



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

AD INVENTOR – 3D MODELOVÁNÍ PODVOZKU ROBOTU O3-OSMERA

AD INVENTOR – 3D MODELLING OF O3-OSMERA ROBOT PLATFORM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

STANISLAV ŠVOMA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADOMIL MATOUŠEK, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Stanislav Švoma

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:

AD Inventor – 3D modelování podvozku robotu O3-Osmera

v anglickém jazyce:

AD Inventor – 3D modelling of O3-Osmera robot platform

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Daná BP se bude zabývat tvorbou 3D modelu podvozku 3 kolového mobilního robotu, který je již fyzicky realizován. Výsledkem práce bude jak 3D model, tak základní simulační testy a animační prezentace v rámci možností užitého software.

Cíle bakalářské práce:

- Vytvoření 3D modelu stávajícího podvozku robotu O3.
- Vytvoření výkresové dokumentace (dle zadání školitele).
- Simulace, výpočet modální charakteristiky a případné pevnostní výpočty v mezích užitého software.
- Vytvoření prezentační technické animace.
- Vytvoření příslušné e-dokumentace vhodné k prezentaci výsledků práce.

Seznam odborné literatury:

Novák, P.: Mobilní roboty, BEN, Praha, 2005, ISBN: 80-7300141-1

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Anotace

Bakalářská práce se zabývá tvorbou trojrozměrného modelu podvozku tříkolového mobilního robotu, který je již fyzicky realizován. Výsledkem práce je trojrozměrný model, základní simulační testy a animační prezentace v rámci možností užitého software.

Klíčová slova:

Autodesk Inventor, Robot, Roboty, Podvozky, Modelování, Animace, Pevnostní analýzy.

Annotation:

The bachelor thesis deals with creating a three-dimensional model of three-wheel mobile robot chassis, which is already physically implemented. The result of this work is three-dimensional model, the basic simulation tests and animation within the possibilities of applied software.

Key words:

Autodesk Inventor, Robot, Robots, Chassis, Modeling, Animation, Strength calculation

Bibliografická citace mé práce:

ŠVOMA, S. *AD Inventor – 3D modelování podvozku robotu O3-Osmera*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.

Prohlášení:

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 mé bakalářské práce Ing. Radomilu Matouškovi, Ph.D. za velice věcné rady při jejím tvoření a za volnost během tvoření.

Obsah

1	ÚVOD.....	6
2	ROZDĚLENÍ ROBOTŮ	7
2.1	HISTORIE ROBOTŮ	7
2.2	DRUHY ROBOTŮ	7
2.2.1	STACIONÁRNÍ ROBOTY	7
2.2.2	MOBILNÍ ROBOTY	8
2.3	ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ MOBILNÍCH ROBOTŮ	8
2.4	ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ LOKOMOČNÍHO ÚSTROJÍ	9
2.5	KOLOVÉ PODVOZKY MOBILNÍCH ROBOTŮ	9
2.5.1	ACKERMANŮV PODVOZEK	10
2.5.2	DIFERENCIÁLNÍ PODVOZEK.....	10
2.5.3	SYNCHRONNÍ PODVOZEK.....	11
2.5.4	TŘÍKOLOVÝ PODVOZEK S ŘÍZENÝM PŘEDNÍM KOLEM	11
2.5.5	TŘÍKOLOVÝ PODVOZEK SE SMĚROVÝMI KOLY	12
2.6	PÁSOVÉ PODVOZKY.....	12
2.7	KRÁČEJÍCÍ PODVOZKY	13
2.8	HYBRIDNÍ PODVOZKY	14
2.9	SPECIALNÍ ROBOTY	14
2.9.1	PLAZIVÉ ROBOTY	14
2.9.2	PLAVAJÍCÍ ROBOTY	15
2.9.3	LÉTAJÍCÍ ROBOTY	16
3	MODELOVACÍ SOFTWARE	17
3.1	Autodesk Inventor	17
3.2	Produkty Autodesk Inventor	18
4	Modelování robotu v Autodesk Inventoru.....	19
4.1	Modelování robotu	19
4.2	Základní modelování	19
4.3	Modelování sestav a podsestav	20
4.3.1	Modelování všesměrového kola.....	21
4.3.2	Hlavní sestava	21
4.4	Pevnostní analýzy.....	22
4.4.1	Modální analýza	25
4.4.2	Pevnostní analýza	26
4.5	Autodesk Inventor simulace robota.....	26
4.5.1	Dynamická simulace	26
5	Simulace Inventor Studio	27
5.1	Renderování obrázku.....	28
5.2	Renderování videa.....	29
5.2.1	Animace kamery	30
6	Závěr:.....	33
7	Seznam obrázků:	34
8	Použitá literatura:	35
9	Seznam příloh:	37

1 ÚVOD

Slovo „robot“ je české slovo, které bylo poprvé v historii použito v roce 1920 ve hře R.U.R. Rossumovi univerzální roboti od Karla Čapka. Přesto Karel Čapek v lidových novinách roku 1933 přiznává, že není vynálezcem tohoto slova, ale je jím jeho bratr Josef Čapek.

Robot je mechanické zařízení, které provádí většinu činností automaticky. Roboty mohou provádět celou řadu činností. Nejvíce se nasazují pro příliš rutinní opakující se činnosti, jako jsou svařování, vrtání, montování a barvení strojních součástí, ale i obtížné a nebezpečné činnosti např: průzkum mořského dna, v armádě to jsou pyrotechnické roboty a ve vesmírném programu NASA, vědci používají speciální roboty pro sběr informací a průzkum Marsu.

V bakalářské práci najdeme základní rozdělení mobilních robotů, která se nachází v následující kapitole, včetně ilustračních obrázků. V další kapitole se řeší problematiku užitého software, konkrétně Autodesk Inventoru. Zde jsou popsány různé moduly a rozdíly nacházející se v různých produktových verzích a v dalších kapitolách je probrána metodika modelování tříkolového všesměrového robotu. Od základního modelu jedné součásti se dostaneme k celým sestavám robotu. Tyto sestavy jsou poté pomocí analyzujícího software testovány na modální a pevnostní analýzu. Celý robot je poté v dynamické simulaci rozpohybován a přes prostředí Autodesk Studio vytvořena prezentační animace.

„Kritizovat – to znamená usvědčit autora, že to nedělá tak, jak bych to dělal já, kdybych to uměl.“

Karel ČAPEK

2 ROZDĚLENÍ ROBOTŮ

2.1 HISTORIE ROBOTŮ

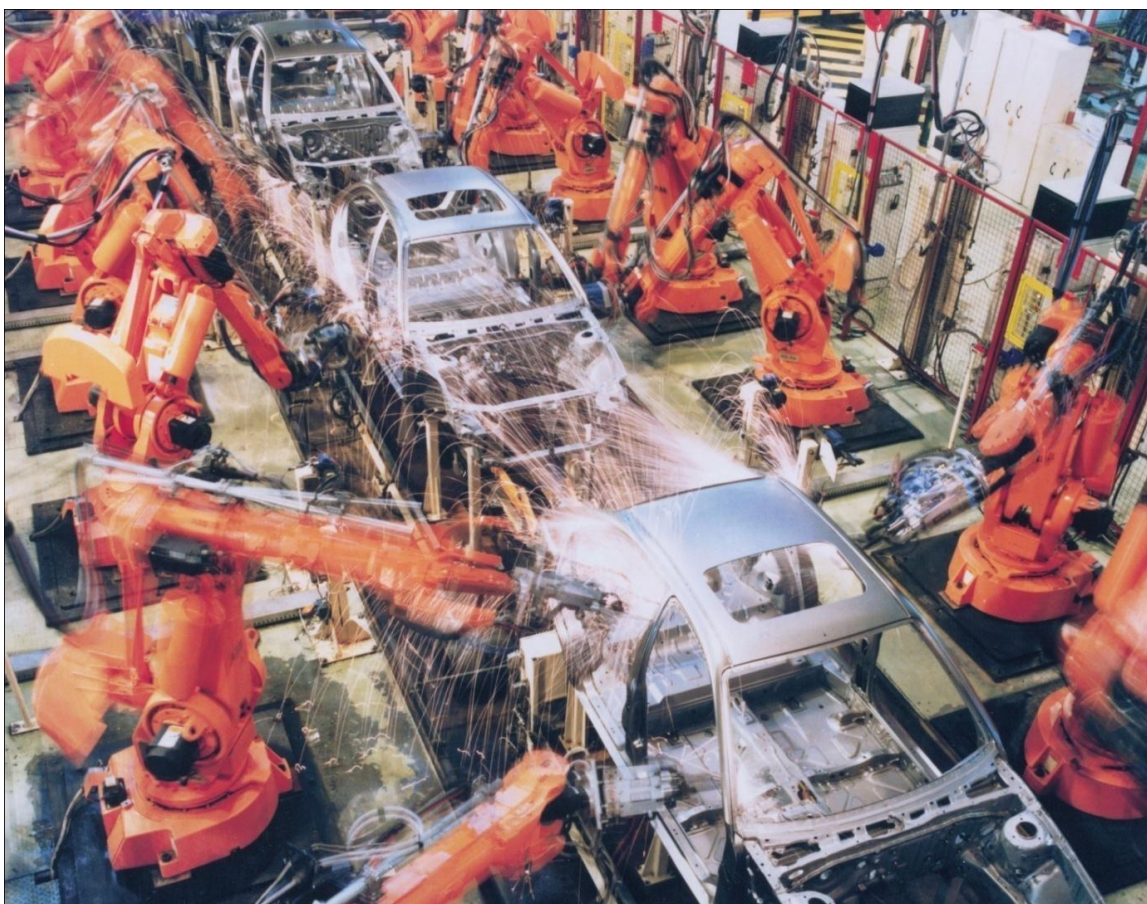
Odjakživa si člověk ulehčuje práci. Začalo to vymyšlením kola a dnes jsou to mechanické roboty sloužící k nejrůznějším úkonům. První roboty nebyly tak technologicky vyspělé jako ty dnešní a zvládaly jen určité úkony, které se musely složitě programovat. Postupem času technologie vyspěla natolik, že dnes se už využívá umělé inteligence ve spojení s konkrétní konfigurací.

2.2 DRUHY ROBOTŮ

Máme několik druhů robotů, nejjednodušší rozdělení je na mobilní a stacionární.

2.2.1 STACIONÁRNÍ ROBOTY

Jsou nejběžnější ve strojírenském průmyslu, kde jsou součástí automatizovaných výrobních linek. Pomáhají k vyšší produktivitě (různé manipulátory, svařovací roboty, viz Obrázek 1, a tak dále) Přestože jejich pořizovací náklady nejsou malé, firmy si je nasazují pro jejich výkonnost u monotónních prací. Stacionární roboty jsou specifické tím, že nemají podvozky a tudíž možnost pohybu. K programování robotu lze využít přímé nebo nepřímé metody. Přímá metoda je založena na vedení robota k cíli. Kdežto nepřímá metoda je zadávání prostorové křivky do řídicího centra robota.



Obrázek 1: Automobilky díky stacionárním robotům vyrábí až tisíce aut denně [16]

2.2.2 MOBILNÍ ROBOTY

Na rozdíl od stacionárních mají možnost volného pohybu. Musí být vybaveny různými pohony a podvozkem. Pro pohon používají různé elektromotory: střídavé, stejnosměrné motory či servomotory. Rozdělují se podle několika charakteristik, např. prostředí, vzoru, podvozku atd. Nejběžnější rozdělení je podle prostředí, ve kterém budou nasazeni.

2.3 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ MOBILNÍCH ROBOTŮ

Rozdělení podle prostředí je následující. Na obrázku 2 lze vidět roboty ve svém přirozeném prostředí.

