli automaticky řízená vozidla, jsou v dnešní době nedílnou součástí mnoha průmyslových podniků. AGV systémy jsou používány takřka pro všechny druhy přepravy, ať už jako systémy pro přepravu materiálů, součástek, tak i pro přepravu lidí. AGV systémy dosáhly největšího rozmachu v automobilovém průmyslu. Můžeme je však najít např. v zemědělství pro automatizované řízení zemědělských obdělávacích strojů (kombajny, traktory apod.). Lze automatizované systémy najít také v přístavech, kde slouží pro navádění velkých mostových jeřábů pro vykládání lodí. Švédská společnost Volvo testuje nyní automatizovaný systém řízení u svých popelářských vozů, které jsou plně autonomní. Rozvoj AGV systému jde stále kupředu. Přepravní automatizované systémy jsou stále vylepšovány a nachází další využití v jiných odvětvích. V budoucnu se počítá s AGV systémy, jakožto hlavní součástí průmyslu 4.0, který má být zaměřen na více automatizované a plně soběstačné systémy v průmyslu.

## CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je návrh konstrukce plastového šasi nového AGV vozíku. V závodech Magna Liberec a Nymburk, je nyní v provozu AGV, které musí být před uvedením do provozu speciálně upraveno dle požadavků. Tyto úpravy značně navyšují jeho pořizovací cenu. Proto přišel nápad na vytvoření celoplastového AGV (šasi, kryt), které by mohlo být vyvíjeno a následně vyráběno společností Magna. Společně s šasi je navrhován také plastový kryt vozíku. Problematikou práce je použití vhodných plastových materiálů, které by byly vhodné pro použití dle zvolených požadavků. Konstrukce šasi a také krytu bude rozdělena do tří na sebe navazujících návrhových fází, které vždy představí šasi, provedené konstrukční úpravy a pevnostní výpočet. Výpočtem bude analyzován průběh napětí a deformace, podle kterých bude rozhodnuto, zda zvolený materiál bude vhodný, nebo musí být zvolen jiný.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

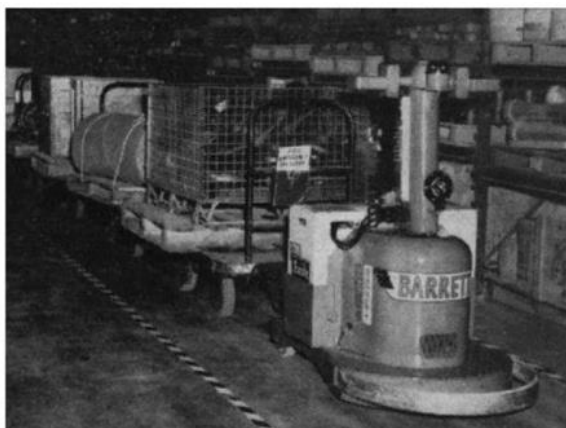
Teoretická část je zaměřená na rozbor problematiky AGV systémů a vozíků, a také na rozbor problematiky metody konečných prvků.

V první části je pojednáváno o historii AGV systémů a vozíků, dále jsou uvedené jednotlivé navigační systémy AGV a jednotlivé součásti. Ve druhé části je rozebírána problematika metody konečných prvků společně s rozdělením jednotlivých elementů a sítí, také je rozebrána problematika tvorby sítí.

### 2.1 AGV VOZÍKY

#### 2.1.1 HISTORIE AGV

Vznik prvního Systému Automaticky řízeného vozíku (AGVS) je datován k počátku 50. letech 20. století. Americký vynálezce Arthur “Mac” Barrett měl ideu, jak automatizovat dosavadní tažné traktory, které doposud používaly velice jednoduché senzory (nárazníky a mechanické spínače). Jednalo se o ideu systému vedení vozíku pomocí vodivého drátu. Nápad byl implementován firmou *Barrett-Cravens of Northbrook* v roce 1953. V roce 1954 byl tento systém řízení prvně nainstalován na tažný traktor ve společnosti *Mercury Motor Freight Company* v Jižní Karolíně, viz. obr. 1. [1]



Obrázek 1: Jeden z prvních AGV vozíků vyrobených společností Barrett-Cravens, rok 1954. [1]

V Anglii uvedla v roce 1956 vozík společnost *EMI*. Jednalo se o AGVS naváděný pomocí barevných pruhů na podlaze, které byly snímány optickým senzorem.

Na počátku Na počátku 60. let v Německu, firmy *Jungheinrich* a *Wagner Fördertechnik* začaly vyvíjet vlastní systém AGV. Společnost *Jungheinrich* na trh přišla v roce 1962 s vozíkem pod názvem “Teletrak”, viz. obr. 2, který byl naváděn pomocí optického snímače pruhů, nebo elektrickým vedením v podlaze, viz. obr. 3. Společnost *Wagner Fördertechnik* začala nabízet svůj AGVS v roce 1963 pro automobilový průmysl. [1]



Obrázek 2: AGV vozík “Teletrak” od společnosti *Jungheinrich*, optické vedení. [1]



Obrázek 3: AGV vozík “Teletrak” od společnosti *Jungheinrich*, elektrické vedení. [1]

AGVS byly využívány v podnicích a továrnách na přepravu materiálu a zboží z místa na místo, kde běžně tuto činnost vykonávali pracovníci pomocí manuálně ovládaných manipulátorů. Prostředí, kde AGV byly využívány, se muselo postupně adaptovat na jejich provoz. Z hlediska bezpečnosti pro snížení rizik střetu vozíku s pracovníkem bylo zapotřebí vytvořit prvky aktivní a pasivní ochrany. AGVS se řídily jednoduchými příkazy, přes kombinaci mechanické, elektrické a “elektronické” inteligence. Na konci 60. let se začaly využívat v malé míře pro řízení polovodičové obvodu (*TTL logic*). Bezpečnost vozíku a pracovníků byla zajišťována pomocí nárazníků a lišt opatřených dotykovými čidly, kdy vozík při kontaktu s překážkou zastavil. Vozík sledoval předdefinovanou dráhu na zemi od stanoviště ke stanovišti. Zastavení vozíku bylo provedeno magnetem umístěným v zemi, který snímal magnetický snímač umístěný na vozíku.

Na konci 60. let byl vyvinut AGV s automatizovaným tažným zařízením, které bylo schopno kdekoli připojovat a odpojovat tažené přívěsy. Příklad takového AGV od firmy *Jungheinrich*, “Ameise”, viz. obr. 4. [1]



Obrázek 4: AGV s automatizovaným tažným zařízením od společnosti Jungheinrich. [1]

Na počátku 70. let se řízení polovodičovými obvody stalo dostupnější, díky tomu se toto řízení mohlo používat ve více aplikacích AGVS. Řízení bylo rozvíjeno a byly použity jednoduché palubní počítače (založené již na mikroprocesorech. Začalo se využívat aktivní řízení vozíku, buď pomocí posílání dat skrze vodič uložený v podlaze, nebo infračervený, či rádiový signál. Se stále se zvyšující produktivitou, byl kladen velký tlak na zvýšení stupně automatizace. Vývojáři neustále zlepšovali řídicí systémy. Velký pokrok nastal s použitím mikroprocesorové technologie a PLC, kdy AGVS dokázaly pracovat mnohonásobně rychleji. Dokázaly splňovat i logisticky složité operace. Začaly se používat vylepšené senzorické systémy, které zlepšily přesnost navádění a stabilitu při jízdě. Zdokonalila se výdrž baterie. Ta však nebyla stále dostatečná, proto bylo zavedeno nutné automatické dobíjení baterie. Tento systém nabíjení byl stále příliš drahý a měl mnoho nedostatků. Běžným pohonem AGV se tedy stalo indukční vedení, kdy v podlaze byl umístěn vodič napájený střídavým proudem, který vytvářel magnetické pole. Toto pole indukovalo proud v cívkách upevněných na spodní straně AGV. Řízení vozíku bylo založeno na systému řízení v blokových sekcích (od stanice ke stanici). Díky tomuto pohonu mohly vozíky fungovat takřka nepřetržitě, bez nutného dobíjení baterií ve stanicích. Zrychlila se doprava a rozsah pohybu, vozíky mohly již vykonávat složitější úkony (couvání, vykládání apod.).

Použití systému indukčního vedení, mělo veliký vliv na automobilový průmysl, kde byl již v tu dobu kladen velký tlak na vyšší stupeň automatizace. Zapojení AGVS značně napomohlo automatizaci výrobních procesů. AGV se začaly využívat ve velkém množství, jako mobilní montážní jednotky, kdy samotný vozík fungoval jako montážní

plošina, která se pohybovala od stanoviště ke stanovišti, viz. obr. 5 a 6. Dále se AGV využívaly jako automatizovaný systém zásobování komponent na montážních linkách. [1]



Obrázek 5: Montážní linka motorů, VW, Hannover, 1986. [1]



Obrázek 6: Montážní linka karoserií Passat, VW, Emden, 1986. [1]

Na konci 80. let zasáhla průmysl recese. Pořizovací a provozní náklady AGVS byly stále navyšovány. Díky tomu další využívání AGVS spíše klesalo. Rovněž skutečnost, že japonské automobilky dokáží udržet stejné tempo i kvalitu, mnohdy i lepší, při nižších nákladech, pomocí primitivnějších prostředků nepomohly rozvoji AGVS.

Od poloviny 90. let byly ustanoveny nové standardy. Trh s díly pro systémy AGVS byl značně rozšířen, systémy se staly mnohem levnější na výrobu a servis. Se sníženými cenovými nároky se našlo uplatnění i v mnoha jiných odvětvích, kde dříve nebyla možnost nasazení.

V AGVS se začaly využívat nové systémy navigace, jako je řízení laserem, transpondérem, zabudovanou vlastní navigací, nebo magnetická orientace v prostoru. Zdokonalením indukčního nabíjení se AGVS staly ještě méně nákladnými na provoz a údržbu. S rozvojem bezkontaktní inteligentní senzorické technologie se zlepšila bezpečnost AGVS. [1]

## 2.1.2 NAVIGACE AGVS

### INDUKČNÍ

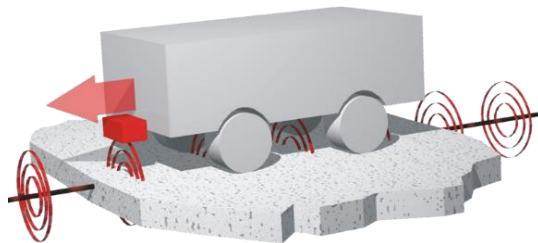
U indukční navigace, viz. obr. 7, se využívá dvou typů systému, Pasivní systém a Aktivní systém.

**Pasivní systém** je založen na snímání magnetického vodiče umístěného na zemi, většinou se jedná o kovový pás o šířce 5 až 10 cm. Na spodní straně vozíku je umístěno několik magnetických čidel, které snímají kovový pás. Pokud se vozík odchýlí od pásu, senzory zaznamenají odchylku od magnetického pole a počítač uvnitř vozíku upraví řídicím motorem směr. Jedná se o velice jednoduchý systém. [1] [2] [3]

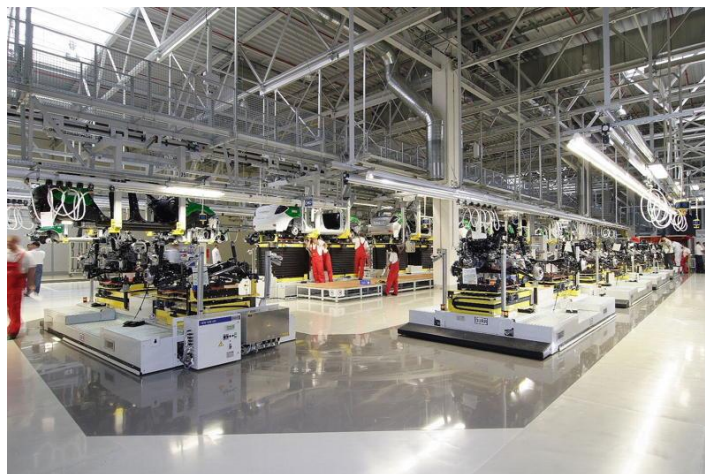
**Aktivní systém** je založen na umístění vodivého drátu do podlahy, vodičem je veden proud, který vytváří magnetické pole. Vedení je většinou rozděleno na několik úseků a každý se dá samostatně řídit. Na spodu vozíku jsou uloženy dvě cívky na sebe kolmé, díky magnetickému proudu vytváří každá cívka rozdílné proudy. Odchylka proudů určuje, jak moc je vozík vychýlen od trasy, počítač tuto odchylku sleduje a podle ní upravuje dráhu trasy. Změnou frekvence střídavého proudu ve vodiči v podlaze, můžeme vozík ovládat. [1] [2] [3]

Výhodou těchto systémů je jejich odolnost na okolní podmínky. Pokud je vodič uložen v zemi, nemůže se mu takřka nic stát a jeho životnost je dlouhá, viz obr. 8.

Nevýhodou jsou vysoké náklady na pořízení systému a zabudování vodiče do země. Proto by tento systém neměl být na místech, kde se často mění dráhy.



Obrázek 7: Indukční navádění AGV. [3]



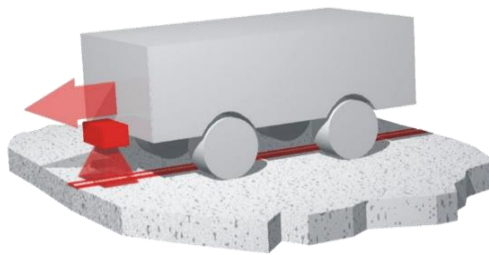
Obrázek 8: Indukční navádění AGV, s uložením v zemi. [3]

## OPTICKÁ

Optická navigace, viz, obr. 9 a 10, je realizována pomocí barevných pásů umístěných na podlaze. Na vozíku je umístěn optický snímač (kamera), který snímá barevný pás. Snímač rozeznává okraje pásu a určuje aktuální odchylku od okrajů. Tyto údaje jsou zpracovány procesorem HW uvnitř vozíku, který dále mění kurz.

Optická navigace je jedním z nejlevnějších a nejjednodušších řešení. Díky změně barev pásu se dají vozíky instruovat, měnit rychlost apod.

Nevýhodou toho systému je náchylnost optického snímače na porušení nebo znečištění pásu. Tudíž by tento systém neměl být využíván v prostorech, kde se po drahách vozíku pohybují jiné manipulátory a mohly by zapříčinit znečištění, či poškození pásů. [1] [2] [3]



Obrázek 9: Optické navádění AGV. [3]



Obrázek 10: Optické navádění AGV. [3]

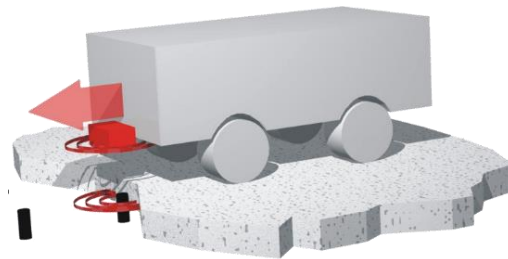


## MAGNETICKÁ – TRANSPONDÉRY

Magnetická navigace, viz. obr. 11 a 12, je realizována pomocí válečku permanentních magnetů umístěných v podlaze. Průměr válečku je 5 až 20 mm. Vozík je vybaven magnetickým snímačem, který snímá magnety uspořádané v řadě za sebou nebo v mřížce. Přesnost tohoto systému přímo závisí na počtu magnetů (vzdálenost magnetů od sebe). Pokud se bude vzdálenost zvyšovat, přesnost se bude snižovat a naopak. Magnety v podlaze jsou snímány snímačem umístěným na podvozku vozíku a vyhodnoceny řídicí jednotkou, která určí polohu vozíku, popřípadě upraví kurz.

Velkou výhodou tohoto systému je jeho odolnost a bezporuchovost. Systém se dá využít i ve venkovních podmínkách.

Nevýhodou jsou veliké náklady na pořízení a zabudování. [1] [2] [3]



Obrázek 11: Magnetické navádění AGV. [3]

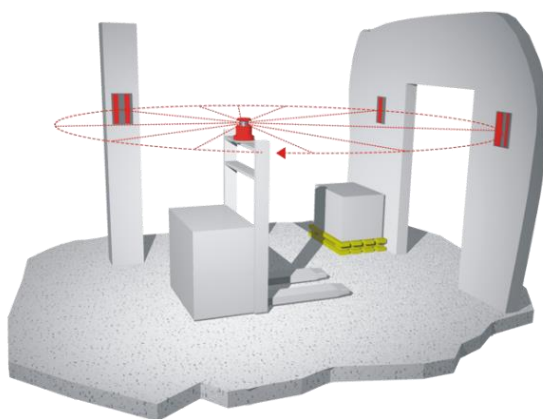


Obrázek 12: Magnetické navádění přístavního mostového jeřábu. [3]

## LASEROVÁ

Je realizována pomocí laserového vysílače umístěného na vrchní části vozíku, viz. obr. 13 a 14. Vysílač distribuuje do svého okolí laserové paprsky, přičemž podél zvolené trasy je nutné rozmístit odrazové značky nad úroveň ostatních pohybujících se překážek v okolí. Paprsky vyslané z vysílače se odrážejí od těchto značek zpět do vysílače, který předá informace do řídicího systému vozíku. Ten zpracuje polohu vozíku a dle naprogramované trasy upraví směr. Trať vozíku je buď naprogramována, nebo lze vozík trať naučit výukovou jízdou, kdy si vozík trať zapamatuje a je řízen podle ní. V případě, že odrazové značky jsou zakryty překážkou, vozík pokračuje zcela autonomně po předem naučené trase. Ve spojení se sensorikou bezpečnosti, dokáže vozík překážky objet po alternativní trase a vrátit se na původní trasu. Díky tomuto řešení se stala laserová navigace velice efektivní.

Nespornou výhodou toho systému je skutečnost, že není třeba nic zabudovávat do země. [1] [2] [3]



Obrázek 13: Laserové navádění AGV. [3]



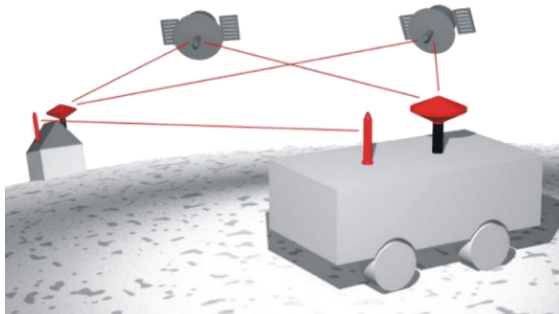
Obrázek 14: Laserové navádění AGV. [3]

## SATELITNÍ – GPS

Satelitní navigace, viz. obr. 15 a 16, je založena na GPS systému. Tento systém umožňuje navádění ve velkých prostorách (především venkovních), které žádné z výše uvedených systému navigace není schopné zajistit.

Každé AGV má vysílač GPS signálu, který vysílá signál o aktuální poloze satelitům obíhající na oběžné dráze kolem Země. Satelity signál přijmou a odvysílají ho zpětně na Zem do centrálního systému řízení. Na základě získaných údajů centrální systém řízení vyhodnotí polohu vozíku. Pokud se údaje trasy neshodují s plánem trasy, centrální systém upraví data plánu a zašle je určenému vozíku. Vozík pomocí přijímače umístěném na horní straně data přijme a upraví v případě odchylky od naplánované trasy kurz.

Jedná se o nejméně přesný systém navigace z výše uvedených, proto je používán pouze ve venkovních prostorách na větší vzdálenosti, kde se nepřesnost navigace může tolerovat. Pořízení tohoto systému je také velice nákladné díky využití satelitů. [1] [2] [3]



Obrázek 15: Satelitní navádění AGV. [3]



Obrázek 16: Satelitní navádění venkovního jeřábu. [3]

### 2.1.3 SOUČÁSTI AGV – KONSTRUKCE

AGV se skládá z několika hlavní částí:

- 1) Vnitřní nosný rám – hlavní nosný prvek vozíku. Je konstruován dle požadavků, zda bude vozík fungovat jako nosná jednotka, viz, obr. 17, nebo tahač, viz. obr. 18. Dle těchto hledisek se volí materiál rámu a jeho tvar. Ve většině případů je rám vyroben z oceli, nebo hliníku. V poslední době se začínají využívat také kompozitní materiály a plasty.



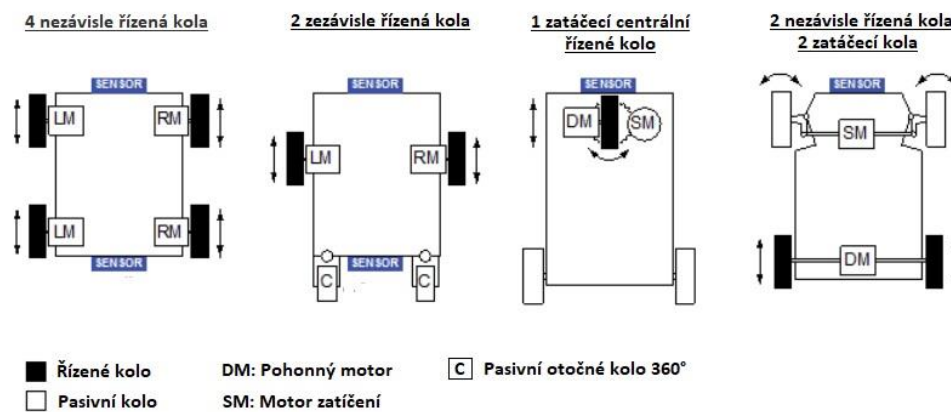
Obrázek 17: Nosné AGV od firmy SSI Weasel. [4]



Obrázek 18: Tažné AGV od firmy CEIT. [5]

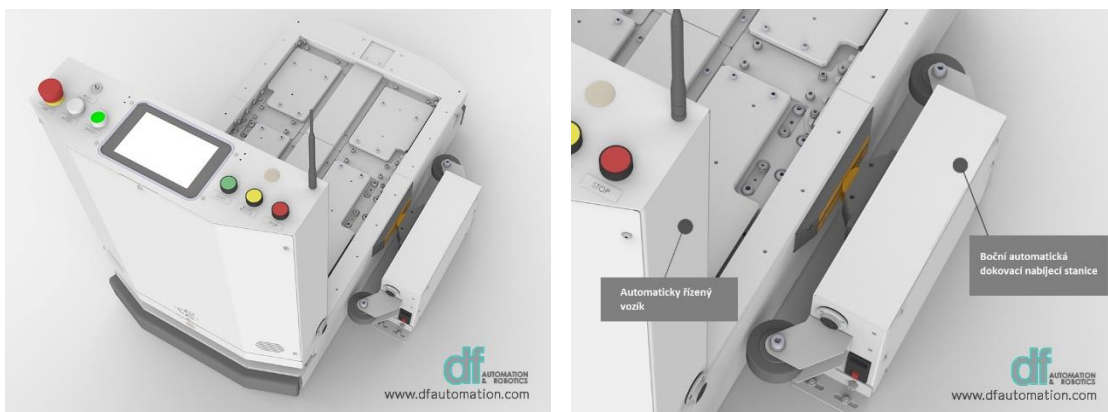
- 2) Kryt vozíku – zakrývá většinu vnitřních částí vozíku, musí zamezit neoprávněnému vniknutí k vnitřním komponentům, může chránit vnitřní komponenty před nečistotami z okolí (prach, hlína, voda apod.). Kryt může být vyroben z ocelových, hliníkových plechů, plastů a kompozitů. Náročnost provozu určuje volbu materiálu. Nosné AGV, viz. obr. 17, mají požadavek na pevné a odolné kryty, které zároveň mohou sloužit jako nosná konstrukce. Je zde kladen větší požadavek na tuhost, a proto musí být vyrobeny z pevnějších materiálů (ocel). Tažné AGV nekladou velké nároky na celkovou tuhost krytů, které mají za úkol pouze zakrýt vnitřní komponenty. Mohou být vyrobeny z výše uvedených méně odolných materiálů.

- 3) Kolečka – jsou vybírána dle mnoha kritérií a to: v jakém prostředí je vozík umístěn, jaké zatížení musí kolečka snést a jaká má být jejich životnost. U AGV je dalším kritériem způsob pohonu a řízení kolečka, viz. obr. 19. Vozík má vždy poháněné minimálně jedno kolečko, které je poháněno pomocí elektromotoru. Vozík by měl disponovat minimálně jedním otočným kolečkem (ve svislém směru) pro řízení směrů pohybu. Toto kolečko může být buď poháněno servomotorem (kolečko řídí přímo směr vozíku), nebo volně otočné (kolečko nepřímě řídí směr vozíku). Existují ale i případy řízení směru vozíku bez otočného kolečka, pouze pomocí řízených pohybových koleček. Běžné vozíky disponují třemi nebo čtyřmi kolečky. [6]

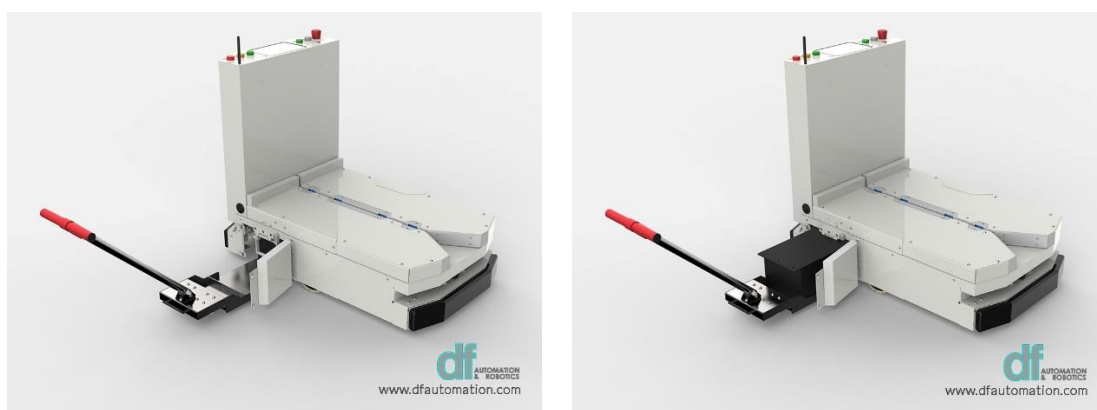


Obrázek 19: Způsob řízení a pohyb AGV. [6]

- 4) Baterie – zásobník energie pro provoz AGV bez přívodu stálé energie. Baterie jsou standartně veliké, mohou zaujmout až 1/2 objemu vozíku, musí zaručit přísun dostatečného výkonu a kapacity pro provoz. AGV, které jsou napájeny pomocí zabudovaných vodičů v zemi, baterií nemusí disponovat (indukční a kolejnicové napájení). AGV, které jsou napájeny pouze z baterií, jsou závislé na její kapacitě, baterie musí být v průběhu provozu buď dobíjena, nebo vyměněna za nabitou. Určení typu baterie hraje velikou roli na celkový návrh AGVS. Pokud AGV disponuje baterií, která se v průběhu provozu dobíjí, musí systém obsahovat dobíjecí stanice, viz. obr. 20, které jsou většinou umístěny na všech místech, kde AGV zastaví. Tento systém dobíjení AGV je sice efektivní, ale vyznačuje se velkými pořizovacími náklady. Systém vyměnitelné baterie, viz. ob. 21, je z hlediska nákladů levnější, avšak je zapotřebí počítat s časovou náročností výměny baterie. [7]

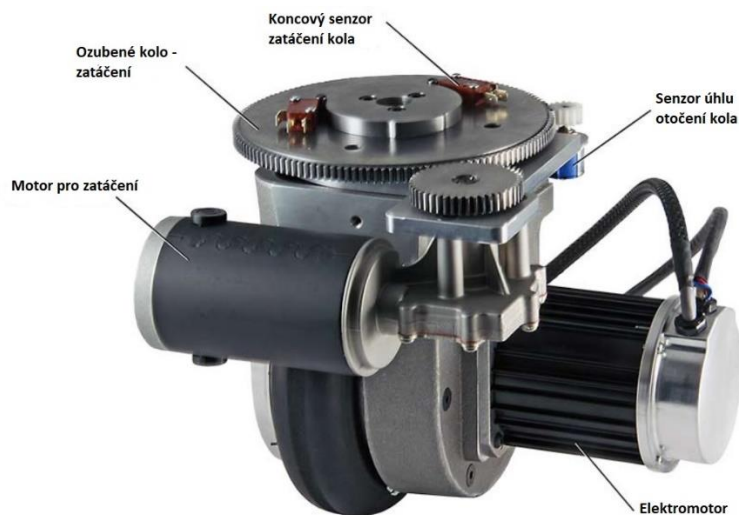


Obrázek 20: Automatizovaná dobíjecí stanice AGV Zalpha CH01 od firmy Df Automation. [7]



Obrázek 21: Výměnná stanice baterií AGV Zalpha CH02 od firmy Df Automation. [7]

- 5) Motor s převodovou skříní – jsou hlavní pohonná jednotka AGV. Pro správnou volbu tohoto agregátu je nutno určit: v jakém prostředí vozík jezdí, jakou silou musí disponovat, aby uvezl vozík s nákladem, jakou rychlostí se vozík musí pohybovat, způsob řízení vozíku. Typ řízení vozíku hraje zásadní roli při návrhu volby motoru. Pokud vozík disponuje zatáčecími kolečky poháněnými servomotory, je pohonný motor ve většině případů umístěn na nezatačecích přímých kolečkách. Jedná se o snadnější a levnější řešení. Existují však kolečka, která obstarávají obě funkce zároveň, řídí směr AGV a pohánějí ho vpřed, či vzad. Jedná se o dražší a složitější řešení, ale může ušetřit místo uvnitř AGV, viz. obr. 22.



