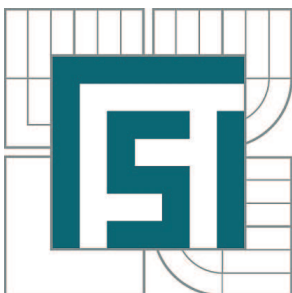


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

SOLID EDGE - NÁVRH KONSTRUKCE PODVOZKU VŠESMĚROVÉHO MOBILNÍHO ROBOTU

SOLID EDGE - DESIGN OF OMNIDIRECTIONAL MOBILE ROBOT PLATFORM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

OTA POUL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADOMIL MATOUŠEK, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ota Poul

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

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

Solid Edge - návrh konstrukce podvozku všesměrového mobilního robotu

v anglickém jazyce:

Solid Edge - Design of Omnidirectional Mobile Robot Platform

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Daná bakalářská práce se bude zabývat návrhem podvozku mobilního robotu s uvažováním konkrétních pohonných jednotek Maxon, které budou v návrhu zohledněny. Pracoviště zadavatele se dlouhodobě věnuje návrhu všesměrových mobilních robotů. Užití pohonné jednotky jsou již programově připraveny pro implementaci, rovněž optimalizační algoritmy pro výpočty pohybové trajektorie robotu. Práce má tedy velmi praktický charakter v přímém využití a kontextu aktivit pracoviště - praktická realizace daného návrhu.

Cíle bakalářské práce:

1. Rešerše všesměrových podvozků a kol mobilních robotů.
2. Návrh tříkolové varianty podvozku mobilního robotu pro definované motorické jednotky.
3. Návrh čtyřkolové varianty podvozku mobilního robotu pro definované motorické jednotky.
4. Vizualizace 3D návrhu.
5. Simulace zatížení a modální analýza.

Seznam odborné literatury:

[1] Novák, P.: Mobilní roboty, BEN technická literatura, Praha, 2005, ISBN 80-7300-141-1

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 6.5.2011

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem tříkolového a čtyřkolového podvozku pro všesměrové mobilní roboty. Návrh je realizován v CAD software Solid Edge ST4. Výsledkem této práce jsou 3D modely podvozků pro tvorbu dokumentace a následnou realizaci s využitím předem definované motorické jednotky. Pro obě varianty podvozku byla provedena simulace zatížení a vytvořena vizualizace v rámci možností použitého software.

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with design of three and four wheeled omnidirectional mobile robot platform. Design of both platforms is created in CAD software Solid Edge ST4. The result of this work are 3D models of mobile robot platforms for drawing documentation and subsequent realisation of platforms using predefined motor units. For both variants of the platform a stress simulation and visualisation were created within the possibilities of applied software.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robot, Mobilní, Podvozek, Všesměrové kolo, Solid Edge, Pevnostní analýza

KEYWORDS

Robot, Mobile, Platform, Omnidirectional wheel, Solid Edge, Stress analysis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POUL, O. *Solid Edge - návrh konstrukce podvozku všesměrového mobilního robotu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O ORIGINALITĚ

Prohlašuji, že je tato bakalářská práce mnou vypracována samostatně a všechny zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování použil nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

.....
V Brně dne

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, Ing. Radomilu Matouškovi, Ph.D. za vstřícnost, ochotu a za jeho cenné rady a připomínky pro zpracování této práce.

Obsah

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	3
ABSTRAKT	5
PROHLÁŠENÍ O ORIGINALITĚ	7
PODĚKOVÁNÍ	8
1. ÚVOD	11
2. MOBILNÍ ROBOTY	13
2.1 Stacionární roboty	13
2.2 Mobilní roboty	13
3. LOKOMOČNÍ ÚSTROJÍ ROBOTŮ	14
3.1 Kolové podvozky	14
3.1.1 Odometrie	14
3.2 Jednokolové a dvoukolové podvozky	14
3.3 Synchronní podvozek	15
3.4 Tříkolový podvozek	15
3.5 Ackermanův podvozek	16
3.6 Všesměrový podvozek	16
3.6.1 Tříkolový všesměrový podvozek	16
3.6.2 Čtyřkolový všesměrový podvozek	17
4. VŠESMĚROVÁ KOLA	18
4.1 Všesměrové kolo pro tříkolový podvozek	18
4.2 Všesměrové kolo pro čtyřkolový podvozek	19
5. MOTORICKÉ JEDNOTKY	21
5.1 Maxon MCD EPOS	21
5.2 Převodovka	21
5.3 Spojka	22
6. KONSTRUKČNÍ SOFTWARE	23
6.1 Solid Edge ST4	23
6.2 Hardware	24
6.3 Struktura 3D modelu	24

7. NÁVRH TŘÍKOLOVÉ VARIANTY PODVOZKU	26
7.1 Nosný rám podvozku	26
7.2 Uložení pohonu	27
7.3 Uložení všesměrového kola	27
8. NÁVRH ČTYŘKOLOVÉ VARIANTY PODVOZKU	28
8.1 Nosný rám podvozku	28
8.2 Vnitřní klec podvozku	28
8.3 Vnější kryt podvozku	29
8.4 Uložení pohonu	30
8.5 Uložení všesměrového kola	31
9. VIZUALIZACE PODVOZKU	32
9.1 Statický snímek	32
9.2 Animace	33
10. SIMULACE ZATÍŽENÍ	34
10.1 Solid Edge Simulation	34
10.2 Pevnostní analýza podvozku	36
10.3 Modální analýza podvozku	37
11. ZÁVĚR	39
SEZNAM OBRÁZKŮ	41
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	43
PŘÍLOHY	45

1 ÚVOD

Konstruování pomocí počítačů je dnes naprosto samozřejmé. Nástup výkonné výpočetní techniky výrazně ovlivnil rychlost návrhu výrobků.

Také mobilní robotika je v dnešní době velmi rozsáhlým oborem robotické techniky, která zahrnuje mimo jiné další vědy, jako např. informatika, elektrotechnika, mechanika, fyzika, matematika a další.

Hlavním úkolem této bakalářská práce bude navrhnout dva podvozky pro všesměrové mobilní roboty. Prvním bude varianta podvozku se třemi všesměrovými koly, který bude trojúhelníkového průřezu. Druhý podvozek bude klasického automobilového rozložení se čtyřmi všesměrovými koly. Pro obě varianty podvozku jsou připraveny motorické jednotky, se kterými se v tomto návrhu počítá. Všesměrová kola se nebudou vyrábět, budou nakoupena. Návrhy podvozků budou dále podrobeny základním simulacím zatížení a budou vytvořeny jejich jednoduché vizualizace ve formě statického rendrovaného obrázku a ukázkové animace.

V dalších kapitolách najdeme základní přehled podvozků mobilních robotů a popis konstrukčního software Solid Edge, ve kterém budou všechny výše zmíněné úkoly realizovány.

2 MOBILNÍ ROBOTY

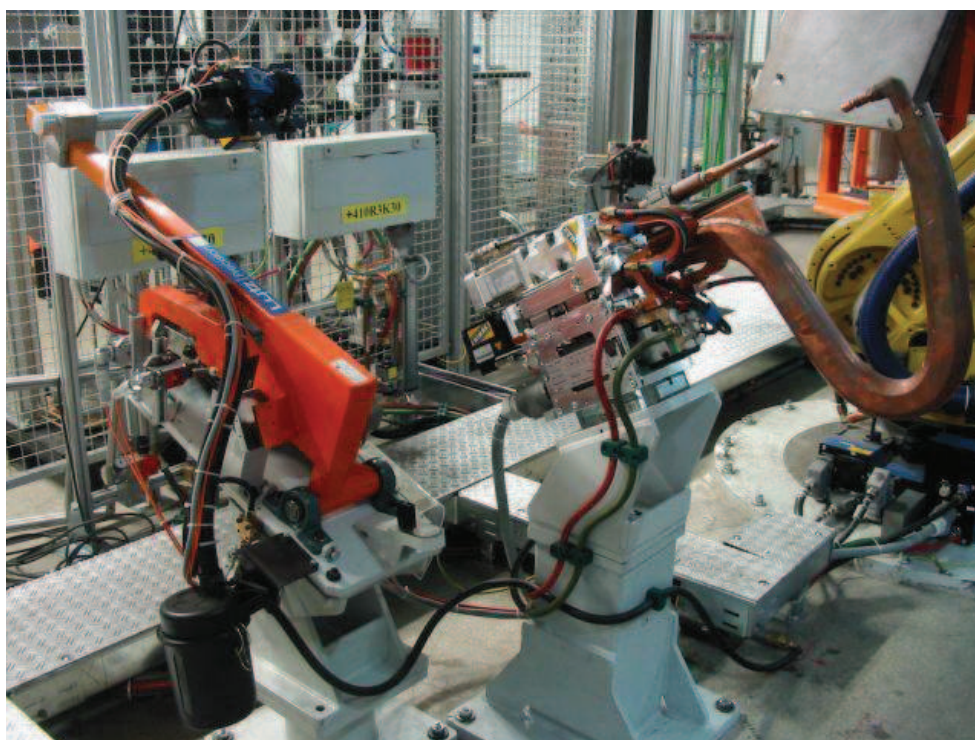
Robotem se rozumí stroj pracující s určitou mírou samostatnosti a vykonávající určené úkoly předepsaným způsobem [9].

Je schopen vnímat svoje okolí pomocí senzorů a toto okolí i ovlivňovat. Mobilní robot se dokáže samostatně pohybovat v prostoru. Z hlediska autonomie je lze rozdělit tři typy. Teleoperovaný mobilní robot pouze vykonává příkazy lidského operátora. U semiautonomních robotů jsou některé jeho činnosti částečně autonomní. Plně autonomní roboty jsou schopny pracovat bez zásahu obsluhy nebo po zadání cílů robotu [4].

2.1 Stacionární roboty

Robotů existuje několik druhů, nejzákladnějším rozdělením jsou roboty stacionární a mobilní.

Stacionární roboty se nejčastěji využívají na automatizovaných výrobních linkách ve strojírenském průmyslu jako svařovací roboty, manipulátory a další. Nemají podvozek, proto se nemohou autonomně přemísťovat.



Obr. 1 Stacionární svařovací kleště. [6]

2.2 Mobilní roboty

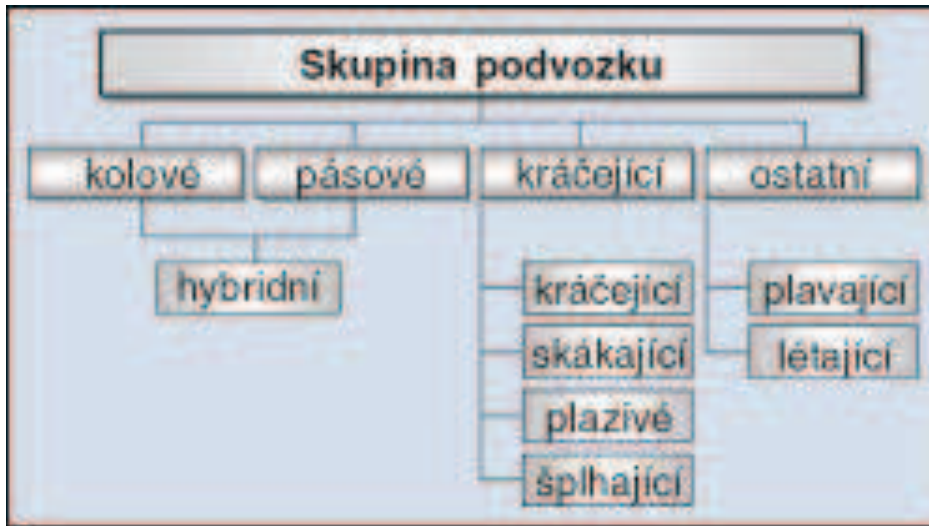
Mobilní robot se může volně pohybovat. Pohyb je realizován pomocí podvozku s pohonem tvořeným nejčastěji elektromotory.

