

Česká zemědělská univerzita v Praze

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2008

Jan MOŠTĚK

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Model pout'ové atrakce s horizontálním
pohybem**

bakalářská práce

vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Vladimír Šleger, CSc.

Autor práce: Jan Moštěk

Praha 2008

Vysoká škola: Česká zemědělská univerzita v Praze	Fakulta: technická
Katedra: mechaniky a strojnictví	Akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Jan Moštěk**

Studijní obor: Technologická zařízení staveb

Studijní zaměření:

Název práce: Model pouťové atrakce s horizontálním pohybem

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: Vytvoření modelu pouťové atrakce, na kterém by bylo možné simulovat pohyb, určovat kinematické parametry různých částí atrakce a silové účinky ve vazbách mezi prvky konstrukce.

Osnova práce:

1. Pouťové atrakce z technického hlediska.
2. Nástroje pro vytváření pohyblivých modelů.
3. Sestavení modelu konkrétní části atrakce.
4. Kinematická a dynamická analýza.
5. Dimenzování vybraného prvku konstrukce.
6. Hodnocení výsledků.

Metodika práce:

- vypracovat literární rešerši
- vybrat konkrétní zařízení
- vymodelovat atrakci pomocí zvoleného programu
- určit silové účinky působící na vybraný prvek
- provést kontrolní výpočet
- porovnat získané výsledky se skutečností

Rozsah práce: 30 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Seznam doporučené odborné literatury:

- OMURA, G. 1999. AutoCAD 2000. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 1999, 935 s.
Dynamic Designer Motion and Motion Lite Users Guide. 1999. 3. vyd. Ann Arbor:
Mechanical Dynamics, 1999, 328 s.
JULIŠ, K., BREPTA, R. a kol. 1986. Mechanika I. díl Statika a kinematika. 1. vyd.
Praha: SNTL, 1986, 480 s.
JULIŠ, K., BREPTA, R. a kol. 1987. Mechanika II. díl Dynamika. 1. vyd. Praha: SNTL,
1987, 688 s.
ZACHARIÁŠ, L. 2005. Části strojů. 1. vyd. Praha: ČZU, 2005, 345 s.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vladimír Šleger, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 8. 12. 2006

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. 4. 2008



prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

vedoucí katedry

prof. Ing. Jiří Klíma, CSc.

děkan

V Praze dne 26.1.2007

Čestné prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Doc. Ing. Vladimíra Šlegera, CSc. Vycházel jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a doporučené literatury uvedené v seznamu

V Praze dne:

.....

Podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu Doc. Ing. Vladimíru Šlegerovi, CSc. za odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce a za odbornou konzultaci a informace.

Abstrakt: cílem práce je ve vybraném programu vymodelovat část pouťové atrakce, kde nás zejména bude zajímat čepové spojení gondoly s nosným ramenem. Pomocí programu Mechanical Desktop s nástavbou Dynamic Designer vytvořit simulaci pohybu. Výstup na základě simulace pohybu jsou silové účinky na modelované součásti. Jelikož modelovaná součást je ve skutečnosti v praxi používaná, porovnáme naše výstupy a výpočet na základě jejich velikostí se skutečnou velikostí čepu a tím potvrdíme nebo vyvrátíme bezpečnost mechanismu.

Klíčová slova: silový účinek, čep, zatížení

Theme park ride model with horizontal movement

Summary: The purpose of this bachelor thesis is to model theme park ride. This model will be used to calculate forces among a rod a car. For this purpose I'm going to use Mechanical desktop with Dynamical designer for simulation and calculation of the movement. Results of this process are maximum reaction forces among the rod and ride's car. This design is already being used so we are going to compare our results with actual mechanism and set the amount of safety.