Obrázek 22: Plně integrované pohonné ústrojí s kolečkem od firmy Allied Motion. [8]

- 6) Bezpečnostní senzory a ukazatele – jedna z nejdůležitějších a nejdražších komponent AGV. Vozík dnes musí splňovat náročné bezpečnostní předpisy pohybu mezi pracovníky. Pokud se AGV pohybuje po trasách, které nejsou oddělené od tras kudy prochází personál, či se pohybují jiné manipulátory, musí AGV disponovat bezpečnostními systémy, které monitorují okolí vozíku. Mezi nejvíce používané senzory se řadí detektory pohybu (laserové snímače, scannery), viz. obr. 23. Vozíky musí být dle norem náležitě osvětlené, popřípadě ozvučené, aby byly jasně rozeznatelné na určité bezpečnou vzdálenost.



Obrázek 23: Laserový scanner od firmy Sick. [9]

- 7) Řídící jednotka – mozek celého AGV, jednotka obstarává veškerý datový tok a řízení AGV. Zajišťuje spolupráci vnitřních systémů (pohyb, poloha, bezpečnost, úlohy). Bezpečnostní systémy spolupracují s pohybem AGV. Pokud bezpečnostní systém zaznamená na trase překážku, dá informaci do řídicí jednotky, která nařídí pohonu vozíku okamžitě zastavit. V jednotce jsou nahrány jednotlivé úlohy, které má vozík plnit (trasa, úkony, ...). AGV na základě polohy a předchozích činností vyhodnocuje, co se má dále dít a podle toho udává informace ostatním systémům. V dnešní době je mikroprocesorová technologie na velmi vyspělé úrovni, díky ní se využívají velice malé a výkonné mini počítače. Čím jednodušším systémem AGV disponuje, tím může být použita levnější a méně výkonná řídicí jednotka a naopak.

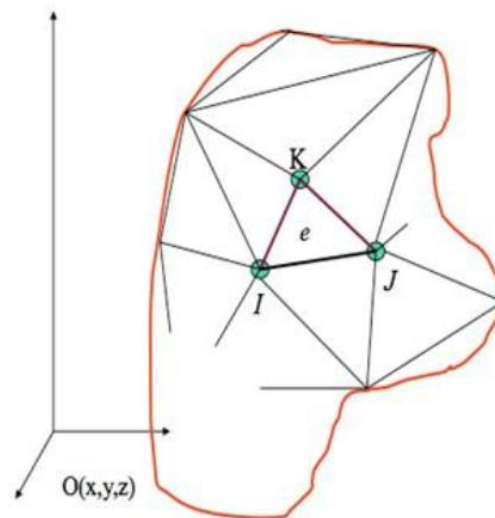


## 2.2 METODA KONEČNÝCH PRVKŮ (MKP)

Metoda konečných prvků (MKP), z anglického názvu “Finite Element Method“ (FEM), je numerická metoda používána pro simulace a analýzy výpočetních úloh. Pomocí MKP se mohou simulovat různé procesy, od mechanického průběhu namáhání, přes jevy elektromagnetismu, až po proudění tekutin. V současné době je MKP velmi často využívána pro kontrolní výpočet konstrukčních návrhů součástí a konstrukcí, pro simulování průběhů namáhání a určení kritických míst konstrukce.

Z názvu lze jasně odvodit, že základem metody je prvek konečných rozměrů, oproti klasické pružnosti, která vychází z představ rovnováhy nekonečně malých elementů. Metoda vychází z diskretizací (rozdělení) spojitého kontinua do určitého (konečného) počtu prvků. Pro výpočet pomocí MKP je nutné simulovaný model rozdělit na konečný počet velice malých prvků (elementů). Tyto elementy jsou vzájemně propojeny v uzlových bodech a tvoří síť systému, viz. obr. 24. Síť neboli systém uzlových bodů se vzájemně liší tvarem a hustotou. Hustotou elementů mimo jiné předurčujeme přesnost simulace. [10] [11] [12] [13]

- e – element sítě
- K, I, J – uzlové body elementu

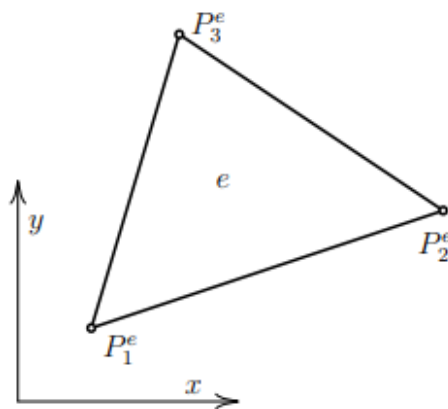


Obrázek 24: Trojúhelníkový element výpočetní sítě. [10]

## 2.2.1 ROZDĚLENÍ ELEMENTŮ

- **LINEÁRNÍ TYP ELEMENTU**

Běžným zástupcem řešení diskretizace modelů ve 2D i 3D aplikacích. Běžným tvarem 2D aplikací je lineární trojúhelník, viz. obr. 25. Dalšími tvary jsou např. čtverce, obdélníky, čtyřúhelníky, čtyřstěny apod.



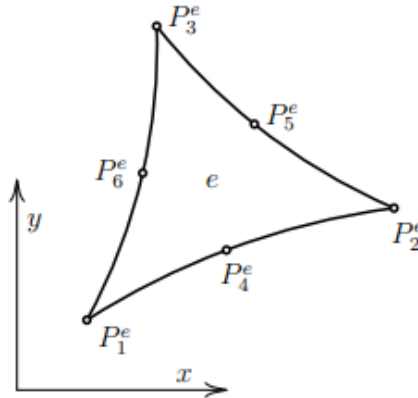
Obrázek 25: Lineární trojúhelník T3. [14]

Lineární trojúhelníkový element má 3 vrcholy, které slouží jako uzlové body se 6 deformačními parametry. Jednotlivé spojnice uzlových bodů jsou definovány lineárními rovnicemi. Trojúhelníkový element je schopný pokrýt tvarově složité oblasti modelu, než je tomu např. u čtvercového elementu. Protože se jedná o lineární typ, popsany lineárními funkcemi, nemůže při aplikaci zatížení nijak měnit svůj obsah (2D aplikace), či objem (3D aplikace). Jednotlivé spojnice mohou pouze rotovat kolem uzlových bodů, při zachování stále stejného obsahu, či objemu. Z toho vyplývá, že celkové deformace se dějí pouze přemístováním celých elementů v síti. [10], [11], [12], [13], [14]

- Výhody **lineárního elementu** např.: rychlost výpočtu, menší nároky na výpočetní zařízení, jednodušší nastavení.
- Nevýhody **lineárního elementu** např.: použití pouze v méně náročných aplikacích, menší přesnost výpočtu oproti kvadratickému elementu.

- **KVADRATICKÝ TYP ELEMENTU**

K výpočtu jednotlivých spojnic uzlových bodů jsou využívány kvadratické rovnice.



Obrázek 26: Kvadratický trojúhelník T6. [14]

Kvadratický element obsahuje mezi krajními uzlovými body (střed spojnice) navíc další uzlový bod, viz. obr. 26, který dává elementu schopnost změny tvaru (zakřivení). Spojnice může měnit svůj tvar do tvaru paraboly. Tato funkce dává elementu možnost změny vlastního obsahu, či objemu. Elementy mohou v síti přesněji vykreslit deformace, protože nedochází pouze k lineárnímu pohybu celých elementů.

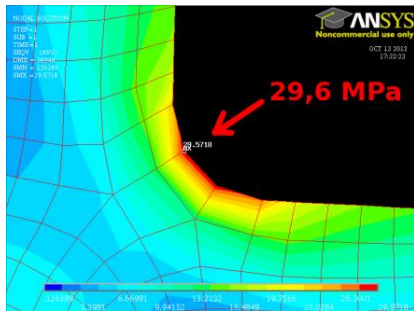
Jak již bylo výše řečeno, kvadratické řešení je přesnější. Díky složitosti řešení kvadratických funkcí, je výpočetní čas delší (oproti lineárnímu řešení v řádu hodin či dní). Je nutné dbát na zvýšenou pozornost při kontrole sítí, kde se může vyskytovat řada chyb, které se objeví až po výpočtu. [10], [11], [12], [13], [14]

- Výhody **kvadratického elementu** např.: vysoká přesnost výpočtu, použití v nejnáročnějších aplikacích.
- Nevýhody **kvadratického elementu** např.: velká časová náročnost výpočtu, vysoké nároky na výpočetní zařízení.

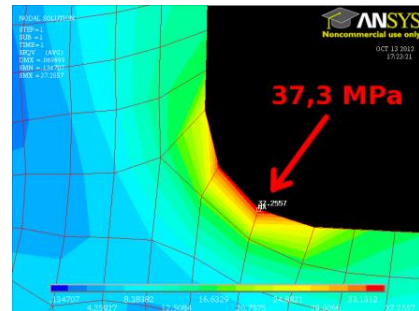
Příklad rozsahu chyby výpočtu mezi lineárním a kvadratickým typem elementu:

Pro ověření rozsahu chyby při výpočtu pomocí lineárního, nebo kvadratického typu elementu, je vytvořen příklad průběhu napětí v oblasti zaoblení rohu na 3D modelu. Příklad je proveden na stejném modelu se stejnou hustotou sítě (zvolena stejná velikost elementu), působící síla na model je vždy stejná. V prvním části příkladu je proveden výpočet s použitím stejné hustoty sítě, ale v prvním případě je použit lineární typ

elementu, viz. obr. 27, v druhém kvadratický typ, viz. obr. 28. Při zvolení lineárního typu elementu je výsledné napětí v zaoblení rohu 29,6 MPa. Při zvolení kvadratického typu elementu je napětí 37,3 MPa. Výsledná maximální napětí se liší o 6,7 MPa.

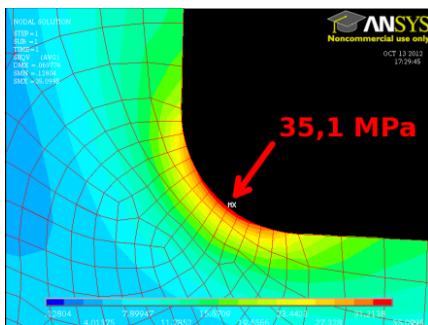


Obrázek 27: Zvolení lineárního typu elementu sítě, hrubá síť. [15]

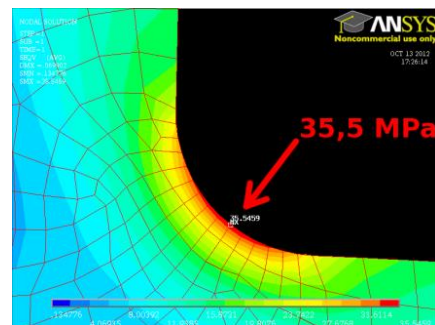


Obrázek 28: Zvolení kvadratického typu elementu sítě, hrubá síť. [15]

V druhé části příkladu, jsou oba typy elementů v zaoblení lokálně zmenšeny, síť je jemnější. V případě výpočtu s použitím lineárního typu elementu, viz. obr. 29, je výsledné napětí 35,1 MPa. V případě kvadratického typu elementu, viz. obr. 30, je výsledné napětí 35,5 MPa.



Obrázek 29: Lineární typ elementu sítě, jemná síť. [15]

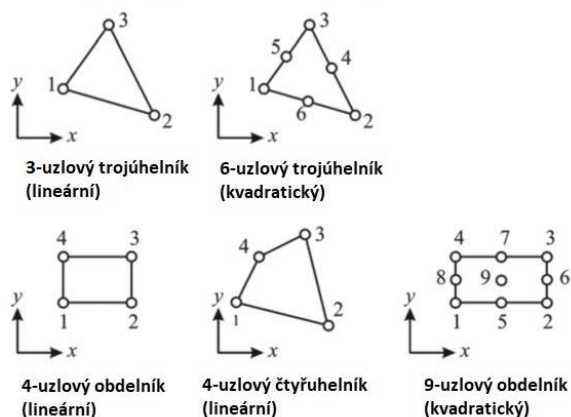


Obrázek 30: Kvadratický typ elementu sítě, jemná síť. [15]

Po ověření výsledků s jemnou sítí je zřejmé, že rozsah chyby výpočtu v případě kvadratického elementu, při zvolení hrubší sítě, není tak velký, jako v případě lineárního elementu.

- **PLOŠNÉ ELEMENTY**

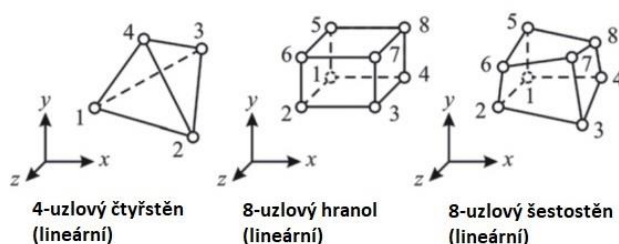
Používají se pro modelování plošných součástí (tenké plechy, tenkostěnné nádoby). Tloušťka materiálu je natolik malá, že nemá význam využívat objemových elementů, které by byly příliš malé. Elementy mají nejčastěji tvar trojúhelníku nebo čtyřúhelníku, příklady jsou zobrazeny na obrázku 31. [10], [11], [12], [13], [14]



Obrázek 31: Plošné elementy. [12]

## • OBJEMOVÉ ELEMENTY

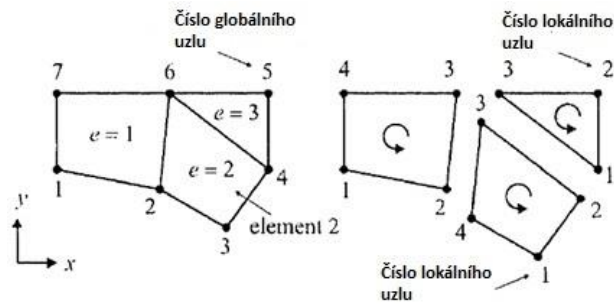
Používají se pro modelování objemových součástí, tam kde již nelze dostatečnou tloušťkou využít plošných elementů. Elementy mají většinou tvar čtyřstěnu, pětistěnu, nebo kvádra, příklady takových objemových elementů jsou zobrazeny na obrázku 32. [10], [11], [12], [13], [14]



Obrázek 32: Druhy objemových elementů. [12]

### 2.2.2 VÝPOČETNÍ SÍŤ

Výpočetní síť je jeden z hlavních prvků výpočetního modelu. Síť je výsledkem rozpadu modelu do konečného počtu prvků, které jsou vzájemně spojeny v uzlových bodech, jak lze vidět na obrázku 33. Výpočetní síť reprezentuje tvar vstupního výpočetního modelu. Přesnost reprezentace modelu je dána typem a velikostí elementů a počtem elementů (hustota sítě). Se zvyšujícím se počtem elementů v síti se zvětšuje jemnost sítě a její výsledná kvalita. [10], [11], [12], [13], [14]

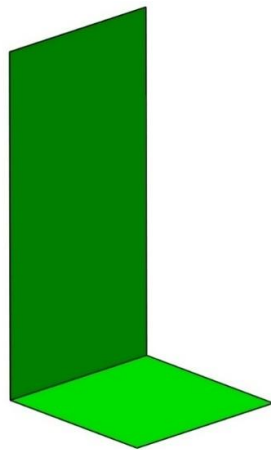


Obrázek 33: Rozdělení na jednotlivé elementy (globální) a na jednotlivé uzlové body elementu (lokální). [12]

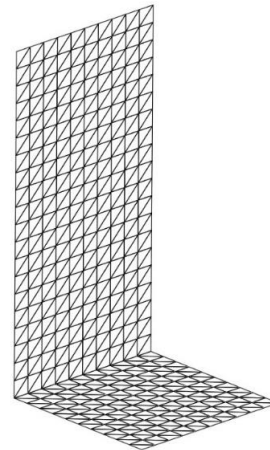
## ROZDĚLENÍ SÍTÍ

- **Plošná síť**

Plošná síť je složená z lineárních nebo kvadratických elementů (před vygenerováním sítě je zvolen typ), volba závisí na požadované přesnosti výpočtu a náročnosti aplikace. Síť je více využívána pro plošné tenkostěnné aplikace, jakými jsou např.: tenké plechy, tenkostěnné nádoby apod. Příklad plošného tenkostěnného modelu uveden na obrázku 34 a 35.

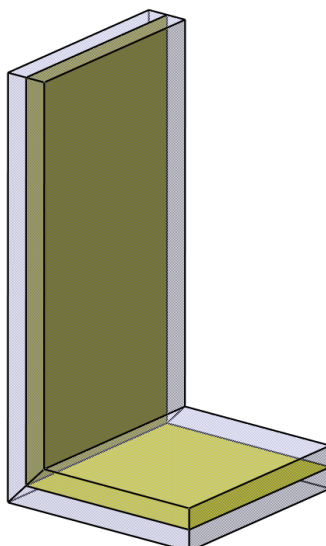


Obrázek 34: Plošný model.



Obrázek 35: Vygenerovaná plošná síť.

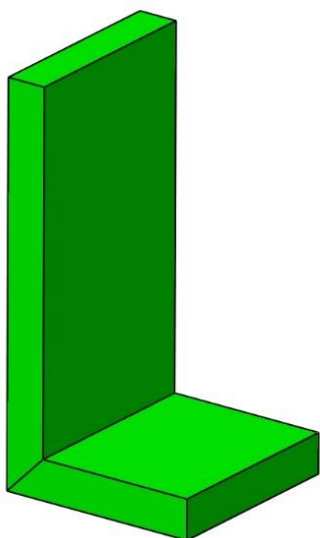
Plošná síť může být také využívána pro zjednodušení objemových 3D modelů. Pro zjednodušení výpočtu je model převeden do střednicového modelu (příklad střednicového modelu uveden na obrázku 36). Střednicovému modelu je zadána před výpočtem tloušťka materiálu (může být v průběhu výpočtu kdykoliv snadno změněna), se kterou program pracuje. Nevýhodou střednicových modelů je jejich časová náročnost na vytvoření a nejsou přesné jako plnohodnotný 3D model. [10], [11], [12], [13], [14]



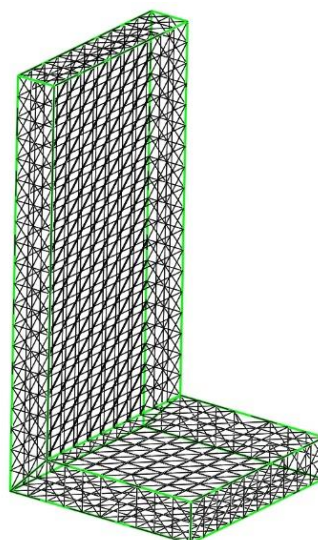
Obrázek 36: 3D model převeden do střednicového modelu.

- **Objemová síť**

Objemová síť je složená z objemových elementů, které jsou vzájemně spojeny v uzlových bodech. Síť je přesnější pro výpočet, ale je složitější na vytvoření, oproti plošným sítím. Na obrázku 37 a 38, lze vidět příklad 3D modelu s vygenerovanou objemovou sítí. Přesnost závisí na volbě typu a velikosti elementů a na jejich počtu (hustota sítě). [10], [11], [12], [13], [14]



Obrázek 37: Model 3D.

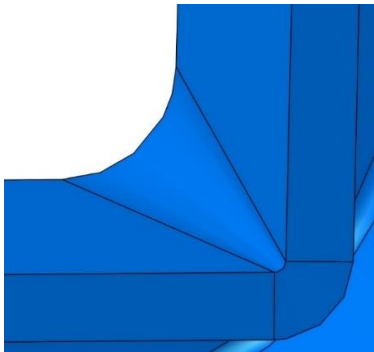


Obrázek 38: Objemová 3D síť.

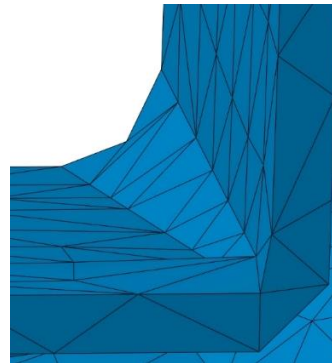
### 2.2.3 VOLBA VELIKOSTI ELEMENTU SÍŤE

Velikost elementů určuje hustotu výsledné sítě modelu. Výpočetní model má konečný objem či plochu, počet elementů je tedy závislý na jejich velikosti. Pokud jsou zvoleny elementy s větší velikostí, síť je hrubá a nepřesně reprezentuje geometrii modelu. Se zmenšujícími se elementy narůstá jejich počet v modelu a síť je jemnější. Menší velikost elementů lépe reprezentuje geometrii modelů.

Níže je představen příklad volby velikosti elementů. Na obrázku 39 je vytvořen příklad modelu se zaoblením rohu, které je na jedné straně malé a postupně se zvětšuje ke druhé straně. Na obrázku 40 je vygenerovaná síť s velikostí elementů 10 mm. Z obrázku je vidět hrubost sítě a změna tvaru zaoblení ve zkosení rohu s ostrými rohy.

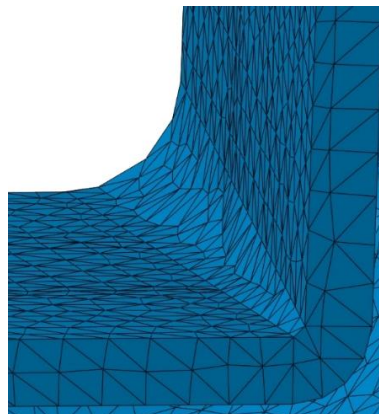


Obrázek 39: Model 3D se zaoblením.



Obrázek 40: Vygenerovaná síť 3D modelu s velikostí elementů 10 mm.

Na obrázku 41 je vygenerovaná síť s velikostí elementů 2,5 mm. Oproti předchozí síti s velikostí elementů 10 mm lze vidět jasné zlepšení kvality sítě a lepší reprezentace geometrie modelu.



Obrázek 41: Vygenerovaná síť 3D modelu s velikostí elementů 2,5 mm.



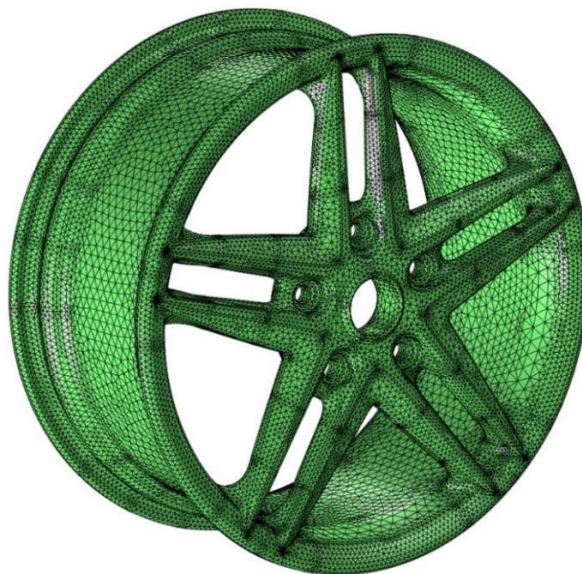
## 2.2.4 METODY VYTVÁŘENÍ SÍTÍ

Výpočetní síť lze vytvářet metodou automatického, manuálního a postupového (iteračního) postupu.

### METODA AUTOMATICKÉHO VYTVÁŘENÍ SÍTÍ

Automatické generování sítí je nejrozšířenější metoda. Pro vytvoření sítě není zapotřebí speciální kvalifikace. Po nastavení parametrů elementů (velikost, typ) ve výpočetním programu, je síť automaticky spočítána a vygenerována. Oproti manuální metodě je automatická metoda rychlejší na generování. Automatická metoda generování může způsobovat mnoho vad v síti (chybějící elementy, nepřesná prezentace geometrie modelu, shluk malých elementů apod.).