Jejich nejčastější použití bývá v místech člověku nebezpečných (radiace, deaktivace výbušnin) nebo neznámých (zkoumání planet).

3 LOKOMOČNÍ ÚSTROJÍ ROBOTŮ

Pohyb robota je dán typem podvozku. Hlavním kritériem pro volbu typu podvozku je typ prostředí, ve kterém bude robot pracovat. Kolové podvozky se nejčastěji používají pro pohyb na pevné zemi. V případě náročnějších prostředí využívá pásových podvozků.

Pro speciální případy např. bezpilotní letectví nebo podvodní průzkum se používá létající resp. plovoucí lokomoční ústrojí [7].



Obr. 2 Rozdělení lokomočního ústrojí. [6]

3.1 Kolové podvozky

Kolový podvozek je v praxi nejpoužívanějším typem lokomočního ústrojí. Kola mohou být hnaná a hnací s jedním (otáčení kola kolem osy střednice) nebo dvěma (kola mají dvě osy volnosti) stupni volnosti. Kola se dvěma stupni volnosti se označují jako všesměrová kola. Všesměrová kola se používají pro tzv. všesměrové mobilní roboty [2] [3].

3.1.1 Odometrie

Prvotním rozhodnutím u kolových robotů je volba uspořádání podvozku, tedy uspořádání a počet hnaných, hnacích a směrových kol. Existuje několik základních typů podvozků rozdělených podle typu pohonu nebo počtu kol.

K typu podvozku se vztahuje odometrie podvozku. Odometrie je proces, který popisuje transformaci dat poskytnuté robotu jeho enkodéry na změnu pozice a orientaci robota. Enkodér detekuje pohyb kol [8].

3.2 Jednokolové a dvoukolové podvozky

Jednokolový podvozek se v praxi nepoužívá. Vyskytují se pouze jako prototypy, na kterých se zkoumají rovnovážné schopnosti robotů.

Nejjednodušším provedením dvoukolového podvozku je jedno hnací a jedno hnané kolo, jako je například u motorek. V robotice se z důvodu náročnosti udržení stability nepoužívá. Dalším typem dvoukolového podvozku je diferenciální podvozek.

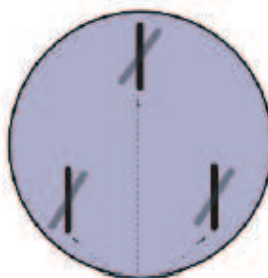
Jde pravděpodobně o nejjednodušší a nejpoužívanější typ podvozku pro mobilní roboty. Podvozek obsahuje dvě aktivní kola s jedním stupněm volnosti a stabilizační opěrné body. Další výhodou je poměrně přesná odometrie [7] [8].



Obr. 3 Schématický náčrt diferenciálního podvozku. [8]

3.3 Synchronní podvozek

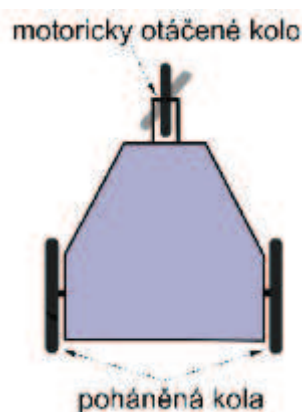
Podvozek obsahuje tři kola uspořádaná do tvaru rovnostranného trojúhelníku. Každé kolo má dva stupně volnosti. Všechna kola se otáčejí vždy stejnou rychlostí a směrem a míří na stejnou stranu. Odometrie tohoto podvozku je velice jednoduchá, protože natočení všech kol je stejné [7] [8].



Obr. 4 Schématický náčrt synchronního podvozku. [8]

3.4 Tříkolový podvozek

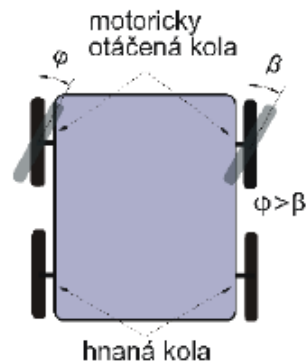
U tohoto typu podvozku jsou zpravidla hnaná zadní kola a přední kolo je natáčecí. Výhodou podvozku je jednoduché řízení, jedním motorem se ovládá směr řízení, druhým motorem rychlost jízdy [7] [8].



Obr. 5 Schématický náčrt tříkolového podvozku. [8]

3.5 Ackermanův podvozek

Tento typ podvozku je označován jako automobilový. Přední kola jsou natáčena každé jiným úhlem, zadní kola jsou hnaná. Používá se u rozměrově větších vozidel s požadovanou velkou nosností nebo činností v těžším terénu. Nevýhodou je nemožnost otáčení na místě. Podvozek může obsahovat celkem 4-6 kol [7] [8].



Obr. 6 Schématický nákres Ackermanova podvozku. [8]

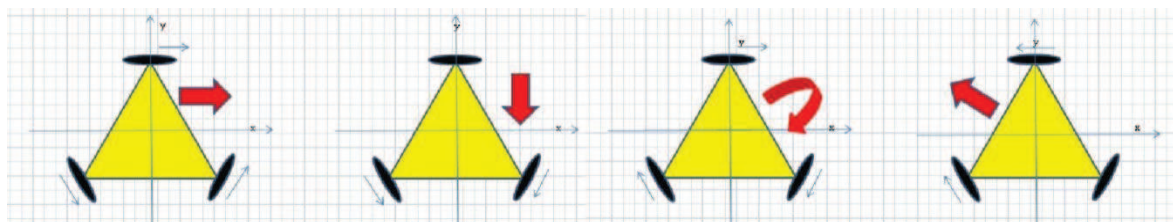
3.6 Všesměrový podvozek

Všesměrový podvozek umožňuje robotu pohyb ve všech směrech bez nutnosti natáčení robota kolem svislé osy nápravy. Podvozek je schopen pohybu ve dvou osách. Nevýhodou je malá schopnost překonávat terénní překážky. Podvozek využívá speciálních typů kol.

Všesměrové kolo určené pro všesměrový podvozek pracuje jako standardní kolo, ale poskytuje malý odpor v kolmém směru nebo pod jiným úhlem ke směru pohybu. Vhodným uspořádáním podvozku vzhledem k danému typu kol je možné dosáhnout libovolného směru pohybu podvozku a současně libovolně rotovat. U tohoto typu podvozku má každé kolo svůj vlastní pohon [2][3].

3.6.1 Tříkolový všesměrový podvozek

Podvozek je tvořen třemi všesměrovými koly, jejichž hlavní osa rotace prochází těžištěm robota. Kola jsou umístěna na společné kružnici. Základní pohyb podvozku je realizován kombinací směru otáčení a rychlosti jednotlivých kol [2][3].



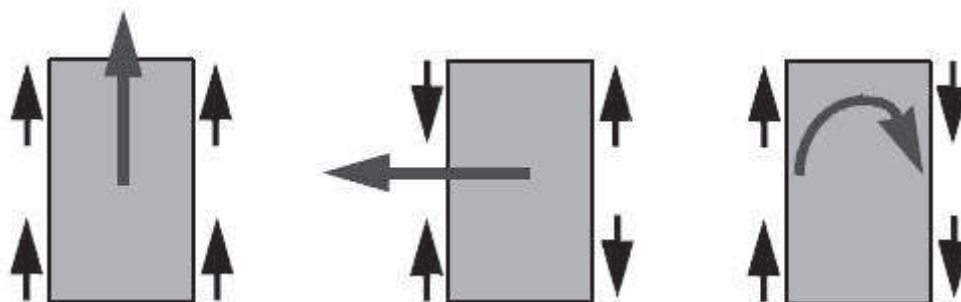
Obr. 7 Princip pohybu tříkolového všesměrového podvozku. [8]

3.6.2 Čtyřkolový všesměrový podvozek

Pro čtyřkolový všesměrový podvozek klasického automobilového uspořádání se využívají všesměrová kola typu Mecanum.

Podvozek tvoří čtyři kola, kdy levé přední a pravé zadní mají kladný úhel osy rotace segmentů vůči hlavní ose kola. Pravé přední a levé zadní kolo mají úhel osy rotace segmentů záporný.

Základní pohyb podvozku je opět realizován kombinací směru otáčení a rychlosti jednotlivých kol. [5].



Obr. 8 Princip pohybu čtyřkolového všesměrového podvozku. [5]

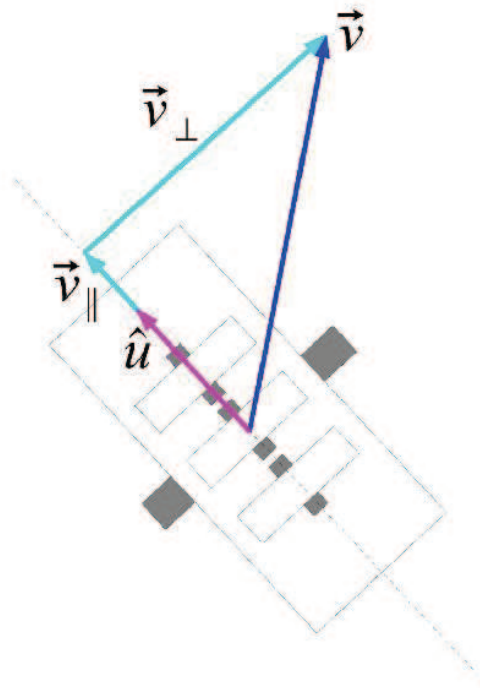
4. VŠESMĚROVÁ KOLA

Všesměrová kola jsou speciálním typem kol, určené pro všesměrové podvozky. Jsou tvořena nábojem, po jehož obvodu jsou umístěny valivé segmenty. Valivé segmenty se mohou volně otáčet kolem své osy. Toto uspořádání zajišťuje dva stupně volnosti pohybu kola. [2][3].

4.1 Všesměrové kolo pro tříkolový podvozek

U tohoto typu kola jsou válečkové segmenty umístěny po obvodu náboje tak, že osa rotace valivých segmentů je v rovině kolmé na osu rotace náboje. Tento typ se někdy označuje jako holonomní nebo omniwheel všesměrové kolo.

Kolo má z konstrukčního hlediska dva stupně volnosti. Pokud by se zablokovala rotace válečkových segmentů, kolo by se chovalo jako standardní kolo. V případě že se zablokuje pohyb v hlavní ose kola, kolo se může dále pohybovat ve směru kolmém na osu válečkových segmentů [2][3].



Obr. 9 Rozložení vektoru rychlosti na holonomním všesměrovém kole.

Kromě varianty kola s jedním nábojem existují i víceřadé varianty. Víceřadé všesměrové kolo je tvořeno 2 nebo 3 náboji a odpovídajícím počtem obvodových válečků. Tato kola se využívají pro zvýšení nosnosti robotu.