- Ve vodě (aquatic)
- Na souši (terrestrial)
- Ve vzduchu (airborne)
- Ve vesmírném prostoru (space)



Obrázek 2: Přehled základních mobilních robotů

V každém prostředí se dále můžou rozdělovat podle oblasti působení, která může být (citace vychází z [4]):

A) Civilní

- I) obyčejné prostředí
- II) speciální prostředí
 1. Strojírenství
 2. Jaderná energetika
 3. Stavebnictví
 4. Služby a jiné činnosti

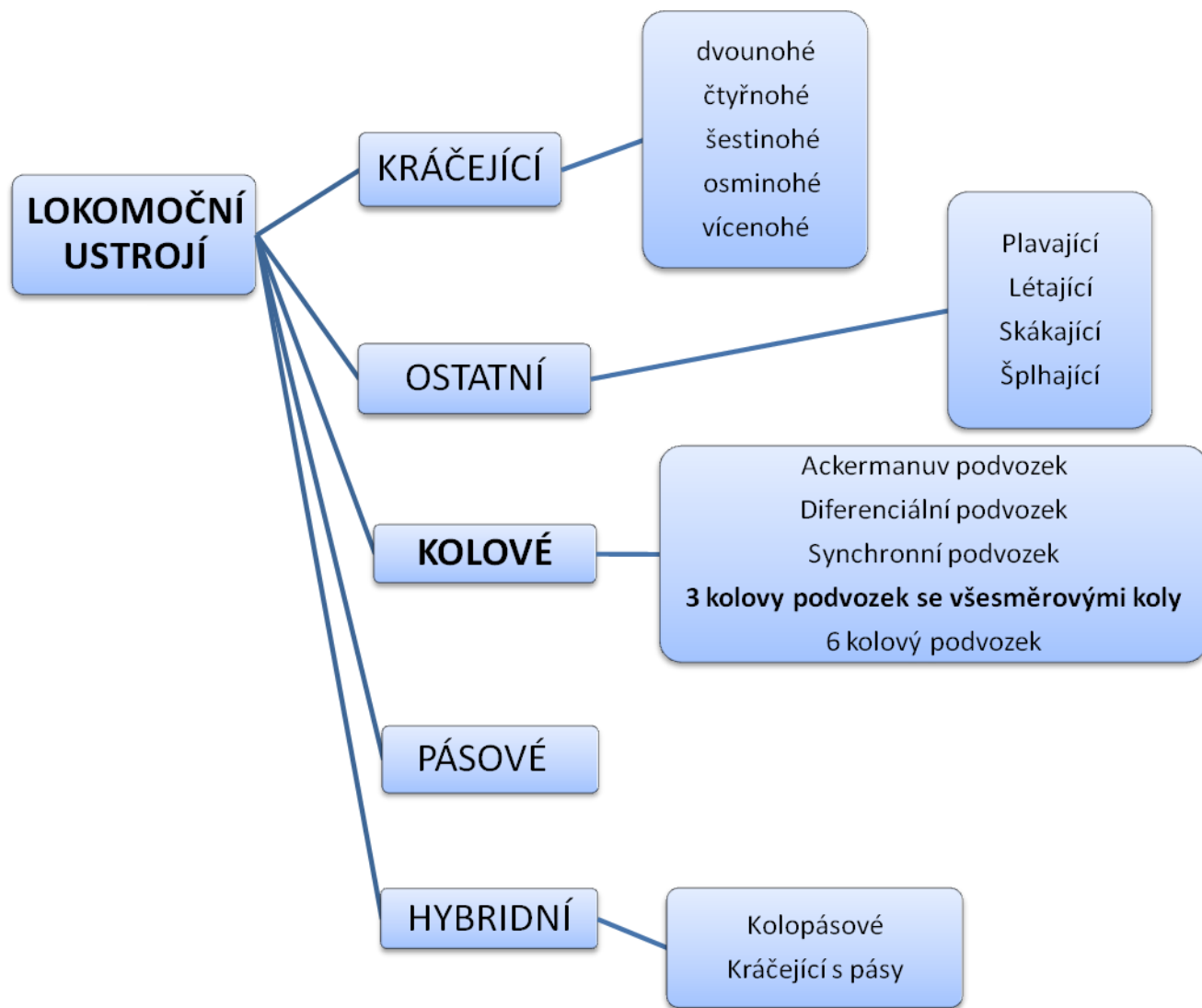
B) Vojenské popřípadě policejní

- I) nosič zbraňových soustav
 - a) v bojových podmínkách
 - b) při protiteroristických akcích
- II) nosič manipulačních prostředků pro účely:
 - a) průzkumu a odstraňování výbušnin
 - b) pro odminování

Další z důležitých rozdělení u robotu je způsob pohybu, kterým robot překonává překážky. O pohyb robota se stará lokomoční ústrojí neboli podvozek, který se dál dělí. Soustavy a tvary robotů jsou různorodé. Některé roboty mimo kolových a pásových jsou inspirovány přírodou a mají speciální konstrukce podle zvířat, kde konstruktéři napodobují jejich pohyb např. skákání, šplhání, plavání atd.

2.4 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ LOKOMOČNÍHO ÚSTROJÍ

Následující schéma bylo čerpáno z [4]

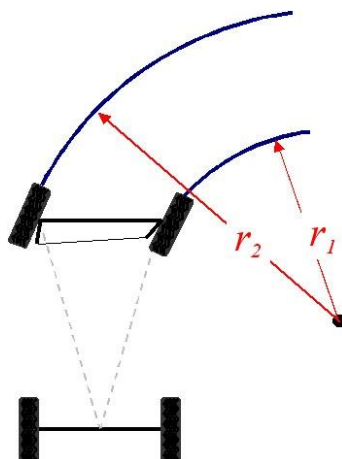


2.5 KOLOVÉ PODVOZKY MOBILNÍCH ROBOTŮ

Nejpoužívanější podvozky jsou právě kolové. Používají se pro pohyb na souši a u každého podvozku se rozlišuje jakým způsobem má vedená kola. Kola u podvozků jsou buď hnaná, nebo hnací. Obyčejná kola mívají jeden nebo dva stupně volnosti. Kola s jedním stupněm volnosti se otáčí jenom kolem osy střednice, kdežto kola s dvěma stupni volnosti se otáčí ve dvou osách, aniž by došlo ke smyku kola. Jsou to tzv. všesměrová kola. S těmito koly jdou vytvářet všesměrové mobilní roboty. Kolové podvozky se navigují pomocí odometrie, která u mobilního robotu patří mezi nejjednodušší metody odhadnutí polohy. Odometrie je odhad vzdálenosti podle otočení kola robotu. (čerpáno z [1][2])

2.5.1 ACKERMANŮV PODVOZEK

Ackermanův podvozek (ackerman steering) se používá v automobilovém průmyslu. Vyznačuje se tím, že každé kolo se natáčí pod jiným úhlem tak, že kružnice, po kterých se kola pohybují, mají stejný střed kružnice (viz. Obrázek 3). Výhoda Ackermanova podvozku je v možnosti dosahování vyšších rychlostí bez výrazných smyků kol a použití vyšší zátěže. Nevýhodou je nemožnost otočení a vydání se kterýmkoliv směrem z původního místa, které může zapříčinit zaseknutí v komplikovaných prostorách, např. v úzkých uličkách, a rozměry podvozku, které souvisí s vyššími náklady. (čerpáno z [1][2])



Obrázek 3: Kružnice se nam protínají v bodě rotace[17]

2.5.2 DIFERENCIÁLNÍ PODVOZEK

Diferenciální podvozek (differential drive), patří mezi nejjednodušší podvozky a tedy i nejlevnější (viz. Obrázek 4). Pohon je proveden dvěma koly s jednou osou volnosti a vodícími koly. Zadní kola jsou poháněna elektromotorem s enkodérem nebo krokovým motorem. Mezi výhody kromě ceny patří dobrá manévrovatelnost podvozku a otočení se na místě, které se realizuje jinou rychlostí otočení kol. Bohužel diferenciální podvozek má problém s překonáváním výškových překážek, proto je jeho použití značně omezené zejména na vnitřky budov. (čerpání z [1][2])



Obrázek 4: Diferenciální podvozek s krokovými motory [18]

2.5.3 SYNCHRONNÍ PODVOZEK

Synchronní podvozek (synchro drive) je vybaven třemi a více koly, která jsou v každém okamžiku natočená stejným směrem a pohybují se stejnou rychlostí. Stejná poloha kol je dosahována elektronicky pomocí senzoricko-regulačního systému nebo pomocí mechanického uspořádání podvozku. Problémem při použití elektronického systému je použití dvou motorů na jedno kolo. Proto se častěji objevuje druhá varianta, kdy je složitější konstrukce podvozku, ale stačí pouze dva motory na jakýkoliv počet kol. Jeden se stará o rychlost a druhý o směr. Výhody a nevýhody jsou podobné jako u diferenciálního podvozku. Zde se dá velmi spolehlivě využít odometrie. Všechna kola se natáčí stejným úhlem a vzdálenost, kterou ujedou je také stejná. Na Obrázku 5 můžeme vidět příklad synchronního podvozku. (čerpání z [1][2])



Obrázek 5: Znáornění synchronního podvozku pomocí stavebnice LEGA[19].

2.5.4 TŘÍKOLOVÝ PODVOZEK S ŘÍZENÝM PŘEDNÍM KOLEM

Tento podvozek (tricycle drive) je specifický tím, že má pouze jedno kolo motoricky otáčené a zbylá dvě kola jsou kola hnací. Tímto způsobem jsou například poháněné robotické vysavače (viz. Obrázek 6). Výhoda tohoto motoru spočívá v jednoduchosti, kde jeden motor ovládá směr pohybu a druhý rychlost. Nevýhoda je zde opět nemožnost otočení se na místě a s tím je spojeno stejné riziko jako u Ackermanova podvozku, což je uvíznutí v úzkém prostoru. (čerpání z [1][2])



Obrázek 6: podvozek vysávacího robotu iRobot Dirt Dog.[20]

2.5.5 TŘÍKOLOVÝ PODVOZEK SE SMĚROVÝMI KOLY.

Tříkolové podvozky se dají kombinovat se speciálními koly, kterým se říká směrová kola, která jim umožňují různorodý pohyb. Směrovová kola (omnidirectional wheel) mají různé tvary a jejich konstrukce je navrhnutá tak, aby měli dvě osy volnosti. Díky nim je možné dosáhnout všesměrového podvozku. Tzv. kola Mechanum připomínají normální kolo s tím rozdílem, že mají po obvodu několik dalších pasivních válečků, které zabraňují smyku v určené ose (Viz. Obrázek 7). Kdyby byly pasivní válečky zablokovány, kolo by se začalo chovat jako normální kolo. Nicméně pokud je zablokována pouze hlavní osa, kola se dál pohybují jen v jiném směru. Díky těmto kolům má robot možnost se pohybovat v jakémkoliv směru i libovolně rotovat. Kola musí být umístěna tak aby opisovala jednotnou kružnici, používají se minimálně tři kola. Pro možnost větší zátěže i více kol. Nesmíme opomenout, že každé kolo musí obsluhovat samostatný motor. To nám bohužel zabraňuje navigování pomocí odometrie, protože celý princip je založený na prokluzu kol. Navigace se tedy řeší buď pomocí proximálních senzorů nebo inerciální navigací. Největší nevýhoda tohoto podvozku je nemožnost pracovat v terénu. Drobné válečky na kole zabraňují překonání vyšších překážek. Maximální výška překážek nesmí být větší jak polovina šířky tohoto válečku. Nicméně, oblibu si získali díky mobilním manipulátorům. Zde se využívá jejich flexibility pohybu libovolným směrem. (čerpá z [1][2])



Obrázek 7: Přehled různých směrových kol[12]

2.6 PÁSOVÉ PODVOZKY

Pásové podvozky (tracked drives) jsou nejvíce využívány v těžkém terénu, proto se montují na bitevní tanky. Svým pohybem se dají přirovnat k diferenčnímu podvozku, kde ovšem víc spoléhají na velkou dotykovou plochu svých pásů, které jim dovolují velké stoupání až 35° a zdolávat různé nerovnosti. Nevýhodou je, že při otáčení na místě jsou pásy vždy ve smyku a to vede k velké energetické spotřebě, která je hlavně při zatačení neúměrně vysoká vůči základnímu pohybu vpřed. Další nevýhoda je nemožnost použití odometrie, která nedokáže z důvodu smyku vypočítat přesnou polohu. Proto se u těchto podvozků používají jiné lokační metody. Příklad pásového podvozku je na obrázku 8. (čerpá z [1][2])



Obrázek 8: iRobot 510 Pack Bot pro zneškodňování bomb. [13]

2.7 KRÁČEJÍCÍ PODVOZKY

Kráčející podvozky (limbed drives) převážně pak humanoidní roboti jsou obzvláště oblíbení u autorů sci-fi. Ale v reálném světě je s vývojem tohoto robota nejdál firma Honda se svým robotem ASIMO (Advanced Step in Innovative Mobility), který je jedenáctý dvounohý chodící robot vyrobený firmou Honda (viz. Obrázek 9). Velká nevýhoda u kráčejících robotů je jejich nutnost stability v jakémkoliv okamžiku. Proto se běžněji používají 4 a vícenozí roboti. Další nevýhodou je rychlost pohybu. Například Asimo se při běhu pohybuje rychlostí 6 km/h.



Obrázek 9: Přehled dvounohých robotů vyvinutých společností HONDA[14]

2.8 HYBRIDNÍ PODVOZKY

Jsou roboty využívající kombinaci několika lokomočních ústrojí. Například pásu i kol tzv. kolopásové podvozky. Samotné kolové podvozky nejsou vhodné pro těžký terén a samotné pásové jsou energeticky náročné. Z toho důvodu vznikají hybridní, které zvládnou těžší terén a nemají tak velkou energetickou spotřebu.

2.9 SPECIALNÍ ROBOTY

U speciálních robotů, se nerozdělují podvozky zvlášť, jako tomu bylo u kolových a pásových. Jsou to kompletní konstrukce robotů, které mají své specifikace a vyrábí se komplexně. Jejich využití je silně zaměřené na určitou činnost, které se přizpůsobuje celá konstrukce robotu. Kvůli tomu je pohyb některých robotů značně omezen a kusová výroba se projevuje vyšší ekonomickou zátěží.

2.9.1 PLAZIVÉ ROBOTY

Plazivé roboty (snake robots viz. Obrázek 10), patří mezi speciální roboty, kteří jsou navrženy pro průzkum neznámých, komplikovaných a stísněných prostor, které nelze dobře prozkoumat, nebo jsou pro člověka nebezpečné. Jejich konstrukce a pohyb připomíná hada, jsou pospojovány z dílčích částí připomínajících lidské obratle. Plazivé roboty jsou buď soběstačné, nebo jako rozšíření pro různé ostatní roboty. V průmyslu se dají využívat podobně jako flexibilní endoskopy, které se dokáží protáhnout úzkým prostorem, aniž by o něco zavadili. (čerpá z [11])

Aplikace robotů (citace vychází z [11]):

- 1) zabezpečení (robotika proti terorismu),
- 2) jaderných prostředí,
- 3) leteckém odvětví (automatizované montáže letadel),
- 4) další průmyslová odvětví (kontrola a údržba).