Příklad automatické tvorby je uveden na obrázku 42. Vygenerovaná síť má velký počet elementů (jemná síť). Ve velkých geometricky jednoduchých plochách jsou použity větší elementy, ale pouze do maximálně nastavené velikosti. V geometricky složitých oblastech je generovaná síť jemnější a jsou použity menší elementy. Mohou se však vytvářet shluky elementů (černé lokální skvrny na modelu disku, jedná se o velice malé elementy), které prodlužují výpočet a mohou mít negativní vliv na další výpočet. [16]

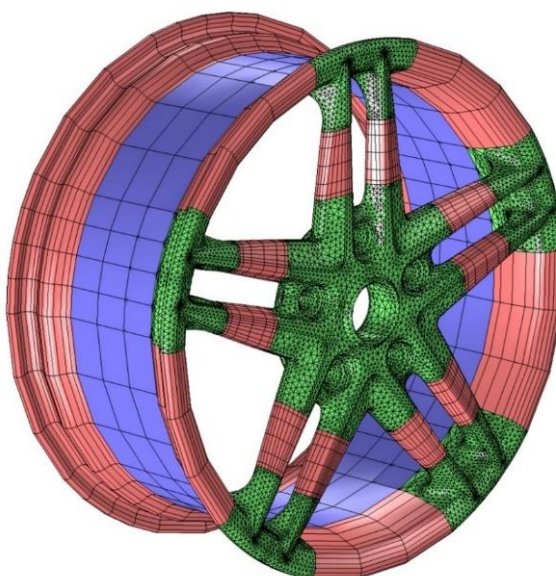


Obrázek 42: Disk automobilu, automaticky generovaná síť. [17]

## METODA MANUÁLNÍHO VYTVÁŘENÍ SÍTÍ

Manuální generování sítí je méně rozšířená metoda. Je to dáno díky její náročnosti a potřebě zvýšené kvalifikace. Tvorba sítě manuální metodou, oproti automatické, může u stejného modelu trvat i několikrát delší dobu. Pro její složitost se dnes spíše nepoužívá k vytváření celých sítí, ale v kombinaci s automatickým generováním. Sít' je automaticky vygenerována a následně je manuálně upravena v důležitých a kritických bodech.

Příkladem kombinace automatického a manuálního generování je opět příklad automobilového disku, viz. obr. 43. Disk je v první fázi automaticky vygenerován (zelená sít'), následně jsou méně kritická a geometricky přímá místa manuálně upravena (červená a modrá sít'). Výsledkem je snížení výpočetního času. [16]



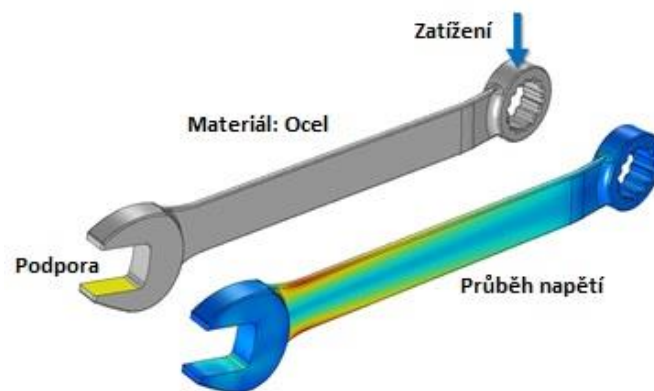
Obrázek 43: Disk automobilu, manuálně upravená sít' po automatickém generování. [17]

## METODA POSTUPNÉHO SÍŤOVÁNÍ (ITERAČNÍ)

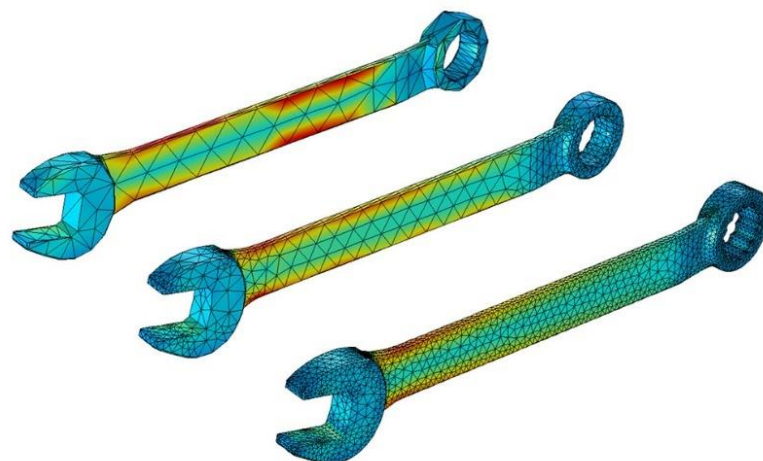
Metoda postupného síťování je založena na principu opakované úpravy sítě a opakovaného výpočtu. Je přesnějším způsobem oproti manuální a automatické metodě, časově však může být náročnější. Iterační metoda je částečně odlišná od ostatních metod, protože zde probíhá celý proces výpočtu (generace sítě a výpočet). Tato metoda nahrazuje složité kontroly sítí a jejich následné manuální upravování, jako tomu je u automatické, či manuální metody. Kde je nutné po každém výpočtu výsledek zkontrolovat a v případě nevyhovujícího výsledku sít' upravit a provést výpočet znovu. Iterační metoda tento

zdlouhavý proces nahrazuje a automatizuje, ale je potřeba zadat veškerá výpočetní vstupní data na počátku procesu (vazby, zatížení, materiál, velikost a typ elementů, počet opakování), viz. obr. 44. Nevýhodou je, že během procesu není možný přístup k vypočítávaným údajům.

V první fázi program vygeneruje hrubou síť, která je časově méně náročná na generování a je následně proveden výpočet. Pomocí výsledků program vyhodnotí průběh (např. napětí, deformace) a na jejich základě provede úpravu sítě (zjemnění sítě v kritických místech). Upravená síť je opětovně spočítána a výsledky jsou znovu vyhodnoceny. S každým opakováním je síť jemnější a přesnější, viz. obr. 45, ale výpočetní čas je stále více navyšován. Opakování probíhá do té doby, než je dosaženo určeného počtu opakování (iterací), nebo jednotlivé odchylky výsledků jsou mezi sebou natolik malé, že program ukončí proces (odchylka je nastavována v procentech). [16]



Obrázek 44: Příklad zadání zatížení stranového klíče a zobrazení výsledného namáhání bez výpočetní sítě. [16]



Obrázek 45: Metoda postupné síťování stranového klíče, od počáteční hrubé sítě, po finální jemnou síť. [16]

### 2.2.5 PROGRAMY MKP

- Ansys – Jeden z nejznámějších a nejpoužívanějších výpočetních programů na trhu. Umožňuje vytvářet výpočty pro mnoho odvětví (strojírenské, zdravotnické, letecké, železniční atd.). Má mnoho funkcí a nástaveb, které program dále rozšiřují.
- Abaqus – Jeden z prvních více rozšířených programů na trhu. Byl vydán v roce 1976. Program je specifický svým rozhraním, umožňuje vytvářet CAD modely a zároveň výpočty MKP.
- Adina – Je rozšířeně využíván v akademickém prostředí pro výpočty mechanického, tepelného namáhání a elektromagnetismu.
- Catia – Velice rozšířený program v automobilovém a leteckém průmyslu. Program obsahuje mnoho nástaveb programování a modelování (CAD, CAM, CAE, ...), obsahuje také nastavbu simulací modelů a sestav.
- Nastran – První plnohodnotný MKP program, vytvořen na konci 60. let pro společnost NASA. [11]

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem diplomové práce je návrh konstrukčního řešení plastového šasi AGV.

V první části experimentální části diplomové práce jsou uvedeny specifikace aktuálně provozovaného AGV v závodech Magna Liberec, Nymburk. Dále jsou uvedeny požadavky pro navrhované AGV a koncepční návrhy AGV.

#### 3.1 AKTUÁLNĚ PROVOZOVANÁ (PLECHOVÁ) AGV V ZÁVODECH MAGNA

V závodě Liberec a Nymburk jsou nyní v provozu AGV pro přepravu nárazníků. Z důvodu výroby velkých objemů nárazníků, je důležitá plynulá a efektivní přeprava. Běžné vysokozdvizné vozíky nejsou schopny přepravit dostatečné množství nárazníků. Z tohoto důvodu vznikl systém dopravy nárazníků pomocí AGV. Přeprava pomocí AGV je dále využita mezi dalšími stanovišti, které nárazníky musí absolvovat. Příklady provozu vozíků jsou uvedeny na obrázcích 46 a 47.



Obrázek 46: Provizorní sklad nárazníků z lakovny v závodě Nymburk (strana výjezdu ze skladu). [18]

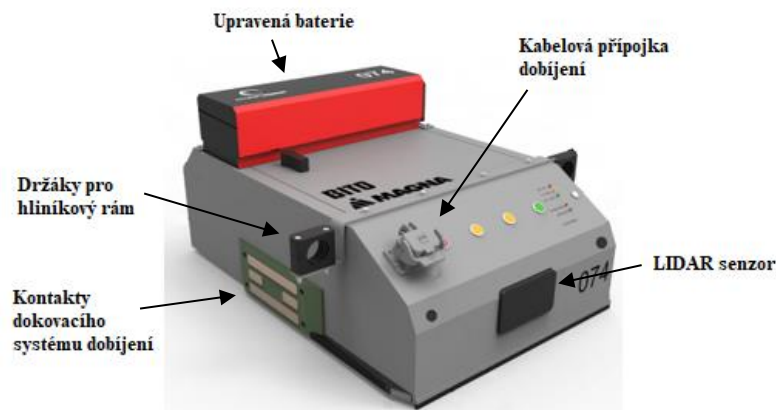


Obrázek 47: Zkušební provoz AGV na stanovištích montáže v závodě Magna Nymburk. [18]

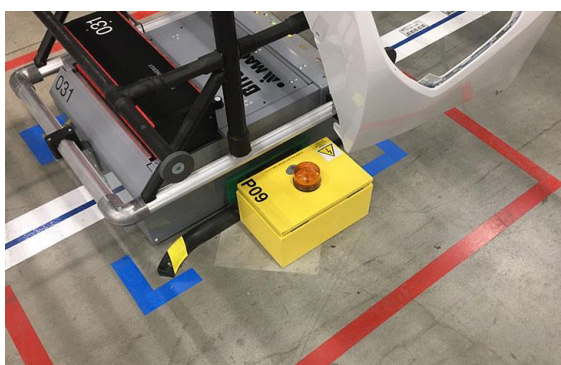
Provozované AGV jsou od firmy BITO, vozík je zobrazen na obrázku 48. Z důvodu nevyhovujících parametrů dodávaných vozíků jsou následně upravovány. Finální podoba upraveného vozíku je zobrazena na obrázku 49. AGV fungují na 24 V napájecím systému. Z důvodu požadavku zvýšení dojezdu je použita 48 V baterie s měničem napětí na 24 V. Dále je také navýšena kapacita baterie. Pro větší baterii je provedena úprava vyříznutí otvoru v horní části krytu AGV. Systém funguje na principu dokovacího systému dobíjení za plného provozu, viz. obr. 50. Pro dokovací systém dobíjení je na boční straně vytvořen otvor, pro dobíjecí kontakty. Vozík je upraven pro montáž speciálně sestaveného rámu z hliníkových profilů pro uložení nárazníků. Na krytu vozíku jsou připevněny speciálně navržené držáky, do kterých je následně připevněn hliníkový rám.



Obrázek 48: AGV od firmy BITO se systémem přepravy přepravek LEO Locative. [19]



Obrázek 49: Upravené AGV od firmy BITO pro závod Magna Liberec.



Obrázek 50: Dokovací nabíjecí stanice AGV v závodě Nymburk. [18]

Z důvodu výše uvedených úprav je finální cena vozíku navýšena a je navýšen také čas, za který jsou vozíky dodávány.

### 3.2 POŽADAVKY NAVRHOVANÉHO AGV

Kvůli výše uvedeným úpravám aktuálně provozovaných AGV, které jsou uvedeny v předešlé kapitole, vznikl návrh pro vytvoření AGV, které by bylo možné vyrábět přímo v závodě Magna Liberec.

Vzhledem k složitosti a finanční náročnosti zavedení zcela nového typu AGV dopravy (systém řízení) je nutné, aby navrhované AGV pracovalo v souladu se stávajícím řešením. Systém navádění a systém automatického dobíjení přes dokovací stanice pro nouzové dobíjení zůstane stále zachován, pro nouzové dobíjení zůstane kabelová přípojka. Základní rozměry vozíku vycházejí z rozměrů aktuálně provozovaného AGV.

## Odsouhlasené požadavky AGV Magna:

### Mechanická část:

- Maximální rozměry podvozku (š x v x d): 750 x 600 x 250 mm.
- Světlá výška podvozku od podlahy: 30 mm.
- Přejezd nerovností: minimálně 15 mm.
- Stoupání/ klesání: 2 %.
- Minimální poloměr zatáčení: 500 mm.
- Požadavek na zpětný chod: ne.
- Kartáč pro zametání nečistot v přední části podvozku: ano.
- Maximální hmotnost celého AGV (podvozek, nastavba, baterie): 60 kg.
- Maximální hmotnost převáženého nákladu: 30 kg.
- Ochrana před zneužitím (nášlap na horní kryt): 100 kg, statické zatížení.
- Maximální rozměry převáženého nákladu: 2500 x 2500 x 2500 mm.
- Připojovací body krytu k podvozku: pomocí šroubů a plechových matic umístěných na podvozku.
- Akumulátor: Fitcraft 48 V umístěný pod krytem AGV na podvozkové části.
- Provozní teploty: 5 °C až 45 °C.
- Kryt umožňuje rychlou výměnu do 3 min.
- Možnost uložení nárazníků + počet: nárazníky budou uloženy na stejných hliníkových rámech, které jsou aktuálně používány. Upravené spodní uložení rámu, integrované do šasi vozíku. Počet nárazníků na rámu 4 kusy.
- Maximální deformace šasi: 1,5 mm.
- Maximální deformace krytu: 4 mm.
- Maximální deformace držáků hliníkového trubkového rámu: 1,8 mm.

### Elektronická část:

- Ovládací prvky pro AGV jsou umístěny na krytu v přední části.
- Systém řízení vozíku: optický snímač drah se čtečkou QR kódů a RFID kódů. Nastavování citlivosti optického snímače, maximálně 4 barvy.
- Elektrické napětí: 24 V, použit měnič napětí ze 48 V baterie.
- Kapacita akumulátoru: 30 Ah, 48 V.



- Spouštění pohybu AGV: stlačením tlačítka na krytu.
- Typ akumulátoru: LiFePO4.
- Detekce překážek: LIDAR (nastavení detekčních polí, minimálně 20 typů s možností asymetrie pole). Detekce překážek od 20 mm až do 2500 mm od podlahy.
- Víceúrovňové nastavení rychlostí: maximální rychlost 1m/s.
- Vizuální signalizace AGV: maják na krytu, řešeno pomocí led pozičních světel.
- Zvuková signalizace AGV: radio + přerušované pípání 80 až 100 dB.
- Detailnější vizualizace poruch pro obsluhu: pomocí světelných tlačítek na krytu, stav baterie, dobíjení, zapnuto/vypnuto, překážka, porucha apod.
- Vizualizace pohybu AGV po výrobních halách, umožňuje online monitoring obsluze, možnost zasílání varovných hlášení v případě zastavení vozíků.
- Systém čekání a uvolňování AGV, dle času příjezdu vozíků, např. přejezdy přes most, zúžení apod.

### 3.3 NÁVRH KONCEPTU AGV

Jedním z prvních kroků konstrukce šasi a krytu AGV vozíku, byla volba vhodného materiálu. Navržený materiál pro šasi AGV je plněný polypropylen ze 40 % dlouhých skelných vláken (PP 40LGF). Materiál je od firmy Sabc s označením 40YM240, mechanické vlastnosti viz. tabulka 1. Díky plnivu skelných vláken má materiál vysoký modul pružnosti, a proto lze předpokládat vysokou tuhost dílu. Dalšími výhodami materiálu je zvýšená rázová houževnatost, menší smrštění, lepší rozměrová stabilita a zvýšená odolnost proti tečení. Lze však předpokládat, že kvalita povrchu nebude na vysoké úrovni (nepohledový díl). Pro kryt je navržen polypropylen s příměsí 20 % talku (PP TD20). Materiál je od firmy Sabc s označením 15T1020, mechanické vlastnosti viz. tabulka 2. Díky příměsí talku je snížena výsledná cena, zvýšena rázová houževnatost, pevnost v tahu a chemická odolnost. Důvody volby právě těchto materiálů souvisejí s dosavadním využitím v rámci společnosti Magna. Společnost pracuje s těmito materiály již delší dobu a odebírá velká množství, díky tomu mohou být náklady na

materiál nižší. Materiály budou použity pro první pevnostní výpočet. Na základě výsledků bude rozhodnuto, zdali se mohou dané materiály použít, nebo musí být vybrány jiné.

Tabulky zvolených materiálů:

*Tabulka 1: Zvolený materiál šasi, Sabic 40YM240 (PP LGF40). [20]*

<b>Vlastnosti:</b>	<b>Hodnota:</b>	<b>Jednotky:</b>	<b>Norma testování:</b>
Modul pružnosti v tahu (23 °C)	8200	MPa	ISO 527/1A
Mez kluzu v tahu (23 °C)	110	MPa	ISO 527/1A
Modul pružnosti v ohybu (23 °C)	8200	MPa	ISO 527/1A
Pevnost v ohybu (23 °C)	180	MPa	ISO 527/1A
Vrubová houževnatost dle Charpyho (23 °C)	26	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Hustota	1220	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183

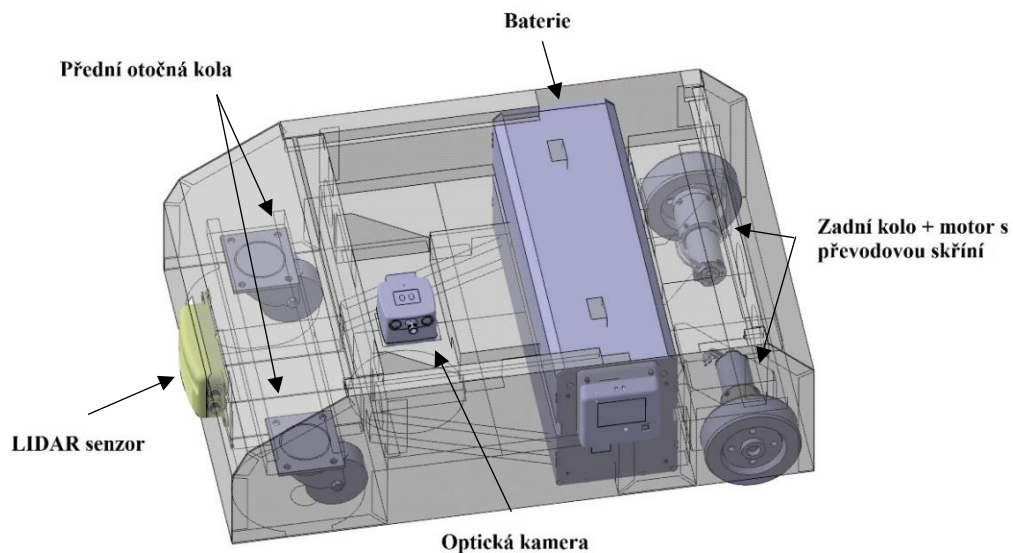
*Tabulka 2: Zvolený materiál krytu, Sabic 15T1020 (PP TD20). [20]*

<b>Vlastnosti:</b>	<b>Hodnota:</b>	<b>Jednotky:</b>	<b>Norma testování:</b>
Modul pružnosti v tahu (23 °C)	2600	MPa	ISO 527/1A
Mez kluzu v tahu (23 °C)	37	MPa	ISO 527/1A
Modul pružnosti v ohybu (23 °C)	2700	MPa	ISO 527/1A
Mez pevnosti při přetržení (23 °C)	29	MPa	ISO 527/1A
Vrubová houževnatost podle Izoda (23 °C)	3,4	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1A
Hustota	1040	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183

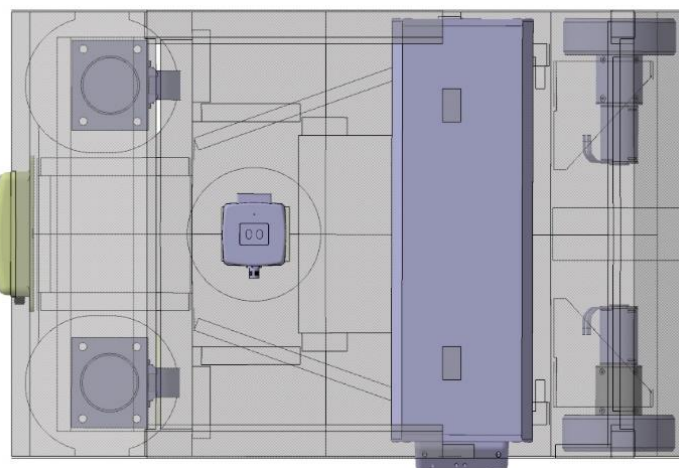
AGV budou řízeny systémem optické navigace, s upraveným značením drah (dráhy jsou namalované na podlahu, namísto lepených). Malované dráhy se osvědčily jako dostatečně funkční řešení (lehce omyvatelné). Pro řízení AGV budou použity QR kódy umístěné na podlaze, které budou dávat vozíkům příkazy pohybu. Bude použita

baterie 48 V s měničem na 24 V. Pro pohyb budou použity dva elektromotory s přímo napojenou převodovou skříní, elektromotory budou obstarávat pohyb vpřed a vzad, ale také funkci zatáčení nezávislým řízením každého motoru. Motory budou uloženy v zadní části AGV za pozicí baterie, v přední části budou umístěna dvě plně otočná kolečka. Řídicí jednotka bude umístěna v přední části u optické kamery. Provoz vozíků bude situován pouze ve vnitřních prostorech výrobních a skladovacích hal, konstrukce bude proto navržena pouze pro vnitřní prostory.

Prvotní návrh rozložení zástavbových dílů AGV je vidět na obrázku 51 a 52. Rozložení dílů je odvozeno z upraveného aktuálně provozovaného AGV. Poloha baterie je upravena posunutím ke středu AGV (dříve umístěna v zadní části nad motory) a umístěna níže v šasi. Změnou polohy baterie, došlo ke zlepšení těžiště ke středu vozíku. Je vybrána nová baterie s nižší zástavbovou výškou, ale s větší šířkou (lze lépe umístit pod kryt AGV), kapacita a napětí je stejné. Celkovou šířku AGV bylo proto nutno oproti původní variantě zvětšit (v souladu s dovolenými mezemi zadání). Na aktuální systém AGV v závodech Liberec a Nymburk, nemá tato změna velký vliv, musí být pouze upraveny nájezdové mantinely v dokovacích stanicích.



Obrázek 51: Koncept rozložení zástavbových dílů AGV.



Obrázek 52: Koncept rozložení zástavbových dílů AGV, pohled ze shora.

### Nakupované hlavní součásti:

- Optická kamera: Pepperl + Fuchs – PGV100-F200A-R4-V19-6829. [21]



Obrázek 53: Optická snímací kamera PGV100 od firmy Pepperl+Fuchs. [21]

- Lidar senzor: Pepperl + Fuchs – OMD8000-R2100-R2-2V15. [21]



Obrázek 54: Přední pohybový snímač LIDAR OMD8000 od firmy Pepperl+Fusch. [21]

- Přední plně otočná kola: Blickle LE-TPA 80K-ELS-FK.



Obrázek 55: Přední plně otočná kolečka o firmy Blickle. [22]

- Elektromotor a převodová skříň: Dunkermotoren BG 40X50, 24 V, 3640 rpm + převodovka PLG52  $i=28.12:1$ . [23]



Obrázek 56: Elektromotor BG40x50 s převodovkou PLG52 od firmy Dunkermotoren. [23]

- Reprodaktor: AE20M-48. [24]



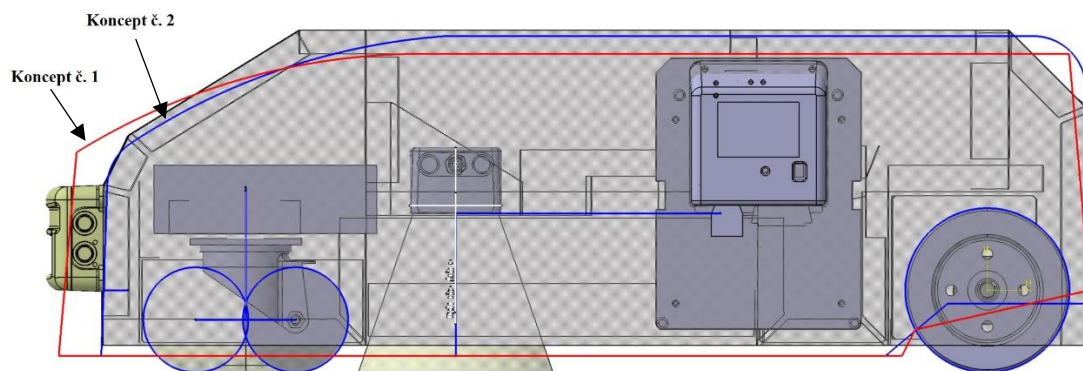
Obrázek 57: Reprodaktor AE20M-48 od firmy Moflash signalling. [24]

### Ovládací část:

- Zadávání cílů je přes RFID kódy (umístěny na zemi vedle optických čar), nebo manuálně pomocí tlačítka. Ovládací prvky pro AGV jsou umístěny na nástavbě.

Dále byly navrženy dva koncepty konstrukce šasi a krytu. Na obrázku 58 jsou zvýrazněny jednotlivé koncepty, červená barva znázorňuje koncept číslo 1, modrá barva znázorňuje koncept číslo 2. Oba koncepty jsou navrženy se stejnou světlou výškou.

Koncept č. 1 je navržen s nižší zástavbovou výškou, horní strana krytu je opřena o baterii. Přední pohybový bezpečnostní senzor je částečně zakrytý krytem AGV (kryt nesmí zasahovat do oblasti snímání). Koncept číslo 2 má vyšší zástavbovou výšku a přední pohybový bezpečnostní senzor je plně odkrytý. Z důvodu lepší ochrany předního senzoru a nižší zástavbové výšce, byl zvolen koncept číslo 1. Baterie je uložena v plechovém pouzdře kvůli lepší ochraně, lze ji proto použít jako výztuhu při ochraně proti prošlápnutí krytu vozíku.



Obrázek 58: Návrh profilu krytu a šasi pomocí skic (červená a modrá). Boční pohled.

## 4 KONSTRUKČNÍ NÁVRH ŠASI

Konstrukce šasi je rozdělena do tří hlavních konstrukčních fází. V každé fázi bude proveden pevnostní výpočet (průběh napětí a deformace) sestavy AGV (šasi, baterie a kryt). Výsledky pevnostního výpočtu budou vyhodnoceny vždy na konci každé fáze konstrukce. Bude rozhodnuto, zda zvolené materiály jsou vhodné a mohou být použity v dalších výpočtech.