Jednořadá holonomní všesměrová kola jsou použita pro návrh tříkolové varianty podvozku mobilního robotu, kterým se zabývá tato bakalářská práce.



Obr. 10 Varianty holonomního všesměrového kola [10]

4.2 Všesměrové kolo pro čtyřkolový podvozek

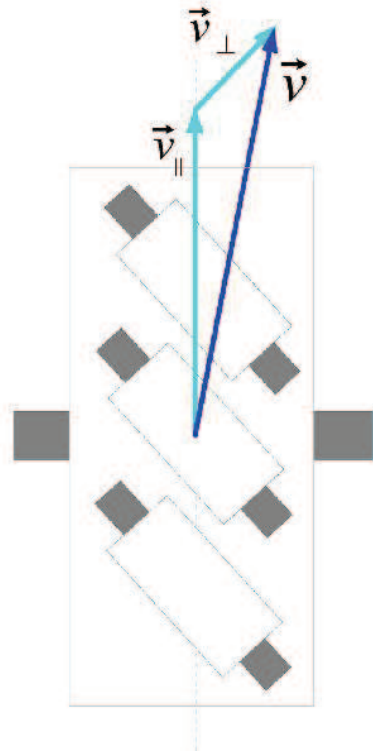
Kolo je tvořeno opět nábojem a válečkovými segmenty umístěnými po obvodu kola. Osa rotace obvodových segmentů leží v rovině svírající s osou rotace náboje úhel 45° . Tento typ všesměrového kola se označuje Mecanum.



Obr. 11 Varianty všesměrového kola typu Mecanum. [11]

Podobně jako holonomní kolo má i tento typ všesměrového kola dva stupně volnosti. Pokud by se zablokovala rotace válečkových segmentů, kolo by se opět chovalo jako standardní kolo. V případě že se zablokuje pohyb v hlavní ose kola, kolo se může dále pohybovat, ale pohybuje se ve směru pod úhlem 45° (opět ve směru kolmém na osu válečkových segmentů) [5].

Kolo typu Mecanum je použito pro návrh čtyřkolové varianty podvozku mobilního robotu, kterým se zabývá tato bakalářská práce.



Obr. 12 Rozložení vektoru rychlosti na všesměrovém kole typu Mecanum.

5. MOTORICKÉ JEDNOTKY

5.1 Maxon MCD EPOS

Motorická jednotka Maxon MCD EPOS byla zvolena jako pohonná jednotka pro obě varianty podvozku mobilního robotu.

Jedná se o inteligentní kompaktní pohon (Maxon Compact Drive - MCD), který ve svém pouzdře obsahuje vlastní elektricky komutovaný motor, magnetický inkrementální snímač a řídicí jednotku pro řízení otáček, polohy, kroutícího momentu a sběrnici pro komunikaci. Pouzdro je navrženo s ohledem na požadavek dostatečné chladičské plochy a musí omezit přenos tepla z motoru na elektroniku.

Pro elektrické připojení jsou připraveny dva konektory na zadním čele pohonu. Napájení a komunikaci zajišťuje konektor sběrnice CAN nebo RS-232, pro sledování řízeného technologického zařízení je použit patnáctikolíkový vstupně/výstupní konektor.

Řídicí jednotka EPOS ovládá pohon podle programovatelného automatu (PLC) nebo počítače. Chrání motor před krátkodobým a trvalým přetížením, vytváří optimální průběh otáček [12].



Obr. 13 Maxon MCD EPOS. [12]

5.2 Převodovka

K použitému pohonu Maxon MCD EPOS lze připojit planetovou převodovku o průměru 32 nebo 42mm. Pro podvozky byla zvolena dvoustupňová planetová převodovka typu Maxon GP 42 C s maximálním momentem 15Nm [12] [13].



Obr. 14 Převodovka Maxon GP 42 C. [13]

5.3 Spojka

Přenos kroutícího momentu z pohonu na kola podvozku bude zajišťovat bezvůlová hřídelová spojka. Zvolený typ spojky StS Coupling WK3/100 má jako pružný člen ocelový vlnovec. Umožňuje nesouosé spojení hřídelů o cca 1mm. Spojka přenáší kroutící moment do 10Nm [14].



Obr. 15 Hřídelová spojka StS Coupling WK3/100. [14]

6. KONSTRUKČNÍ SOFTWARE

Pro počítačem podporované projektování (CAD) existuje na trhu několik softwarových produktů. V dnešní době ale už nelze většinu tohoto software označovat pouze jako CAD, protože některé z nich mají v sobě integrovány moduly pro pevnostní analýzy, vizualizaci, správu dat, obrábění a další. Takový software spadá pod společné označení CAx. Základní rozdělení konstrukčních software by se dalo provést podle jejich použití v malých nebo středních firmách a ve velkých nadnárodních firmách nebo koncernech (automobilový, letecký průmysl).

Malé a střední firmy často využívají tyto CAD software:

- Solid Edge
- SolidWorks
- Autodesk Inventor

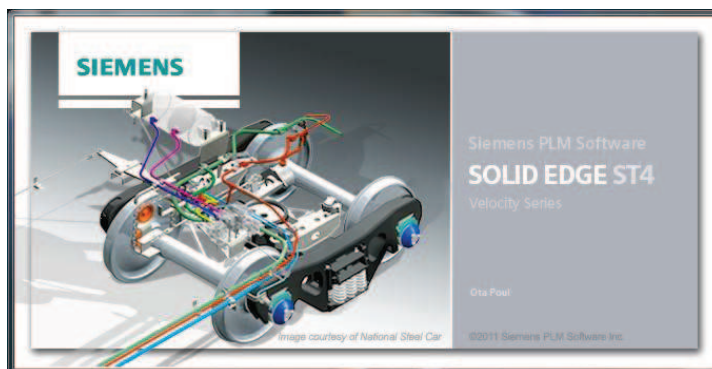
Software pro velké firmy označovaný jako CAx:

- NX
- CATIA
- Creo (dříve Pro/ENGINEER)

Pro návrh podvozků mobilních robotů byl zvolen CAD software Solid Edge ST4. Autor bakalářské práce pracuje s tímto software dlouhodobě v současném zaměstnání na pozici technické podpory prodeje a stávajících uživatelů a také jako lektor.

6.1 Solid Edge ST4

Solid Edge ST4 je 3D CAD software primárně určený pro návrh strojírenských konstrukcí. Je to plně parametrický software založený na tvorbě 3D dokumentace, od kterých se dále odvozuje asociativní 2D dokumentace, pevnostní analýza a jiné. Vytvořenou dokumentaci lze prezentovat v prostředí Internetu nebo Intranetu. Toho se využívá při správě životního cyklu výrobku (PLM). Vytvořené 3D modely je možné využít pro předvýrobní přípravu v obchodní a marketingové činnosti, ale i posílit a modernizovat povýrobní etapy jako jsou montážní postupy, servisní manuály, katalogy náhradních dílů a další. Pro software jsou k dispozici doplňkové nadstavby, např. knihovna normalizovaných součástí podle aktuálních světových norem nebo strojírenské výpočty.



Obr. 16 Jedno z úvodních oken Solid Edge.

6.2 Hardware

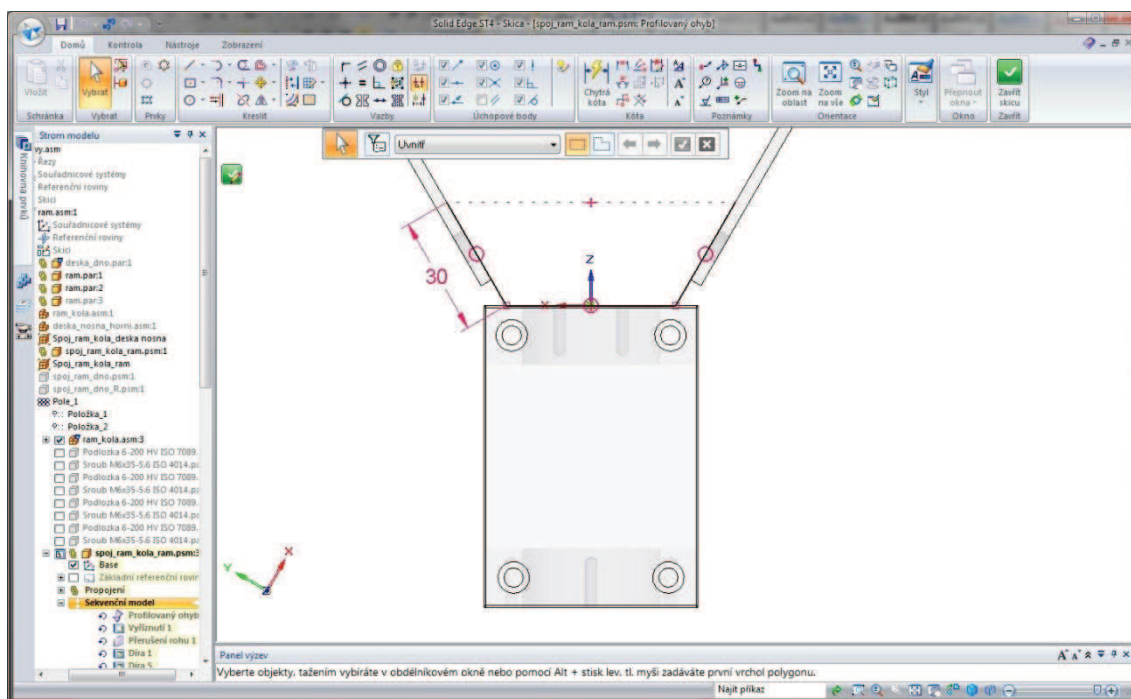
Specifikace použitého hardware, na kterém byly vytvořeny návrhy podvozku, vizualizace a pevnostní analýzy:

- CPU: Intel Core i7-2670QM CPU, 2.20GHz
- RAM: 12GB
- Grafická karta nVidia Quadro 1000M, 2GB RAM
- OS: Windows 7 SP1, 64bit

6.3 Struktura 3D modelu

Model návrhu podvozku je kompletně vytvořen v software Solid Edge ST4. Struktura modelu je tvořena vrcholovou sestavou, dílčími sestavami (podsestavy), které odpovídají daným celkům, z nichž se podvozek skládá. Podsestavy v sobě mohou mít obsažené další podsestavy nebo přímo jednotlivé samostatné 3D modely dílů.