Key words: action of a force, a rod, construction load

OBSAH

1. Úvod	9
2. Poutňové atrakce	10
2.1. Obecně o atrakcích.....	10
2.2. Break Dance	11
3. Nástroje pro vytváření pohyblivých modelů	12
3.1. Modelování	12
3.1.1. AutoCAD.....	12
3.1.2. AutoCAD Mechanical.....	13
3.1.3. 3Dstudio Max.....	14
3.2. Pohyb	14
3.3. Dynamika pohybu.....	15
4. Sestavení modelu gondoly	15
4.1. Podklady pro tvorbu.....	15
4.2. 2D výkresy.....	16
4.3. 3D výkresy.....	16
4.3.1. Modelování v AutoCADu.....	16
4.3.2. Modelování v 3DStudios Max.....	18
4.4. Kompletace.....	20
5. Kinematická a dynamická analýza	21
5.1. Sestava	21
5.2. Vazby mezi jednotlivými prvky.....	22
5.3. Pohyb	23
5.4. Výsledky silových účinků.....	25
6. Dimenzování vybraného prvku konstrukce	25
6.1. Pevnostní výpočet.....	25
7. Hodnocení výsledků	26
8. Závěr	27
9. Použitá literatura	28

1. Úvod

Výpočty pevností mají historii jako výpočty samy o sobě. Zprvu se člověk ve stavbách nechával inspirovat přírodou a hledal v ní jakási pravidla, která nejlépe popíší jednotlivé konstrukční prvky. Pak se snažil rozvinout nalezená pravidla a metody výpočtů k dokonalosti, aby mohl stále efektivněji a bezpečněji vytvářet konstrukce. Dnes s pomocí nejmodernějších technologií jsou tendence vracet se zpět a hledat dokonalost konstrukčních tvarů v přírodě a tím zajistit minimální náklady na konstrukci s extrémní pevností.

Modelování v 3D programech je v současné době ve velikém rozvoji. Existují mnohé programy pro tvorbu 3D modelů, každý je specifický. Rozlišují se zejména sekundárním využitím. Některé zobrazení je, pro grafické účely, snaha vytvořit pro oko co nejrealističtější. Jiné jsou specifické tím, že dokáží s modelem dále pracovat, přiřazovat mu vlastnosti a na jejich základě vytvářet další výpočty. Ku příkladu jsou to pevnostní výpočty, výpočty proudění kapalin a další. Pro náš model jsem použil programů Autodesk AutoCAD 2005, Autodesk AutoCAD 2000, Autodesk 3DStudio Max 2008 pro vytvoření věrohodného modelu a dále programu Autodesk Mechanical 2002 s nástavbou Dynamic Designer pro kompletaci modelu, pro jeho rozpohybování a výpočty sil a silových dvojic působících na model.

Pomocí získaných dat je dále potřeba vypočítat pevnostním výpočtem velikosti konstrukčních částí. Toto je podle mě jediná nevýhoda hlavně z toho důvodu, že velice přesná data dosažená simulací znehodnotíme poměrně zastaralou metodou pevnostního výpočtu. Pro přesnější výpočty existují programy s takzvanou metodou konečných prvků například Catia V5R18. Tento způsob výpočtu je sice daleko přesnější, ale na druhou stranu je mnohem složitější tvorba modelů a vazeb v závislosti na metodě konečných prvků. Výhodou je také možnost reagovat na výsledné hodnoty okamžitými změnami modelu.

2. Pouťové atrakce

2.1. Obecně o atrakcích

Atrakce v zábavních parcích jsou, jako všechny ostatní odvětví lidské produkce, unášeny nejnovějšími technologiemi. Konstrukteři se snaží postavit o trochu vyšší, prudší, rychlejší horskou dráhu a tak připoutat oko lidí. Hlavní rozdělení mechanických herních atrakcí je na tzv. rollercoastery (horské dráhy), ferris wheel (ruské kolo), kolotoče různých druhů ať s horizontální osou, tak s vertikální. Kolotoče se pak různě kombinují s dalšími mechanizmy, které doplňují prostý točivý pohyb a další točivý, posuvný či kombinovaný pohyb tak, aby byl pohyb atraktivnější. Potom existují další skupiny systémů, které jsou spíše originální v konstrukci a druhu zážitku zprostředkovaného zákazníkovi jako jsou například atrakce, které vystřelují lidi vzhůru do prostoru, kde mu dopřejí chvilkový volný pád. Druhů mechanických atrakcí jsou spousty, stále se vymýšlí nové a nové, mechanicky složitější nabízející lidskému mozku stále přesvědčivější simulace různých lidských činností.