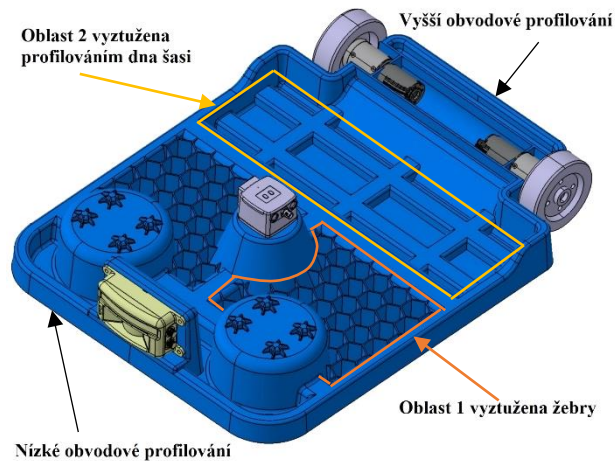
### 4.1 PRVNÍ FÁZE NÁVRHU KONSTRUKCE AGV

#### 4.1.1 NÁVRH PLASTOVÉHO ŠASI

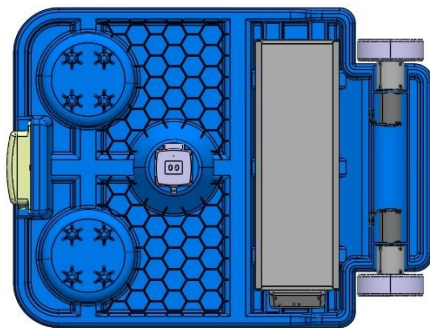
Šasi je navrhováno na základě konceptu zástavbových dílu, viz. kapitola 3.3. Současně s šasi je navrhován také kryt, 3D model šasi první fáze konstrukce je představen na obrázcích 59, 60 a 61. Na obrázku 62 je zobrazeno šasi se zástavbovými díly. V první fázi konstrukce nejsou zakomponovány držáky pro hliníkový nosný rám nárazníků. Šasi není zkonstruováno detailněji, je navrženo pro první orientační pevnostní výpočet (analýza průběhu napětí a deformace).

Tloušťka stěn šasi je 3,8 mm, ve všech místech je dodržována stejná tloušťka, pouze výztužná žebra mají tloušťku 2 mm. Všechny stěny v ose formování dílu jsou zkoseny pod úhlem 5°. Pro lepší mechanické vlastnosti (zvýšená pevnost v ohybu) je obvod šasi vyztužen pomocí profilování dna, viz obr. 63. Výška profilování v přední části vozíku je vysoké 40 mm a široké 22 mm. Zadní část šasi má profilování vyšší, jeho výška je 70 mm. Je to z důvodu předpokládaného většího namáhání v zadní části šasi a uložení motorů ve výšce 62,5 mm od země. Pro vyztužení vnitřních oblastí šasi jsou použita žebra a profilování dna. Oblast 1, viz. obr. 59, je vyztužena pomocí žebor ve tvaru včelích pláství s výškou 35 mm. Oblast 2 je vyztužena pomocí profilování dna s výškou 20 mm a šířkou 34 mm (oblast umístění baterie), viz. obr. 64, pro lepší opření baterie a přenos ohybového namáhání je zvoleno právě toto řešení. Uložení motorů a převodových skříní je tvořeno prozatím půlkulatým profilem. V přední části jsou umístěna plně otočná kolečka. Upevnění je uvažováno pomocí běžně používaných šroubů do plastu ze spodní strany šasi. Z důvodu malé tloušťky stěny pro šrouby jsou vytvořeny tzv. domečky, viz.

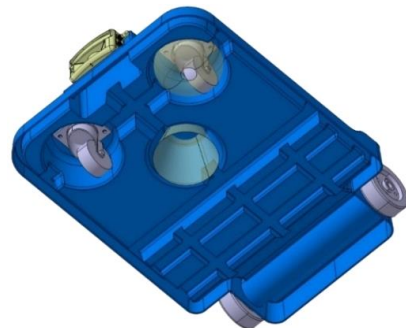
obr. 65 a 66. Domečky lokálně navyšují tloušťku stěny, do které je šroub zašroubován, bez nutnosti navýšení tloušťky v celé ploše. V přední části šasi je umístěn LIDAR senzor, viz. obr. 67. Senzor je umístěn na nástavbě šasi, upevnění je myšleno skrze plechové matice (umístěných v nástavbě šasi), viz. obr. 68. Systém uložení není však vymodelován v první fázi návrhu. Jedná se o jednoduchý systém uchycení, který je levný a velkou výhodou je snadná vyměnitelnost matic v případě poškození. Optická kamera je umístěna na kuželovité nástavbě, viz. obr. 69.



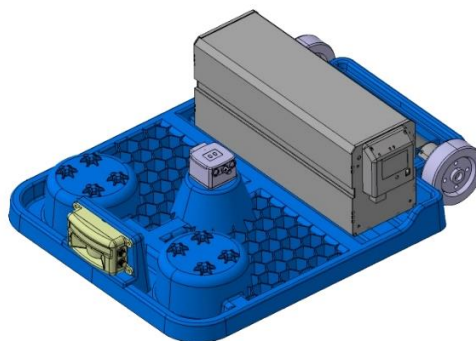
Obrázek 59: První návrh šasi AGV bez baterie.



Obrázek 60: První návrh šasi AGV bez baterie. Pohled shora.

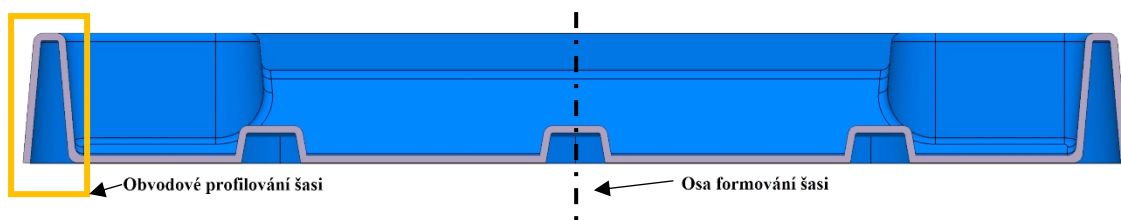


Obrázek 61: První návrh šasi AGV. Spodní pohled.



Obrázek 62: První návrh šasi AGV s baterií.

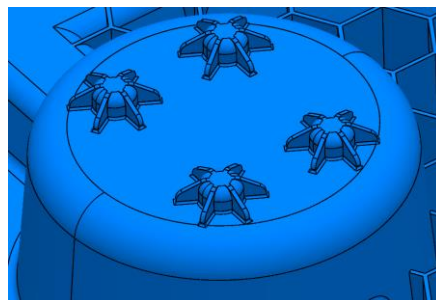




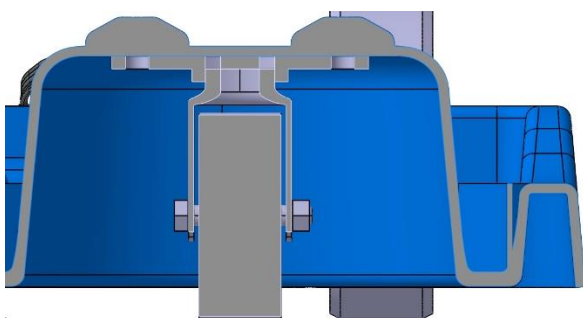
Obrázek 63: Detail profilování šasi vozíku s osou formování.



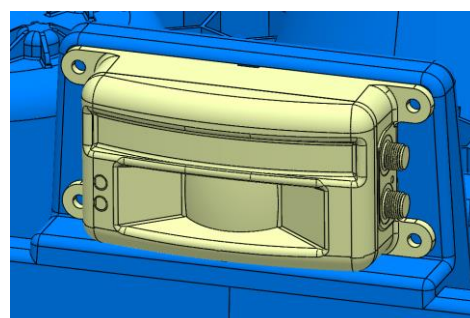
Obrázek 64: Vyztužení dna šasi profilováním s umístěním baterie.



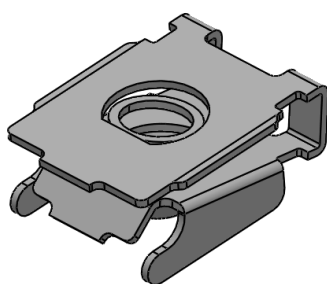
Obrázek 65: Navržené domečky pro lokální zesílení stěny.



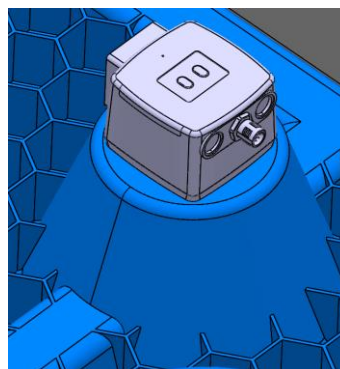
Obrázek 66: Řez uložením předních kol s domečky na šasi.



Obrázek 67: Umístění bezpečnostního pohybového senzoru LIDAR v přední části šasi.



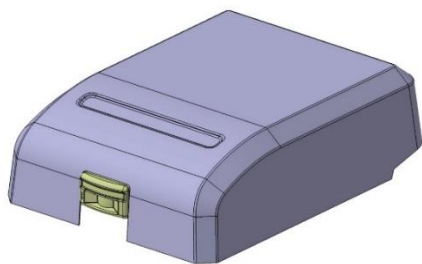
Obrázek 68: Plechová nástrčná matice do plastu.



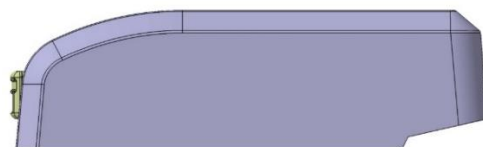
Obrázek 69: Umístění optické kamery na nástavbě šasi.

#### 4.1.2 NÁVRH KRYTU AGV

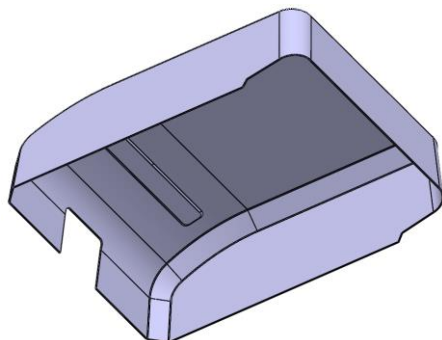
Na obrázcích 70, 71 a 72 je zobrazen návrh krytu první fáze konstrukce. Kryt AGV udává celkové vnější rozměry. Tyto rozměry jsou dány šířkou a výškou baterie, která je největší ze zástavbových dílů a musí být uložena pod krytem, viz. obr. 72. Tloušťka stěn krytu je ve všech jeho částech 3 mm. Všechny stěny v ose formování jsou zkoseny pod úhlem 5°, viz. obr. 72. Dle konceptu v přední části musí být částečně zakrytý bezpečnostní senzor pohybu, kryt však nesmí zasahovat do snímané zóny. Zadní část krytu je vyříznuta z důvodu snadné vizuální kontroly zadních kol (opotřebení, znečištění apod.) a jejich případné čištění. Uchycení krytu k šasi je myšleno pomocí plechových matic. Výhodou tohoto řešení je jeho nízká výsledná cena a v případě poškození matice, je výměna rychlá a nevyžaduje odbornou montáž. V prvním návrhu není uchycení vypracováno.



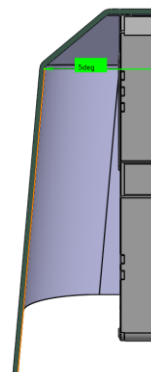
Obrázek 70: První návrh krytu AGV.



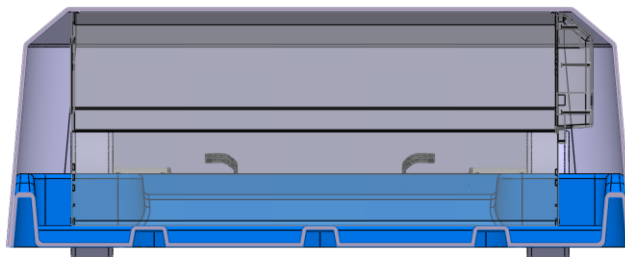
Obrázek 71: První návrh krytu AGV. Boční pohled.



Obrázek 72: Kryt AGV, pohled do vnitřního prostoru.



Obrázek 73: Velikost úhlu formování stěny krytu vozíku.

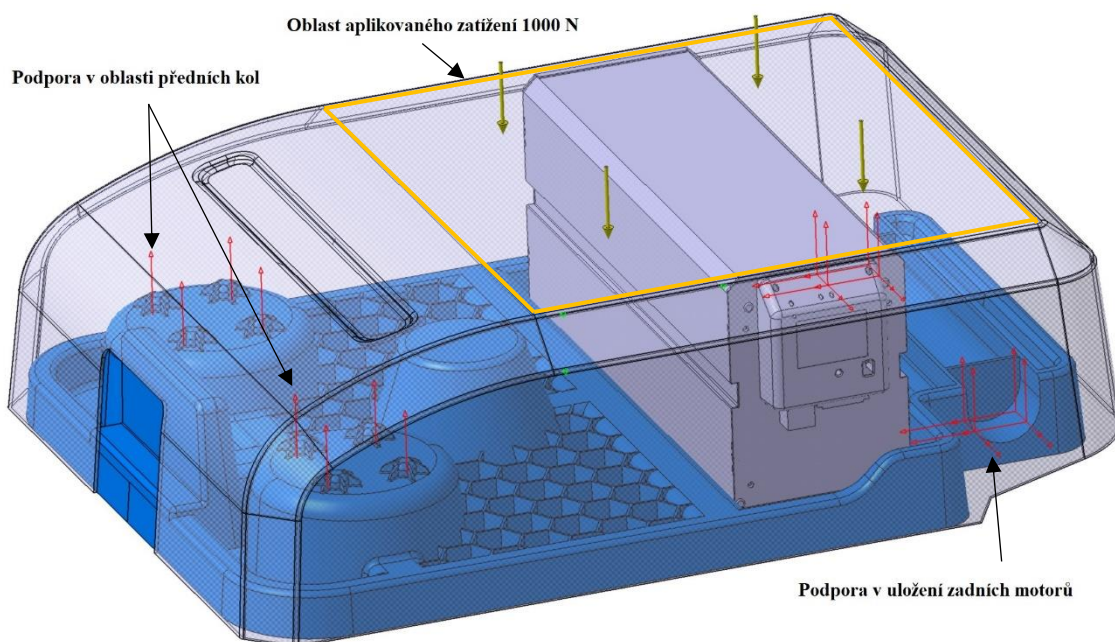


Obrázek 74: Průřez šasi a krytu, oblast baterie.

### 4.1.3 SPECIFIKACE VÝPOČTU PRVNÍHO NÁVRHU AGV

Pevnostní výpočet je proveden vždy na sestavě (šasi, kryt a baterie), z hlediska výpočtu není nutné umístění dalších komponent. Výsledky pevnostního výpočtu jsou důležité pro pevnostní kontrolu dílů a jejich dimenzování. Z výsledků bude také rozhodnuto, zdali navržené materiály (viz. kapitola 3.3) mohou být použity, nebo musí být vybrány jiné.

Pevnostní výpočet je dle specifikace viz. kapitola 3.2, proveden z důvodu ochrany proti poškození nášlapem na vozík. Dle specifikací je působící zatížení statické s velikostí 100 kg (síla je zaokrouhlena na 1000 N). Toto zatížení simuluje stav, při kterém může někdo stoupnout na horní stranu vozíku v oblasti uložení baterie, viz. obr. 75. Baterie je použita jako výztuha krytu, lze tak učinit z důvodu uložení baterie v hliníkovém pouzdře, které zatížení dovoluje přenést. Plochy pod předními koly a zadními motory jsou určeny jako hlavní podpory uložení AGV ve výpočtu. Podpory v oblasti motorů nedovolují pohyb ve 3 hlavních osách X, Y a Z, oblast předních koleček nedovoluje pohyb v ose Z. Všechny podpory jsou uvolněné v momentech podle os X, Y a Z (simuluje uvolnění koleček). Aby výpočetní program počítal s hmotností jednotlivých dílů, je na každý díl aplikována gravitační konstanta  $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

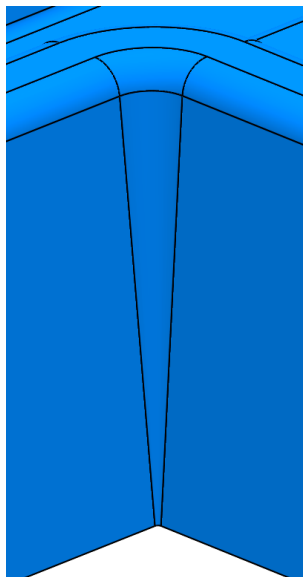


Obrázek 75: Sestava AGV pro pevnostní výpočet se zatížením (žluté šipky) a podporami (červené šipky).

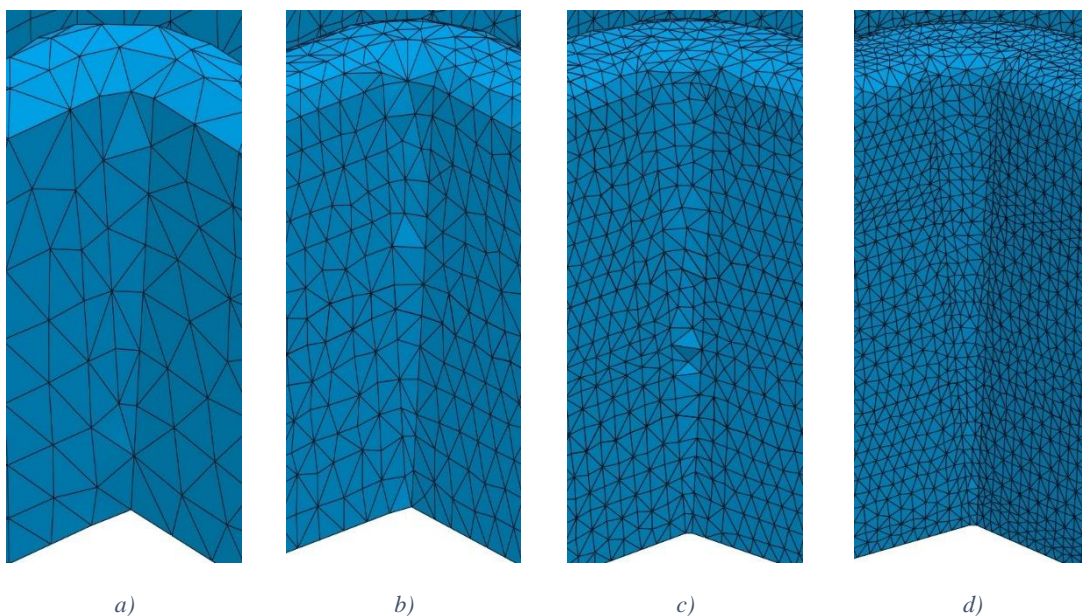
#### 4.1.4 PEVNOSTNÍ VÝPOČET ŠASI AGV

Pro všechny následující pevnostní výpočty musí být zvolena velikost elementu. Výsledná velikost elementu by měla být taková, aby výsledek pevnostního výpočtu byl co možná nejpřesnější. Z tohoto důvodu jsou zvoleny čtyři velikosti 10 mm, 5 mm, 3 mm a 1,5 mm. Vygenerované sítě budou porovnány z hlediska kvality a přesnosti pevnostního výpočtu. V úvahu bude brán také výpočetní čas. Pro každou velikost bude zvolen lineární typ elementu a kvadratický typ. Všechny sítě mají nastaveno globální automatické generování. Pro každou velikost elementu a typ elementu bude proveden kompletní výpočet (generování sítě a pevnostní výpočet).

Na obrázku 77 jsou uvedeny jednotlivé vygenerované sítě se zvolenými velikostmi elementů lineárního typu. Jedná se o rohový úsek šasi vozíku v oblasti uložení motorů, viz. obr. 76. V zaoblení je kvalita sítí dobře porovnatelná. Sít' a) s velikostí elementů 10 mm má velice hrubou strukturu. Takto velké elementy se spíše používají na velkých rovinných, tvarově stálých plochách, kde mohou výpočet zjednodušit. Sít' b) je s velikostí elementů 5 mm. Vygenerovaná síť lépe prezentuje tvar zaoblení rohu, ale jedná se stále o velice hrubou síť. Sít' c) je s velikostí elementů 3 mm, lze vidět znatelný posun v kvalitě a přesnější reprezentaci zaoblení. Sít' d) je s velikostí elementu 1,5 mm. Sít' je již velice jemná a z hlediska reprezentace inkriminovaného místa kvalitnější než všechny předešlé sítě.

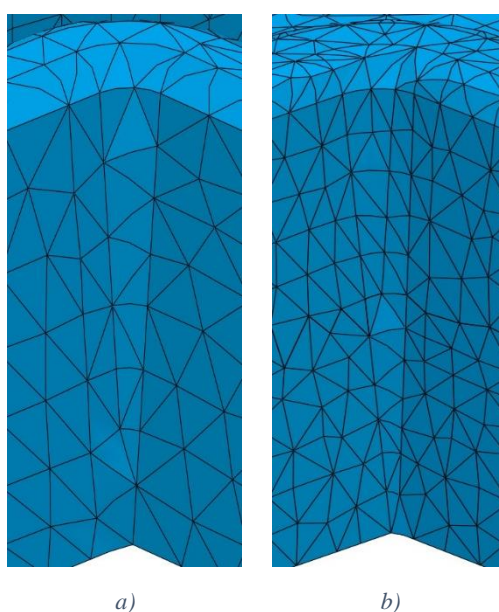


Obrázek 76: Zvolená oblast šasi pro porovnání generovaných sítí.



Obrázek 77: Vygenerované sítě, dle zvolených velikostí lineárních elementů.

Na obrázku 78 jsou zobrazeny jednotlivé vygenerované sítě, se zvolenými velikostmi elementů kvadratického typu. Sít' a) je s velikostí elementů 10 mm. Z důvodu použití kvadratického typu lze vidět ve zvolené oblasti modelu dobrou reprezentaci tvaru zaoblení, i přes volbu takto velkého elementu. Sít' b) je s velikostí elementů 5 mm. Výpočet s velikostí elementu 3 mm byl proveden, avšak po 7 hodinách vždy výpočet hlásil chybu a byl automaticky ukončen. Výpočet byl proveden dvakrát, vždy se stejnou chybou. Výpočet s elementem velikosti 1,5 mm byl také proveden, ale nastával stejný problém jako u předešlého výpočtu. Po 9 hodinách výpočtu byl automaticky ukončen s chybovým hlášením.



Obrázek 78: Vygenerované sítě, dle zvolených velikostí kvadratických elementů.

Jednotlivé výpočetní časy s použitím lineárních elementů zvolených velikostí, jsou uvedeny v tabulce 3. Celkový výpočet použitím elementů velikosti 10 mm byl 12 minut. Pokud je použita velikost elementů 5 mm, byl čas 29 minut (více než 2x delší). Při použití nejmenší zvolené velikosti 1,5 mm, byl výpočetní čas již 4 hodiny a 48 minut. V tabulce 4 jsou uvedeny jednotlivé celkové výpočetní časy pro kvadratické elementy. Pokud je použita velikost elementů 10 mm, výpočetní čas byl 56 minut. Pokud tento čas srovnáme s časem při použití lineárních elementů s velikostí 10 mm, je čas skoro 5x delší. Výpočetní čas kvadratického elementu velikosti 5 mm byl 4 hodiny a 33 minut. Toto je více než 4x delší výpočetní čas, než v případě výpočtu s 10 mm elementem. Pokud by byly výpočty s použitím kvadratického elementu velikosti 3 mm a 1,5 mm dokončeny, časy by s velkou pravděpodobností mohly být mnohonásobně delší.

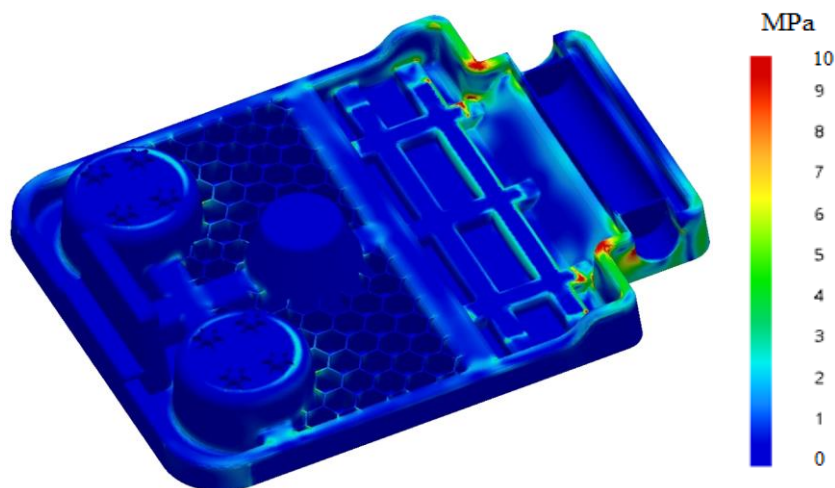
*Tabulka 3: Časy pevnostních výpočtů s lineárními elementy.*

<b>Vel. Elementu:</b>	<b>Výpočetní čas:</b>
10 mm	12 minuty
5 mm	29 minut
3 mm	1 hodina 55 minut
1,5 mm	4 hodiny 48 minut

*Tabulka 4: Časy pevnostních výpočtů s kvadratickými elementy.*

<b>Vel. Elementu:</b>	<b>Výpočetní čas:</b>
10 mm	56 minut
5 mm	4 hodiny 33 minut
3 mm	-
1,5 mm	-

Průběh namáhání je porovnáván vždy v oblasti s největším napětím. Na obrázku 81 je zobrazeno šasi AGV, kde oblastmi nevyššího napětí jsou: oblast uložení baterie a oblast uložení motorů. Průběh napětí je zobrazen na výsledku pevnostního výpočtu s použitím kvadratického elementu velikosti 5 mm. Na obrázku lze také vidět distribuci napětí, která je na obou stranách AGV totožná, je tedy porovnávána pouze jedna strana.