Obrázek 10: Plazivý robot ve tvaru hada plovoucí na hladině.[15]

2.9.2 PLAVAJÍCÍ ROBOTY

Plavající roboty (suberine robots) v současnosti nacházejí mobilní roboty pro práci pod vodou stále širší uplatnění. S ohledem na značný rozptýl požadavků lze servisní činnosti rozdělit do následujících oblastí (citace vychází z [7]):

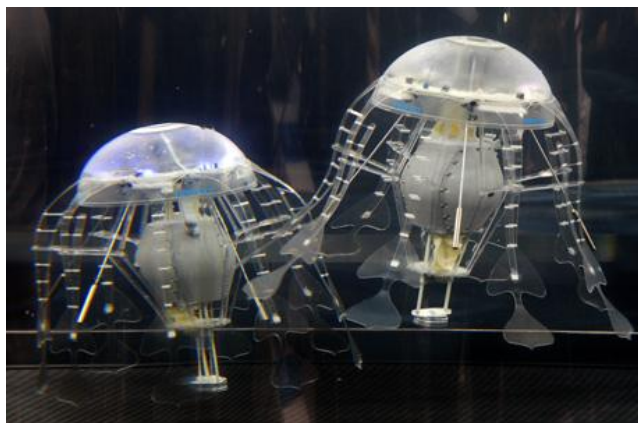
- Monitorování.
- Údržba a ošetřování částí konstrukcí, hrází apod. pod vodní hladinou.
- Průzkum spojený s odběrem vzorků.
- Mapování dna s možností zjišťování různých anomálií.
- Pořizování 3D metrických dat objektů nacházejících se pod vodní hladinou.
- Údržba a servis v potrubí s kapalinou.

Při konstrukci se musí pečlivě dbát na izolaci proti vodě. Zanedbaná konstrukce může vést k selhání celého robota. U plavajících robotů se vyvíjí speciální pohybové ústrojí, které umožňuje pohyb i na souši. Například u robota AQUA (viz. Obrázek 11). Tvůrci do budoucna počítají s nasazením na jiných planetách, díky flexibilitě pohybového ústrojí, který postrádá současný robot Rover od NASA.



Obrázek 11: AQUA robot [7]

Jak už bylo řečeno, tak někteří vědci napodobují tvarem a pohybem přírodu a i plavajících robotů, můžeme najít roboty připomínající různé ryby, žraloky a dokonce i medúzy (viz. Obrázek 12). Příkladem je robot od britských vědců, kteří vyvíjí rybiho robota pro sbírání informací o znečištění v přístavech. Tento robot má být nasazen v severním Španělsku roku 2011.



Obrázek 12: Plavající roboty (Aqua Jelly) ve tvaru medúz. [8]

2.9.3 LÉTAJÍCÍ ROBOTY

Jsou roboty nejčastěji podobnou konstrukcí helikoptérám. Ovšem vytváří se i různé podoby zvířat (viz. Obrázek 13). Hlavní přínos létajících robotů je průzkum neznámého prostředí. Hlavní pohyb se odehrává ve vzdušném prostoru a s tím je spojena celá konstrukce. Velká nevýhoda je, že tato konstrukce proti ostatním je velmi křehká. Naproti tomu lze dosahovat velkých rychlostí, které neumožňuje žádný jiný podvozek, ovšem jen ve vzdušném prostoru.

Aplikace robotů (citace vyháází z [6]):

- Provádění pátracích a záchranných akcí při kterých provádějí průzkum oblastí ve které došlo např. k nehodě nebo živelným katastrofám. Lokalizují polohu obětí nebo přírodního neštěstí bez ohledu na povětrnostní podmínky či prostředí člověku nebezpečné. Mohou létat v těsné blízkosti lesa, ohně, v zamořeném prostoru radiací apod.
- Provádění dohledu na požadovaném území s identifikací a hlášením neobvyklých činností nebo osob apod.
- Pomáhání policii při pátrání a dopadení zločinců.
- Provádění inspekční činnosti při kontrole vedení vysokého napětí ve vzdálených oblastech, mostů, hrází, budov nebo vyhledávání nebezpečného materiálu.
- Provádění průzkumu terénu s cílem pořizování topologických map ve 3D lépe než s konvenčním letadlem a podstatně nižšími náklady.
- Provádění filmování při pořizování scén v kinematografii.



Obrázek 13: AirPenguin. Létající robot ve tvaru tučňáka.[9]

3 MODELOVACÍ SOFTWARE

Pro konstrukci a modelování existují různé strojírenské softwary. Nejznámější jsou CAD (Computer Aided Design) nebo CAM (Computer Aided Manufacturing) systémy. Pro 3D je to bezpochyby 3D CAD systém Autodesk Inventor, který se chlubí největším prodejem licencí. Distributoři uvádí přes 800 000 prodaných licencí. CAM systémy zde vynechám, protože neobsahují implementovanou simulaci a hodí se víc pro obrábění součástí. Každý modelovací software má několik produktových verzí, ve kterých se prodává a jejich výkon je stupňován podle ceny. Mezi nejpoužívanější strojírenské programy patří:

- CATIA
- NX
- Pro/Engineer Wildfire
- Solid Edge
- Solid Works
- Autodesk Inventor

3.1 Autodesk Inventor

Autodesk Inventor vychází z technologie, která navazuje na parametrické a variační modelování, a je označována jako **"adaptivní modelování"**. Program není řešen jako nadstavba AutoCADu, ale umí pracovat se soubory DWG. Produktová řada Inventor poskytuje integrovanou sadu nástrojů pro tvorbu 3D návrhů, asociativní generování 2D dokumentace, vytváření systémů vedení a digitální validaci dat návrhu, pro minimalizaci potřeby realizace fyzických prototypů. Na obrázku 14, vidíme načítací logo Autodesk Inventor Professional 2009.

(čerpáno z [3])



Obrázek 14: Načítací logo pro Inventor professional 2009

3.2 Produkty Autodesk Inventor

Autodesk Inventor stejně jako výše zmiňované programy se dají pořídit v různých produktových řadách, které jsou následující.

- 1.) Autodesk Inventor Suite
- 2.) Autodesk Inventor Tooling
- 3.) Autodesk Inventor Tooling
- 4.) Autodesk Inventor Routed Systems Suite
- 5.) Autodesk Inventor Simulation Suite
- 6.) Autodesk Inventor Professional

Jejich nasazení se mění podle potřeby různých funkcí. Následující tabulka 1 ukazuje rozdíly mezi verzemi.(čerpáno z [10])

Tabulka 1: Porovnání funkcí ve verzi produktu.

	1.)	2.)	3.)	4.)	5.)
Autodesk Inventor	✓	✓	✓	✓	✓
AutoCad Mechanical	✓	✓	✓	✓	✓
Návrh kabelů a kabelových svazků IDF		✓			✓
Návrh rour potrubí a ohebných hadic		✓			✓
Analýza zatížení (MKP/FEA)			✓		✓
Dynamická simulace			✓		✓
Návrh nástrojového vybavení a forem				✓	✓
Autodesk Vault (PLM)	✓	✓	✓	✓	✓

Výhoda Inventoru Professional, ve kterém bude robot modelován je intuitivní analýza zatížení MKP/FEA. Do programu je implementován ANSYS , který se stará o tyto analýzy. Verze jsou každý rok inovovány, vylepšovány a zrychlovány.

Specifikace použitý hardware, na kterém se modelovalo:

Operační systém: Windows 7 (2.6.1.7100)

Typ cpu: INTEL(R) CORE(TM)2 QUAD CPU Q9400 @ 2.66GHZ

Rychlost cpu: 2.687 (GHZ)

Velikost paměti: 4 (GB)

Grafická karta: NVIDIA GEFORCE GTX 275

4 Modelování robotu v Autodesk Inventoru

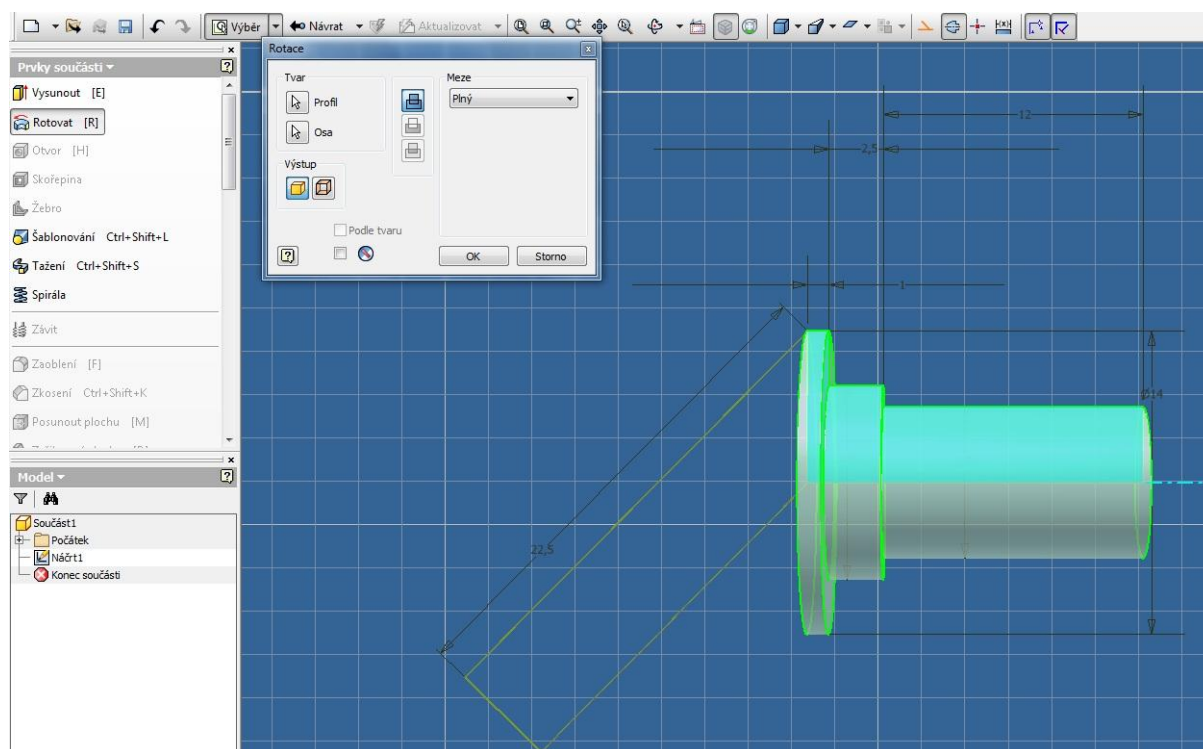
4.1 Modelování robotu

Robot, který je modelován, je tříkolový robot se všesměrovými koly. Pro modelování je použit již zmíněný Autodesk Inventor. Robota jsem nejprve modeloval systémem Autodesk Inventor 11. Různé změny a prezentace jsem vytvořil v Autodesk Inventoru Profesional 2009 a pro modální a pevnostní analýzu byl využit Autodesk Inventor Profesional 2010. Inventor 2009 nezvládá pevnostní analýzy celých sestav, zvládá pevnostní analýzy pouze jednotlivých částí. Pro splnění zadaných cílů byla tato změna nutná. Inventor dovoluje změnu verze pouze směrem nahoru a dolů minimálně. Proto nejsou některé analýzy možné zobrazit na nižších verzích Inventoru. Z toho důvodu byly všechny analýzy převáděny do formátu avi, který je vhodnější pro jejich zobrazení.

Celý robot je modelován a sestaven systémem podsestav. To znamená, že jsou určité celky (například všesměrové kolo) sestavovány do podsestav a tyto pak spojeny do hlavní sestavy. Pro pozdější použití dynamické simulace nesmí mít hlavní sestava (v tomto případě rám robotu) nastavený parametr „svařenec“, který zabraňuje použití dynamické simulace.

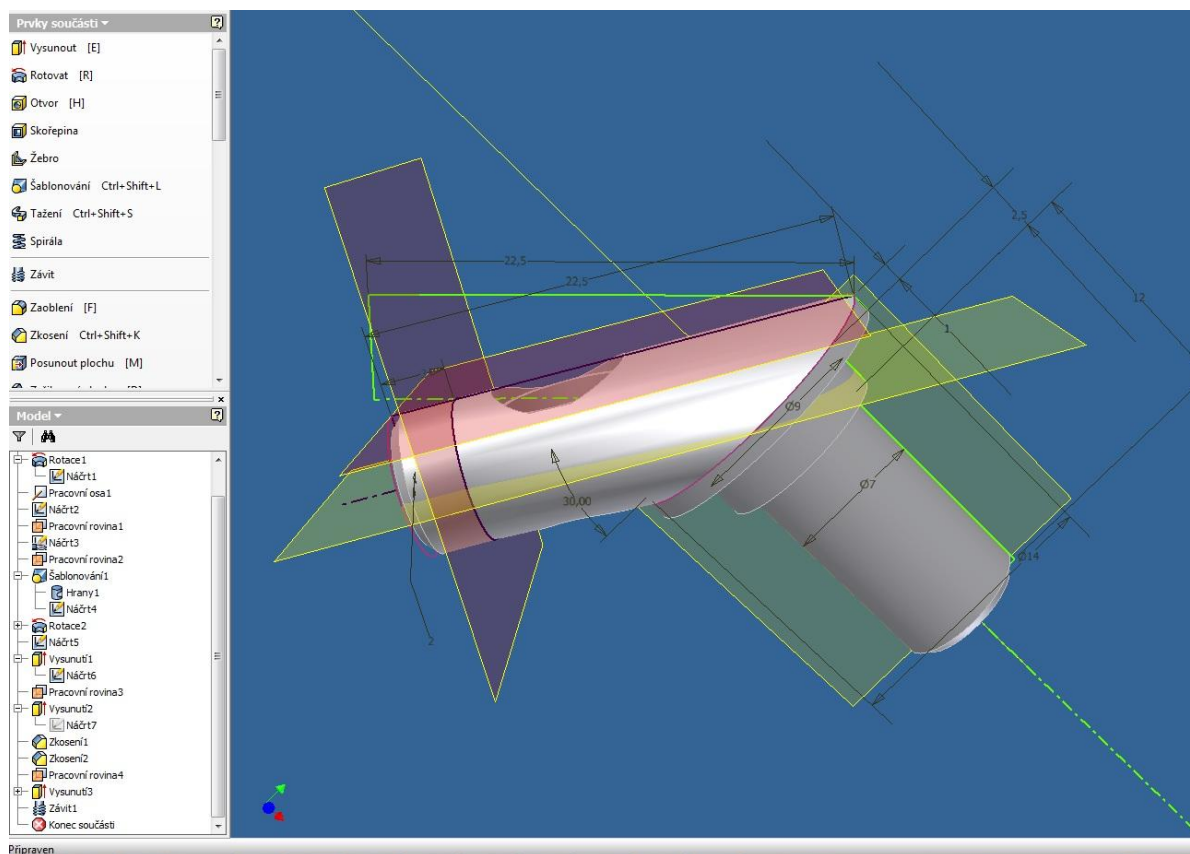
4.2 Základní modelování

Pro modelování je použito základního modelování pomocí 2D náčrtu (viz. Obrázek 15). Při vytváření nového modelu si vybereme formát ipt. Formát iam bude později použit pro podsestavy a hlavní sestavu. Ve 2D se u každého modelu scénář opakuje. Je hrubě vytvořen profil konečného tělesa, který je pak zakótován. Pomocí kót se určí přesné rozměry a geometrické vazby kolmostí a tak dále. Vymodelování je pak prováděno pomocí vysunutí profilu do prostoru, nebo rotace, u které musí být určená osa.