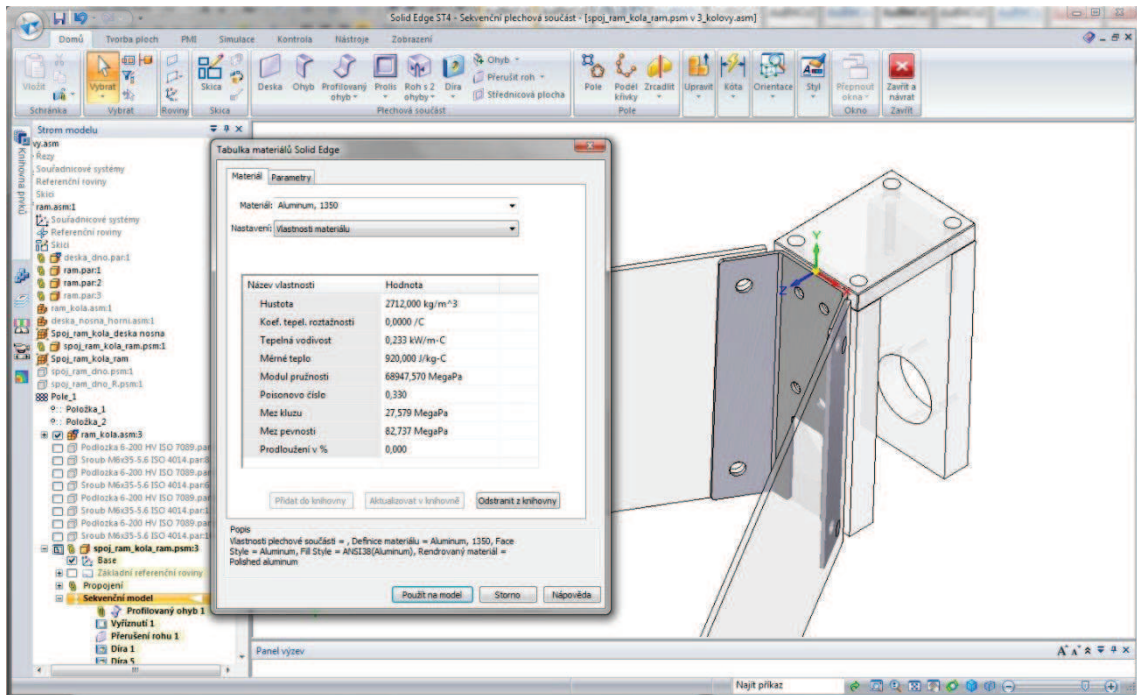
3D model dílu je složen z prvků modelu. Prvek ve většině případů vychází ze 2D návrhu, kterým se někdy říká skica nebo profil. 2D návrh slouží pro určení základní polohy a rozměrů modelu a pro umístění modelu vůči souřadnému systému. Polohové umístění je dobré definovat vhodně, protože jej lze snadno použít pro umístění modelu do sestavy.



Obr. 17 Prostředí 2D skici v Solid Edge ST4.

Skupina modelů potom tvoří vlastní sestavu, kde je standardně jeden vhodně zvolený model (někdy se označuje jako komponent nebo výskyt) uložen pevně vůči souřadnému systému sestavy. Ostatní výskyt modelů jsou k tomuto modelu nebo k souřadnému systému sestavy umístěny pomocí tzv. geometrických vazeb, které podle typu vazby odebírají stupně volnosti. Sestava může obsahovat i skici, které mohou sloužit pro základní rozložení modelů nebo pro opakované kopírování komponent.

Každý model by měl mít vhodně zvoleny a definovány vlastnosti (atributy) a fyzikální vlastnosti. Fyzikální vlastnosti mohou být definovány na základě použitých materiálů z knihovny materiálů, kterou Solid Edge standardně obsahuje. Ty se poté využijí pro základní pevnostní analýzy modelu.



Obr. 18 Fyzikální vlastnosti 3D modelu.

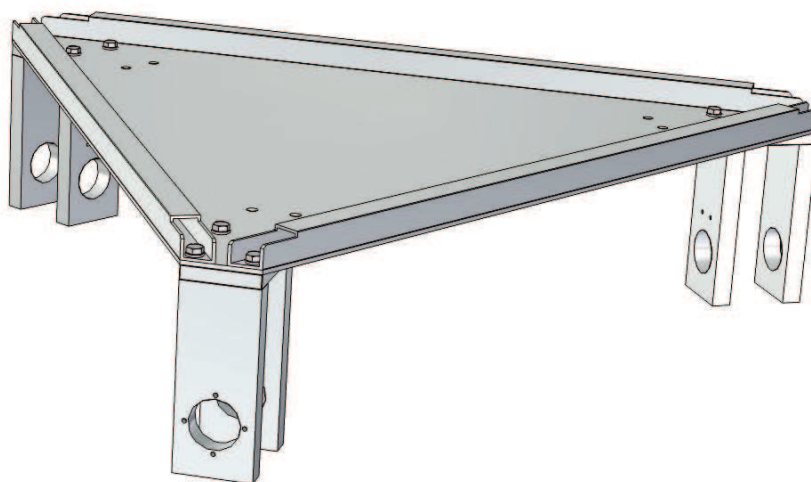
7 NÁVRH TŘÍKOLOVÉ VARIANTY PODVOZKU

7.1 Nosný rám podvozku

Pro tříkolovou variantu podvozku byl zvolen rám, jehož nosná konstrukce je umístěna nad vlastními koly.

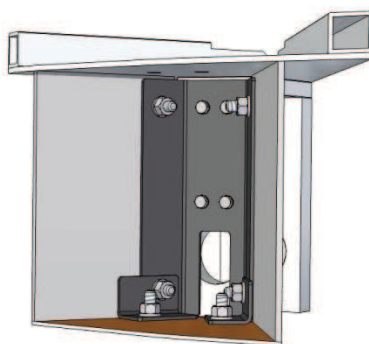
Základem nosné části rámu je plech ve tvaru trojúhelníkové desky ze slitiny hliníku AlCuMg tloušťky 2mm. Deska je po obvodu vyztužena hliníkovým čtyřhranným profilem (jekl) o rozměrech 20mm x 20mm o tloušťce stěny 2mm. Profily jsou k desce přišroubovány standardními šrouby M6.

Objímka všesměrového kola je tvořena dvěma segmenty o rozměrech 54mm x 15mm o délce 130mm ze slitiny hliníku AlMgSi. V těchto segmentech jsou vyvrtány otvory pro umístění radiálních ložisek pro hřídel kola. Segmenty jsou na horní straně šroubově spojeny se třetím segmentem objímky s rozměry 54mm x 10mm o délce 76mm. Tři tyto objímky jsou přišroubovány k nosné desce v jejich rozích šrouby M6.



Obr. 19 Základní konstrukce nosného rámu tříkolové varianty.

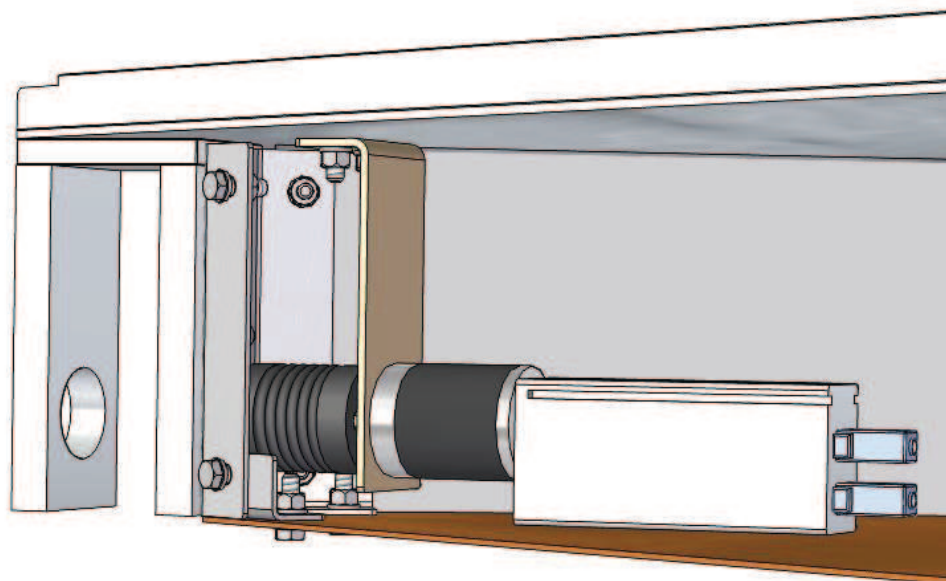
K vnitřnímu segmentu objímky kola jsou přišroubovány spojky z ohýbaného hliníkového plechu tloušťky 2mm. Jejich úkolem je pevně spojit dno podvozku, na které lze později umístit napájecí baterie pro pohony nebo jiné vybavení robotu s rámem. Dále tato spojka spojuje boční kryty vnitřního prostoru s rámem. Dno podvozku i boční kryty jsou vytvořeny z plechu ze slitiny hliníku o tloušťce 2mm.



Obr. 20 Spojení nosného rámu s dnem a bočními kryty.

7.2 Uložení pohonu

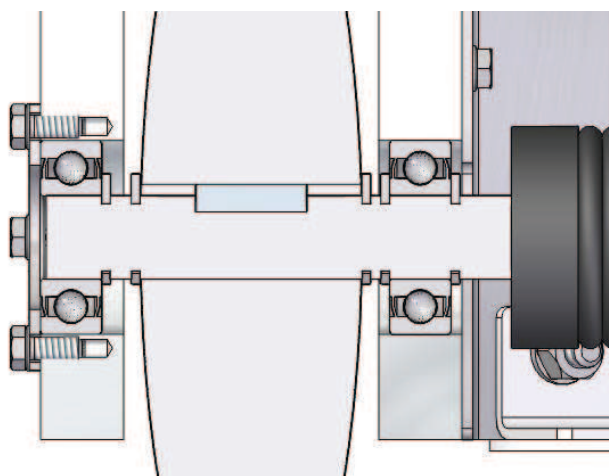
Pohonná jednotka je tvořena pohonem Maxon MCD EPOS, planetovou převodovkou a pružnou spojkou. Planetová převodovka je pevně připojena k pohonu Maxon. Převodovka je k nosnému rámu připojena pomocí objímky, která je k převodovce přišroubována pomocí čtyř šroubů M4. Vlastní objímka je vytvořena ze 3mm ohýbaného plechu z tvrzené slitiny hliníku a je přišroubována k nosné desce rámu šrouby M6.



Obr. 21 Uložení pohonu tříkolového podvozku.

7.3 Uložení všesměrového kola

Všesměrové kolo je v objímce kola uloženo rotačně pomocí dvou radiálních ložisek. Poloha ložisek a kola na hřídeli je vymezena pojistnými kroužky. Přenos momentu z hřídele na kolo je realizován pomocí perového spojem. Vnější ložisko je pojištěno víčkem, které je přišroubováno k objímce šrouby M4.

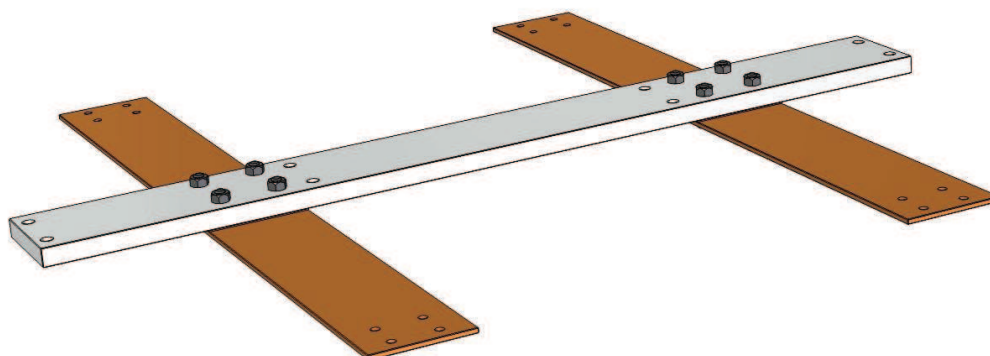


Obr. 22 Uložení holonomního všesměrového kola.