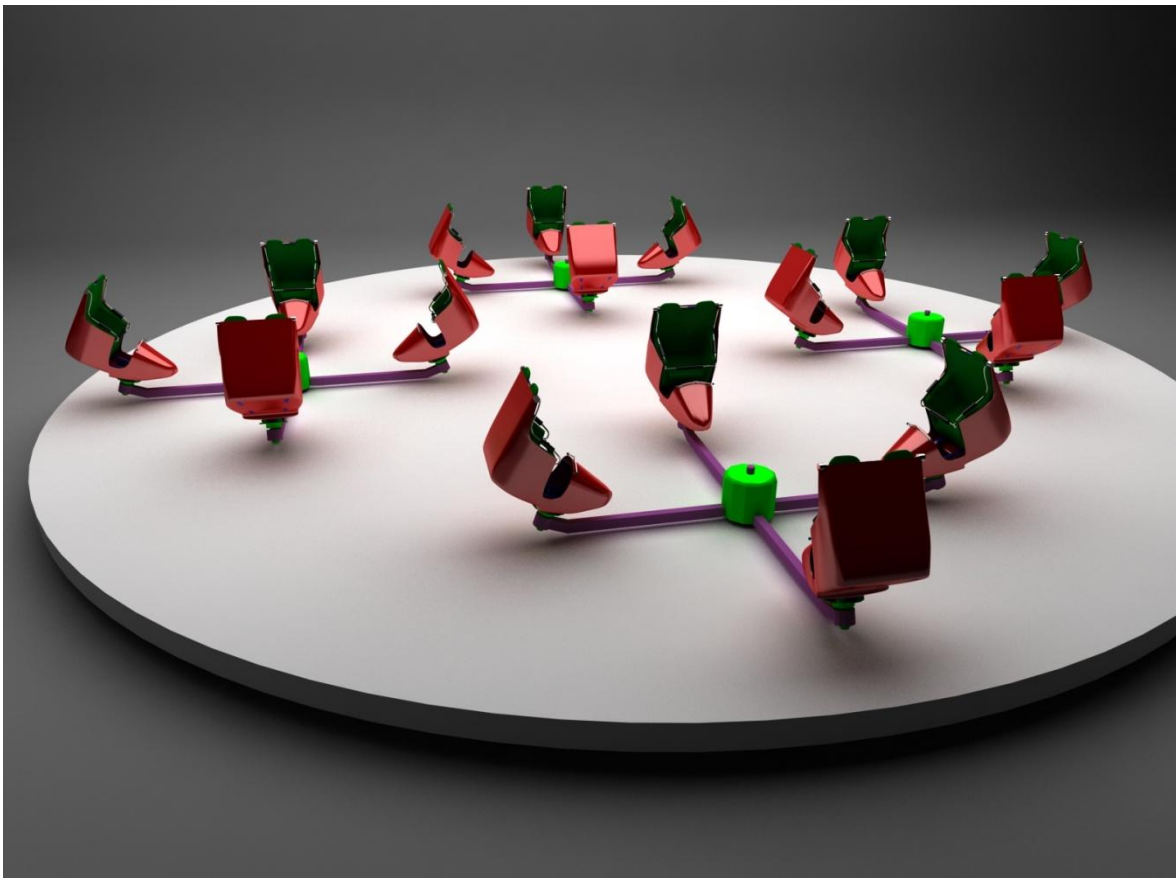
Bezpečnost nebyla vždy na prvním místě při konstrukci atrakcí. První horské dráhy navozovaly adrenalinové zážitky spíše svou nebezpečností než důmyslností. V současné době je tomu samozřejmě jinak. Chod všech prvků je neustále kontrolován, snadno opotřebovatelné součásti jsou pravidelně měněné a servis dodržován. Tuto práci dělám na základě havárie Pouťové atrakce Breakdance, kdy se při chodu zlomil čep držící gondolu. Je na mě, abych posoudil vhodnost řešení konstrukce rozbité atrakce a popřípadě navrhnout jiné řešení, zjistí-li se, že byla konstrukce nesprávně navržena.