Obrázek 15: Režim náčrtu

Po vytvoření základního profilu se opakuje postup náčrtů. Označíme si hranu, kde se bude měnit tvar, a zde vytvoříme nový náčrt. Náčrty můžeme také vytvářet na tak zvaných „pracovních rovinách“, které slouží k vytvoření náčrtu na části tělesa, které jsou špatně dostupné (například rotační plochy a různě zakřivené plochy). Pracovní rovina se vytváří pomocí úseček v náčrtu, které nejsou vysunuty ani vytvarovány do prostoru. Předchozí postup je opakován až do finální podoby tělesa (viz. Obrázek 16).



Obrázek 16: Vymodelovaná nakloněná hřídel

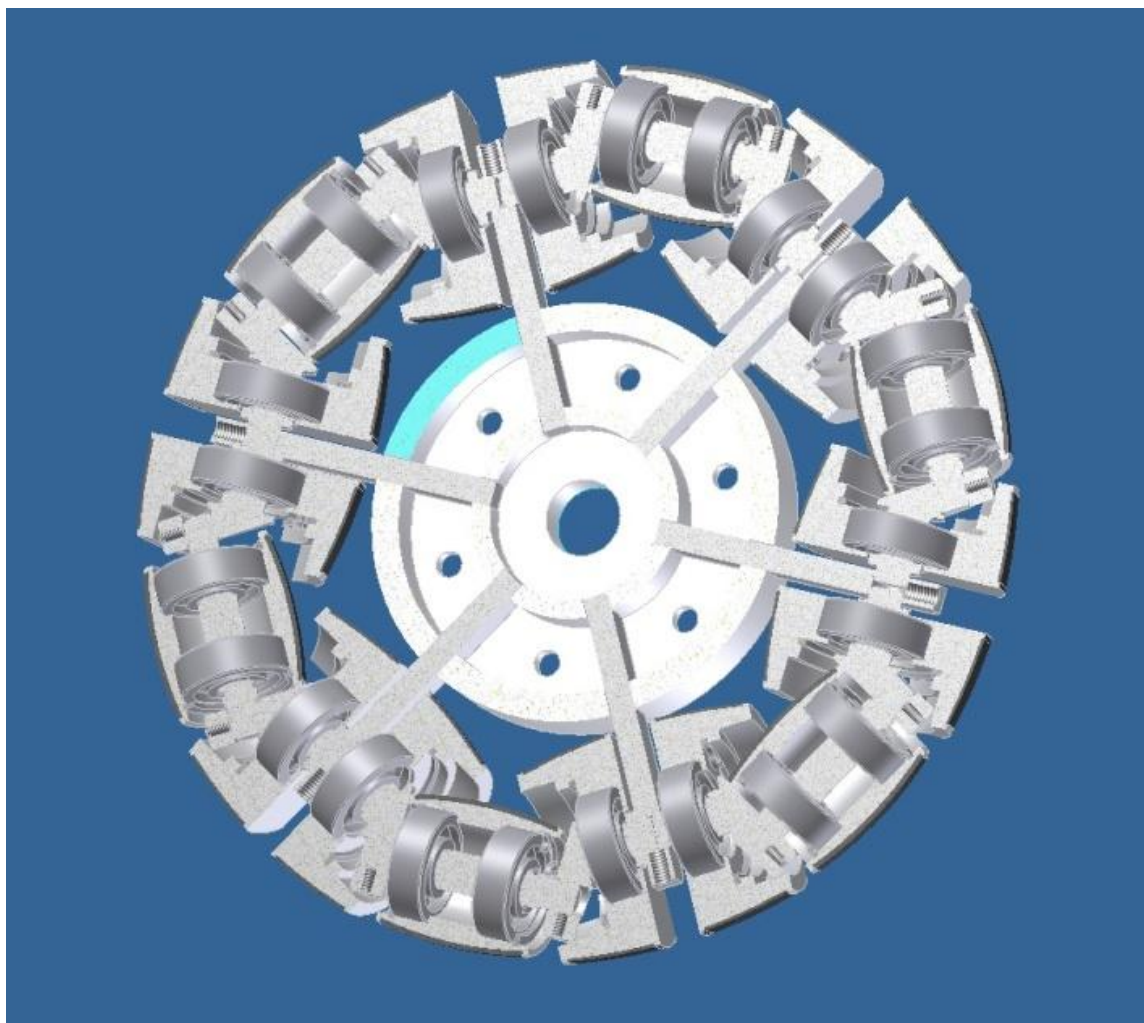
Vymodelováno bylo 42 jednotlivých komponent, které jsou potom ve formátu iam poskládaný v sestavách. Drobné šrouby, matky a ložiska byly přebrány z normalizované Inventorské knihovny.

4.3 Modelování sestav a podsestav

Modelování sestav a podsestav se liší od základního tím, že už nevytváříme model pomocí náčrtu, ale vytvořené komponenty vkládáme a na sebe různě spojujeme, aby držely pohromadě a vytvářely funkční sestavu. Na pracovní plochu si umístíme všechny potřebné komponenty pro danou sestavu. Podle potřeby byly zrcadlené a zavazbené. Zde byla hojně využívána Inventorská knihovna obsahového centra, která obsahuje normalizované součásti.

4.3.1 Modelování všesměrového kola

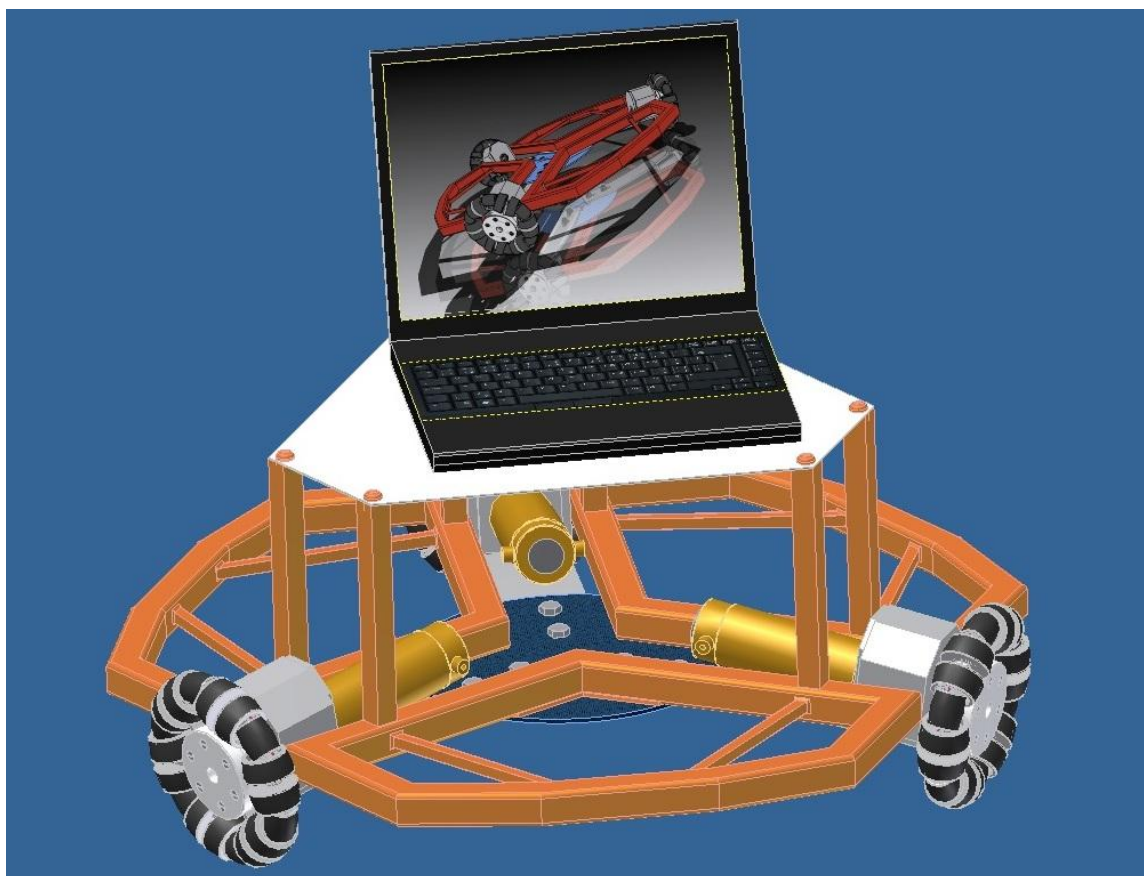
Jedno všesměrové kolo se skládá ze 164 částí, které jsou navzájem mezi sebou zavazbené. Zbytek sestavy se skládá pouze z 87 částí. Z toho důvodu je později vynecháno z pevnostních analýz. U všesměrového kola bylo třeba si pohlídat natočení každé hřídele a správnost všech vazeb. Pokud jejich osy nejsou v jedné rovině a jsou různě natočené, tak při závěrečném spojení vznikla úhlová vůle a součásti nezapadly do sebe. Ložiska, segerové kroužky a šroubky nebyly modelovány, ale převzaty z normalizované knihovny. Zde se také ukázala přesnost předchozího základního modelování. Výsledek složení je vidět na obrázku 17. Samotné kolo bylo uloženo jako podsestava, které pak bylo přidáno na hlavní sestavu.



Obrázek 17: Řez vymodelovaného všesměrového kola

4.3.2 Hlavní sestava

Hlavní sestava vznikla složením z dílčích podsestav. Na hlavní sestavě (viz. obrázek 18) byly aktivní pouze základní rotační vazby kol. Otáčivost samostatných válečku všesměrového kola je zamknutá v podsestavě a nezobrazuje se. Pro zobrazení komplexního pohybu všesměrového kola můžeme otáčivost samostatných válečku povolit zapnutím nastavení flexibility kol. Inventor 2009 na mém počítači bohužel poté přestal být stabilní a několikrát se zhroutil. Z toho důvodu byla flexibilita vypnuta a pohyb pasivních válečku se neprojevuje na pozdější prezentaci.



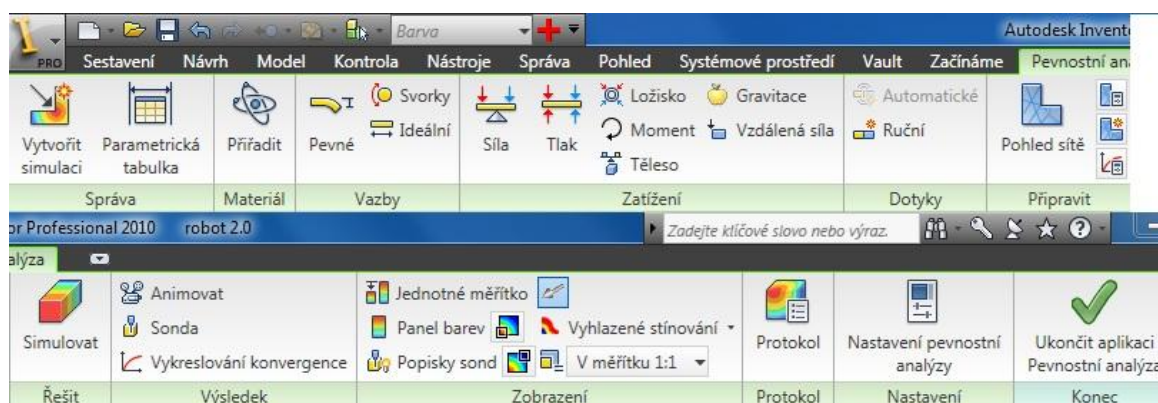
Obrázek 18: Kompletní vymodelovaný robot.

4.4 Pevnostní analýzy

V Inventoru můžeme provádět jak modální, tak statickou pevnostní analýzu. Modální analýza popisuje dynamické vlastnosti v oblasti vlastní frekvence kmitů soustavy. Statická pevnostní analýza nám ukazuje silové napětí v dané soustavě.