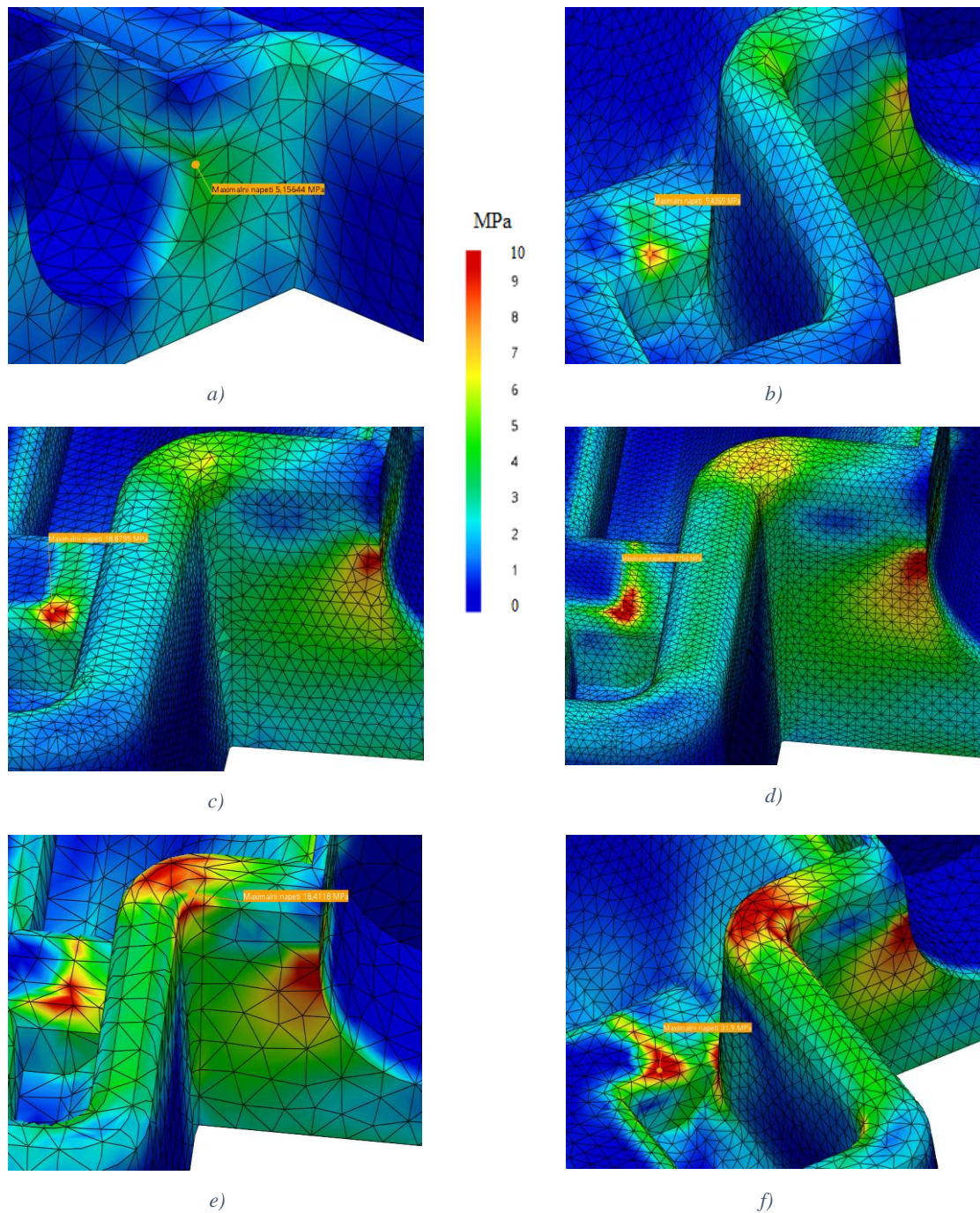


Obrázek 79: Průběh napětí v šasi AGV, pro výpočet použit 5 mm kvadratický element.

Na obrázku 80 jsou zobrazeny průběhy napětí jednotlivých variant velikostí elementů s lineárním a kvadratickým typem. Varianty a) 10 mm, b) 5 mm, c) 3 mm a d) 1,5 mm jsou průběh s lineárními elementy, varianty e) 10 mm a f) 5 mm jsou průběhy s kvadratickými elementy. V tabulce 5 jsou číselné hodnoty maximálních napětí pro jednotlivé varianty průběhů napětí. Pro všechny výpočty jsou nastavena stejná zobrazení rozpětí napětí na 10 MPa, z důvod přehlednosti zobrazených výsledků. Pokud porovnáme jednotlivé průběhy napětí u výpočtů s lineárním typem elementů, lze usoudit, že se zmenšující se velikostí elementů, jsou výsledná limitní napětí lépe vykreslena a hodnoty jsou vyšší. Jak již bylo řečeno, nejvíce namáhaná místa jsou vždy v místech kontaktu zadní části baterie s šasi a v místech uložení motorů. U varianty d) 1,5 mm, lze vidět mírně zvýšené napětí na horní straně obvodového profilování šasi (v zaoblení), které u lineárních sítí, které není na tak velké úrovni. Při porovnání průběhů s kvadratickými elementy e) a f), lze vidět stejná místa namáhání, avšak u sítě s 5 mm elementy jsou celková napětí vyšší a oblasti distribuce napětí jsou rozsáhlejší a lépe vykreslena.

Tabulka 5: Výsledky pevnostního výpočtu průběhu napětí s jednotlivými velikostmi a typy elementů.

Varianta:	a)	b)	c)	d)	e)	f)
Hodnota napětí: [MPa]	5,15	9,4	18,9	26,8	18,4	31,9

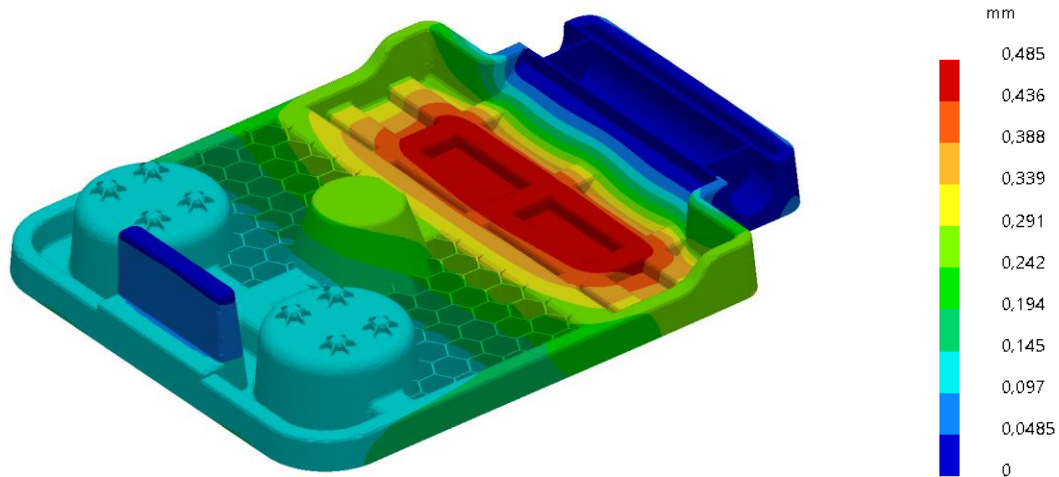


Obrázek 80: Průběh největších napětí s použitím kvadratických elementů zvolených velikostí.

Z analýzy výsledků vyplývá, že vhodnou volbou pro následující výpočty šasi AGV, je kvadratický typ elementu velikosti 5 mm. Je to z důvodu, že nejvyšší kritické napětí šasi má právě varianta f). Konstrukce musí vždy vycházet z nejvyššího možného napětí. Aby bylo možné zkontrolovat, zda kritické napětí nepřekročí dovolenou mez napětí daného materiálu a v případě nevyhovujících výsledků napětí, mohl být díl upraven. Zvolený materiál šasi (viz. kapitola 3.3) má dovolené napětí 110 MPa. Hodnota



kritického napětí v šasi je více než 3x nižší. Navržený materiál je tedy dostačující a lze jej použít pro další konstrukční fázi.

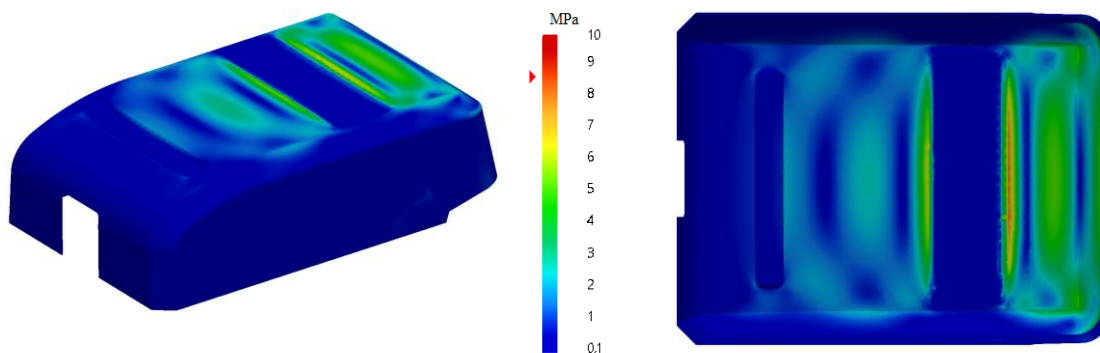


Obrázek 81: Průběh deformace v šasi AGV.

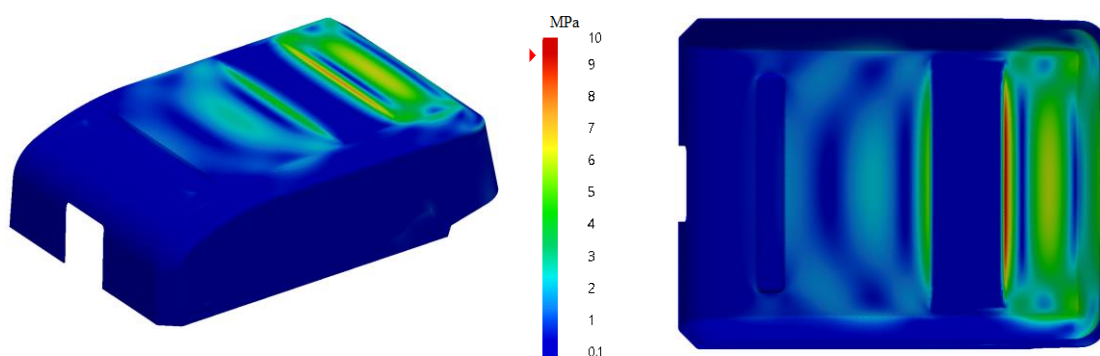
Na obrázku 81 je zobrazen průběh deformace šasi vozíku. Deformace dosahuje maximální hodnoty 0,485 mm v místě uložení baterie. Dle odsouhlasených specifikací, viz. kapitola 3.2, je maximální dovolená deformace šasi 1,5 mm. Šasi tedy i z hlediska deformace vyhovuje.

#### 4.1.5 PEVNOSTNÍ VÝPOČET KRYTU AGV

Kryt je geometricky jednoduchý model, s velkými rovinnými plochami, mohla by u něj být teoreticky navýšena velikost elementu na 10 mm. Pro ověření, že výše uvedená úprava nebude mít za následek významnou změnu průběhu napětí v krytu, jsou porovnány průběhy napětí při použití 10 mm kvadratického elementu, viz. obr 82 a 5 mm kvadratického elementu viz. obr. 83. Nejvyšší namáhání v krytu vozíku s elementem 10 mm je 8,7 MPa, s elementem 5 mm je nejvyšší napětí 9,5 MPa. Distribuce napětí jsou stejné. Rozdíly napětí jsou velice malé a pro úsporu výpočetního času, lze u krytu zvolit 10 mm velikost kvadratického elementu.



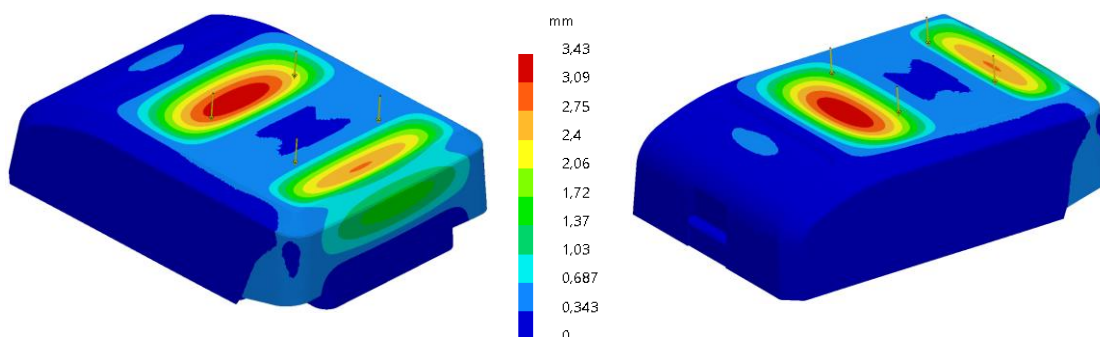
Obrázek 82: Průběh napětí v krytu s 10 mm kvadratickými elementy.



Obrázek 83: Průběh napětí v krytu s 5 mm kvadratickými elementy.

Celkový výpočetní čas se zvolenými velikostmi kvadratických elementů (pro krytu 10 mm a šasi 5 mm), byl 3 hodiny a 12 minut. Výpočetní čas byl tedy snížen o více než hodinu.

Na obrázku 84 je znázorněn průběh deformace v krytu. Deformace dosahuje nejvyšší hodnoty 3,43 mm, dovolená deformace dle specifikací je 4 mm. Nejvyšší napětí v krytu vozíku je 8,7 MPa, zvolený materiál (viz. kapitola 3.3) má dovolené napětí 37 MPa. Kritické napětí v krytu je tedy více než 4x menší. Zvolený materiál vyhovuje požadavkům namáhání a může být použit pro další fázi konstrukce.



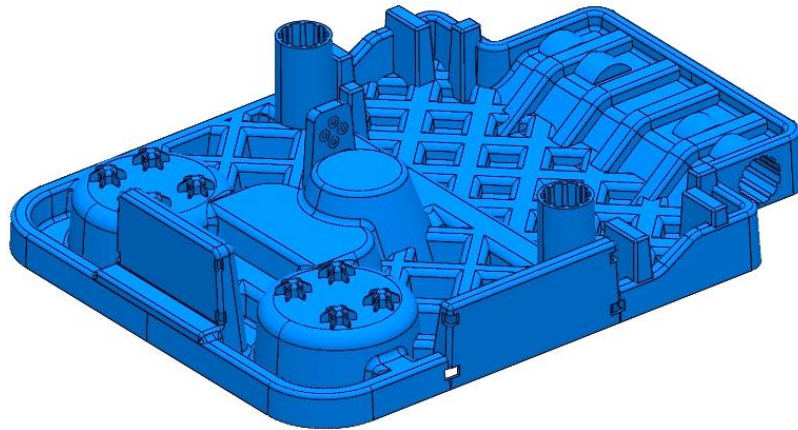
Obrázek 84: Průběh deformace krytu s 10 mm kvadratickými elementy.

## 4.2 DRUHÁ FÁZE NÁVRHU KONSTRUKCE AGV

Tato fáze konstrukce je zaměřená pouze na úpravu a vylepšení šasi AGV. Kryt nebude nijak upravován, má stejnou podobu jako v první fázi návrhu.

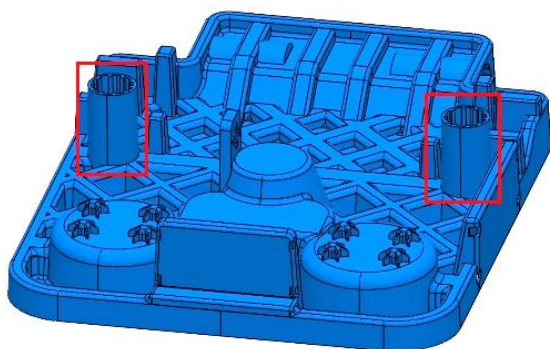
### 4.2.1 KONSTRUKCE ŠASI

Na obrázku 85 je znázorněn stav druhé fáze konstrukce šasi AGV.

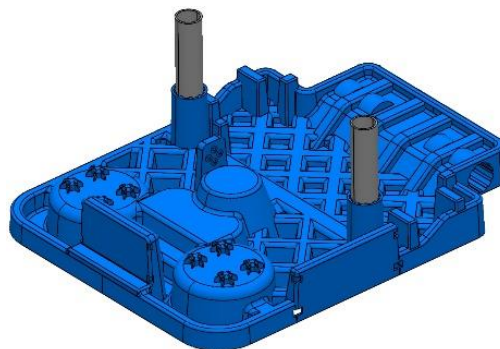


Obrázek 85: Návrh šasi druhé fáze konstrukce.

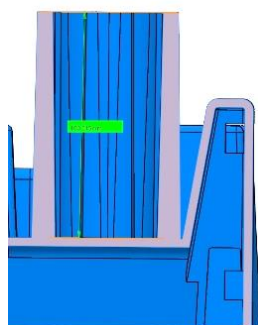
V požadavcích pro návrh AGV je uvedeno, že šasi musí obsahovat držáky pro umístění stojanu na nárazníky, viz. kapitola 3.2. Na aktuálně provozovaných AGV je stojan držen pomocí speciálních držáků, které jsou připevněny na plechovém krytu. Dalším požadavkem je, aby nosný systém stojanu byl integrován na šasi vozíku a byl tak ukrytý. Jsou proto vytvořeny dva držáky na šasi, do kterých se bude zasouvat hliníkový rám z trubek, viz. obr. 86 a 87. Na obrázku 88 je zobrazen řez držákem, jeho výška je 100 mm. Tato výška je zvolena z důvodu, aby byl rám dobře usazen v držácích a nenahýbal se do stran při pohybu AGV. Vnitřní průměr držáků je vytvořen pro průměr hliníkové profilované trubky, který je 45 mm. Rám musí být kvůli těžišti umístěn ve středu vozíku, aby nedocházelo k přetížení přední, nebo zadní oblasti šasi, a také z důvodu vyvážení AGV. Rám drží na svém místě díky jeho hmotnosti a případnému dodatečnému zatížení od nárazníků. Zatížení, které je přenášeno do šasi od nosného rámu je pro pevnostní výpočet specifikováno na 30 kg. Jedná se o maximální hmotnost samotného nosného rámu a čtyř největších nárazníků, které šasi bude moct převážet.



Obrázek 86: Držáky nosného hliníkového rámu nárazníku.

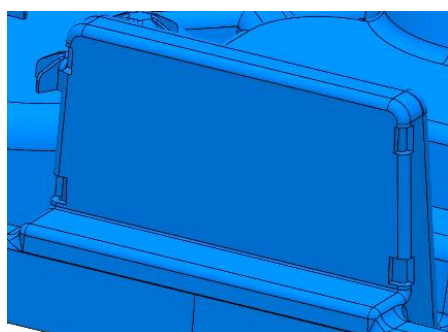


Obrázek 87: Názorný příklad vložení hliníkových trubek do držáků stojanů pro nárazníky.

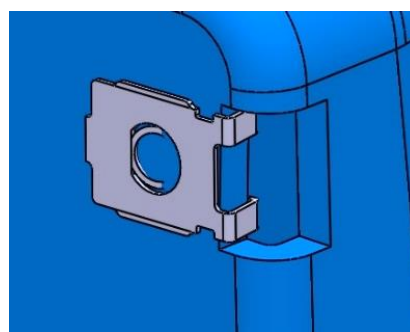


Obrázek 88: Průřez držákem hliníkového rámu.

Dále byl upraven systém uchycení předního bezpečnostního senzoru, jsou zde vytvořeny drážky pro uvažované plechové matice ST4.2, viz. obr. 89 a 90. Použití této plechové matice s ohledem na skutečnost, že jsou tyto matice dlouhodobě využívány v závodech Magna (pořizovací cena by mohla být tím snížena).

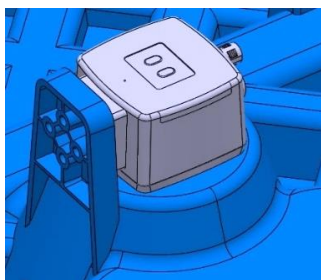


Obrázek 89: Drážky pro plechové matice, oblast uchycení předního bezpečnostního senzoru.

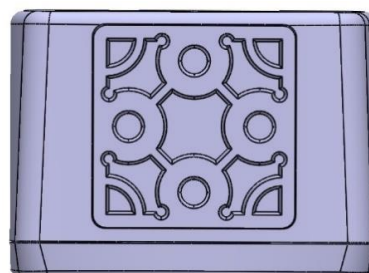


Obrázek 90: Detailní zobrazení plechové matice ST4.2 umístěné v drážce.

Pro optickou kameru byl vytvořen držák uchycení, viz. obr. 91. Kamera má pro uchycení na straně připraveny 4 otvory s vnitřním závitem M6, viz. obr. 92. Uchycení bude provedeno pomocí běžných šroubů M6 s kulatou hlavou a vnitřním šestihranem. Držák kamery má mezi otvory výztužná žebra pro lepší celkovou pevnost uchycení. Kamera zároveň je opřena o dno šasi.

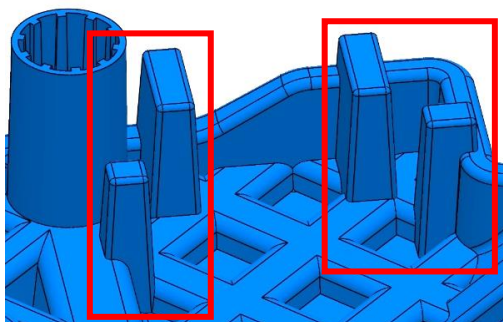


Obrázek 91: Stranové uchycení optické kamery na šasi.



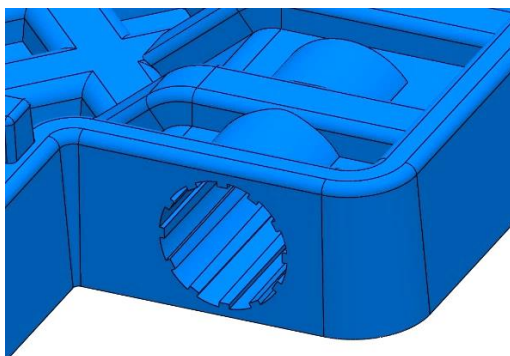
Obrázek 92: Stranové uchycení optické kamery.

Další úpravou byly tzv. vymešovací domečky pro baterii, viz. obr. 93. Tyto vymešovací prvky byly vytvořeny z důvodu lepšího umístění baterie a vymezení její vůle, aby se zamezilo samovolnému pohybu baterie na šasi při provozu AGV. Vymešovací prvky byly vytvořeny pomocí profilování dna, které je vysoké 73 mm ode dna a široký vždy 20,5 mm v horní části.

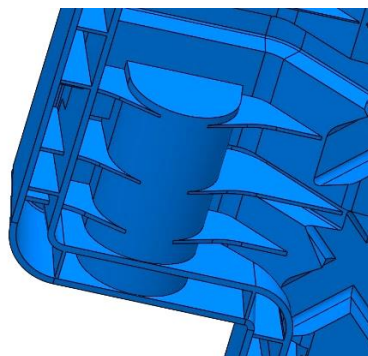


Obrázek 93: Vymešovací domečky pro uložení baterie.

Prostor pro uložení motorů byl přepracovaný, viz. obr. 94. Uložení pro motory má nyní tvar válce, do kterých se motory vkládají. Motory se tak mohou opřít celým svým obvodem. To by mělo mít za následek lepší celkovou tuhost uložení. Z důvodu možného dalšího zvýšení pevnosti této oblasti, která je nejvíce zatěžována, je spodní část vozíku vyztužena žebry, viz. obr. 95, distribuce napětí by měla být tak zlepšena.

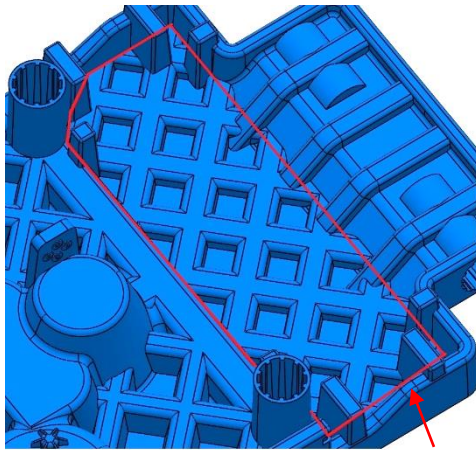


Obrázek 94: Přepracovaná oblast uložení motorů.

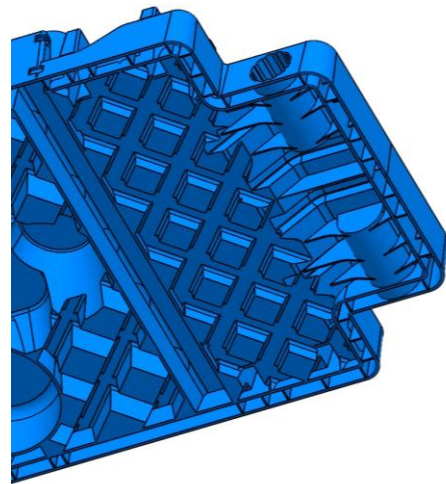


Obrázek 95: Oblast pod uložení motorů, vyztužená žebry a profilováním dna.

V oblasti uložení baterie došlo k přepracování vyztužení dna šasi. Princip profilování dna byl zachován, ale byl změněn tvar, jakým je profilování uspořádáno, viz. obr. 96 a 97. Z prvního pevnostního výpočtu, viz. kapitola 4.1.5, bylo uspořádání profilování dobré. Avšak pro ještě lepší tuhost, byla hustota profilování zvýšená a není již vedená podélně, ale křížově. Toto uspořádání by mohlo mít za následek lepší celkovou pevnost. Oblast uložení baterie byla tímto také dvojnásobně zvětšena, to by mělo mít za následek lepší rozložení napětí do šasi, což bude ověřeno v pevnostním výpočtu.



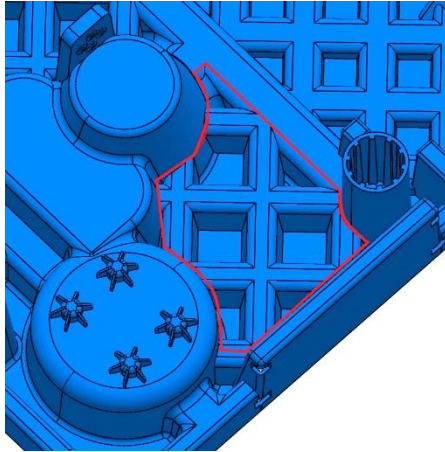
Oblast změny profilování dna šasi



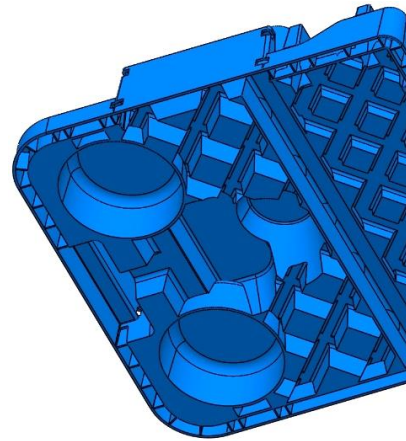
Obrázek 96: Oblast upraveného profilování dna šasi.

Obrázek 97: Upravené profilování dna šasi, spodní pohled.