8 NÁVRH ČTYŘKOLOVÉ VARIANTY PODVOZKU

8.1 Nosný rám podvozku

Čtyřkolová varianta podvozku má rám klasického uspořádání. Je tvořen centrálním nosníkem ze slitiny hliníku s rozměry 80mm x 15mm a délkou 756mm. K nosníku jsou ze spodní část přišroubovány dva podélné segmenty ve stejné vzdálenosti od kraje nosníku. Jsou vyrobeny z pružné pásové oceli s rozměry 80mm x 4mm o délce 660mm. Šroubové spojení je provedeno šrouby velikosti M8. Na těchto segmentech jsou uloženy pohonné jednotky.

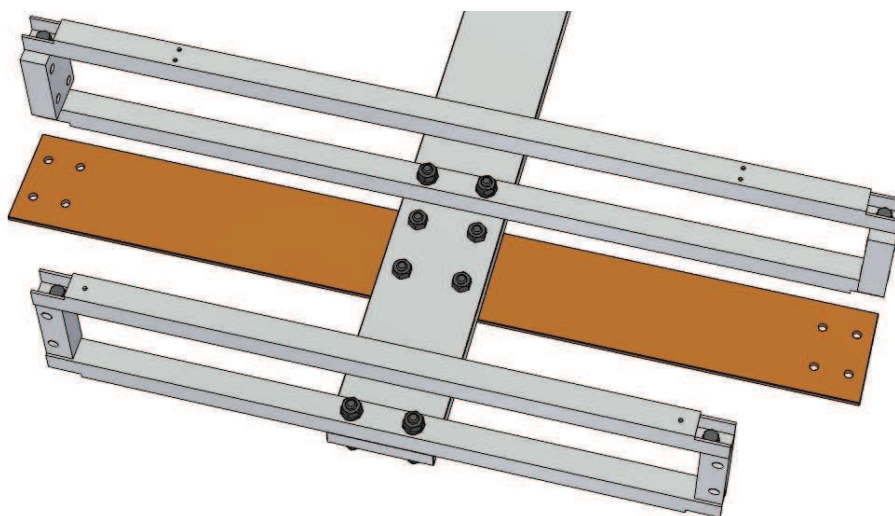


Obr. 23 Základní konstrukce nosného rámu čtyřkolové varianty.

8.2 Vnitřní klec podvozku

Vnitřní klec podvozku má za úkol vyztužit celou konstrukci a případně ji využít pro umístění dalších přístrojů, napájecích baterií atd.

Celá klec je tvořena celkem čtyřmi rámy, kdy čelní a vnitřní rámy jsou zcela totožné, to znamená, že celý podvozek je podélně i příčně symetrický. Jsou sešroubovány ze čtyřhranných hliníkových profilů stejných rozměrů jako u tříkolového podvozku. Pro čelní rám je jako sloupek použita plná tyč ze slitiny hliníku o rozměrech průřezu 20mm x 20mm, pro vnitřní rám tyč 40mm x 20mm. Rámy jsou přišroubovány k centrálnímu nosníku podvozku šrouby M8.

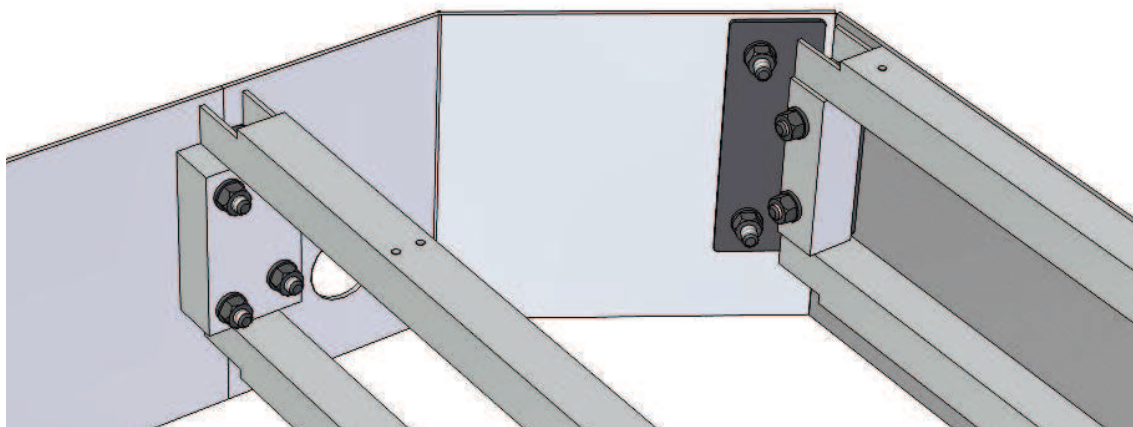


Obr. 24 Klec vnitřní části podvozku.

8.3 Vnější kryt podvozku

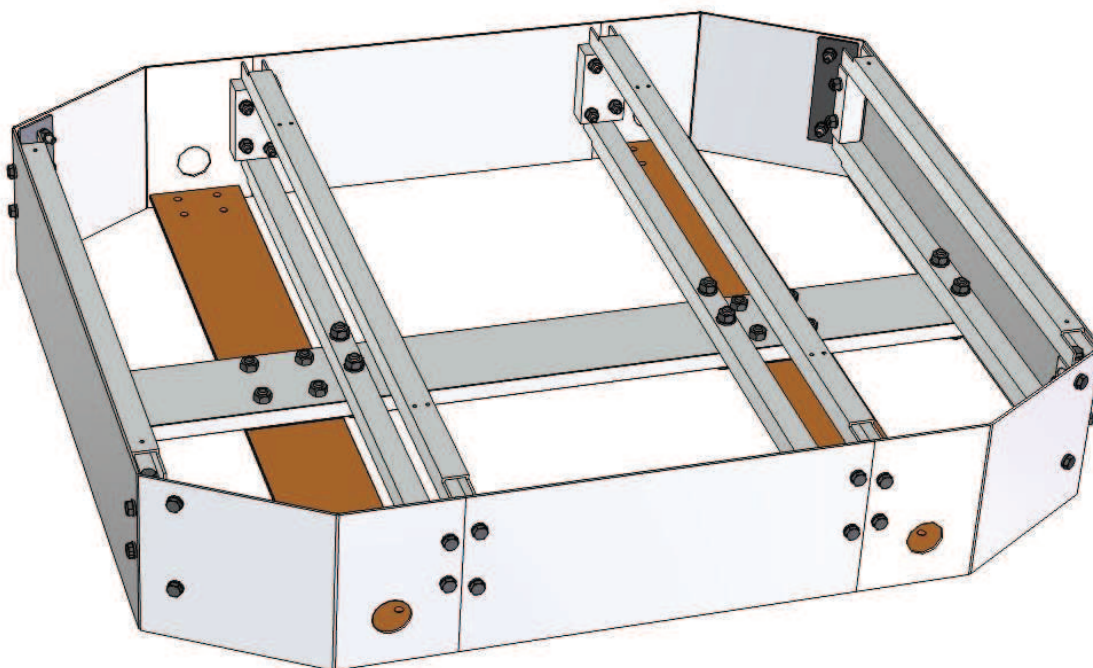
Klecový prostor je ze všech stran zakrytý plechovými kryty. Spojení je realizováno šrouby M6

Čelní kryt je tvořen dvěma plechy tloušťky 2mm, rovným a ohýbaným, který z boku zakrývá uložení kola. Ohýbaný čelní kryt má v sobě vyříznutý otvor pro hřídel kola. Ohýbané čelní kryty nejsou zcela totožné, zaměnitelné jsou kryty pro levé přední a pravé zadní kolo. Totéž platí o čelním krytu pro levé zadní a pravé přední kolo.



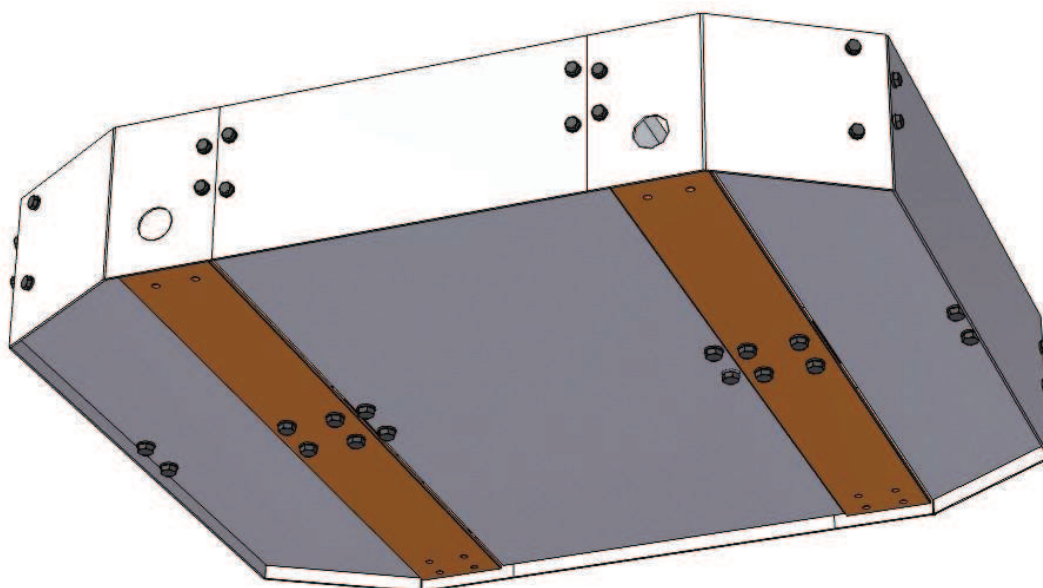
Obr. 25 Spojení vnějšího krytu s klecí.

Spojení čelních krytů ke kleci podvozku je realizováno pomocí ohýbaného plechu a šroubů M6. Na boční části je ohýbaný čelní kryt přišroubován ke sloupku vnitřního rámu klece.



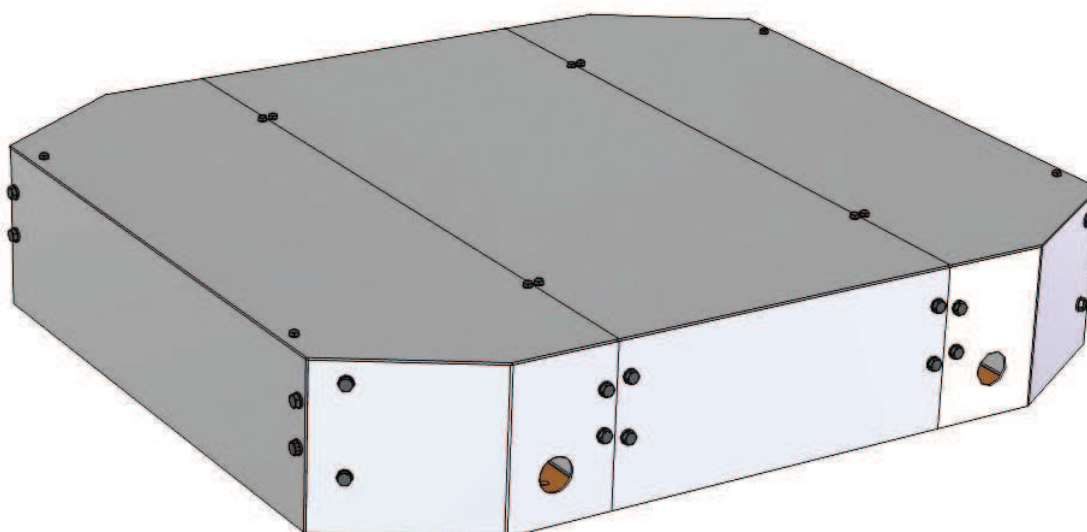
Obr. 26 Kompletní boční kryt.