Zjistil jsem, že tato situace není vůbec raritou. Nehody na pouťových atrakcích se dějí velice často. Pro příklad podobná nehoda se stala 8. Zářím 2007 v Holandsku, kde se z podobné atrakce jako je náš Breakdance utrhl gondola. Těchto z pravidla tragických nehod se děje velice mnoho a jsou většinou způsobeny nedbalou obsluhou, špatnou instalací, servisem či nesprávným používáním. Nedbalý přístup provozovatelů atrakcí je pak v některých případech fatální.

Zdroj:<http://www.rideaccidents.com/>

2.2. Break Dance

Break dance je atrakce která je tvořena rameny poháněnými elektrickými motory. Na koncích ramen jsou další ramena, která nesou gondoly. Gondoly jsou zavěšené na čepech, nejsou poháněné. Jejich pohyb je závislý na pohybu ramen. Pohyb základních ramen je po směru hodinových ručiček. Pohyb vedlejších ramen je v opačném směru s vyššími otáčkami. Směr a poměr rychlostí je naprosto zásadní pro pohyb gondol. Jelikož se silové účinky obou ramen sčítají, na gondolu působí jejich součet a gravitace. Pro názornost je zde zobrazení vedlejších ramen, které drží gondoly. Hlavní ramena pak jsou, jako je to ve skutečnosti, schovaná. Zde je plechová plocha, která zakrývá hlavní nosná ramena, zobrazená šedým válcem umístěným přímo pod vedlejšími rameny.



celkový pohled na pouťovou atrakci Break Dance



fotografie Poutové atrakce Break Dance

3. Nástroje pro vytváření pohyblivých modelů

3.1. Modelování

K modelování slouží tzv. CAD systémy (computer aided design). Modeluje se pomocí definování křivek, které popisují tvary těles. Způsob definování křivek je pak pro každý systém nebo styl specifické. V následujících bodech bych chtěl uvést příklady modelování v několika systémech, které jsem sám pro práci použil. Každý z programů je svým způsobem vhodný pro jiný druh modelování

3.1.1. AutoCAD

Práce s tímto programem je určena speciálně pro kresbu 2D technických výkresů. Přídavek základních funkcí, které vytváří z 2D výkresu 3D výkres byly spíše jakýmsi nadstandardem. Je sice pravda, že AutoCAD je, a to zejména poslední verze 2008, již v oblasti 3D kresby poměrně na úrovni, ale jelikož jeho úkol je v podstatě zcela jinde, nedrží krok s těmi programy, které pro 3D kresbu

byly vytvořené a jejich vývoj se plně soustředil na 3D modifikace a nástroje s tím související. AutoCAD tímto nijak nechci osočit, jeho úloha je prostě jiná a na to co je určen je v oboru nejlepším produktem na trhu.