Pevnostní analýzy jsou náročné na počítačový hardware, jejich výpočet trvá dlouho a je relativní v závislosti na použitých okrajových podmínkách. Dobu výpočtu lze snížit vyjmutím nepotřebných elementů pro výsledek simulace.

Výsledný model robota byl převeden do prostředí pevnostní analýzy v Inventor 2010. Toto prostředí obsahuje následující kroky, které musí být splněny (viz. Obrázek 19).



Obrázek 19: Přehled rozhraní pro pevnostní analýzu

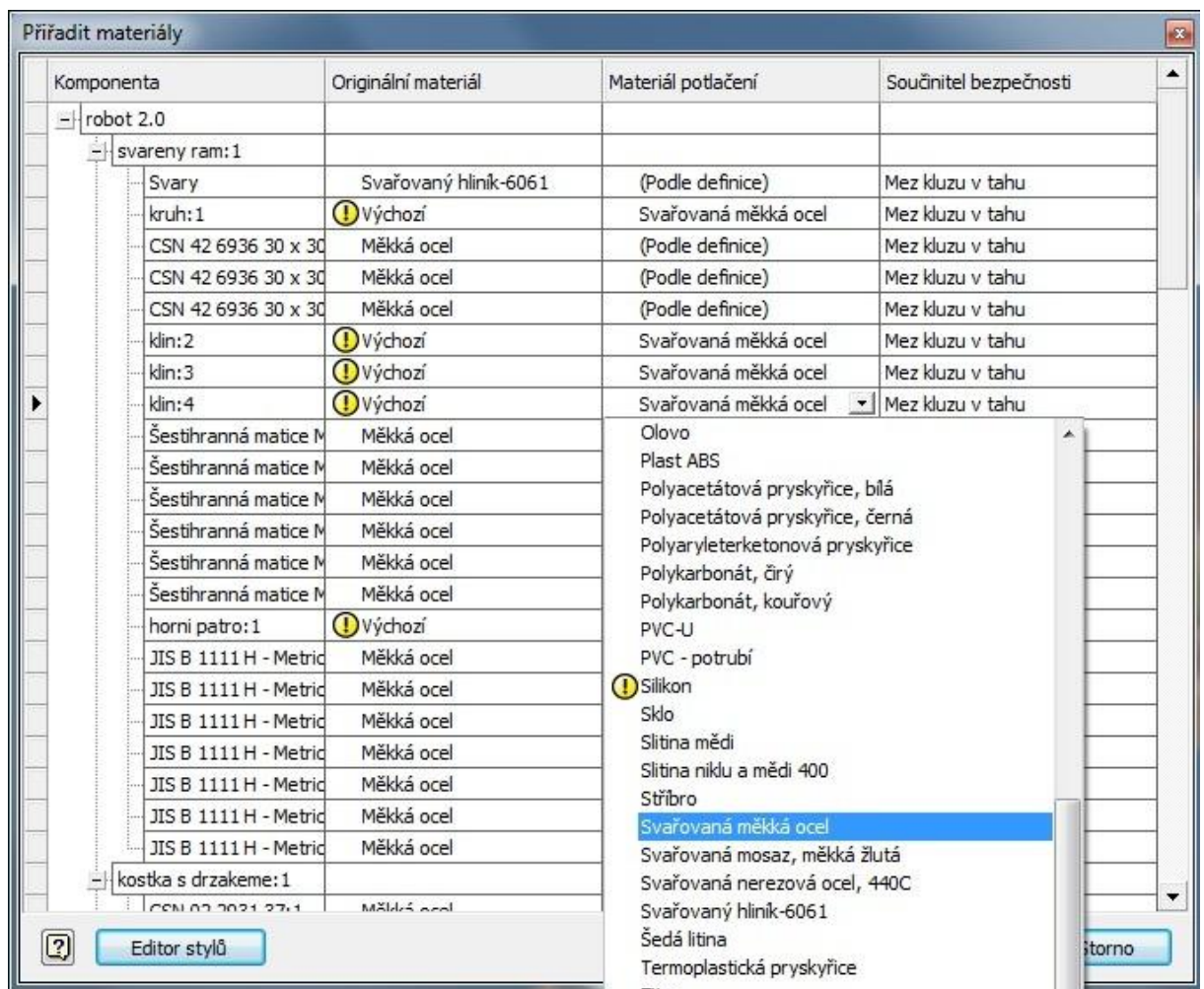
- Správa
- Materiály
- Vazby
- Zatížení
- Dotyky
- Sít'
- Simulace

Správa

Než je možné zadat ostatní parametry, bylo potřeba vytvořit simulaci. Zde bylo na výběr mezi modální a statickou analýzou. Po výběru jedné z analýz a zadání všech geometrických vazbových a materiálových podmínek byla simulace zkopírována a pouze změněna simulace z modální na statickou. Dále byly upravovány pouze zatěžovací parametry. Tím nám vznikly dvě simulace v jednom projektu, které se navzájem neovlivňovaly

Materiály

Zde bude pro každou součást vybrán obecný materiál (viz. Obrázek 20), z kterého je vyroben. K dispozici je knihovna materiálu. Každý materiál musí být zadán a tato volba silně ovlivňuje pevnostní analýzu.



Obrázek 20: Výběr materiálů pro pevnostní analýzu.

Vazby

U vazeb je na výběr ze 3 vazeb. Vazba pevná (vetknutí), vazba svorky (rotační vazba) a ideální vazba. Protože pro analýzy byla odstraněna kola ze součásti, používal jsem vazbu pevnou a rotační vazbu. Vazba byla umístěna na hřídele, kde byla kola odebrána.

Zatížení

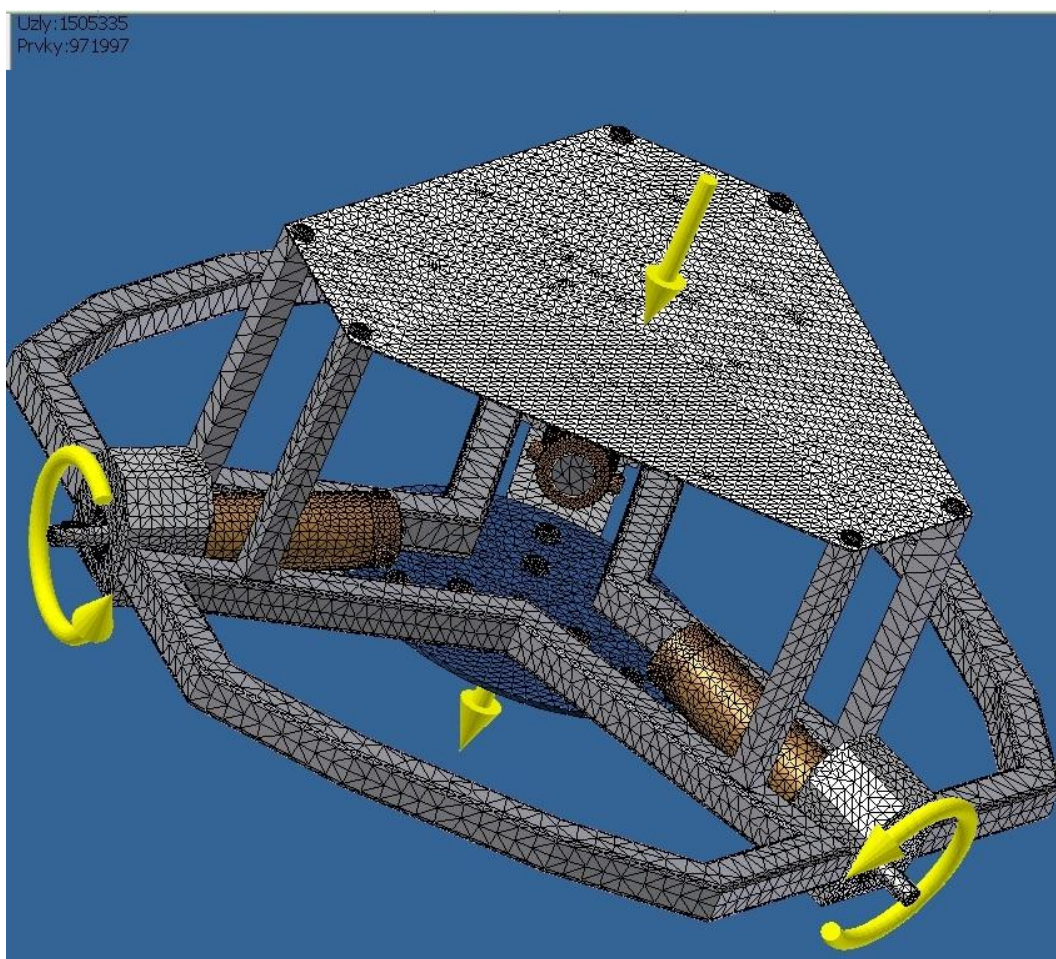
Zde byly nastaveny parametry zátěže. K dispozici je síla, tlak, zatížení ložiska, moment, gravitace a vzdálená síla. Robot by měl unést 300 Kg, proto byla síla působící na horní desku nastavena na nejvyšší mez. Dále byly nastaveny momenty na hřídelích a gravitační zrychlení.

Dotyky

Prostředí si samo převádí vazby, které byly použity při modelaci robotu. Změna vazeb se dá znovu ručně upravit. Zde stačil pouze automatický převod.

Sít'

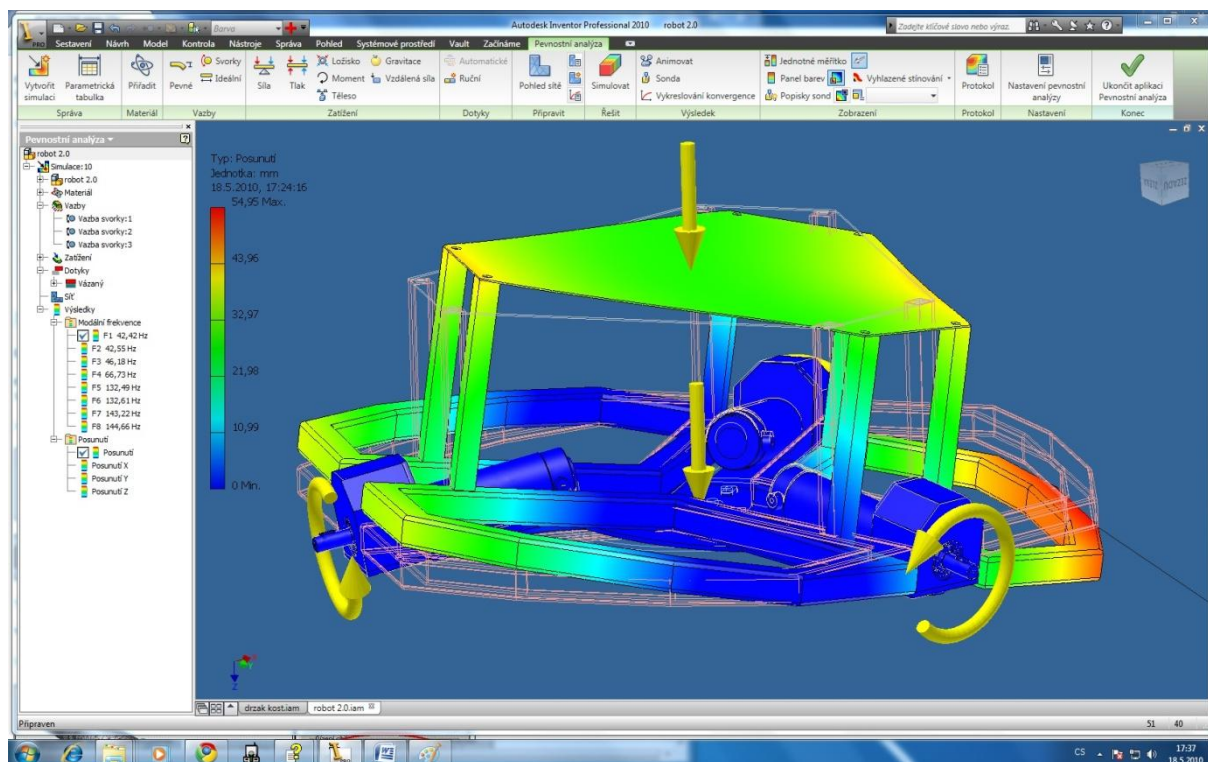
V režimu sít' je vytvořena konečnoprvková sít'. V angličtině označováno meshing. Zde Inventor celou sestavu do sítě, která je tvořena z uzlů (viz. Obrázek 21). Pro každý element je počítán deformační a pevnostní analýza. Kvalita sítě ovlivňuje celou simulaci. Velikost elementu se dá nastavit.



Obrázek 21: Vygenerovaná sít'. Vlevo nahoře je vidět počet prvků a uzlů, které sestava obsahuje.