Spodní strana podvozku je kryta 3 plechy, které jsou přišroubovány k centrálnímu nosníku. Čelní plechy jsou zaměnitelné.



Obr. 27 Krytí dna podvozku.

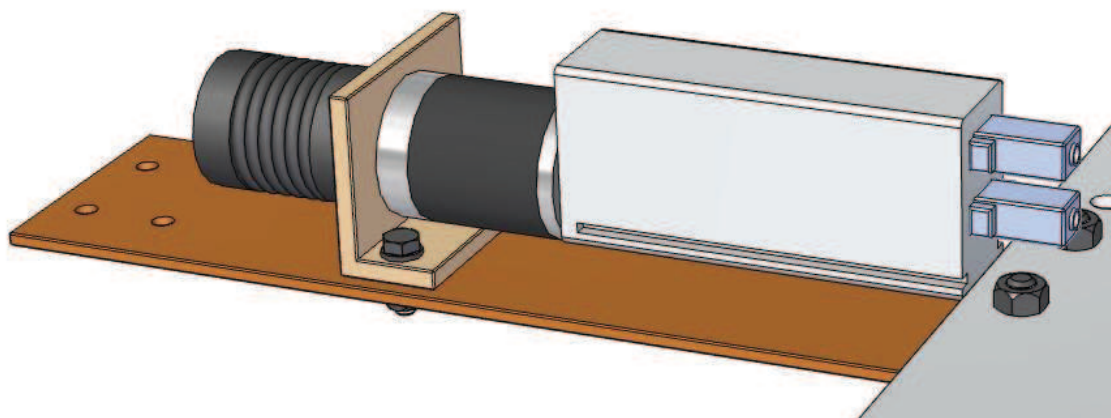
Horní strana podvozku je opět kryta 3 plechy, kdy čelní část krytu je mezi sebou zaměnitelná. Jsou přišroubovány k profilům klece pomocí šroubů M4.



Obr. 28 Krytí horní části podvozku.

8.4 Uložení pohonu

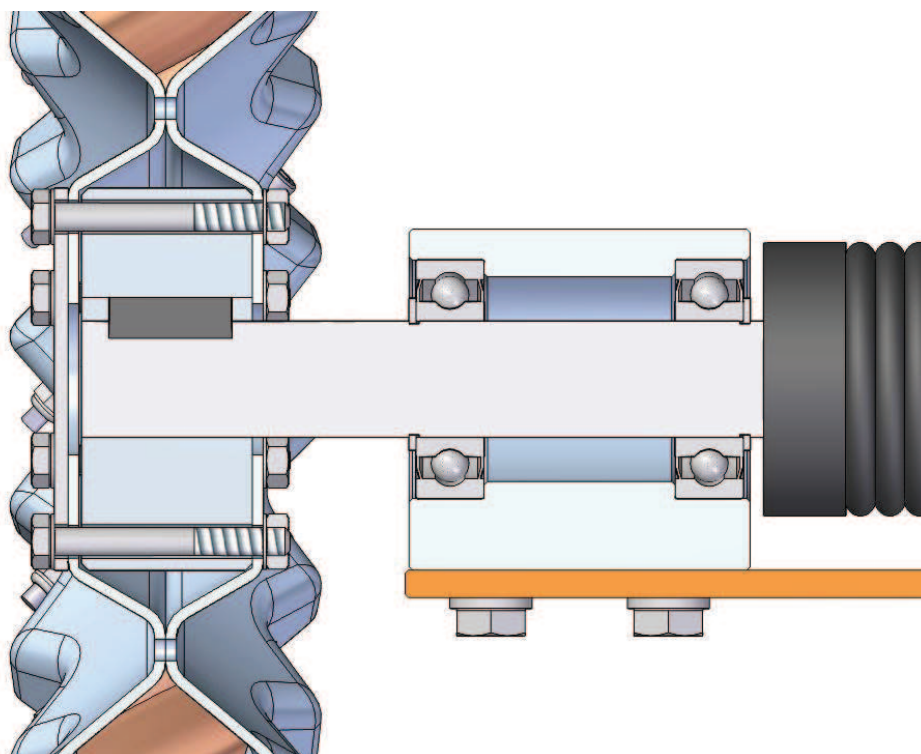
Pohonná jednotka je totožná se tříkolovou variantou podvozku. Objímka planetové převodovky je šroubově připevněna k pružným segmentům rámu šrouby M6. Je vyrobena z tyče L profilu ze slitiny hliníku o rozměrech 50mm x 30mm s délkou 70mm.



Obr. 29 Uložení pohonu čtyřkolového podvozku.

8.5 Uložení všesměrového kola

Hřídel kola je uložena v ložiskovém loži se dvěma radiálními ložisky pojištěnými pojistnými kroužky. Lože je přišroubováno k pružnému segmentu rámu podvozku. Přenos momentu z hřídele na kolo je opět realizován pomocí pera. Protože je použité kolo duté, vložka s drážkou pro pero je přišroubována k bokům kola a z vnější strany kryta víčkem.



Obr. 30 Uložení všesměrového kola Mecanum.

9 VIZUALIZACE PODVOZKŮ

Pro vizualizaci je v Solid Edge dostupný integrovaný modul Explode-Render-Animate (ERA). Tento modul je přístupný pouze z prostředí sestavy. Slouží pro tvorbu rozložených pohledů (montážní návody), statických rendrovaných snímků a animací.

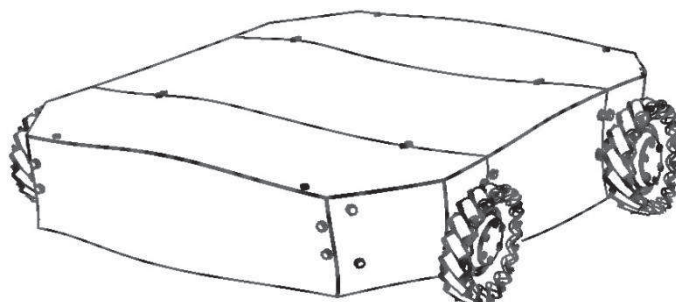
9.1 Statický snímek

Prostředí ERA obsahuje předdefinované knihovny nastavení pro různé varianty statického snímku. Lze vytvořit plně fotorealistický snímek nebo snímek, který představuje skicovaný obrázek na papíře.

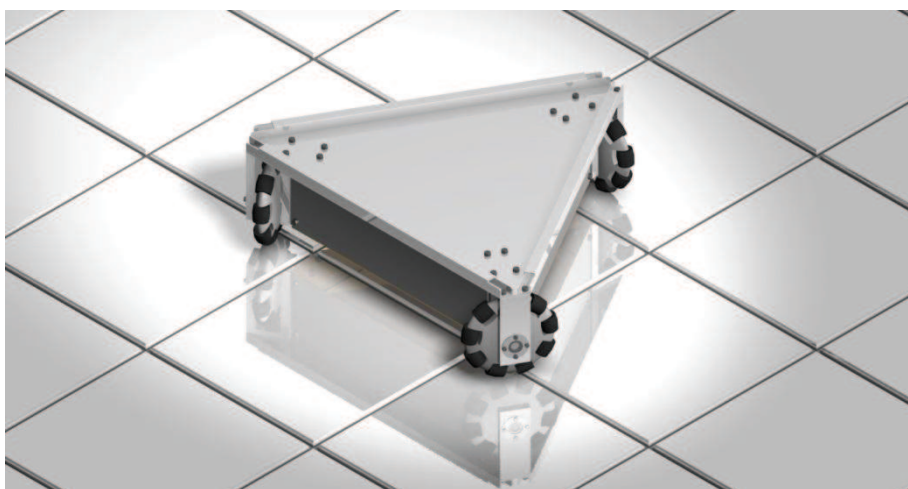
Pro fotorealistický snímek je nutné modelu přiřadit materiál z knihovny nebo vytvořit vlastní materiál, který představuje skutečný vzhled komponenty. Materiál v sobě definuje, jak bude odrážet dopadající světlo. Může odrážet okolí, vytvářet drsné povrchy a další efekty, kterých je dosaženo pomocí tzv. shaderů.

Dále je nutné vhodně zvolit typy osvětlení, jejich intenzitu a úhel dopadu světla. Modul ERA obsahuje spoustu různých typů osvětlení, které imitují různá prostředí exteriérů a interiérů.

Scénérie definují okolí rendrovaného objektu v prostoru. Mohou být jednoduché, kdy v podstatě pouze daný objekt vrhá stín, až po komplexní scénérie, kdy je objekt umístěn např. ve velké hale nebo na louce.



Obr. 31 Výsledek rendrování režimu Skica.

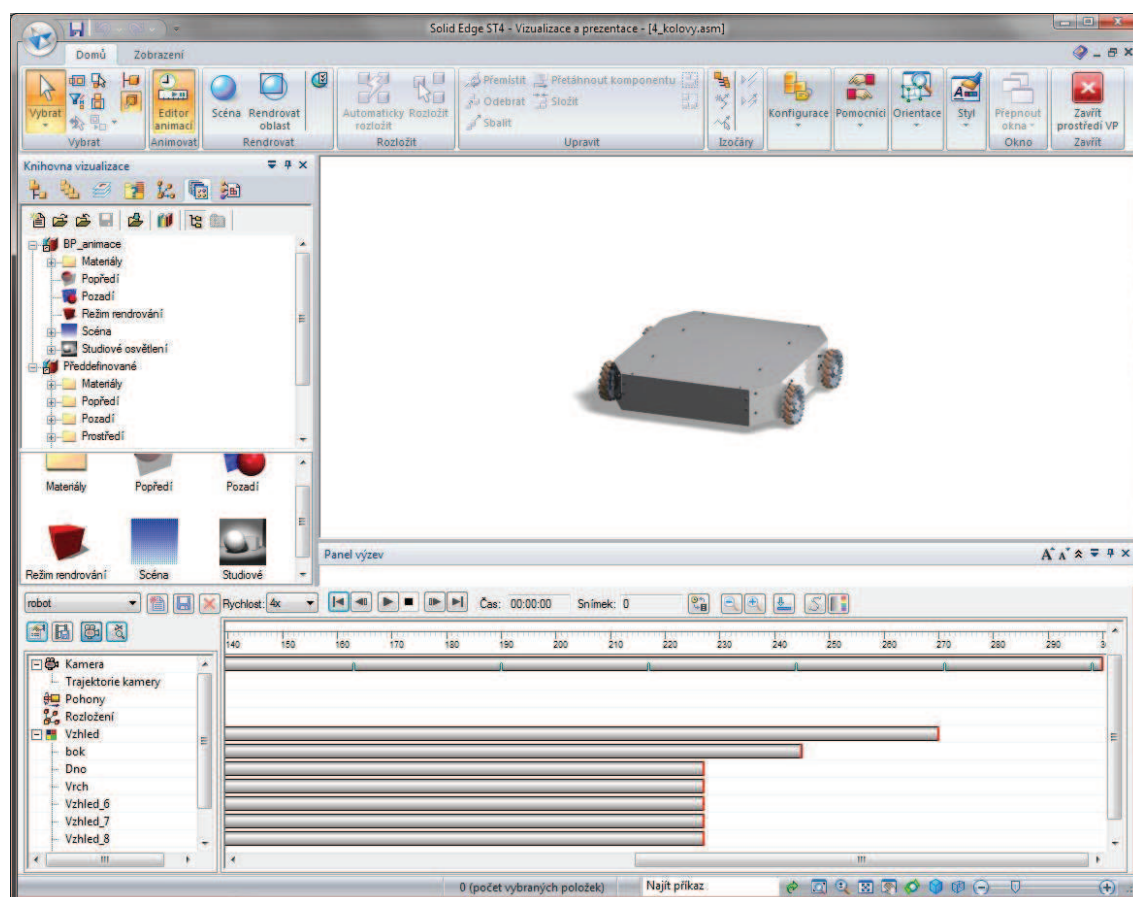


Obr. 32 Výsledek rendrování ve fotorealistickém režimu.