Ve své práci jsem ho využíval přesto jak na 2D tak na 3D kresbu. První část tvorby vlastně spočívala v kresbě 2D výkresu, který byl jakýmsi modelem pro tvorbu 3D obrazu. Ve 2D kresbě se definují přímky vektorem a bodem kterým prochází, úsečky pak vektorem a dvěma body, kružnice středem a poloměrem etc. Jde o přesné kreslení, zadané hodnoty se ničím nezkreslují, neaproximují a tím jsem schopni dodržet přesné rozměry. Jsou totiž, a to speciálně v 3D kresbě různé metody, které sice jsou velice přesné, ale díky metodám vyhlazování nepravidelných povrchů získáváme křivky, které vlastně neumíme přesně definovat, a tudíž se o jejich správnosti nemůžeme ani přesvědčit. AutoCAD byl tedy největším přínosem zejména v tvorbě 2D výkresů a jednoduchých těles, které vycházely ze základních tvarů, potažmo z tvarů 2D objektů orotovaných okolo definované osy. Konkrétně tedy v mém modelu je AutoCADem tvořena základní konstrukce gondoly (ve skutečnosti svarek z profilů s obdélníkovým řezem, rameno nosící gondolu, čep, který gondolu drží, usazení čepu na obou stranách. Prvky gondoly, jako je například kapotáž, jsou však velice složité tvary a jejich tvorba by v AutoCADu byla velice zdlouhavá.

3.1.2. AutoCAD Mechanical

Již z názvu je patrné, že AutoCAD Mechanical bude na tvorbu mechanických sestav. Tvorba v tomto programu je velice úzce spjata se samotnou tvorbou AutoCADu jako takového. Díky nástavbě Mechanical je však program vybaven různými nástroji, které začínají vnímat křivky jako samostatné objekty, přiřazovat jim vlastnosti. Mechanical je tedy pro tvorbu objektů rámcově podobný AutoCADu, je doplněn o další 3D funkce, které zaštiťují pohodlnější práci s modelováním a funkcemi zajišťujícími další pracování s modelem jakožto se strojní součástí nikoli jako z virtuální drátovou sítí.

Mechanical jsem pro práci nevyužil k modelování. Tento program jsem však používal k sestavení jednotlivých součástí celého stroje, tak abych mu mohl přiřknout fyzikální a mechanické vlastnosti a dále s celou sestavou pracovat.

3.1.3. 3DStudio Max

Velice specifický program, který je často strojaři považován za „kreslící“ program určený zejména ke grafickým účelům mi posloužil jako nástroj k vymodelování gondoly, která by jinak byla jen velice obtížně tvarovatelná v AutoCADu. K její tvorbě jsem použil techniku zvanou polymodeling, kterou se pokusím jen stručně popsat. Pomocí přesně specifikovaných bodů vytvoříme síť bodů. Tyto body jsou, stejně jako v AutoCADu, přesně umístěné v místech kde mají být, dohromady vytváří 3D plochu, která ve vrcholech přesně odpovídá našemu modelu, ovšem použijeme-li některý z vyhlazovacích modifikátorů, tak se jednotlivé plošky (z pravidla čtverce) přemění na křivky tak, aby celá plocha měla co nejhladší povrch. Různé modifikátory tyto operace dělají různými aproximacemi, jde však pokaždé ve výsledku o totéž. Tímto způsobem se vytvoří nepravidelná plocha, dalším modifikátorem se vytvoří tloušťka plochy a celý objekt je velice jednoduše připraven pro další zpracování.

Tento program je vytvořen stejnou firmou jako je AouCAD, tedy firmou Autodesk a je tedy bezproblémový přechod z jednoho programu do druhého. Systémy své formáty umí přeložit do jiných a tak promptně komunikovat.

3.2. Pohyb

S vyhotoveným 3D modelem se dále zajímáme o konverzi všech modelů do formátu *.dwg, jelikož jsme použili 3DStudio k tvorbě části našeho modelu. Celý model jsem sestavil v AutoCADu, abych mohl uložit ve formátu *.dwg 2000, protože AutoCAD Mechanical, který jsem se rozhodl použít je vydán v tomto roce. Je to zejména kvůli nástavbě Dynamic Designer, kterou budeme používat k výpočtům silových účinků. Dynamic designer pro vyšší verze nebylo možno sehnat