4.4.1 Modální analýza

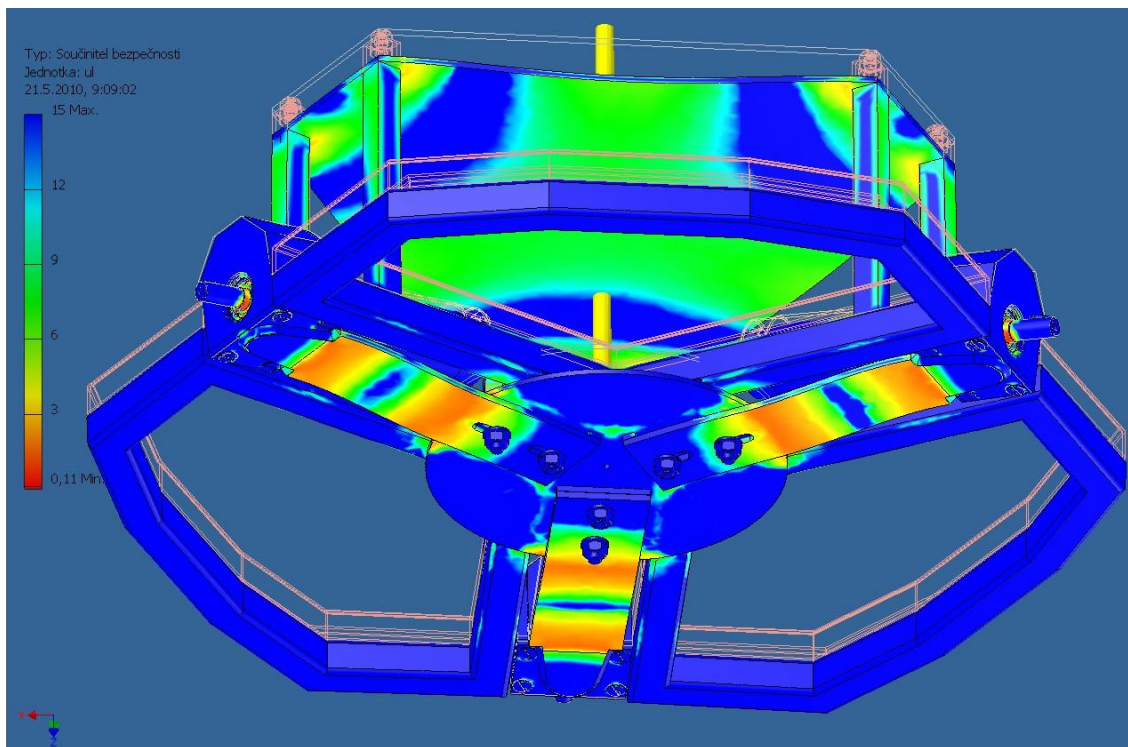
Výsledek modální analýzy ukazuje naklápění robota, kde modrá označuje nulovou hodnotu a červená barva maximální. Video pro modální analýzu je připojeno na DVD přibalenou zvlášť. Pevné vazby byly ukotveny na konce hřídelí. Tyto vazby simulují vetknutou vazbu, v našem případě opření o podlahu. Běžovou barvou je vyznačena původní poloha, ve kterém byla sestava ve vyrovnaném stavu (viz. Obrázek 22).



Obrázek 22: Výsledek modální analýzy.

4.4.2 Pevnostní analýza

Výsledek pevnostní analýzy nám ukazuje součinitel bezpečnosti, kde podle předpokladu dochází k nejvyššímu namáhání. Rám, který je zde dělán z jednoho kusu zobrazuje minimální deformaci (viz. Obrázek 23). Horní patro, kde je silný 5 mm plech, ukazuje drobné prohnutí. Celkové posunutí je na obrázku zobrazeno béžovou siluetou. Stejně jako v předchozím případě, pevné vazby zde byly umístěny na konce hřídelí.



Obrázek 23: Výsledek pevnostní analýzy.

4.5 Autodesk Inventor simulace robota

Pro simulaci v Inventoru je připraveno prostředí Inventor Studio a Dynamická simulace, která je provázaná s Inventorem Studio. Dynamická simulace slouží pro základní simulaci při různém zatížení. Zadávat můžeme síly od momentů až po gravitaci. Inventor Studio slouží jako prostředí pro vytváření scén otáčení kamer a osvětlení scény.

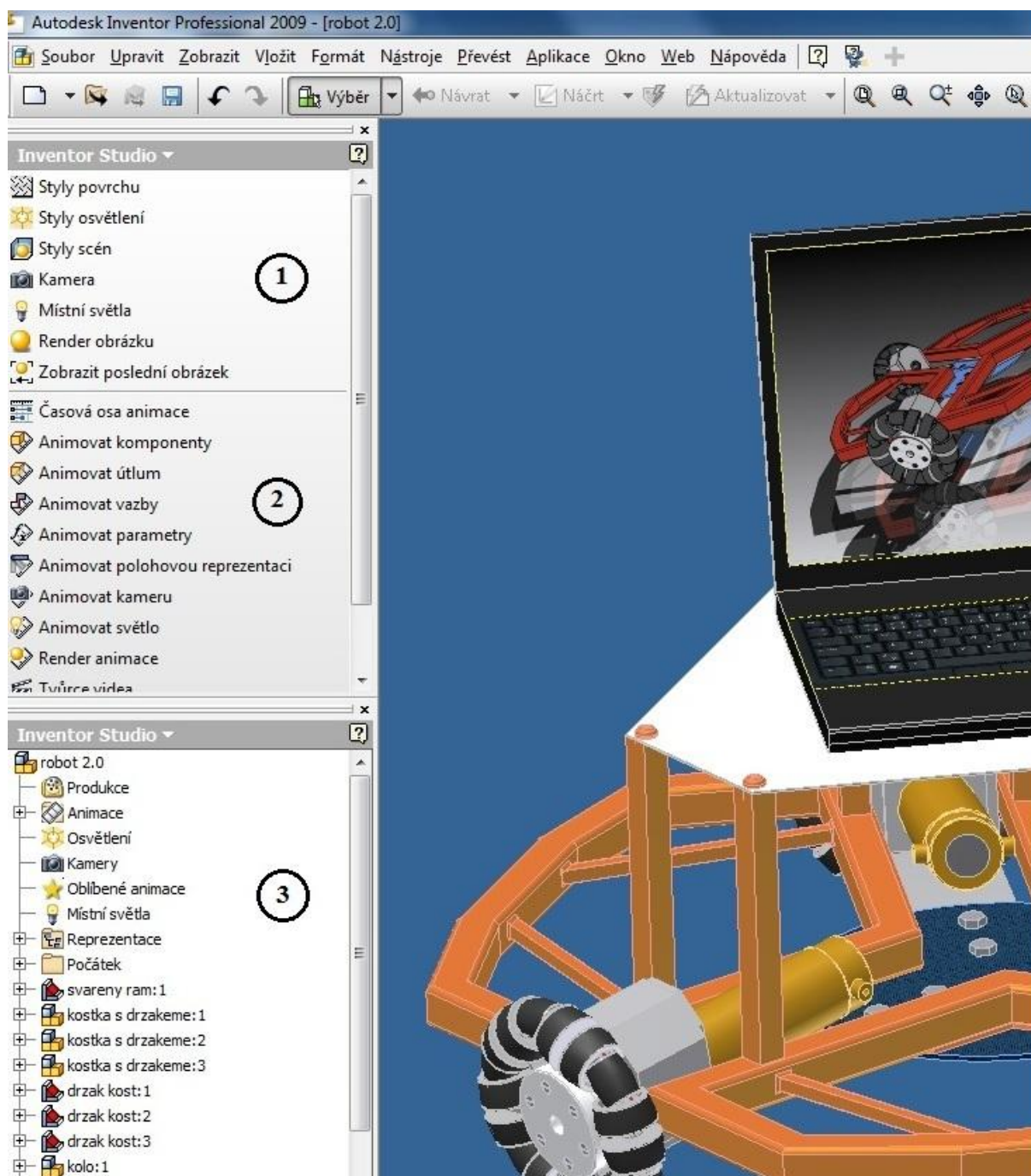
4.5.1 Dynamická simulace

Nejprve vytvořený model přepneme do prostředí dynamické simulace. Hlavní sestava musí být pořád v režimu sestavy. Pokud bude převedena do režimu „svařenec“, nebude dostupná dynamická simulace, která nám ukáže reálné otáčení kol, a museli bychom všechny komponenty nastavovat ručně. Pokud ovšem máme nějaký svařenec v podsestavě tak hlavní sestava může být pořád převedená do prostředí dynamické simulace.

Po převedení do dynamické simulace musíme znovu vytvořit vazby, protože předcházející vazby vytvořené v modelování jsou zde nefunkční. Tohle se částečně vyřeší automatickým převedením vazeb z předchozího zavazbení sestavy. U komplikovanějších sestav ale převod většinu vazeb svaří a přestanou být pohyblivé. Těleso si otevřeme v konstrukčním režimu a svařené vazby, které nám zabráňují rotaci, odemkneme a přidáme správnou vazbu. Celou sestavu poté zatížíme nějakou silou. Pro ukázkou pohybu nám stačí přidat gravitační zatížení a sílu, která nám těleso dostane do pohybu. Nastavíme si časové působení síly a spustíme simulaci.

5 Simulace Inventor Studio

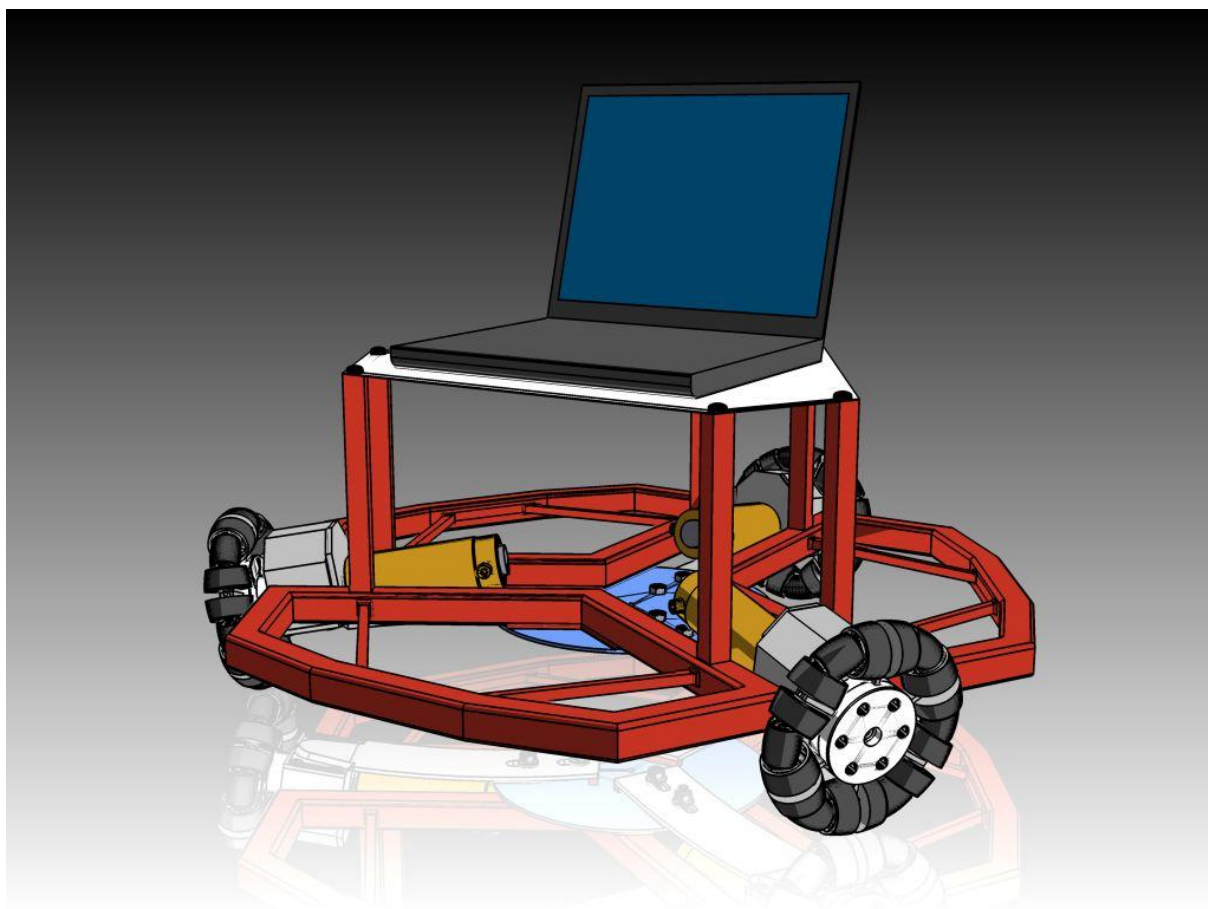
Prostředí Inventor studio je rozděleno do základních 3 částí (viz. Obrázek 24). Pro renderování samotného obrázku slouží část 1. Pro renderování 30 sekundové animace je určena část 2. Část 3 je přehled použité sestavy a předchozího nastavení z prvních dvou částí. Pro vytvoření prezentace použijeme simulaci vytvořenou v prostředí dynamické simulace, která nám přímo nabízí přímý převod do Inventor Studio. Ovšem při jakékoliv změně součásti v sestavě Inventor vyžaduje nové provedení dynamické simulace. Pro vytvoření animace je přesto zapotřebí nastavení kamer, scény a osvětlení.



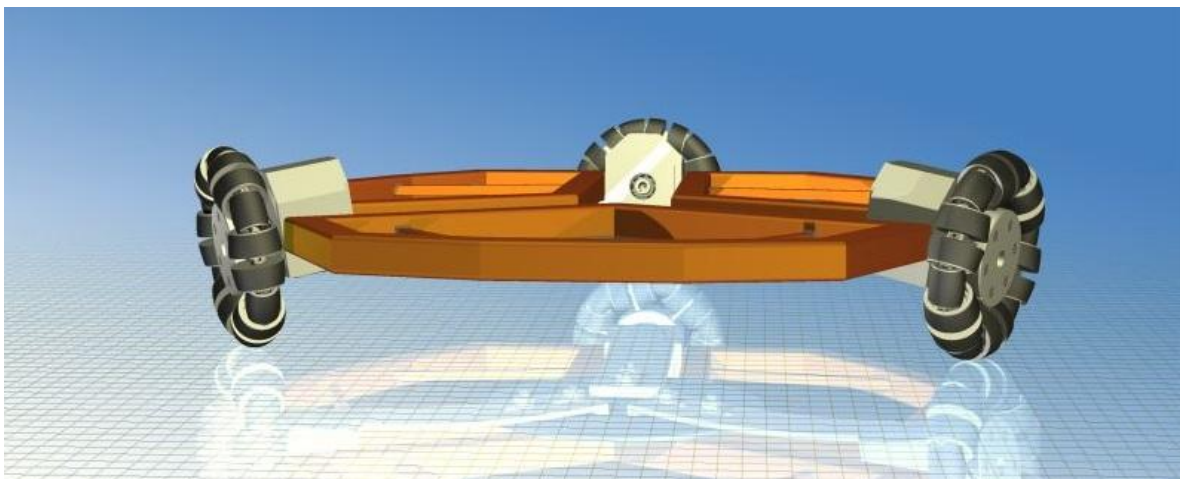
Obrázek 24: Ukázka animačního prostředí pro Inventor Studio.