V přední části došlo také ke změně zpevnění dna šasi. Žebra z prvního návrhu šasi ve tvaru včelích pláství byla změněna za vyztužení profilováním dna, viz. obr. 98, obdobnému jako je v zadní části. Žebra tvaru včelích pláství mají mnoho výhod (dobrá tuhost, zlepšený tok taveniny apod.). V případě šasi, měla žebra výšku 36 mm, což by komplikovalo výrobu formy i proces výroby. Z důvodu jejich výšky by musel být jejich tvar do formy jiskřen, což by mohlo mít za následek velké navýšení ceny vstříkovací formy. Další nevýhodou výšky, problematické odformování dílu ze vstříkovací formy. Profilování je vyšší a užší, než v případě profilování zadní části šasi. Tvar je opět křížový, ale s menší hustotou (vzdálenost profilovaných částí).

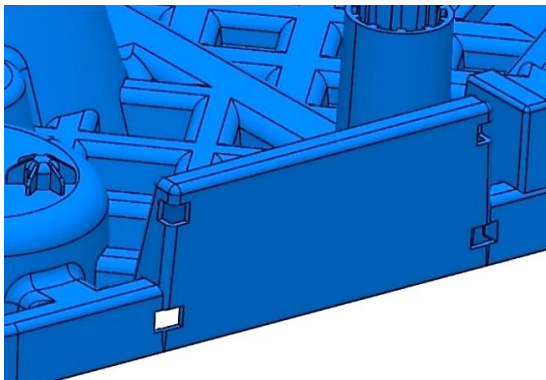


Obrázek 98: Vyztužení šasi pomocí profilování dna, přední část.

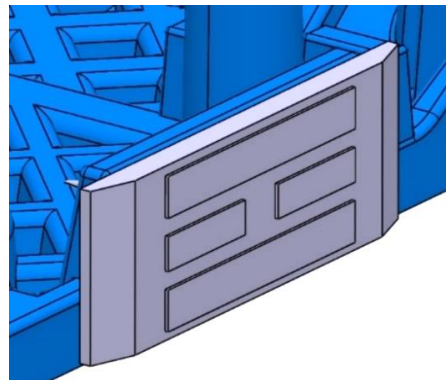


Obrázek 99: Vyztužení šasi pomocí profilování dna, spodní pohled.

Poslední úpravou ve druhé fázi bylo přidání plochy pro uchycení desky dokovacího systému dobíjení, viz. obr. 100. Jedná se o lokálně vyvýšené obvodové profilování, tvar je podobný jako v případě profilování pro uchycení předního bezpečnostního senzoru. Celková výška profilu je 100 mm a šířka v horní části je 20,5 mm. U deska s kontakty, viz. obr. 101, je uvažován stejný princip uchycení jako u bezpečnostního předního senzoru, pomocí plechových matic ST4,2.



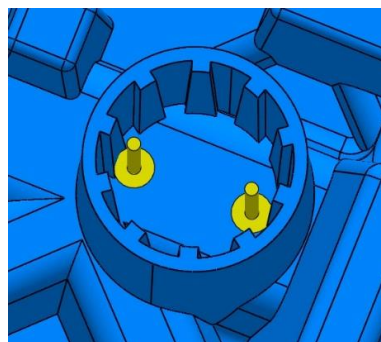
Obrázek 100: Profilování dna pro uchycení desky dokovacího systému dobíjení.



Obrázek 101: Deska s kontakty dokovacího dobíjecího systému.

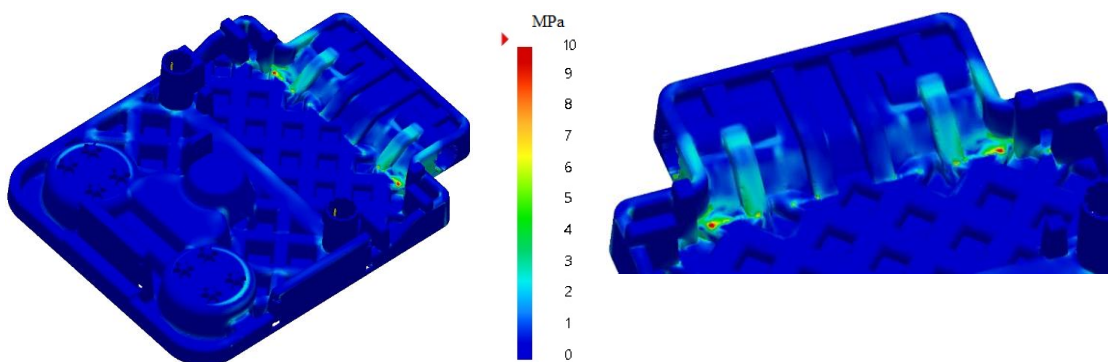
#### 4.2.2 PEVNOSTNÍ VÝPOČET ŠASI

Vstupní parametry pro výpočet šasi v druhé fázi konstrukce jsou stejné jako v první fázi viz. kapitola 4.1.3. Do pevnostního výpočtu je však přidána navíc zatěžující statická síla, která je aplikována v místě uložení hliníkových trubek nosného rámu nárazníků, viz. obr. 102. Velikost této zatěžující síly je 300 N. Velikosti elementů sítě jsou nastavené stejně jako v prvním návrhu, viz. kapitola 4.1.4 a 4.1.5.



Obrázek 102: Zatížení dna držáku hliníkového nosného rámu.

Na obrázku 103 je zobrazeno šasi s celkovým průběhem napětí. Vyhodnocení výsledků namáhání jsou v místech nejvyšších napětí. Místa výskytu nejvyšších napětí jsou obdobná jako v prvním návrhu, viz. kapitola 4.1.4, tedy v zádni části šasi (oblast uložení baterie a motorů).

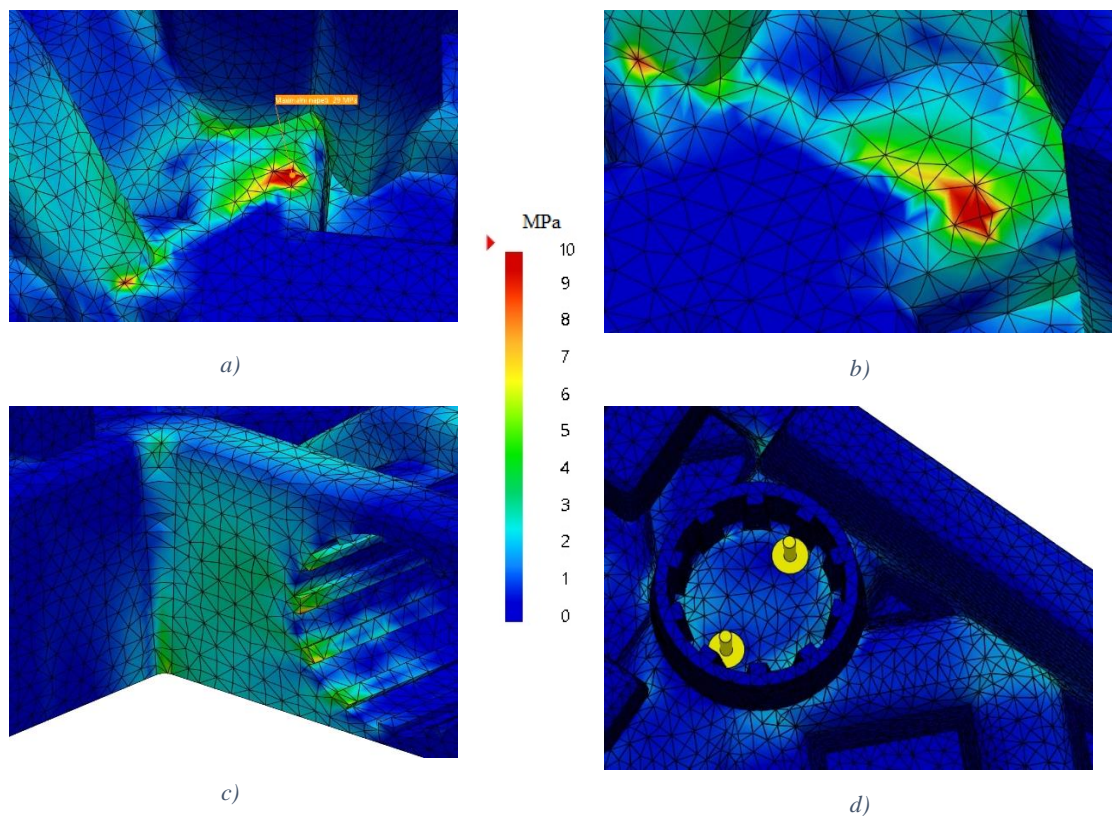


Obrázek 103: Průběh napětí v šasi druhé fáze návrhu konstrukce, s detailem na nejvíce namáhanou oblast.

Nejvyšší místa napětí jsou zobrazena na obr. 104. Oblasti uložení baterie a), má nejvyšší hodnotu napětí 29 MPa. Napětí je o 2 MPa nižší než v případě napětí v prvním návrhu šasi. I v případě, že je v druhém konstrukčním návrhu aplikována dodatečná zatěžující síla od hliníkového nosného rámu (300 N). Avšak oblast koncentrace vysoké úrovně napětí je mnohem menší. Průběh napětí v zaoblení v místě c) (uložení motorů), dosahuje maximálních hodnot 6,5 MPa. V porovnání s průběhem napětí v prvním návrhu šasi, je napětí menší. V místě zatížení držáku d) nosného rámu je napětí mírně zvýšeno, hodnoty napětí v této oblasti dosahují maxima 4,5 MPa. Napětí je také mírně zvýšeno v místě uložení předních kol, hodnota však dosahuje pouze maximálních hodnot 3 MPa.

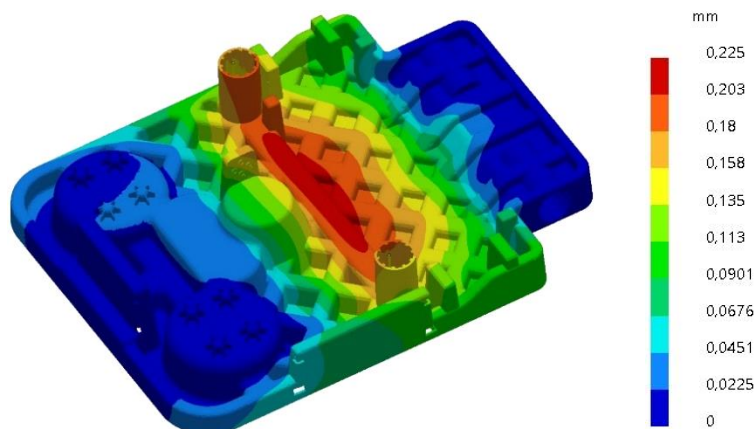
Z analýzy výsledků vychází, že kritická napětí v šasi vozíku nepřekračují dovolenou mez napětí (110 MPa) zvoleného materiálu (napětí je 3x nižší), lze tedy materiál bezpečně použít.





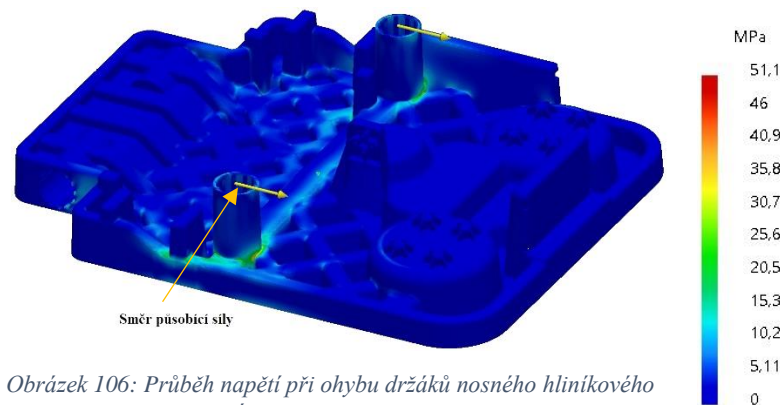
Obrázek 104: Místa s nejvyšším a zvýšeným průběhem napětí.

Deformace šasi dosahuje nejvyšší hodnoty 0,225 mm, viz. obr. 105. Oblast největší deformace se přesunula více ke středu vozíku z důvodu přidaného zatížení v místě držáků hliníkového nosného rámu. Velikost deformace je poloviční než v případě prvního návrhu šasi, i přes dodatečné zatížení od hliníkového rámu. Lze tedy usoudit, že celková tuhost šasi byla vylepšena.

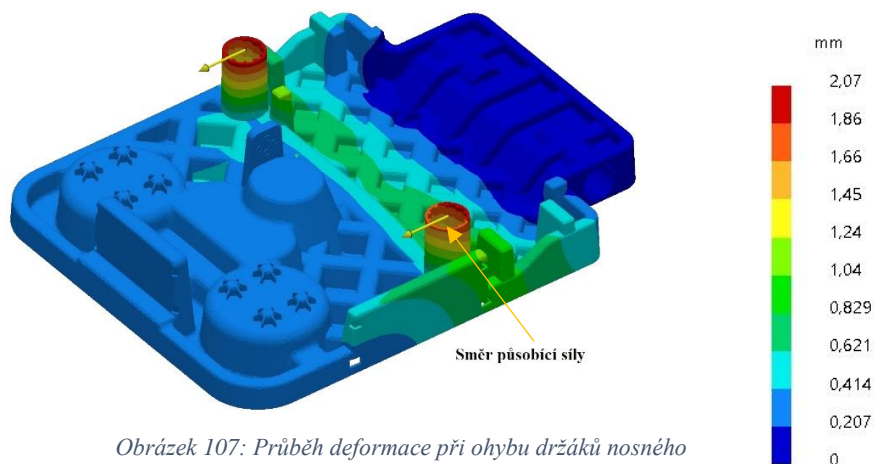


Obrázek 105: Průběh deformace v šasi.

Kromě výše provedené analýzy byl dále pevnostní výpočet pro kontrolu ohybového namáhání v držácích hliníkového nosného rámu, které může vznikat při akceleraci, nebo brždění AGV. Na obrázku 106 je zobrazen průběh napětí se zatěžující silou 2000 N, která je převzata z kontroly rámu aktuálně provozovaných AGV. Síla je aplikována na vrchní stranu držáků, z důvodu co možná největšího namáhání, které by mohlo nastat. Držáky jsou zkontrolovány, zda vydrží takto vysoké zatížení a v případě překročení limitního napětí musí být upraveny. Nastavení výpočetní sítě je stejné, jako v předchozím pevnostním výpočtu šasi. Nejvyšší napětí je ve spodní části držáku, lokálně dosahuje hodnoty 51,1 MPa. Dle zvoleného materiálu je toto napětí v dovolené mezi (110 MPa). Deformace je nejvyšší v horní části držáků, má maximální hodnotu 2,07 mm, viz. obr. 107. Hodnota deformace překračuje dovolenou mez 1,8mm, dle specifikací (viz. kapitola 3.2), musí být tedy upraveny v další fázi.



Obrázek 106: Průběh napětí při ohybu držáků nosného hliníkového rámu.



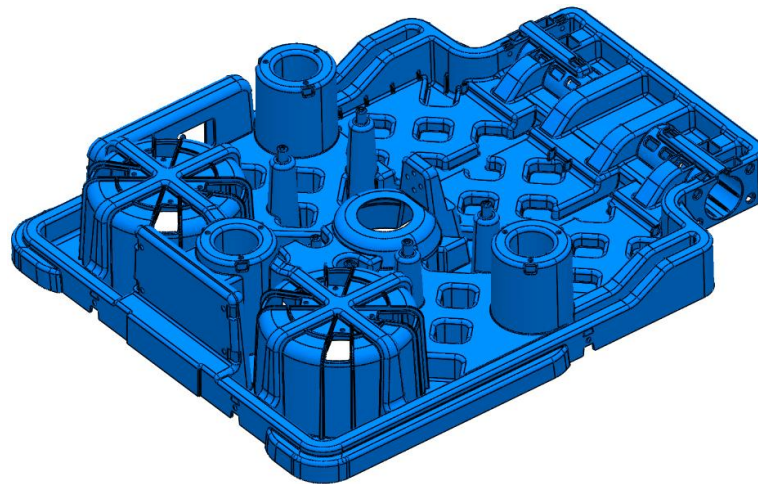
Obrázek 107: Průběh deformace při ohybu držáků nosného hliníkového rámu.

### 4.3 TŘETÍ FÁZE NÁVRHU KONSTRUKCE AGV

Z předešlé fáze návrhu museli být na šasi upravené držáky nosného hliníkového rámu pro nárazníky. Při pevnostním výpočtu držáky vyhovovaly z hlediska napětí, avšak překračovaly dovolenou deformaci 1,5 mm, viz. kapitola 4.2.2. Dalším krokem bylo zpevnění celého šasi z důvodu upravení nosného hliníkového rámu. Na rám byl do přední části přidán jeden opěrný bod navíc. Nyní se tedy rám opírá celkově ve třech bodech. Tímto bylo částečně zamezeno nechtěnému naklánění celého rámu při pohybu AGV. Rám byl také celkově zpevněn. Díky těmto dvou úpravám, musela být navýšena maximální možná hmotnost rámu ze 30 kg na 50 kg. Dále musel být upraven systém uložení motorů, aby motory nebyly hlavním opěrným prvkem AGV, a také museli být detailně zkonstruovány jednotlivá uchycení všech zástavbových dílů. Hmotnost vozíku ve třetí fázi návrhu je 32 kg (šasi, kryt, baterie), bez ostatních zástavbových dílů. Se zástavbovými díly je hmotnost vozíku 40,5 kg.

#### 4.3.1 KONSTRUKCE ŠASI

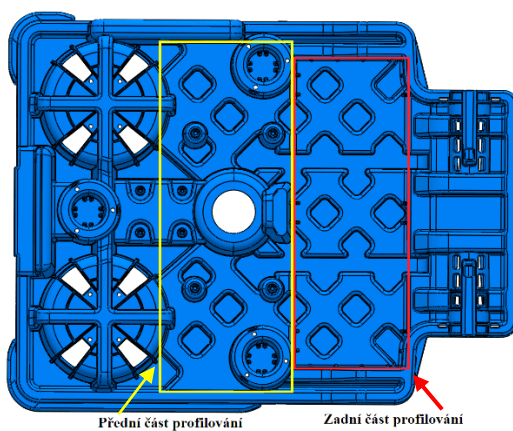
Na obrázku 108 je znázorněn stav třetí fáze konstrukce šasi AGV.



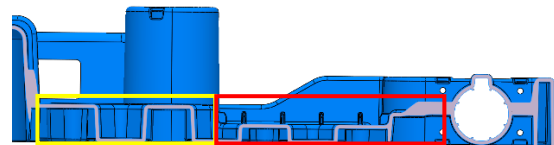
Obrázek 108: Návrh šasi třetí fáze konstrukce.

Vyztužení dna pomocí profilování v oblasti uložení optické kamery, předních kol a držáků nosného rámu bylo tvarově upraveno, viz obr. 109 a 110. Tvar profilování byl upraven pro další zvýšení tuhosti šasi, z důvodu navýšení hmotnosti nosného hliníkového rámu, ze 30 kg na 50 kg. Výška profilování v přední části je 36 mm, zadní v oblasti uložení baterie je 15 mm. Tvar profilování v přední části je křížový. Stejný tvar profilování je i v zadní části s tím, že je struktura profilování od středu vozíku narušena

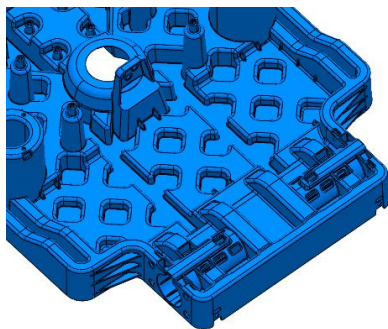
dvěma tzv. kanály, které mohou pomoci s tokem taveniny do zadní části vozíku. Spodní část šasi byla vyztužena žebry, viz. obr. 112. Tloušťka stěn šasi 3,8 mm byla zachována, kromě výztužných žebér, která mají tloušťku 2,5 mm. Pro vymezení vůle v uložení baterie na šasi vozíku byly předešlé profily z druhé fáze upraveny na rohová žebra tloušťky 2,5 mm, viz. obr. 113. Díky této změně, vznikl prostor mezi obvodovým výztužným profilováním a baterií. Z tohoto důvodu bylo zde vytvořeno druhé profilování dna, viz. obr. 114 a 115. Toto přidané profilování by mělo mít vliv na zvýšení tuhosti v zadní oblasti šasi a vyšší tuhost držáků rámu. Vymezovací žebra baterie nemusí být díky tomu tak velká.



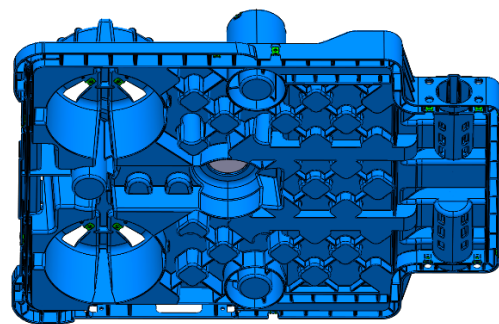
Obrázek 109: Upravené profilování dna šasi.



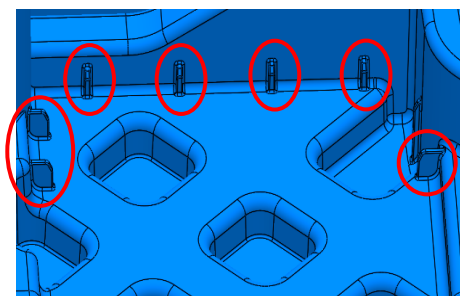
Obrázek 110: Řez napříč profilováním dna šasi.



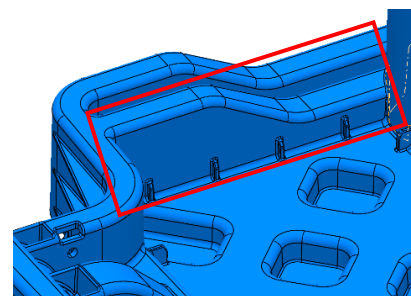
Obrázek 111: Zadní oblast profilování dna šasi.



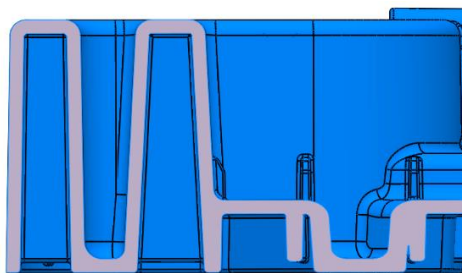
Obrázek 112: Spodní část dna vyztužené žebry.



Obrázek 113: Opěrná žebra pro uložení baterie

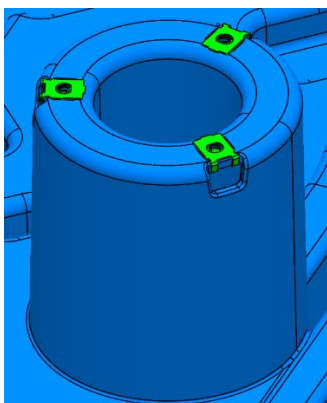


Obrázek 114: Přidání druhého výztužného profilování dna v oblasti uložení baterie.

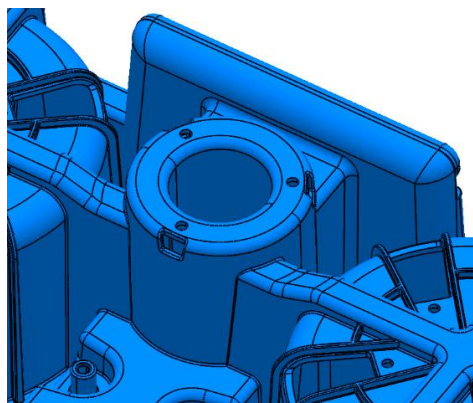


Obrázek 115: Řez zadním obvodovým profilováním dna šasi.

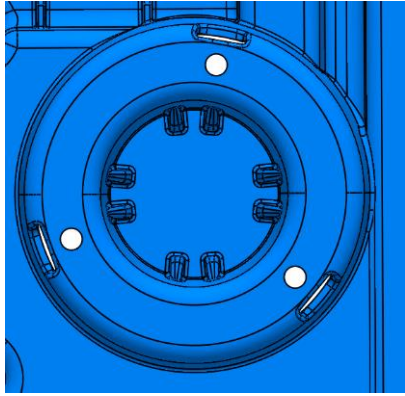
Z důvodu zlepšení stability hliníkového nosného rámu pro nárazníky, při pohybu AGV, byly upraveny držáky, viz. obr. 116, do kterých je rám zasunut. V přední části šasi byl přidán navíc držák upraveného nosného rámu, mezi oblast uložení kamery a předního bezpečnostního senzoru, viz. obr. 117. Celková výška držáků činí 135 mm. Uvnitř byla vytvořena žebra, která vymezují pozici při zasunutí hliníkové trubky rámu, viz. obr. 118. V horní části byly vytvořeny drážky pro umístění plechových matic ST4.2, do kterých je přišroubována horní výztuha. Výztuha byla přidána z důvodu možného navýšení tuhosti držáků rámu, viz. obr. 119 a 120. Je navržena tak, aby pod ní mohly být umístěny veškeré potřebné zástavbové díly (optická kamera, řídicí jednotka apod.). Uvažuje se, že by mohla být vyráběna ze stejného materiálu jako je šasi, viz. kapitola 3.3. Profil výztuhy je ve tvaru U a vnitřek profilu je vyztužen žebry o tloušťce 1,7 mm. Tloušťka stěn profilu výztuhy je 3 mm. Slouží také jako podpora v přední oblasti krytu, kde doposud byl kryt nepodepřen. V horní výztuze v místech uložení hliníkové trubky rámu byla vytvořena profilování, která kopírují profil trubky, viz. obr. 121.



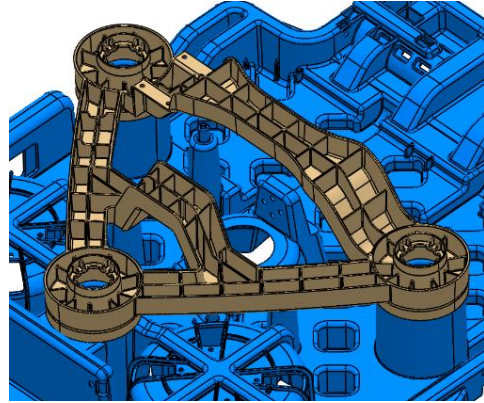
Obrázek 116: Upravené držáky hliníkového nosného rámu.



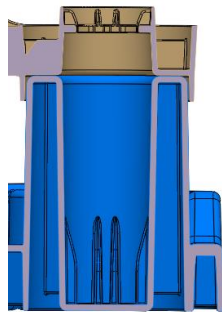
Obrázek 117: Přední pozice třetího vytvořeného držáku rámu.