Celkový model sestavený v AutoCAD Mechanicalu je v následných krocích potřeba převést na prvky, které budou následně považovány Dynamic Designerem za jednotlivé strojní části. Tato strojní část je považovaná za pevnou a neohebnou součást. Může být složena z více objektů. Po definování součástí se objekty nespojí dohromady, ale jsou považovány za celek. Dynamic Designeru tímto definováním dáme pokyn k vytvoření jakési složky s informacemi týkajících

se objektu a k výpočtu těžiště. To je v podstatě zástupce objektu při výpočtech. Program neuvažuje poté pohyb celého tělesa, ale pouze pohyb jednotlivých těžišť.

3.3. Dynamika pohybu

S nástavbou Dynamic Designer jsme dosud vytvořily jednotlivá tělesa, která se budou pohybovat. Dále je potřeba definovat, které z objektů budou „frame“ tedy rám a které budou v rámu pohyblivé. Pro pohyb je nutné určit vazby mezi tělesy, které definují druhy pohybu, které bude těleso schopné provozovat. Dále vazby určují v jakém rozmezí bude, resp. nebude těleso pohyblivé.

Vazby, které jsou na modelu použité, jsou rotační. Rotační vazba zaručí pohyb tělesa okolo definované osy. Bod na ose pak definuje, ve kterém místě se přesně jednotlivé objekty budou potkávat na ose pohybu a tím zaručí nehybnost ve směru osy rotace. Toto je prakticky jediný druh vazby použitý na model. Vazba je na modelu pro výpočet silových účinků na čep gondoly umístěna třikrát. Jejich popis je v bodu 5.2 do detailu rozepsaný.

Samotná dynamika je vypočtena automaticky počítačem po definování pohybu. Popis analýzy je v bodě 5. krok za krokem.

4. Sestavení modelu gondoly

Následující část práce se bude zabírat sestavením modelu gondoly postupně od tvorby podkladů, až po celkový model. Nejdůležitější pro hodnověrný výsledek jsou kvalitní podklady obsahující maximální množství rozměrových vlastností skutečné atrakce. Tyto informace je nutno dále zpracovat.

4.1. Podklady pro tvorbu

Zadání pro takovýto výpočet by měl být technický popis atrakce s důkladnou fotografickou dokumentací. Další podklady je nutno pro práci vytvořit. Při tvorbě dalších podkladů je zejména nutné dodržet maximální přesnosti, aby byly výsledky ve skutečnosti co nejvěrohodnější. AutoCADový výkres řezů atrakce je v souvislosti s další tvorbou velice vhodný. Součástí je na základě technického popisu nutné narysovat