5.1 Renderování obrázku

Pro úspěšný render obrázku, je třeba nastavit správně barvy světla a scénu. Barvy se vybírají podobně jako u pevnostních analýz, kde vybere materiál a součást změni vzhled podle materiálu. Na rozdíl od pevnostní analýzy se zde nemění vlastnosti materiálu. Není zde ani potřeba. Co se týče světla tak v Inventoru je předpřipraveno 16 druhů stylů osvětlení. Nejvíce jsem pracoval s osvětlením exteriéru a „ukázka – 2 osvětlení“. Při závěrečném renderování se nastavuje rozlišení, kvalita vyhlazování. Pro obrázek může být použita maximální, přestože tímto nastavením se prodlužuje doba renderování u obrázku to není tak tragické. Poslední nastavení se týká vykreslení buď jako ilustrace nebo reálné vykreslení. Ilustrace připomíná komiks a neprojevuje se zde výrazně nastavení světla, kromě zobrazení stínů. Kdežto realistické renderování zobrazuje i reálné odlesky. Na obrázku 25 a 26 můžeme vidět výsledek renderingu. Bohužel render nevykresluje obrázky umístěné na komponentech jak je vidět na předchozím obrázku.



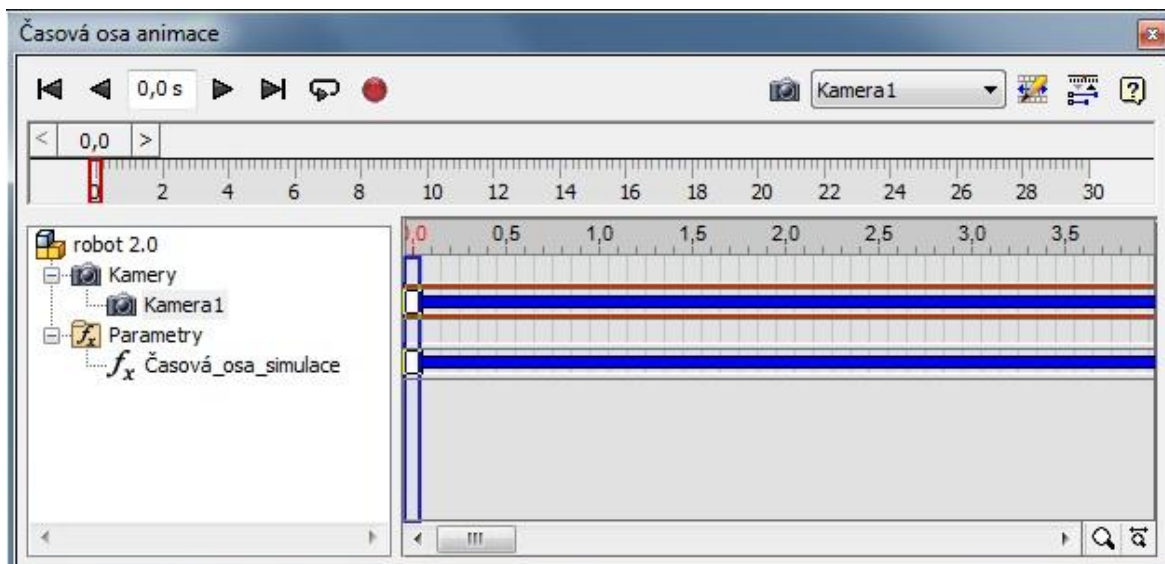
Obrázek 25: Výsledek ilustračního renderování.



Obrázek 26: Výsledek realistického renderování

5.2 Renderování videa

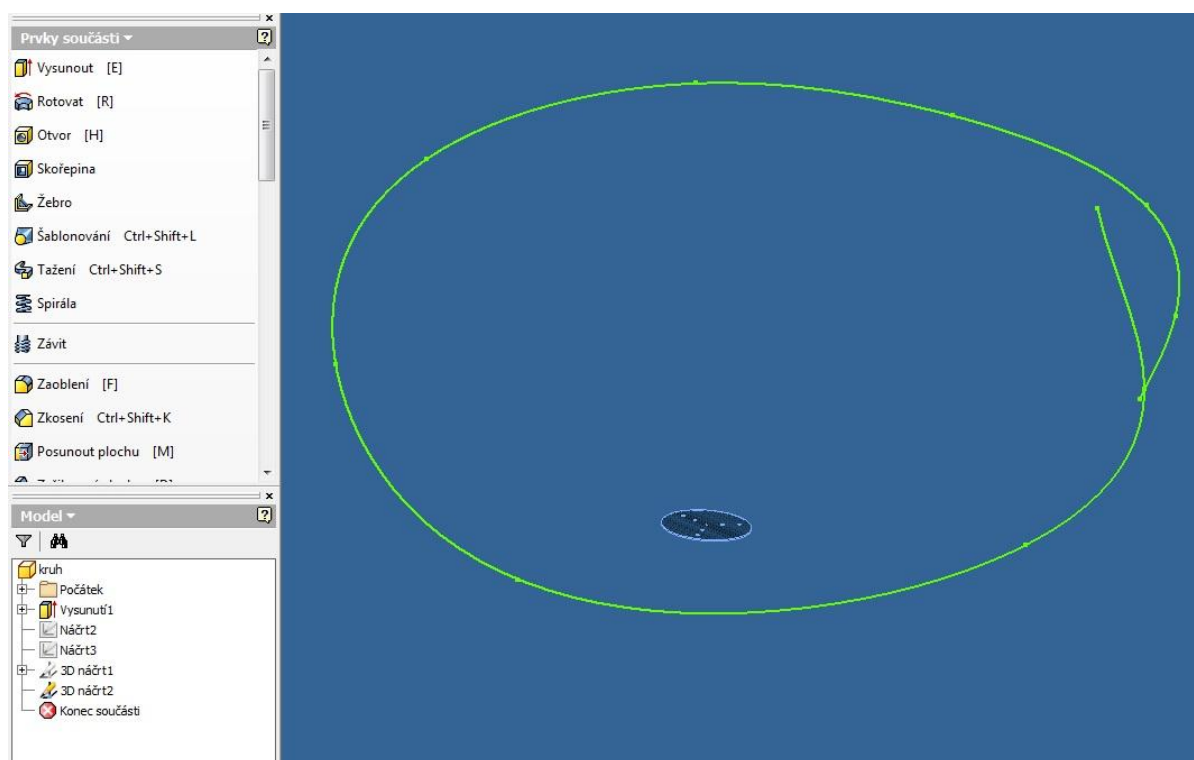
Zde se nejvíc pracuje s časovou osou animace, na které se zaznamenává aktuální pohyb všech animací (viz. Obrázek 27), které se zde dají různě upravovat. Časový prostor pro animace je omezen pouze na 30 sekund. Animovaná zde byla kamera a otáčení všech kol bylo definováno v dynamické simulaci. Proto už zde nebyly znova animované komponenty a celý pohyb kol je uložen v parametrech. Styly scén a světla jsou přebrány z první části pro renderování obrázku a jsou to statické elementy, proto nejsou zobrazeny v časové ose.



Obrázek 27: Okno časové animace.

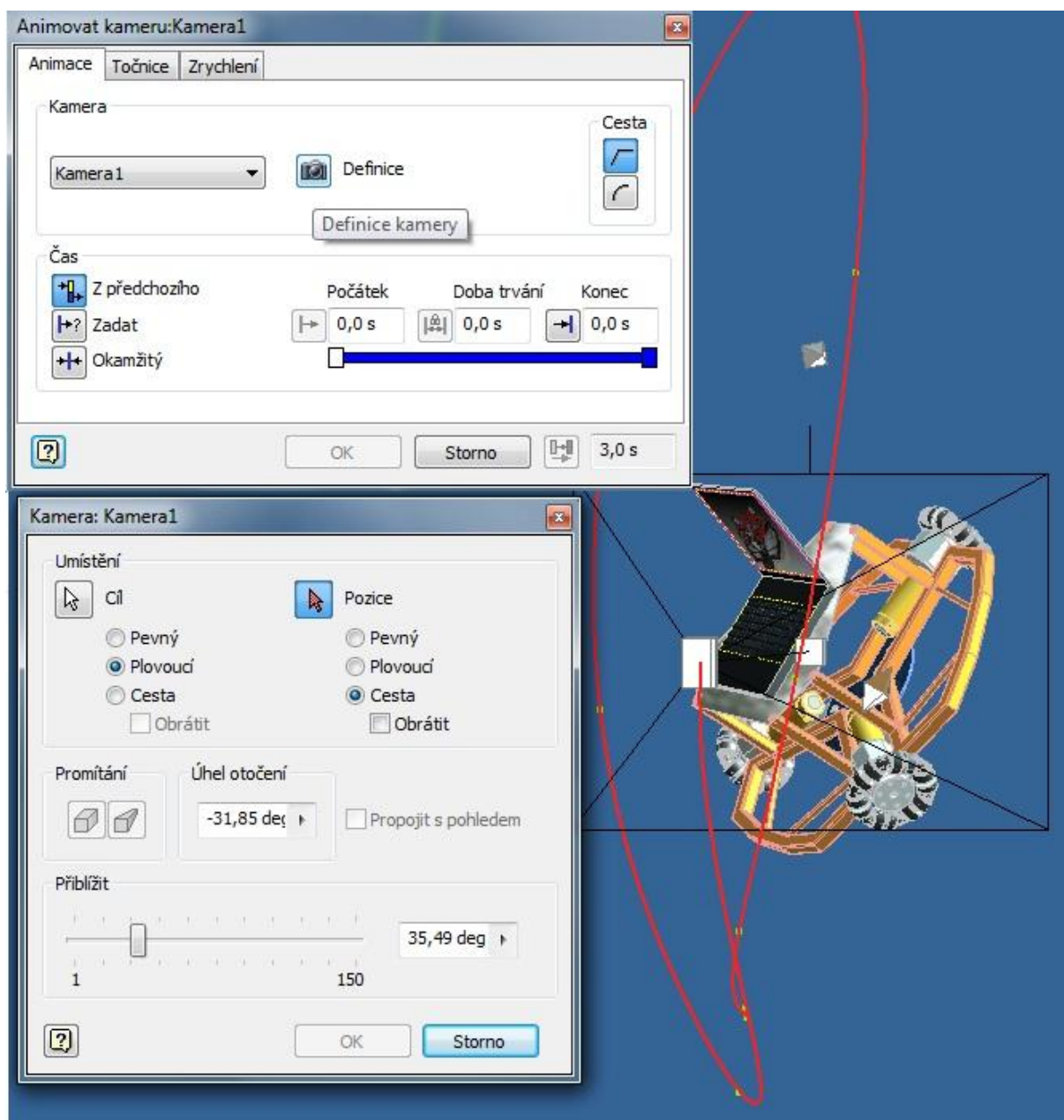
5.2.1 Animace kamery

Kamera může být buď statická, nebo se pohybovat pomocí trajektorie. Trajektorie kamery je možno udělat za pomoci předdefinovaných točnic kolem os x, y a z. Pro plynulejší a volnější pohyb kamery byla vytvořena trajektorie pomocí „spline“ (křivky) v 3D náčrtu. Inventor 2009 nedovoluje 3D náčrt v celkové sestavě, proto bylo použito základní kruhové těleso. V 3D náčrtu byla nejdříve vytvořena pro lepší orientaci v prostoru spirálová křivka, ke které potom byla přichycena jiná křivka, ze které byla později vytvořena trajektorie kamery (viz. Obrázek 28). Samotné použití spirálové křivky je nevhodné, protože Inventor studio nedokáže využít celou její trajektorii. Po vytvoření a uložení je zanechaná viditelnost této křivky a zkontrolována její poloha v celé v sestavě. Přestože je už viditelná v celé sestavě, není v sestavě modifikovatelná a pro lepší trajektorii musí být znovu kreslena celá křivka.



Obrázek 28: Ukázka nakreslené 3D křivky, později použita pro trajektorii kamery.