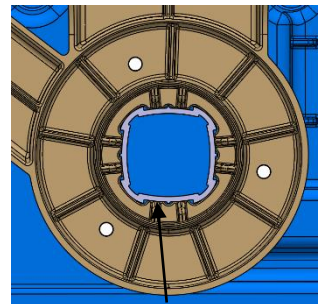
Obrázek 118: Vnitřní pohled do držáku s žebry pro uložení trubky rámu.



Obrázek 119: Přední výztuha držáků rámu a krytu AGV.



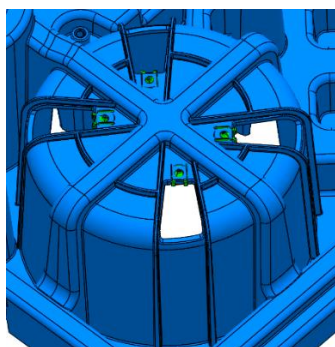
Obrázek 120: Řez držákem rámu a přední výztuhou.



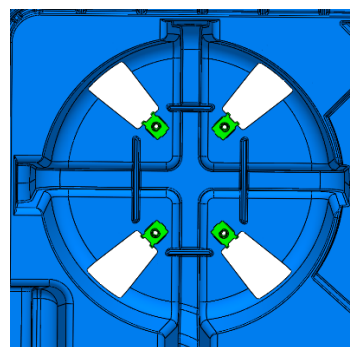
Hliníková profilovaná trubka rámu

Obrázek 121: Vytvořené profilování pro hliníkovou trubku v přední výztuze.

Přední uložení kol bylo upraveno na systém uchycení pomocí plechových matic, viz. obr. 122 a 123. Oblast uložení byla dále vyztužena křížovým profilováním dna a pomocí žebry, čímž by mohla být navýšena tuhost horní oblasti. Byly vytvořeny 4 otvory pro odlehčení a montáž matic.



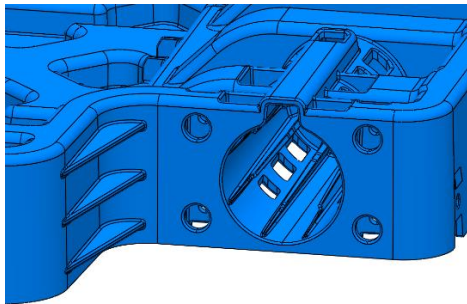
Obrázek 122: Upravená oblast uchycení předních kol, s plechovými maticemi.



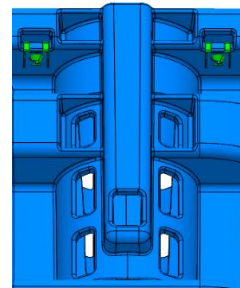
Obrázek 123: Oblast uchycení předních kol, pohled zespod.

Oblasti umístění motorů byly upraveny viz. obr. 124. Místa pro uložení motorů s převodovými skříněmi mají vytvořeny po obvodu otvory, které fungují pro odvod tepla a také jako odlehčení šasi, viz. obr. 125. Motory s převodovými skříněmi jsou ve velkých otvorech umístěny volně (pozice vymezena žebry). Z tohoto důvodu byl vytvořen systém

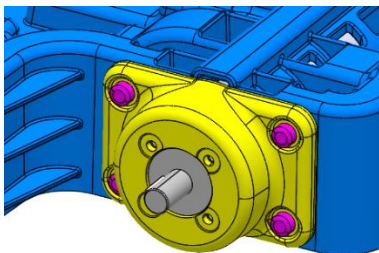
uchycení k šasi pomocí plastových přírub, viz. obr. 126. Je uvažováno, že bude vyráběna ze stejného materiálu jako šasi AGV, viz. kapitola 3.3. Vnitřní prostor příruby byl z velké části vyztužen žebry, což by mělo mít vliv na její celkovou pevnost. Pro montáž byla příruba opatřena čtyřmi držáky (vymezovacími prvky), které jsou zasunuty do připravených otvorů v šasi. Uchycení příruby k šasi je myšleno pomocí šroubů skrz přírubu a plechové matice, které jsou umístěny na šasi. Před touto montáží však musí být nejdříve namontován motor s převodovou skříní na samotnou přírubu pomocí čtyř šroubů, viz. obr. 127.



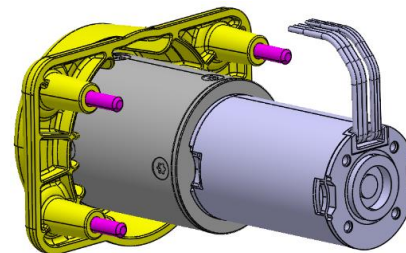
Obrázek 124: Oblast uložení motorů v šasi.



Obrázek 125: Ventilační otvory pro motor a převodovou skřín s plechovými maticemi.

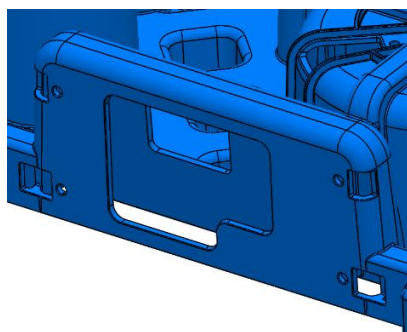


Obrázek 126: Plastová příruba pro uchycení motoru s převodovkou k šasi.



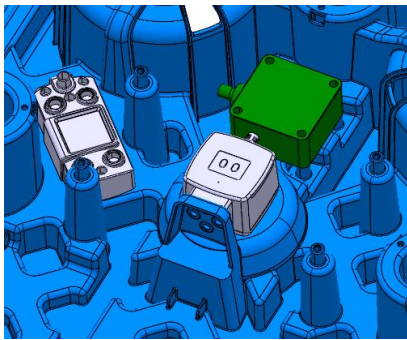
Obrázek 127: Plastová příruba pro uchycení motoru s převodovkou k šasi. Vnitřní pohled.

Deska s kontakty pro dobíjení byla přesunuta na pravou stranu AGV, z důvodu změny pozic dobíjecích stanic. V místě pro uchycení této desky byly vytvořeny 2 otvory pro konektory a vedení kabelů, viz. obr. 128. Montáž je uvažována pomocí samořezných šroubů a plechových matic ST4.2 na šasi.

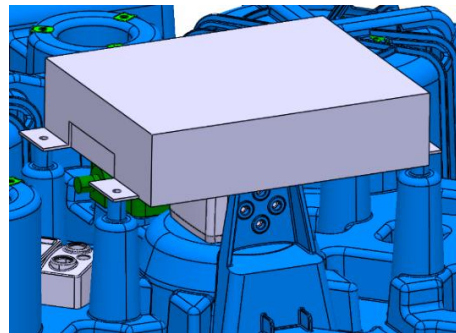


Obrázek 128: Místo pro montáž desky dobíjecího systému s otvory pro konektory a kabely.

Držák optické kamery byl pootočen o 90° v ose Z do středu šasi, viz. obr. 129, z důvodu symetrie. Před optickou kameru byly přidány držáky, které jsou vytvořeny profilováním tvaru kuželu ze dna šasi, pro čtečku RFID kódů od firmy Pepperl+Fuchs, s označením IQH1-FP-V1. Uchycení je uvažováno pomocí samořezných šroubů. Na levé straně, vedle optické kamery je umístěna řídicí jednotka čtečky RFID kódů od stejné firmy, s označením IC-KP2-2HRX-2V1. Uchycení je uvažováno samořeznými šrouby do šasi. Řídicí jednotka AGV je umístěna nad optickou kameru, viz obr. 130. Uložení je provedeno pomocí čtyř vysokých držáku, které jsou vytvořeny pomocí profilování dna šasi kuželového tvaru. Uchycení je uvažováno pomocí samořezných šroubů.

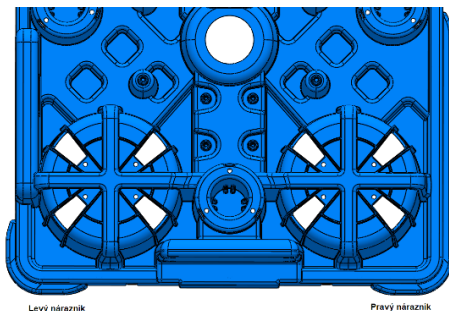


Obrázek 129: Přední část šasi s umístěním optické kamery, čtečky RFID kódů a řídicí jednotky čtečky.

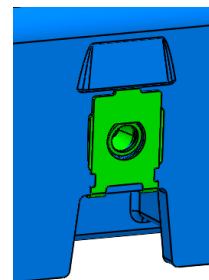


Obrázek 130: Umístění řídicí jednotky AGV nad optickou kamerou.

V přední části šasi na levé i pravé straně byly integrovány nárazníky šasi, viz. obr. 131, které ochraňují kryt před poškozením při zajíždění vozíku do dokovacího stanoviště. Nárazníky jsou tvořeny profilem šířky 12 mm z obvodové stěny šasi. Z důvodu případné kolize s bočními mantinely, které jsou umístěny v každé odbíjecí stanici pro AGV. V případě vychýlení AGV z dráhy u stanic, mantinely navedou vozík do požadované pozice. Dále na obvodovém profilování šasi bylo vytvořeno několik drážek s otvory pro nasunutí plechových matic ST4.2, viz. obr. 132. Matice jsou uvažovány pro uchycení krytu na šasi.



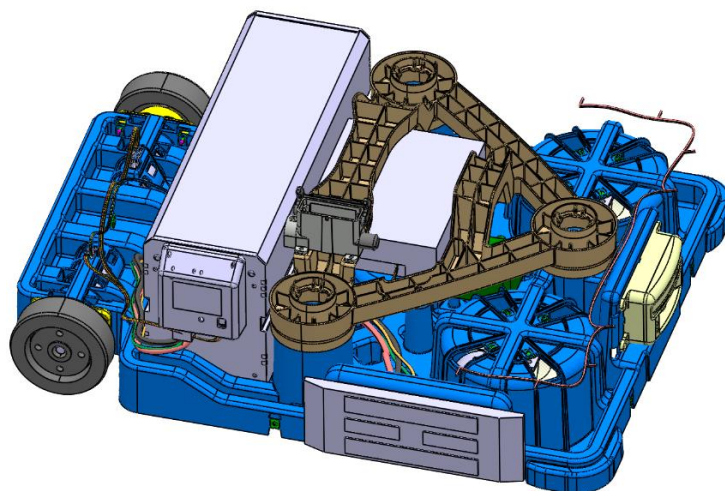
Obrázek 131: Přední nárazník šasi.



Obrázek 132: Plechová matice na obvodu šasi, pro uchycení krytu.



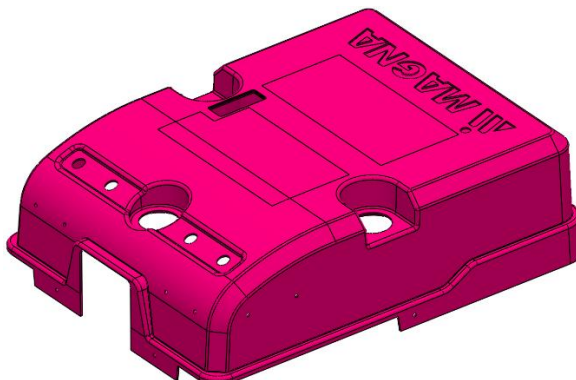
Na obrázku 133 je zobrazeno šasi AGV se všemi zástavbovými díly.



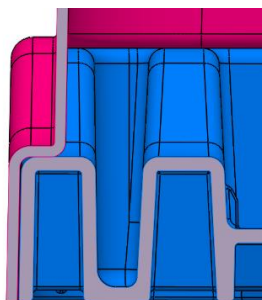
Obrázek 133: Šasi AGV se zástavbovými díly.

#### 4.3.2 KONSTRUKCE KRYTU

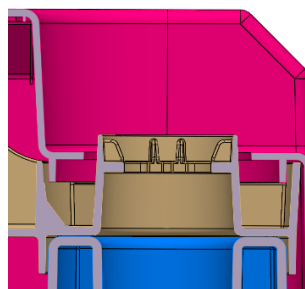
Na obrázku 134 je zobrazen kryt AGV třetí fáze návrhu. Po celém obvodu byl vytvořen lem, který by měl zvýšit celkovou pevnost spodní části. Tento lem je v kontaktu s obvodovým profilováním šasi, viz. obr. 135, čímž by měla být pevnost dále navýšena. Dalším důvodem vytvoření tohoto lemu, může být jednodušší odformování krytu z formy po procesu vstříkování. Velké obvodové rovinné plochy bez lemu by se mohly značně kroutit, či deformovat vlivem smrštění. Na šasi byly dále vytvořeny tři otvory pro zasunutí hliníkového nosného rámu do šasi. Kryt se v tomto místě opírá o horní výztuhu, viz. obr. 136. Na obrázku 137 je zobrazen řez krytu a horní výztuha v oblasti, kde výztuha podepírá horní stranu krytu v přední části.



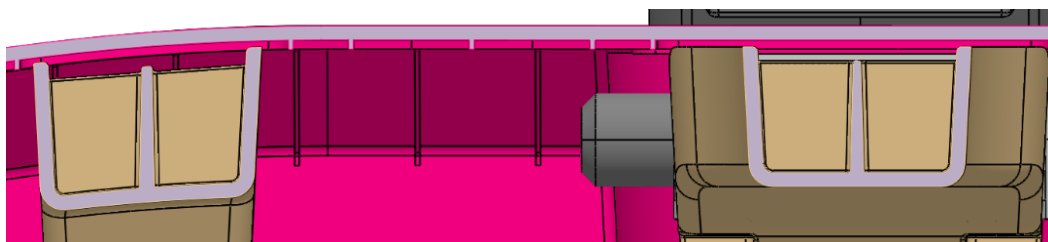
Obrázek 134: Kryt třetí fáze návrhu AGV.



Obrázek 135: Kontakt lemu krytu s profilováním dna šasi.

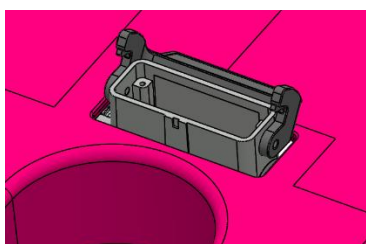


Obrázek 136: Řez držákem hliníkového nosného rám a krytu.

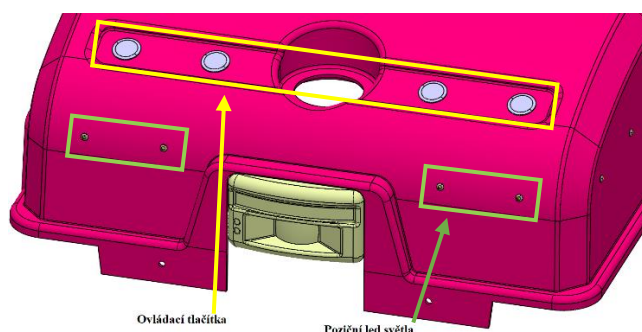


Obrázek 137: Řez výtuhou a krytem, v místě podepření.

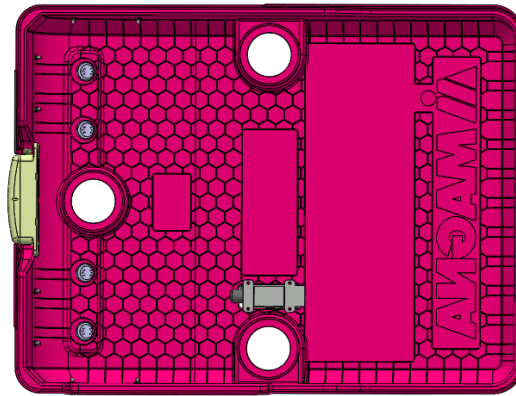
Na horní pravé straně byl vytvořen otvor pro konektor, pro možnost připojení k řídicí jednotce AGV, viz. obr. 138. Uchycení konektoru je uvažováno na horní výztuze pomocí samořezných šroubů. V přední části krytu byly vytvořeny otvory pro umístění pozičních led světél. Světla mají dáno uchycení pomocí matic z vnitřní strany krytu. Nad pozicemi led světél byly vytvořeny čtyři otvory, které jsou určeny pro uchycení ovládacích tlačítek, které také barevně signalizují stav AGV, viz. obr. 139. Tlačítka mají uchycení pomocí matic z vnitřní strany krytu. Z vnitřní strany krytu byla vytvořena žebra ve tvaru včelích pláství, viz. obr. 156. Z důvodu možného zvýšení tuhosti horní strany krytu. Výška žebér je 2 mm a tloušťka 1 mm. Volné větší plochy mezi žebry jsou uvažované oblasti, kde se kryt může opírá o baterii a horní výztuhu.



Obrázek 138: Konektor pro řídicí jednotku s otvorem v krytu.



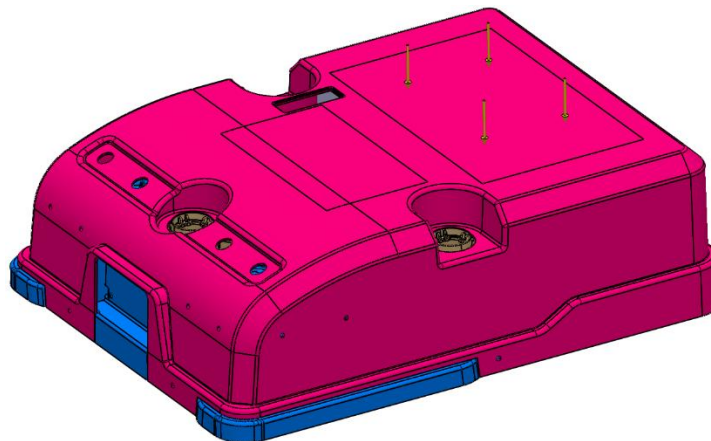
Obrázek 139: Pozice led světél a ovládacích tlačítek na krytu.



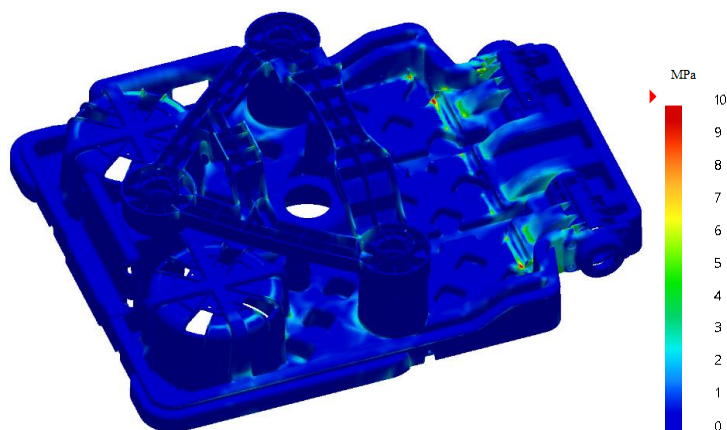
Obrázek 140: Zpevnění horní části krytu, pomocí žeber ve tvaru včelích pláství.

### 4.3.3 PEVNOSTNÍ VÝPOČET ŠASI

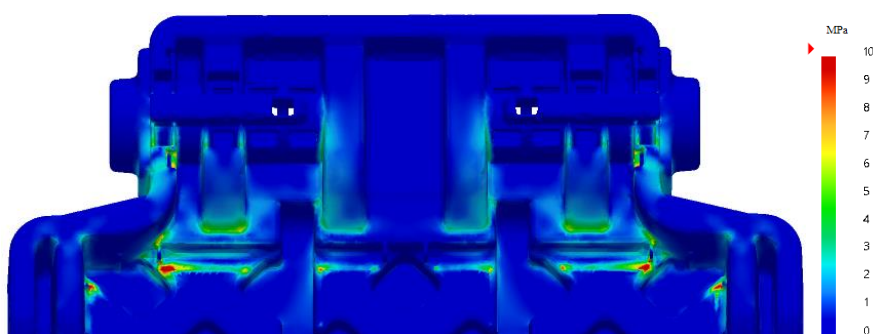
Dle požadavků je pevnostní výpočet proveden na kontrolu proti poškození nášlapem na kryt vozíku, viz. kapitola 4.1.3. Aplikována je síla 1000 N na horní stranu krytu v zadní oblasti (oblast uložení baterie). Plocha, na kterou je aplikováno zatížení je zmenšena, viz. obr. 141, z důvodu zmenšení prostoru, na který je možné našlápnout. Důvodem je zvětšení nosného rámu. Pro horní výztuhu je uvažováno stejné nastavení sítě jako pro šasi, viz. kapitola 4.1.4. Přidáno je také zatížení, které vyvolává hmotnost hliníkového nosného rámu s nárazníky do šasi, které bylo již aplikováno v druhé fázi návrhu šasi. Z důvodu úpravy nosného rámu, je výsledná hmotnost rámu navýšena ze 30 kg na 50 kg, tedy ze 300 N na 500 N. Zatížení je aplikováno do všech tří držáků rámu na šasi. Na obrázku 142 je zobrazen celkový průběh napětí v šasi. Největší koncentrace napětí je v zadní oblasti, v okolí uložení baterie a motorů, viz. obr. 143. Rozpětí stupnice napětí je sníženo na 10 MPa pro lepší zobrazení distribuce napětí.



Obrázek 141: Aplikované zatížení na upravenou plochu horní strany krytu.



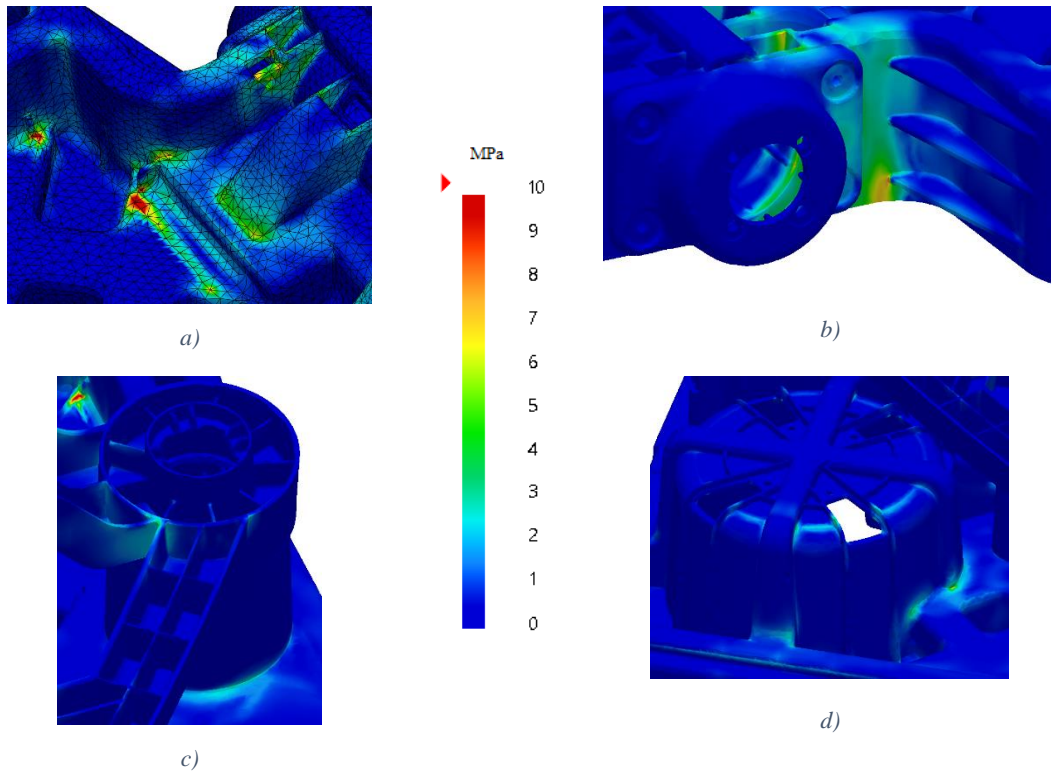
Obrázek 142: Celkový průběh napětí v šasi.



Obrázek 143: Průběh napětí v zadní části šasi.

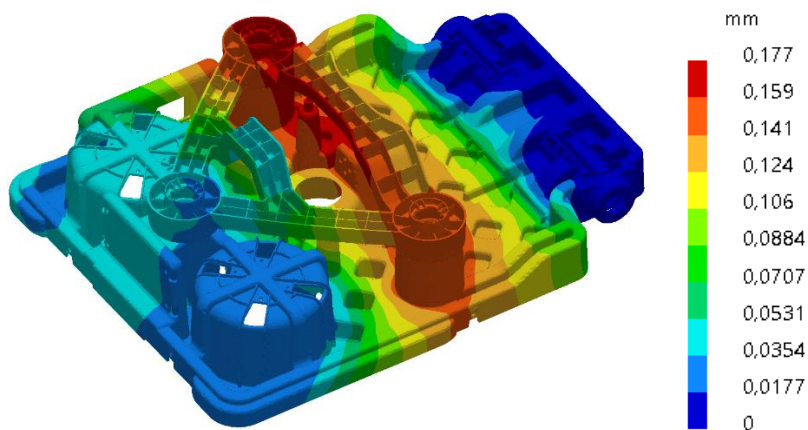
Na obrázku 144 jsou zobrazeny vybrané oblasti, které mají buď nejvyšší úroveň napětí, nebo je zde napětí zvýšeno (oproti předešlým variantám). Nejvyšší napětí je v oblasti uložení baterie a), blízko místu uložení motorů. Velikost nejvyššího napětí je v tomto místě 23 MPa, oblast kritického napětí je však velmi malá. V zadní části šasi v místě uložení motorů b), je nejvyšší napětí 8 MPa. V místech držáků nosného rámu nárazníků c), se napětí pohybuje v rozmezí 1 až 3,5 MPa. Zvýšené napětí je i v místě uložení předních kol d), kde napětí dosahuje hodnot 7,5 MPa.

Z výsledků analýzy průběhu napětí vychází, že kritická napětí v šasi nepřekračují dovolenou mez napětí zvoleného materiálu. Maximální napětí v šasi vozíku je 23 MPa, dovolené napětí je 110 MPa. Maximální napětí je také o 6 MPa nižší než v případě druhé fáze návrhu šasi. A to i přes zvýšené zatížení od nosného hliníkového rámu do šasi o 200 N. Z tohoto výsledku lze usoudit, že provedené změny v šasi mají vliv na zvýšenou tuhost.



Obrázek 144: Oblast s nejvyššími a vyššími průběhy napětí.

Deformace šasi dosahuje nejvyšší hodnoty 0,177 mm, viz. obr. 145. Nejvíce deformována je horní výztuha a střední oblast šasi. Je to z důvodu navýšené síly, působící v držácích nosného rámu. I přes zvýšené zatížení (500 N), je deformace menší než v druhé fázi návrhu, viz. kapitola 4.2.2. Zvýšená tuhost šasi je tedy potvrzena.