4.2. 2D výkresy

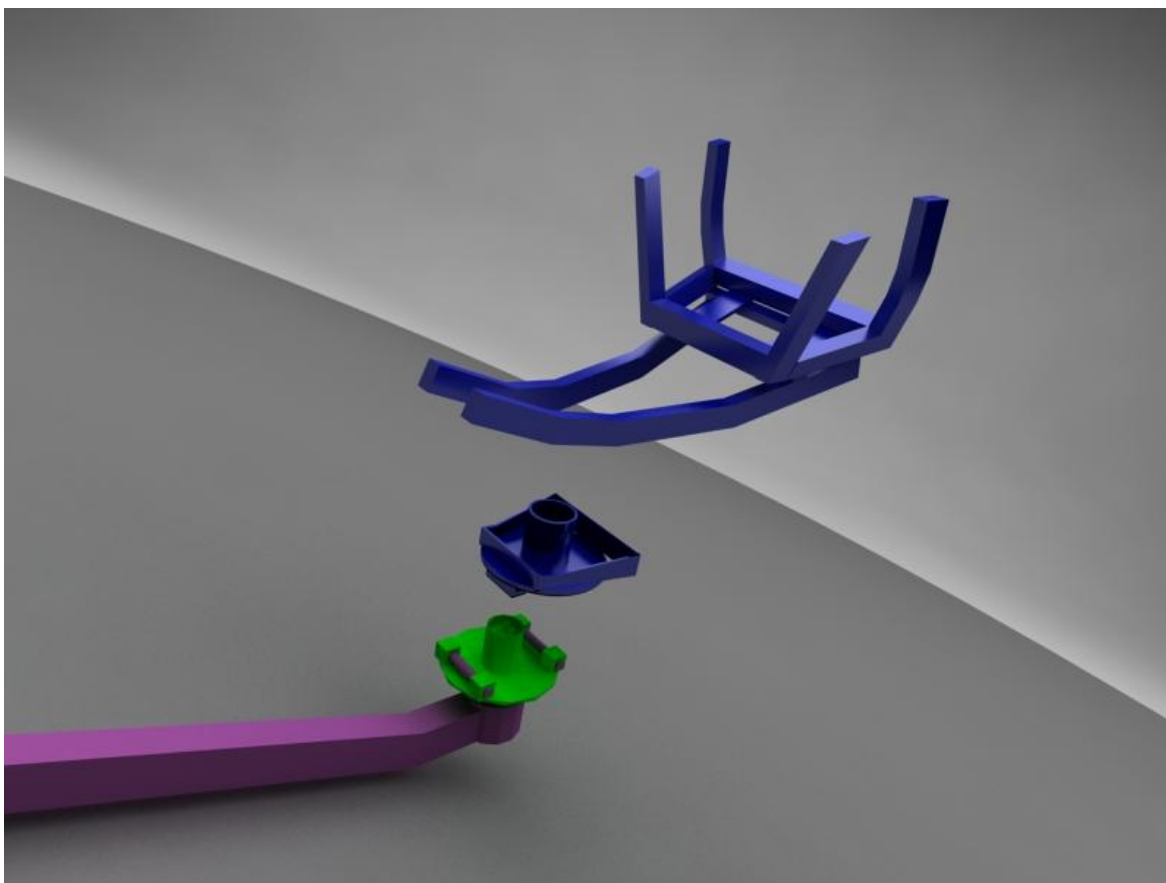
Výkresy řezů, tedy 2D výkresy je možno dělat mnoha způsoby. Existuje množství programů pracujících s vektorovou grafikou. Dokonce některé programy, které byly v minulosti považované za čistě bitmapové programy se v současnosti, aby nabídly zákazníkovi širší pole působnosti, pokouší zapojit vektorové prvky do spektra tvorby. V našem případě je volba jednoduchá. Budeme-li pracovat s 3D modelem v AutoCAD Mechanicalu, budeme pro tvorbu 3D objektů určitě používat programy od firmy Autodesk z hlediska kompatibility. Jak jsem již zmínil, budou to programy AutoCAD a 3DStudio. Je pak logické použití i AutoCADu pro tvorbu 2D výkresů.

4.3. 3D výkresy

Kresbu 3D modelu, jak jsem již uvedl, jsem tvořil ve dvou programech speciálně z důvodů vhodnosti programu pro danou část modelu. Jako první jsem kreslil drak konstrukce, čep, usazení čepu v AutoCADu. Dále pak následovala karoserie gondoly modelovaná v 3DStudios společně s dalšími detaily. Jednotlivé části budou znázorněny v další části. K zobrazení jsem využil renderovací program V-ray jakožto nastavbu 3Dstudia Max.

4.3.1. AutoCAD

Nejjednodušší tvary se do 3D podoby tvoří jednoduše. AutoCAD disponuje funkcí „extrude“ která 2D objektu přidá tloušťku a tím tedy třetí rozměr. Toto je speciálně vhodné pro kvádry, válce a další složitější deskovité tvary.