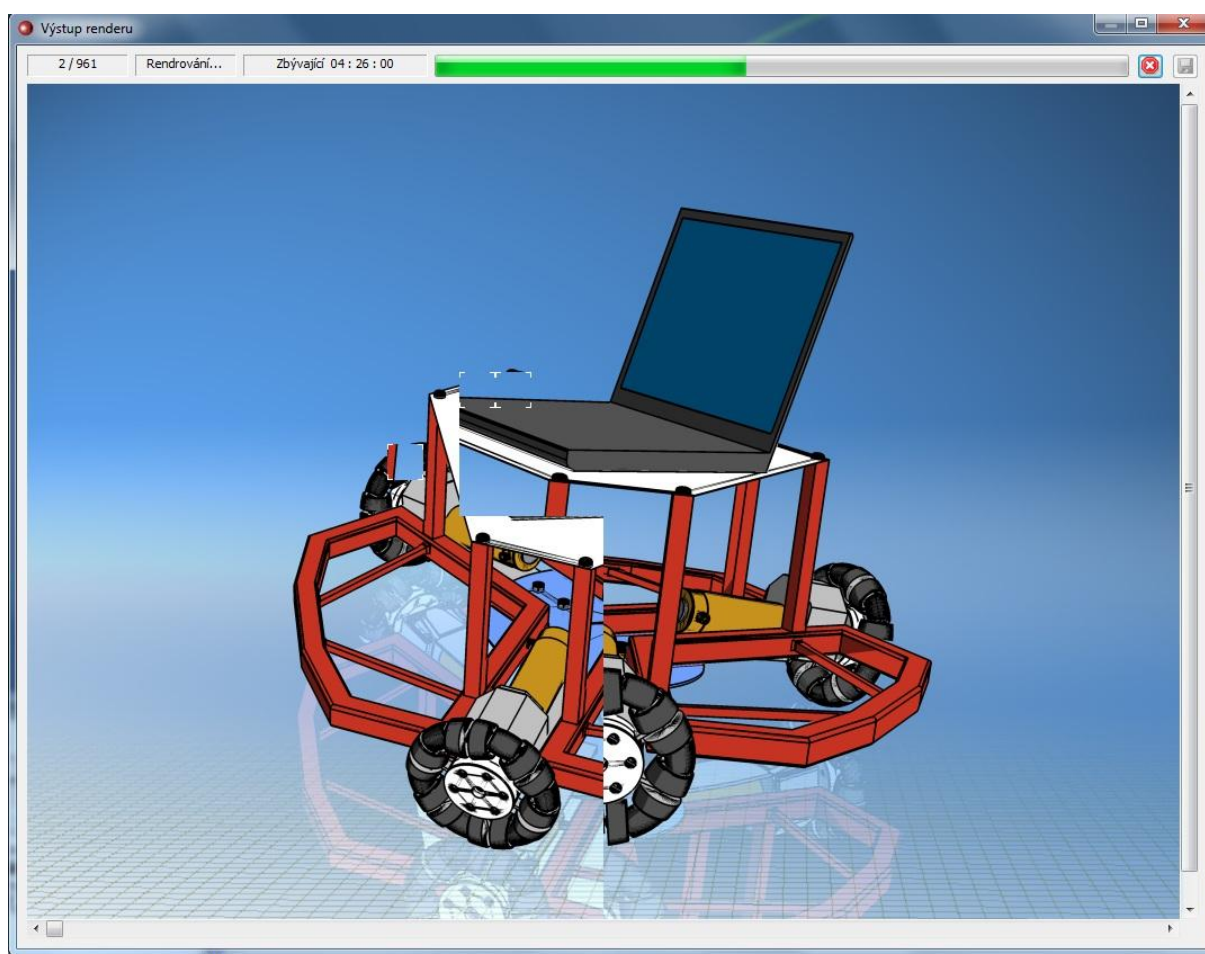
Po převedení do Inventor Studio byl proveden příkaz animovat kameru. Zde je vybráno tlačítko Definice, které nastaví, jak se má pohybovat kamera. Dále byla vybrána vytvořená trajektorie. Ještě se nastaví vzdálenost kamery od objektu a natočení kamery. (nastavení kamery je zobrazeno na Obrázku 29)



Obrázek 29: Nastavení kamery v Inventor Studio.

U pohybu je třeba dát ještě pozor, aby kamera svou trajektorií neprorazila odrazivou rovinu XY o který je robot „opřený“. Pokud by se tak stalo, model se v době proražení ztratí z obrazu a výsledná simulace je tímto způsobem poškozena. Proražení odrazivé roviny je indikováno zeleným křížkem, ale protože je i trajektorie zelená, je tento křížek lehce přehlédnutelný.

Pro výsledné renderování videa, je zapotřebí nastavit kvalitu vyhlazování, počet snímku a kompresi videa. Všechny ostatní parametry jsou přebrány z renderování obrázku. Po spuštění renderování vyskočí okno s časovým ukazatelem, kde je odpočítávána doba trvání do konce probíhajícího renderování (viz. Obrázek 30). Aplikace využívá pouze výkon CPU, s více jádrovým CPU tedy běží renderování rychleji. Při použití čtyřjádrového CPU přesto doba renderování 30 sekundového videa při vyšším vyhlazování a „ilustrativním“ renderu, trvá přes 4 hodiny a zabírá 512 MB prostoru. Na nejvyšší kvalitu při použití 60 snímků za vteřinu a bez komprese zabere renderování okolo 42 hodin. Výsledek renderování je přibalen na DVD nosiči u této bakalářské práce.



Obrázek 30: Průběh renderování.

6 Závěr:

Tématem bakalářské práce bylo modelování robotu v softwaru Autodesk Inventor, toho se podařilo dosáhnout i přes některá úskalí daného software.

Kompletní model tříosého robota se všesměrovými koly se skládá okolo 600 dílů a několika stovek vazeb, které se mi podařilo správně složit a animovat. Nejsložitější bylo modelování všesměrového kola, které bylo komplikované z neznalosti velikosti všech rozměrů dílčích součástí. Byl znám pouze jejich tvar a jejich spojení. Přesto výsledný model dokazuje přesnost celého modelování, když se podařilo celého robota správně sestavit i dynamicky rozpohybovat bez rozpadání podsestav. Nakonec byl celý pohyb nahrán a robot nasvícen pro vytvoření technické prezentace.

Dále byly komplexně popsány podvozky mobilních robotů, které dávají prostor k dalšímu zkoumání a modelování různých druhů konstrukcí. Autodesk Inventor by mohl být vylepšen lepším renderovacím softwarem, přestože Inventor není v první řadě animační studio. Software by mohl být upravený tak, kdyby převedl část výpočtových procesů z procesoru na grafický akcelerační, tím by snížil dlouhý renderovací čas animací. Na druhou stranu, pro modelování a skládání jednoduchých a trochu pokročilejších součástí je Inventor velice uživatelsky přívětivý. I vytvořené animace jsou dobře přehledné. Avšak mám obavy o použití a využití všech dostupných prostředí tohoto softwaru u sestav přesahující tisíce dílců a správné funkčnosti programu. Pořád ale Inventor sází na uživatelsky přívětivé prostředí.

7 Seznam obrázků:

Obrázek 1: Automobilky díky stacionárním robotům vyrábí až tisíce aut denně [16]	7
Obrázek 2: Přehled základních mobilních robotů	8
Obrázek 3: Kružnice se nam protínají v bodě rotace[17]	10
Obrázek 4: Diferenciální podvozek s krokovými motory [18]	10
Obrázek 5: Znázornění synchronního podvozku pomocí stavebnice LEGA[19].	11
Obrázek 6: podvozek vysávacího robotu iRobot Dirt Dog.[20]	11
Obrázek 7:Přehled různých směrových kol[12]	12
Obrázek 8: iRobot 510 Pack Bot pro zneškodňování bomb. [13].....	13
Obrázek 9: Přehled dvounohých robotů vyvinutých společností HONDA[14]	13
Obrázek 10: Plazivý robot ve tvaru hada plovoucí na hladině.[15]	14
Obrázek 11: AQUA robot [7]	15
Obrázek 12: Plavající roboty (Aqua Jelly) ve tvaru medúz. [8]	15
Obrázek 13: AirPenguin. Létající robot ve tvaru tučňáka.[9].....	16
Obrázek 14: Načítací logo pro Inventor professional 2009	17
Obrázek 15: Režim náčrtu	19
Obrázek 16: Vymodelovaná nakloněná hřídel.....	20
Obrázek 17: Řez vymodelovaného všesměrového kola	21
Obrázek 18: Kompletní vymodelovaný robot.....	22
Obrázek 19: Přehled rozhraní pro pevnostní analýzu.....	22
Obrázek 20: Výběr materiálů pro pevnostní analýzy.	23
Obrázek 21: Vygenerovaná síť. Vlevo nahoře je vidět počet prvků a uzlů, které sestava obsahuje.	24
Obrázek 22: Výsledek modální analýzy.	25
Obrázek 23: Výsledek pevnostní analýzy.	26
Obrázek 24: Ukázka animačního prostředí pro Inventor Studio.....	27
Obrázek 25:Výsledek ilustračního renderování.	28
Obrázek 26: Výsledek realistického renderování.....	29
Obrázek 27: Okno časové animace.	29
Obrázek 28: Ukázka nakreslené 3D křivky, později použita pro trajektorii kamery.	30
Obrázek 29: Nastavení kamery v Inventor Studio.	31
Obrázek 30: Průběh renderování.	32

8 Použítá literatura:

- [1] ŠOLC, František; ŽALUD, Luděk. *Robotika*. VUT v Brně : [s.n.], 1.11.2006. 144 s.
- [2] ORSÁG, Filip. *Robotika : Studijní opora*. VUT v Brně : [s.n.], 8.1.2006. 131 s.
- [3] VÉVODA, Antonín. *Porovnání moderních 3D CAD programů*. BRNO, 2009. 49 s. Bakalářská práce. VUT, Fakulta strojního inženýrství.
- [4] KÁRNÍK, Ladislav. *MODELOVÁNÍ A ANALÝZA SERVISNÍCH ROBOTŮ : Generace, klasifikace a rozdělení mobilních robotů* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2005 [cit. 2010-05-27]. Dostupné z WWW: <http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/interest13.htm>.
- [5] KÁRNÍK, Ladislav. *MODELOVÁNÍ A ANALÝZA SERVISNÍCH ROBOTŮ : Kráčející roboty* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2005 [cit. 2010-05-27]. Dostupné z WWW: <http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/interest131.htm>.
- [6] KÁRNÍK, Ladislav. *MODELOVÁNÍ A ANALÝZA SERVISNÍCH ROBOTŮ : Létající roboty* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2005 [cit. 2010-05-27]. Dostupné z WWW: <http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/interest1311111.htm>.
- [7] KÁRNÍK, Ladislav. *MODELOVÁNÍ A ANALÝZA SERVISNÍCH ROBOTŮ : MOBILNÍ ROBOTY PRO VYUŽITÍ POD VODOU* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2005 [cit. 2010-05-27]. Dostupné z WWW: <http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/interest1111.htm>.
- [8] CHARISIUS, Christian. WEEK IN PHOTOS : Robot Jellyfish. *NATIONAL GEOGRAPHIC* [online]. 22.4.2008, na, [cit. 2010-05-27]. Dostupný z WWW: <<http://news.nationalgeographic.com/news/2008/04/photogalleries/wip-week78/index.html>>.
- [9] *Www.domesro.com* [online]. 23.6.2009 [cit. 2010-05-27]. Dreamland For Domestic Robot Geeks. Dostupné z WWW: <<http://www.domesro.com/2009/06/dreamland-for-domestic-robot-geeks.html>>.
- [10] *Www.xanadu.cz* : *Který Inventor je pro mne?* [online]. 23.6.2009 [cit. 2010-05-27]. Autodesk Inventor. Dostupné z WWW: <<http://www.xanadu.cz/inventor>>.
- [11] *Www.ocrobotics.com* [online]. 2010 [cit. 2010-05-27]. Applications. Dostupné z WWW: <<http://www.ocrobotics.com/applications/default.htm>>.
- [12] *Www.omnixtechnology.com* [online]. 2008 [cit. 2010-05-27]. Omni-Directional Wheels. Dostupné z WWW: <http://www.omnixtechnology.com/direct_components.html>.
- [13] *Www.irobot.com* : *IROBOT 510 PACKBOT* [online]. 2010 [cit. 2010-05-27]. GROUND ROBOTS. Dostupné z WWW: <http://www.irobot.com/gi/ground/510_PackBot>.
- [14] *Www.tiim.info* : *Brief History of Robotics* [online]. 2010 [cit. 2010-05-27]. Background Research. Dostupné z WWW: <http://www.tiim.info/the_nxt_project/web/background_research.php>.

- [15] PAREKH, Alan. *Hackedgadgets.com* [online]. 2006 [cit. 2010-05-27]. Swimming Snake Robot. Dostupné z WWW: <<http://hackedgadgets.com/2006/03/13/swimming-snake-robot-acm-r5/>>.
- [16] ABB. *Www.abb.com* [online]. 2010 [cit. 2010-05-27]. ABB robot IRB 6400. Dostupné z WWW: <<http://www.abb.com/cawp/seitp202/5c32783f3b598c29c125759800301eef.aspx>>.
- [17] *Www.diracdelta.co.uk* [online]. 2001 [cit. 2010-05-27]. Ackermann Steering. Dostupné z WWW: <<http://www.diracdelta.co.uk/science/source/a/c/ackermann%20steering/source.html>>.
- [18] *Www.kadtronix.com* [online]. 2010 [cit. 2010-05-27]. Heavy-Duty Motorized Frames. Dostupné z WWW: <<http://www.kadtronix.com/robotframe.htm>>.
- [19] *Www.sawyourad.com* [online]. 2010 [cit. 2010-05-27]. Tehnobotts - Robot. Dostupné z WWW: <<http://www.sawyourad.com/tehnobotts/robot/previous.shtml>>.
- [20] *Www.girr.org* [online]. 2006, 2010 [cit. 2010-05-28]. Roomba. Dostupné z WWW: <http://www.girr.org/random_stuff/roomba.html#500series>.

9 Seznam příloh:

Přiložené DVD obsahuje :

1. Bakalářská práce ve formátu pdf.
2. Vymodelovaný robot
3. Animace modální a statické analýzy
4. Prezentační animace
5. Výkresová dokumentace vybraných součástí