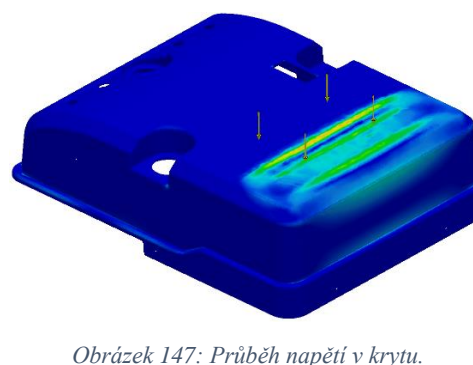
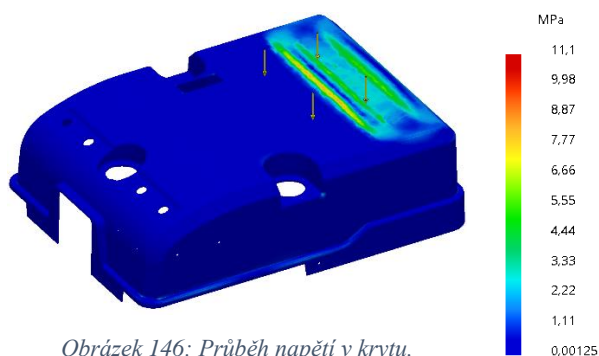


Obrázek 145: Průběh deformace v šasi.

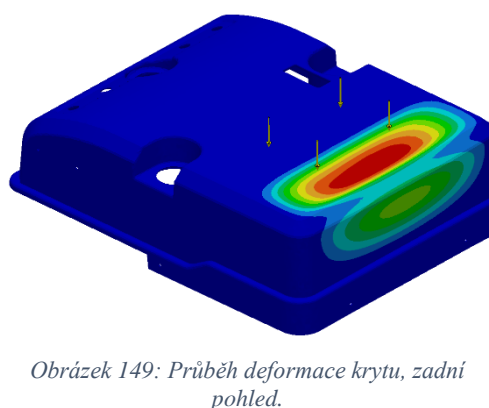
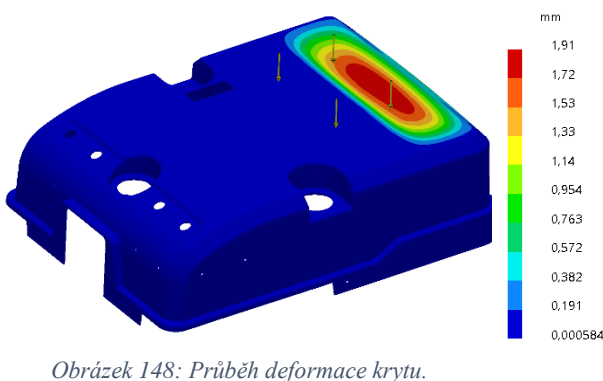
#### 4.3.4 PEVNOSTNÍ VÝPOČET KRYTU

Nastavení sítí pro kryt je stejné jako v případě prvního návrhu, viz. kapitola 4.1.5. Pro výpočet krytu byl zvolen kvadratický element velikosti 10 mm. Kryt vypočten z důvodu kontroly proti nášlapu na horní stranu krytu, zatěžující síla je 1000 N a je aplikována na zadní část. Oblast nášlapu je nyní mírně upravena, z důvodu, že nosný hliníkový trubkový rám nárazníků znemožňuje nášlap na přední či střední oblast krytu. Síla je tedy soustředěna více na zadní část krytu.

Na obrázcích 146 a 147 je zobrazen průběh napětí v krytu. Maximální hodnota napětí je 11,1 MPa. Napětí je větší než v případě návrhu prvního krytu. Je to z důvodu působení stejně velké síly, ale na menší oblast.



Největší deformace krytu je v zadní části, maximální hodnota činí 1,9 mm, viz. obr. 148 a 149.



Navržený materiál, viz. kapitola 4.2.2, má dovolenou mez napětí 37 MPa, nejvyšší kritické napětí v krytu je 11,1 MPa. Napětí je více jak 3x menší, z hlediska napětí lze zvolený materiál použít. Deformace dosahuje maximální hodnoty 1,9 mm, dle specifikací je maximální dovolená deformace krytu 4 mm. Kryt z hlediska deformace také vyhovuje.

## 5 ZÁVĚR

V teoretické části byl nejprve proveden obecný rozbor problematiky AGV vozíků. Pozornost byla věnována jak skladbě AGV vozíků, tak i problematice navigace AGV systémů. V další části byla analyzována problematika výpočtů pomocí metody konečných prvků (MKP).

V experimentální části bylo představeno aktuálně provozované AGV. Dále byly uvedeny požadavky pro nové plastové AGV, např.: maximální rozměry podvozku, světlá výška podvozku od podlahy, maximální hmotnost celého vozíku. Důležitým požadavkem byla kontrola vozíku na vnější zatížení, které by bylo vyvoláno nášlapem na horní stranu krytu, statické zatížení bylo 100 kg. Další zatížení šasi bylo způsobeno uložením hliníkového nosného rámu na šasi, které bylo 30 kg. Následně byl představen koncept vozíku se zvolenými materiály šasi (polypropylen se 40 % dlouhých skelných vláken) a krytu (polypropylen s 20 % talku). Dále v konceptu byly uvedené jednotlivé zástavbové díly, které byly částečně převzaty z provozovaného AGV a jejich pozice. V konceptu byly představeny dva návrhy tvaru šasi a krytu, ze kterých byl jeden vybrán, který byl následně použit v konstrukci.

V konstrukční návrhové části byly představeny celkem tři fáze konstrukčních návrhů. V prvním konstrukčním návrhu šasi byly nejdříve představy základní tvary a vnitřní konstrukce šasi s umístěnými zástavbovými díly. Model nebyl detailně zpracován, sloužil pro orientační pevnostní výpočet. V tomto návrhu nebylo ještě počítáno se zatížením od hliníkového nosného rámu. Z důvodu, že nebylo známo přesné umístění rámu a systém uložení na šasi. Pro pevnostní výpočet musel být nejdříve zvolen vhodný element výpočetní sítě. Byly stanoveny 4 velikosti elementů 10, 5, 3 a 1,5 mm, lineárního a kvadratického typu, se kterými byl první návrh konstrukce vypočítán. Kvadratické elementy velikosti 3 mm a 1,5 mm nebyly z důvodu chyb programu nikdy dopočítány. Z vybraných elementů byl vybrán kvadratický 5 mm element, který ukazoval nejvyšší napětí, a také přesnější vykreslení oblastí napětí. Pro kryt byl stanoven kvadratický element velikosti 10 mm, z důvodu jednoduchosti krytu a pro snížení náročnosti výpočtu. Pevnostním výpočtem bylo zjištěno, že nejvyšší napětí v šasi je 3x nižší než dovolené napětí (110 MPa). Výsledná deformace byla 3x nižší než dovolená (1,5 mm). Zvolený materiál byl vyhodnocen jako vyhovující. Materiál krytu byl dle výsledků také vyhodnocen jako vhodný, nejvyšší napětí bylo 4x nižší než dovolené (37MPa).

Maximální deformace krytu byla 3,4 mm (dovolená 4 mm). V druhém návrhu byl představen upravený návrh šasi s přidanými konstrukčními prvky dle požadavků (držák kontaktní desky dobíjení, uložení motorů, držáky nosného rámu apod.). Z důvodu již přidaného zatížení do držáků nosného rámu (30 kg), bylo upraveno vyztužení dna. Pevnostním výpočtem bylo zjištěno, že výsledné napětí, i přes dodatečné zatížení od rámu je o 10 % menší než v prvním návrhu šasi. Deformace byla oproti prvnímu návrhu o 54 % menší, zvolený materiál byl tedy vyhodnocen jako vhodný. Ve třetím návrhu byla konstrukce šasi a krytu detailně zpracována. Z důvodu úpravy nosného rámu, byla jeho maximální hmotnost navýšena na 50 kg. Dno šasi bylo z tohoto důvodu upraveno. Na šasi byl přidán jeden držák nosného rámu navíc (lepší stabilita rámu při provozu AGV). Výsledkem všech úprav na celkovou tuhost šasi, bylo sníženo napětí o 21 % (oproti druhému návrhu), i přes navýšení hmotnosti nosného rámu. Deformace šasi byla snížena o 22 %, zvolený materiál byl vyhodnocen jako vhodný pro použití. Kryt prošel také několika změnami, které měly za následek mírně zvýšené napětí oproti prvnímu návrhu, avšak deformace byla snížena o 45 %. Kryt materiálu byl vyhodnocen jako vhodný pro použití.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Günter, Ullrich. *Automated Guided Vehicle Systems*. Berlin : Springer Verlag, 2015. ISBN 978-3-662-44814-4.
- [2] Kozel, David. [editor] Ph.D. Ing. Jaroslav Kašpárek. *Studie řízených průmyslových vozíků*. Brno : VUTBR, 2017. Sv. Bakalářská práce, str. 60.
- [3] Demuth, Ralf. Solutions. *Götting KG*. [Online] 2013. [Citace: 27. prosinec 2019.] <https://www.goetting-agv.com/solutions>.
- [4] AGV WEASEL. *SSI SCHÄFER s.r.o.* [Online] 1937. [Citace: 27. prosinec 2019.] <https://www.ssi-schaefer.com/cs-cz/produkty/conveying-transport/automated-guided-vehicles/fahrerloses-transportsystem-weasel-192914>.
- [5] Janišová, Mgr. Hana. Technologické i procesní inovace pro výrobní podniky. *IT Systems*. 9, 2018.
- [6] Building a Magnetic Track Guided AGV. [Online] RoboteQ, 2015. [Citace: 27. prosinec 2019.] <https://www.roboteq.com/index.php/applications/applications-blog/entry/building-a-magnetic-track-guided-agv>.
- [7] DF Automation & Robotics Sdn Bhd. *AMR Charging Option*. [Online] 2015. [Citace: 27. prosinec 2019.] <https://www.dfautomation.com/agv-charging-option/>.
- [8] ALLIED MOTION. *Understanding Electric Traction and Steering for Robotic Vehicles*. [Online] [Citace: 28. prosinec 2019.] <https://www.alliedmotion.com/electric-traction-and-steering-for-robotic-vehicles/>.
- [9] SICK. *Bezpečnostní laserové skenery*. [Online] [Citace: 28. prosinec 2019.] <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicka-ochranna-zarizeni/bezpecnostni-laserove-skenery/c/g187225>.
- [10] Pruška, Jan. ITA-AITES, Z.S. *Princip a možnosti matematického modelování*. [Online] 2014. [Citace: 30. prosinec 2019.] [https://www.ita-aites.cz/files/Seminare/2014\\_01\\_to/pruska-princip-matematickeho-modelovani.pdf](https://www.ita-aites.cz/files/Seminare/2014_01_to/pruska-princip-matematickeho-modelovani.pdf).
- [11] Wikimedia Foundation. *Metoda konečných prvků*. [Online] [Citace: 30. prosinec 2019.] [https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda\\_kone%C4%8Dn%C3%BDch\\_prvk%C5%AF](https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_kone%C4%8Dn%C3%BDch_prvk%C5%AF).
- [12] Madenci, Erdogan a Guven, Ibrahim. *The Finite Element Method and applications in engineering using Ansys*. United States of America : Springer, 2006. ISBN 978-0387-28289-3.
- [13] Vrbka, Martin a Veverka, Michal. *Metoda konečných prvků*. [Online] Brno : VUTBR. [Citace: 30. prosinec 2019.] [http://www.shigley.cz/images/texts/file/prednaska1\\_mkp.pdf](http://www.shigley.cz/images/texts/file/prednaska1_mkp.pdf).
- [14] Doc. RNDr. Libor Čermák, CSc. *Algoritmy metody konečných prvků*. [Online] Brno : VUTBR, 2010. [Citace: 5. duben 2020.] <https://math.fme.vutbr.cz/cz/ke-stazeni>.

- [15] NESLÁDEK, Martin. *Metoda konečných prvků - prezentace k 3. cvičení*. [Online] Praha : ČVUT, 2017. [Citace: 30. prosinec 2019.] [http://mechanika.fs.cvut.cz/content/files/MKP/cv3\\_prezentace.pdf](http://mechanika.fs.cvut.cz/content/files/MKP/cv3_prezentace.pdf).
- [16] Frei, Walter. COMSOL blog. *Finite Element Mesh Refinement*. [Online] 2016. [Citace: 10. Únor 2020.] <https://www.comsol.com/multiphysics/mesh-refinement>.
- [17] —. COMSOL blog. *Meshing Your Geometry: When to Use the Various Element Types*. [Online] 2013. [Citace: 10. Únor 2020.] <https://www.comsol.com/blogs/meshing-your-geometry-various-element-types/>.
- [18] Ing. Rittich, Zdeněk. Solar Solution. [Online] [Citace: 10. Únor 2020.] <https://solar-solution.cz/>.
- [19] Davies, Malory. *BITO starts production of simple AGV*. [Online] 2017. [Citace: 10. Únor 2021.] <https://www.logisticsmanager.com/bit0-starts-production-of-simple-agv/>.
- [20] Sabic. *Polypropylene (PP)*. [Online] 1976. <https://www.sabic.com/en/products/polymers/polypropylene-pp>.
- [21] PEPPERL+FUCHS. [Online] [https://www.pepperl-fuchs.com/czech\\_republic/cs/index.htm](https://www.pepperl-fuchs.com/czech_republic/cs/index.htm).
- [22] BLICKLE. [Online] 1953. <https://www.blickle.cz/>.
- [23] Dunkermotoren GmbH. [Online] <https://www.dunkermotoren.com/en/>.
- [24] MOFASH signalling. [Online] <https://www.moflash.co.uk/>.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Jeden z prvních AGV vozíků vyrobených společností Barrett-Cravens, rok 1954. [1].....	11
Obrázek 2: AGV vozík “Teletrak” od společnosti Jungheinrich, optické vedení. [1]....	12
Obrázek 3: AGV vozík “Teletrak” od společnosti Jungheinrich, elektrické vedení. [1]	12
Obrázek 4: AGV s automatizovaným tažným zařízením od společnosti Jungheinrich. [1] .....	13
Obrázek 5: Montážní linka motorů, VW, Hannover, 1986. [1].....	14
Obrázek 6: Montážní linka karoserií Passat, VW, Emden, 1986. [1].....	14
Obrázek 7: Indukční navádění AGV. [3].....	15
Obrázek 8: Indukční navádění AGV, s uložením v zemi. [3].....	15
Obrázek 9: Optické navádění AGV. [3] .....	16
Obrázek 10: Optické navádění AGV. [3] .....	16
Obrázek 11: Magnetické navádění AGV. [3] .....	17
Obrázek 12: Magnetické navádění přístavního mostového jeřábu. [3] .....	17
Obrázek 13: Laserové navádění AGV. [3] .....	18
Obrázek 14: Laserové navádění AGV. [3] .....	18
Obrázek 15: Satelitní navádění AGV. [3].....	19
Obrázek 16: Satelitní navádění venkovního jeřábu. [3] .....	19
Obrázek 17: Nosné AGV od firmy SSI Weasel. [4].....	20
Obrázek 18: Tažné AGV od firmy CEIT. [5].....	20
Obrázek 19: Způsob řízení a pohyb AGV. [6].....	21
Obrázek 20: Automatizovaná dobíjecí stanice AGV Zalpha CH01 od firmy Df Automation. [7].....	22
Obrázek 21: Výměnná stanice baterií AGV Zalpha CH02 od firmy Df Automation. [7] .....	22
Obrázek 22: Plně integrované pohonné ústrojí s kolečkem od firmy Allied Motion. [8] .....	23
Obrázek 23: Laserový scanner od firmy Sick. [9] .....	23
Obrázek 24: Trojúhelníkový element výpočetní sítě. [10] .....	25
Obrázek 25: Lineární trojúhelník T3. [14].....	26
Obrázek 26: Kvadratický trojúhelník T6. [14] .....	27
Obrázek 27: Zvolení lineárního typu elementu sítě, hrubá síť. [15].....	28

Obrázek 28: Zvolení kvadratického typu elementu sítě, hrubá síť. [15] .....	28
Obrázek 29: Lineární typ elementu sítě, jemná síť. [15] .....	28
Obrázek 30: Kvadratický typ elementu sítě, jemná síť. [15].....	28
Obrázek 31: Plošné elementy. [12].....	29
Obrázek 32: Druhy objemových elementů. [12] .....	29
Obrázek 33: Rozdělení na jednotlivé elementy (globální) a na jednotlivé uzlové body elementu (lokální). [12] .....	30
Obrázek 34: Plošný model.....	30
Obrázek 35: Vygenerovaná plošná síť.....	30
Obrázek 36: 3D model převeden do střednicového modelu.....	31
Obrázek 37: Model 3D. ....	31
Obrázek 38: Objemová 3D síť.....	31
Obrázek 39: Model 3D se zaoblením. ....	32
Obrázek 40: Vygenerovaná síť 3D modelu s velikostí elementů 10 mm. ....	32
Obrázek 41: Vygenerovaná síť 3D modelu s velikostí elementů 2,5 mm. ....	32
Obrázek 42: Disk automobilu, automaticky generovaná síť. [17].....	33
Obrázek 43: Disk automobilu, manuálně upravená síť po automatickém generování. [17] .....	34
Obrázek 44: Příklad zadání zatížení stranového klíče a zobrazení výsledného namáhání bez výpočetní sítě. [16] .....	35
Obrázek 45: Metoda postupné síťování stranového klíče, od počáteční hrubé sítě, po finální jemnou síť. [16].....	35
Obrázek 46: Provizorní sklad nárazníků z lakovny v závodě Nymburk (strana výjezdu ze skladu). [18].....	37
Obrázek 47: Zkušební provoz AGV na stanovištích montáže v závodě Magna Nymburk. [18].....	38
Obrázek 48: AGV od firmy BITO se systém přepravy přepravek LEO Locative. [19].	38
Obrázek 49: Upravené AGV od firmy BITO pro závod Magna Liberec. ....	39
Obrázek 50: Dokovací nabíjecí stanice AGV v závodě Nymburk. [18] .....	39
Obrázek 51: Koncept rozložení zástavbových dílů AGV.....	43
Obrázek 52: Koncept rozložení zástavbových dílů AGV, pohled ze shora.....	44
Obrázek 53: Optická snímáčí kamera PGV100 od firmy Pepperl+Fuchs. [21] .....	44
Obrázek 54: Přední pohybový snímač LIDAR OMD8000 od firmy Pepperl+Fusch. [21] .....	44

Obrázek 55: Přední plně otočná kolečka o firmy Blickle. [22] .....	45
Obrázek 56: Elektromotor BG40x50 s převodovkou PLG52 od firmy Dunkermotoren. [23].....	45
Obrázek 57: Reproduktor AE20M-48 od firmy Moflash signalling. [24].....	45
Obrázek 58: Návrh profilu krytu a šasi pomocí skic (červená a modrá). Boční pohled.	46
Obrázek 59: První návrh šasi AGV bez baterie. ....	48
Obrázek 60: První návrh šasi AGV bez baterie. Pohled shora. ....	48
Obrázek 61: První návrh šasi AGV. Spodní pohled. ....	48
Obrázek 62: První návrh šasi AGV s baterií.....	48
Obrázek 63: Detail profilování šasi vozíku s osou formování.....	49
Obrázek 64: Vyztužení dna šasi profilováním s umístěním baterie. ....	49
Obrázek 65: Navržené domečky pro lokální zesílení stěny.....	49
Obrázek 66: Řez uložením předních kol s domečky na šasi.....	49
Obrázek 67: Umístění bezpečnostního pohybového senzoru LIDAR v přední části šasi. .....	49
Obrázek 68: Plechová nástrčná matice do plastu.....	49
Obrázek 69: Umístění optické kamery na nástavbě šasi.....	49
Obrázek 70: První návrh krytu AGV. ....	50
Obrázek 71: První návrh krytu AGV. Boční pohled. ....	50
Obrázek 72: Kryt AGV, pohled do vnitřního prostoru. ....	50
Obrázek 73: Velikost úhlu formování stěny krytu vozíku.....	50
Obrázek 74: Průřez šasi a krytu, oblast baterie.....	50
Obrázek 75: Sestava AGV pro pevnostní výpočet se zatížením (žluté šipky) a podporami (červené šipky).....	51
Obrázek 76: Zvolená oblast šasi pro porovnání generovaných sítí. ....	52
Obrázek 77: Vygenerované sítě, dle zvolených velikostí lineárních elementů. ....	53
Obrázek 78: Vygenerované sítě, dle zvolených velikostí kvadratických elementů. ....	53
Obrázek 79: Průběh napětí v šasi AGV, pro výpočet použit 5 mm kvadratický element. .....	55
Obrázek 80: Průběh největších napětí s použitím kvadratických elementů zvolených velikostí.....	56
Obrázek 81: Průběh deformace v šasi AGV. ....	57
Obrázek 82: Průběh napětí v krytu s 10 mm kvadratickými elementy.....	58
Obrázek 83: Průběh napětí v krytu s 5 mm kvadratickými elementy.....	58

Obrázek 84: Průběh deformace krytu s 10 mm kvadratickými elementy.....	58
Obrázek 85: Návrh šasi druhé fáze konstrukce. ....	59
Obrázek 86: Držáky nosného hliníkového rámu nárazníku.....	60
Obrázek 87: Názorný příklad vložení hliníkových trubek do držáků stojanů pro nárazníky. .....	60
Obrázek 88: Průřez držákem hliníkového rámu. ....	60
Obrázek 89: Drážky pro plechové matice, oblast uchycení předního bezpečnostního senzoru. ....	60
Obrázek 90: Detailní zobrazení plechové matice ST4.2 umístěné v drážce.....	60
Obrázek 91: Stranové uchycení optické kamery na šasi.....	61
Obrázek 92: Stranové uchycení optické kamery. ....	61
Obrázek 93: Vymezovací domky pro uložení baterie. ....	61
Obrázek 94: Přepracovaná oblast uložení motorů. ....	61
Obrázek 95: Oblast pod uložení motorů, vyztužená žebry a profilováním dna. ....	61
Obrázek 96: Oblast upraveného profilování dna šasi. ....	62
Obrázek 97: Upravené profilování dna šasi, spodní pohled. ....	62
Obrázek 98: Vyztužení šasi pomocí profilování dna, přední část. ....	63
Obrázek 99: Vyztužení šasi pomocí profilování dna, spodní pohled. ....	63
Obrázek 100: Profilování dna pro uchycení desky dokovacího systému dobíjení. ....	63
Obrázek 101: Deska s kontakty dokovacího dobíjecího systému.....	63
Obrázek 102: Zatížení dna držáku hliníkového nosného rámu. ....	64
Obrázek 103: Průběh napětí v šasi druhé fáze návrhu konstrukce, s detailem na nejvíce namáhanou oblast. ....	64
Obrázek 104: Místa s nejvyšším a zvýšeným průběhem napětí. ....	65
Obrázek 105: Průběh deformace v šasi.....	65
Obrázek 106: Průběh napětí při ohybu držáků nosného hliníkového rámu.....	66
Obrázek 107: Průběh deformace při ohybu držáků nosného hliníkového rámu.....	66
Obrázek 108: Návrh šasi třetí fáze konstrukce. ....	67
Obrázek 109: Upravené profilování dna šasi.....	68
Obrázek 110: Řez napříč profilováním dna šasi. ....	68
Obrázek 111: Zadní oblast profilování dna šasi. ....	68
Obrázek 112: Spodní část dna vyztužené žebry. ....	68
Obrázek 113: Opěrná žebra pro uložení baterie ....	68
Obrázek 114: Přidání druhého vyztužného profilování dna v oblasti uložení baterie....	68

Obrázek 115: Řez zadním obvodovým profilováním dna šasi. ....	69
Obrázek 116: Upravené držáky hliníkového nosného rámu. ....	69
Obrázek 117: Přední pozice třetího vytvořeného držáku rámu. ....	69
Obrázek 118: Vnitřní pohled do držáku s žebry pro uložení trubky rámu. ....	70
Obrázek 119: Přední výztuha držáků rámu a krytu AGV. ....	70
Obrázek 120: Řez držákem rámu a přední výztuhou. ....	70
Obrázek 121: Vytvořené profilování pro hliníkovou trubku v přední výztuze. ....	70
Obrázek 122: Upravená oblast uchycení předních kol, s plechovými maticemi. ....	70
Obrázek 123: Oblast uchycení předních kol, pohled zespod. ....	70
Obrázek 124: Oblast uložení motorů v šasi. ....	71
Obrázek 125: Ventilační otvory pro motor a převodovou skříň s plechovými maticemi. .....	71
Obrázek 126: Plastová příruba pro uchycení motoru s převodovkou k šasi. ....	71
Obrázek 127: Plastová příruba pro uchycení motoru s převodovkou k šasi. Vnitřní pohled. .....	71
Obrázek 128: Místo pro montáž desky dobíjecího systému s otvory pro konektory a kabely. ....	71
Obrázek 129: Přední část šasi s umístěním optické kamery, čtečky RFID kódů a řídicí jednotky čtečky. ....	72
Obrázek 130: Umístění řídicí jednotky AGV nad optickou kamerou. ....	72
Obrázek 131: Přední nárazník šasi. ....	72
Obrázek 132: Plechová matice na obvodu šasi, pro uchycení krytu. ....	72
Obrázek 133: Šasi AGV se zástavbovými díly. ....	73
Obrázek 134: Kryt třetí fáze návrhu AGV. ....	73
Obrázek 135: Kontakt lemu krytu s profilováním dna šasi. ....	74
Obrázek 136: Řez držákem hliníkového nosného rám a krytu. ....	74
Obrázek 137: Řez výztuhou a krytem, v místě podepření. ....	74
Obrázek 138: Konektor pro řídicí jednotku s otvorem v krytu. ....	74
Obrázek 139: Pozice led světél a ovládacích tlačítek na krytu. ....	74
Obrázek 140: Zpevnění horní části krytu, pomocí žebér ve tvaru včelích pláství. ....	75
Obrázek 141: Aplikované zatížení na upravenou plochu horní strany krytu. ....	75
Obrázek 142: Celkový průběh napětí v šasi. ....	76
Obrázek 143: Průběh napětí v zadní části šasi. ....	76
Obrázek 144: Oblast s nejvyššími a vyššími průběhy napětí. ....	77

Obrázek 145: Průběh deformace v šasi.....	77
Obrázek 146: Průběh napětí v krytu. ....	78
Obrázek 147: Průběh napětí v krytu. ....	78
Obrázek 148: Průběh deformace krytu. ....	78
Obrázek 149: Průběh deformace krytu, zadní pohled.....	78

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Zvolený materiál šasi, Sabc 40YM240 (PP LGF40). [20] .....	42
Tabulka 2: Zvolený materiál krytu, Sabc 15T1020 (PP TD20). [20] .....	42
Tabulka 3: Časy pevnostních výpočtů s lineárními elementy. ....	54
Tabulka 4: Časy pevnostních výpočtů s kvadratickými elementy.....	54
Tabulka 5: Výsledky pevnostního výpočtu průběhu napětí s jednotlivými velikostmi a typy elementů.....	55