9.2 Animace

Vlastní animace je řízena sledem událostí. Událost je objekt, který různým způsobem řídí pohyb nebo vzhled celého modelu nebo jeho částí.

Také je nutné definovat pohyb (trajektorii) kamery. Může být statický, rotovat kolem modelu ve směru nebo proti směru hodinových ručiček, vytvořený z vlastních definovaných pohledů na model nebo může být definována pomocí křivky v prostoru.



Obr. 33 Editor animací.

Vzhled animace se podobně jako u statického obrázku řídí nastavením světel a scenérie. Tyto definice včetně materiálů pro komponenty modelu lze převzít z nastavení rendrování statického snímku. Lze definovat i zobrazení jednotlivých komponent, kdy se např. v určitém čase začnou plynule skrývat.

Dále se musí nastavit délka animace v sekundách a počet snímků za sekundu, který určuje plynulost pohybu v animaci. Čas trvání animace je v podstatě neomezený. Omezením je zde výsledná kvalita animace. Při horší kvalitě a nižším rozlišení trvá výsledný rendering animace kratší dobu, cca několik minut. Při vysoké fotorealistické kvalitě a rozlišení může rendrovací čas dosáhnout řádu hodin. Samozřejmě také záleží na výkonu počítače. Editor animací využívá vícejádrová CPU, což významně zkrátí dobu renderingu animaci.

10 SIMULACE ZATÍŽENÍ

Solid Edge umožňuje provádět pevnostní analýzy 3D modelů. V programu je plně integrován modul Solid Edge Simulation, pomocí kterého lze analyzovat vytvořené modely metodou konečných prvků (MKP, FEA).

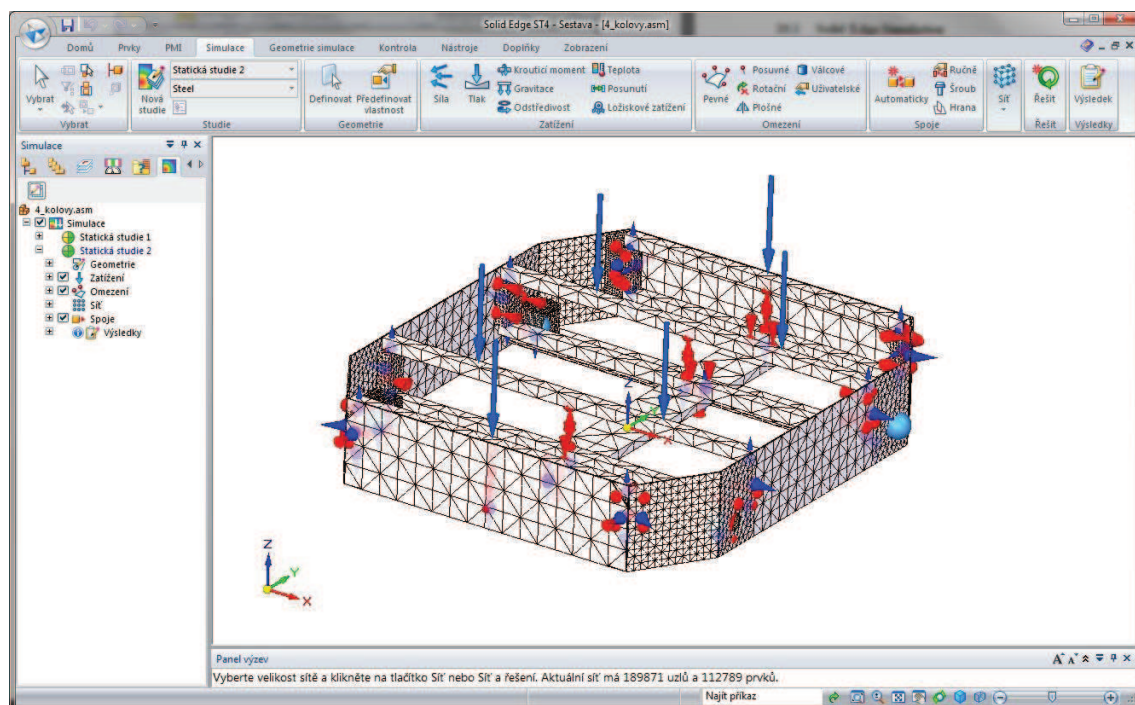
Modul Solid Edge Simulation je přímo navržen pro inženýry a vývojáře, kteří se Solid Edge standardně pracují a kteří nejsou výpočtaři. Pomocí MKP analýzy lze najít nebezpečná místa konstrukce nebo rozložení napětí a posunutí. Takové informace pomáhají vylepšovat a optimalizovat celý návrh ještě před jeho uvedením do výroby. Tím se zkracuje doba nutná k uvedení výrobku na trh a snižují se náklady na přepracování.

10.1 Solid Edge Simulation

Aplikace Solid Edge Simulation je dostupná přímo v prostředí sestavy, není nutné analyzovaný model složitě převádět jako v jiných CAD software. Umožňuje provádět analýzu na objemových i plechových (plošných) objemech, jejich sestavách nebo na rámových a prutových soustavách.

Vlastní řešení je provedeno řešičem NX Nastran, který vychází z aplikace FEMAP, což je software přímo určený pro analýzu MKP, tepelných toků, proudění kapaliny a dalších. Díky tomu lze analýzy ze Solid Edge snadno přenést do FEMAP a vněm provádět další analýzy.

Analýzy jsou velmi náročné na výkon počítače, proto bývá vhodné modely zjednodušit a odstranit malé nebo nepotřebné elementy, tak aby se zkrátil výpočetní čas analýzy.



Obr. 34 Prostředí modulu Solid Edge Simulation.

Analýza MKP musí mít definované parametry pro správný výpočet simulace zatížení. Základní podmínky, které musí být definovány:

- Typ studie

Na začátku každé simulace musí být definováno, o jaký typ studie se jedná. Je dostupná lineární statická, modální a vzpěrná analýza.

- Typ sítě

Typ sítě je důležitý z hlediska správnosti analýzy. Lze mít ve studii pouze jeden typ sítě nebo je ve studii kombinovat. Pro objemy je určena čtyřstěnná síť, pro plechové objemy plošná síť.

- Materiál komponent

Materiál lze definovat pro studii globálně, nebo je možné využít materiály přímo definované v analyzovaných modelech.

- Zatížení

Zatížení definují podmínky zátěže. Může být použito silové, tlakové, odstředivé, gravitační zatížení, zatížení teplotou nebo zatížení kroutícím momentem a další.

- Omezení

Omezení zabraňují modelu v pohybu určitým směrem. Podmínky omezení jsou definovány nepřímo výběrem geometrie modelu.

- Spoje

Spoj je mechanismus, který definuje způsob spojení s jinou součástí nebo povrchem sítě. V sestavě je možné určit spojení hran, ploch a válců bez nutnosti přesného modelování spojů.

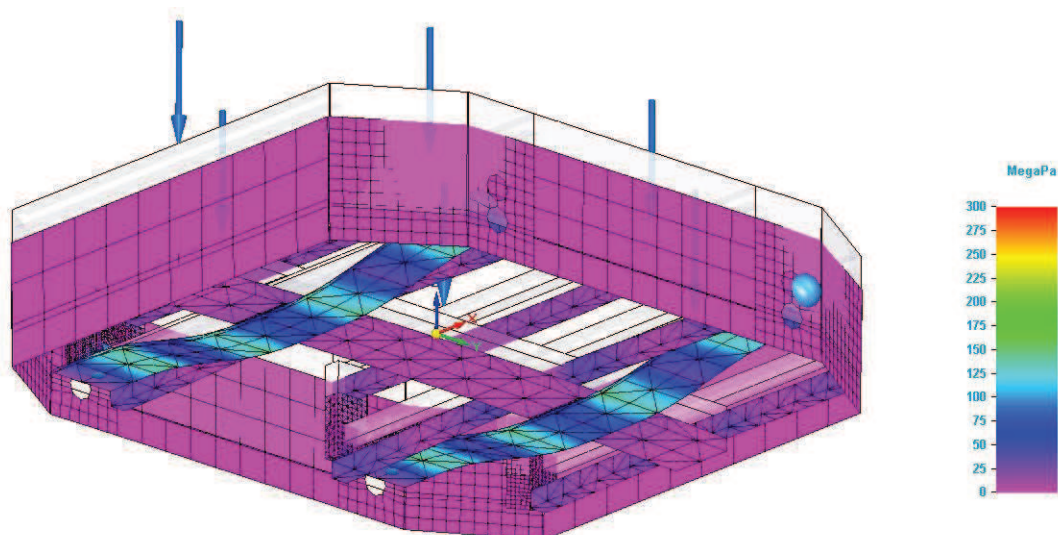
- Síť

Síť je systém bodů mřížky překrývající geometrii modelu, která obsahuje vlastnosti materiálu a konstrukce. Definuje jakým způsobem konstrukce reaguje na určité podmínky zatížení.

10.2 Pevnostní analýza podvozku

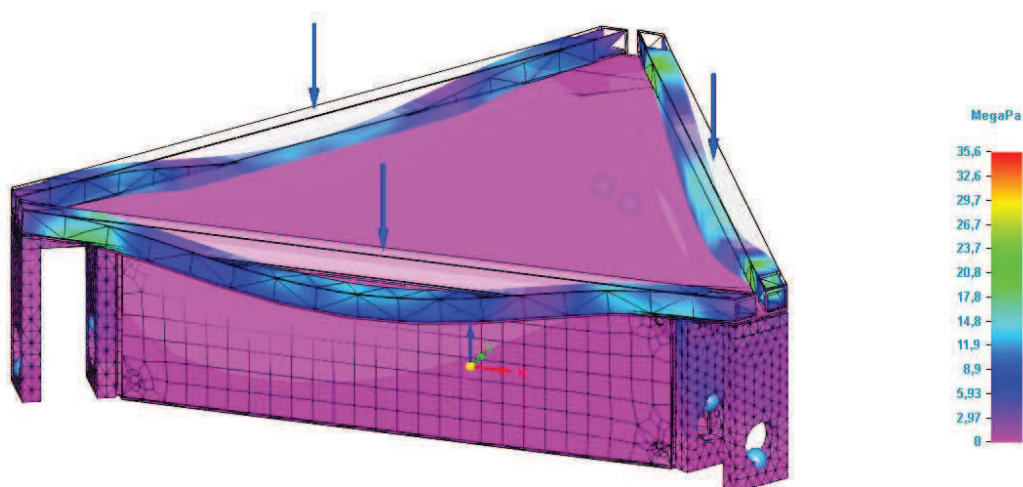
Výsledkem pevnostní analýzy je informace o napětí, které působí ve všech místech konstrukce podvozku.

U čtyřkolového podvozku byla zvolena velikost zatížení 50kg. Největší napětí je podle předpokladu na podélných segmentech nosné konstrukce podvozku. Vnější kryt a rámy klece jsou zatíženy minimálně. Posunutí konstrukce dané zatížením se pohybuje v řádu desetin milimetru.



Obr. 35 Výsledek pevnostní analýzy čtyřkolového podvozku.

Tříkolový podvozek byl zatížen vahou 150kg. Napětí nejvíce působí v místě zatížení na výtěžných profilech. Objímky kol a boční kryty jsou zatíženy minimálně. Posunutí konstrukce je zanedbatelné, projevuje se v setinách milimetru,

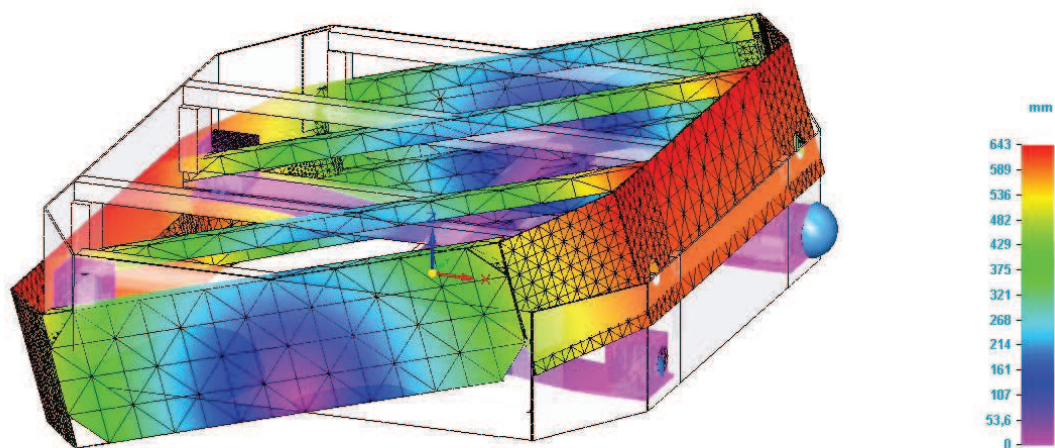


Obr. 36 Výsledek pevnostní analýzy tříkolového podvozku.

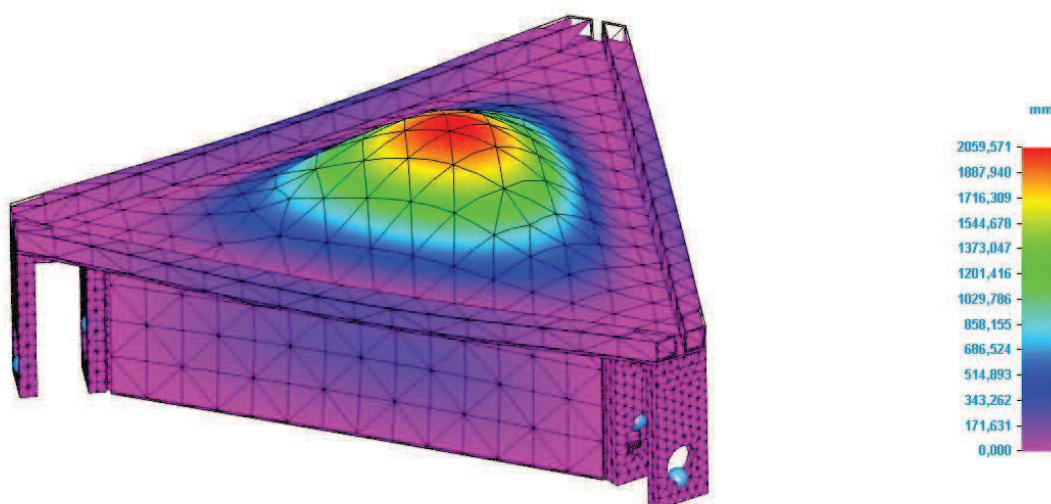
10.3 Modální analýza podvozků

Modální analýza zjistí vlastní frekvence a tvar kmitů komponent, které mohou způsobit rezonanci. Pokud by nedošlo k zabránění těchto frekvencí, může dojít k porušení komponenty.

Výsledkem modální analýzy je naklápění podvozku. Fialová barva značí nulovou nulové naklápění, červená maximální.



Obr. 37 Výsledek modální analýzy čtyřkolového podvozku.



Obr. 38 Výsledek modální analýzy tříkolového podvozku.

11 ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce bylo navrhnout tříkolový a čtyřkolový podvozek všesměrového robotu pomocí konstrukčního software Solid Edge.

Návrh podvozků byl vytvořen kompletně od začátku s ohledem na nakoupená všesměrová kola a pro předem definovanou motorickou jednotku. Konstrukce je primárně složena z lehkých slitin hliníku. Bylo také navrženo uložení všesměrových kol v rámech podvozků. Návrh čtyřkolového podvozku se skládá z cca 720 komponent, z toho je 50 jedinečných. Tříkolový podvozek je složen z cca 260 komponent, z toho 30 jedinečných.

Po sestavení podvozků byla provedena základní pevnostní analýza, která odhalí případná nebezpečná místa konstrukce, kde by mohlo dojít při vysokém zatížení k deformaci konstrukce. Nakonec byly vygenerovány dvě ukázkové animace podvozků a statické rendrované snímky pro prezentaci.

Mobilní roboty, které na základě těchto návrhů podvozků vzniknou, mohou mít široké uplatnění např. pro navržení a testování automatizovaného řízení.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Stacionární svařovací kleště. [6]	13
Obr. 2 Rozdělení lokomočního ústrojí. [6]	14
Obr. 3 Schématický nákres diferenciálního podvozku. [8].	15
Obr. 4 Schématický nákres synchronního podvozku. [8]	15
Obr. 5 Schématický nákres tříkolového podvozku. [8]	15
Obr. 6 Schématický nákres Ackermanova podvozku. [8]	16
Obr. 7 Princip pohybu tříkolového všesměrového podvozku. [8]	16
Obr. 8 Princip pohybu čtyřkolového všesměrového podvozku. [5]	17
Obr. 9 Rozložení vektoru rychlosti na holonomním všesměrovém kole.	18
Obr. 10 Varianty holonomního všesměrového kola. [10]	19
Obr. 11 Varianty všesměrového kola typu Mecanum. [11]	19
Obr. 12 Rozložení vektoru rychlosti na všesměrovém kole typu Mecanum.	20
Obr. 13 Maxon MCD EPOS. [12]	21
Obr. 14 Převodovka Maxon GP 42 C. [13]	22
Obr. 15 Hřídelová spojka StS Coupling WK3/100. [14]	22
Obr. 16 Jedno z úvodních oken Solid Edge.	23
Obr. 17 Prostředí 2D skici v Solid Edge ST4.	24
Obr. 18 Fyzikální vlastnosti 3D modelu.	25
Obr. 19 Základní konstrukce nosného rámu tříkolové varianty.	26
Obr. 20 Spojení nosného rámu s dnem a bočními kryty.	26
Obr. 21 Uložení pohonu tříkolového podvozku.	27
Obr. 22 Uložení holonomního všesměrového kola.	27
Obr. 23 Základní konstrukce nosného rámu čtyřkolové varianty.	28
Obr. 24 Klec vnitřní části podvozku.	28
Obr. 25 Spojení vnějšího krytu s klecí.	29
Obr. 26 Kompletní boční kryt.	29
Obr. 27 Krytí dna podvozku.	30
Obr. 28 Krytí horní části podvozku.	30
Obr. 29 Uložení pohonu čtyřkolového podvozku.	31
Obr. 30 Uložení všesměrového kola Mecanum.	31
Obr. 31 Výsledek rendrování režimu Skica.	32
Obr. 32 Výsledek rendrování ve fotorealistickém režimu.	32
Obr. 33 Editor animací.	33
Obr. 34 Prostředí modulu Solid Edge Simulation.	34
Obr. 35 Výsledek pevnostní analýzy čtyřkolového podvozku.	36
Obr. 36 Výsledek pevnostní analýzy tříkolového podvozku.	36
Obr. 37 Výsledek modální analýzy čtyřkolového podvozku.	37
Obr. 38 Výsledek modální analýzy tříkolového podvozku.	37

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Novák, P.: *Mobilní roboty*, BEN technická literatura, Praha, 2005, ISBN 80-7300-141-1
- [2] ŠOLC, František; ŤALUD, Luděk. *Robotika*. VUT v Brně : [s.n.], 1.11.2006. 144 s.
- [3] ORSÁG, Filip. *Robotika: Studijní opora*. VUT v Brně : [s.n.], 8.1.2006. 131 s.
- [4] Košnar, Karel. *Mobilní robotika* [online]. Praha: České Vysoké Učení Technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra kybernetiky[cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <<http://www.roznovskastredni.cz/dwnl/pel2007/06/Kosnar.pdf>>
- [5] Bräunl, T. *Embedded Robotics: Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems*. 2nd ed. Berlin : Springer, 2006. 458 p. ISBN 10 3-540-34318-0.
- [6] *TMS-Czech* [online], 1. 9. 2008 [cit. 2012-05-10], Dostupné z: <<http://www.tms-cz.com/img/spektrum/>>
- [7] Kárník, Ladislav. Lokomoční ústrojí mobilních robotů pro nestrojírenské aplikace. *Atoma*. [online]. Červenec 2002[cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28494>
- [8] Winkler, Zbyněk. *Odometrie.robotika.cz*. [online]. 12. 05. 2005[cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <<http://robotika.cz/guide/odometry/cs>>
- [9] *Robot* [online], 12.5.2012 [cit. 2012-05-14], Wikipedie. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Robot>>
- [10] *Kornylak Co.* [online], 2012 [cit. 2012-05-14], Dostupné z: <<http://store.kornylak.com/SearchResults.asp?Cat=20>>
- [11] *Omnix Technology. Directional components*. [online], 2012 [cit. 2012-05-14], Dostupné z: <http://www.omnixtechnology.com/direct_components.html>
- [12] Brož, Václav. Nové možnosti pohonů Maxon. *Atoma*. [online]. Květen 2007 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34023>
- [13] *Maxon Motor* [online], 2012 [cit. 2012-05-14], Dostupné z: <<http://www.maxonmotor.com/maxon/view/catalog/>>
- [14] *Uzimex* [online], 2006 [cit. 2012-05-14], Dostupné z: <<http://www.uzimex.cz/Sortiment/Spojky/StS-Coupling/Spojky-s-vlnovcem/WK3.html>>

PŘÍLOHY

Součástí této práce je DVD obsahující:

- Bakalářská práce ve formátu PDF
- Obrázky použité v bakalářské práci
- 3D model návrhu tříkolového podvozku mobilního robotu
- 3D model návrhu čtyřkolového podvozku mobilního robotu
- Prezentační animace návrhu podvozků
- Statické rendrované obrázky podvozků
- Animace simulace zatížení podvozků