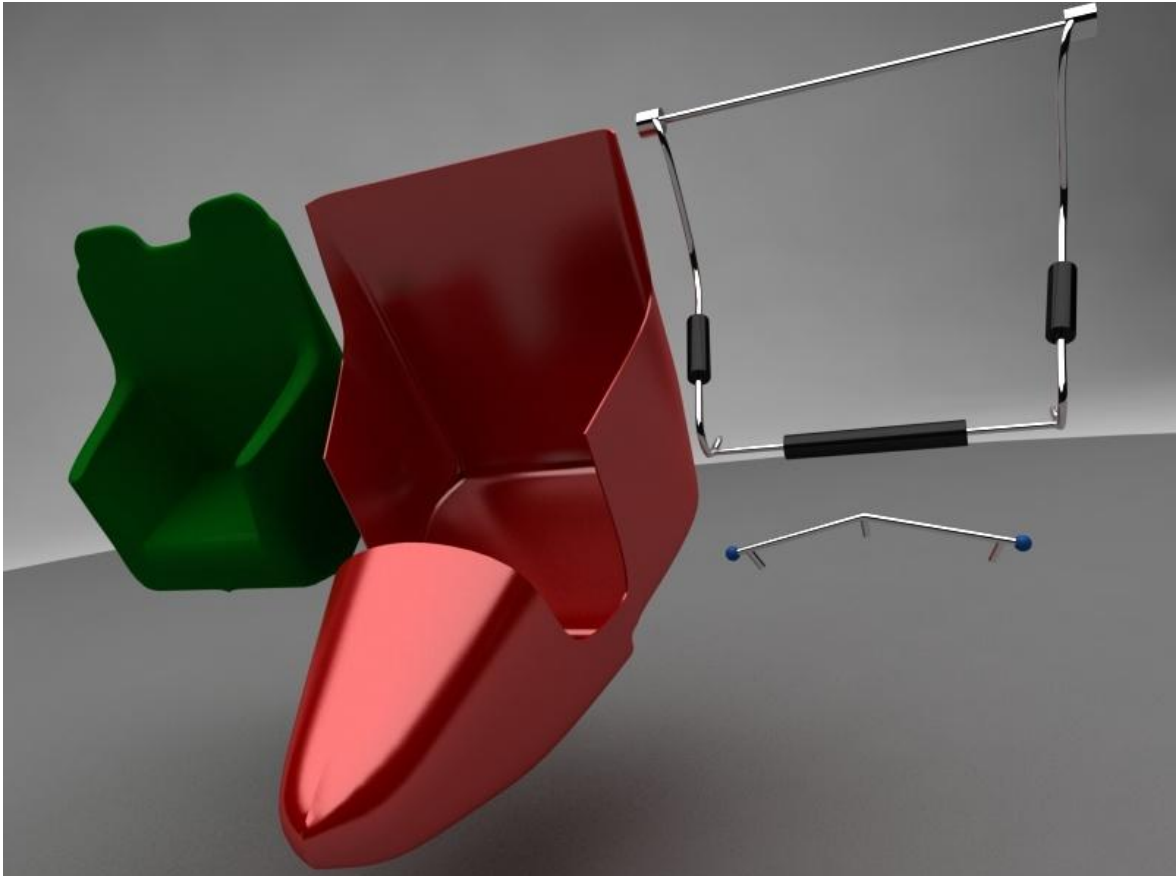
Zobrazení jednotlivých částí kreslených v AutoCADu

Zde je na obrázku vidět Rozložená sestava prvků kreslená v AutoCADu. Je to tedy konstrukce rámu celé gondoly, usazení pro čep gondoly, usazení pro čep ramene, samotný čep a další dva čepy, které drží pouzdro na rámu.

Vymodelované a sestavené prvky jsou takto hotové. V dalším bodu se pokusím osvětlit techniku kresby prvků v 3DStudios. Ta doplní model o zbývající části. Poté jej bude moci zkompletovat a dále s ním pracovat. Pro další práce jsem soubory pro kompletní ukládal v univerzálním Autodesk formátu *.dwg.

4.3.2. Modelování v 3DStudio Max

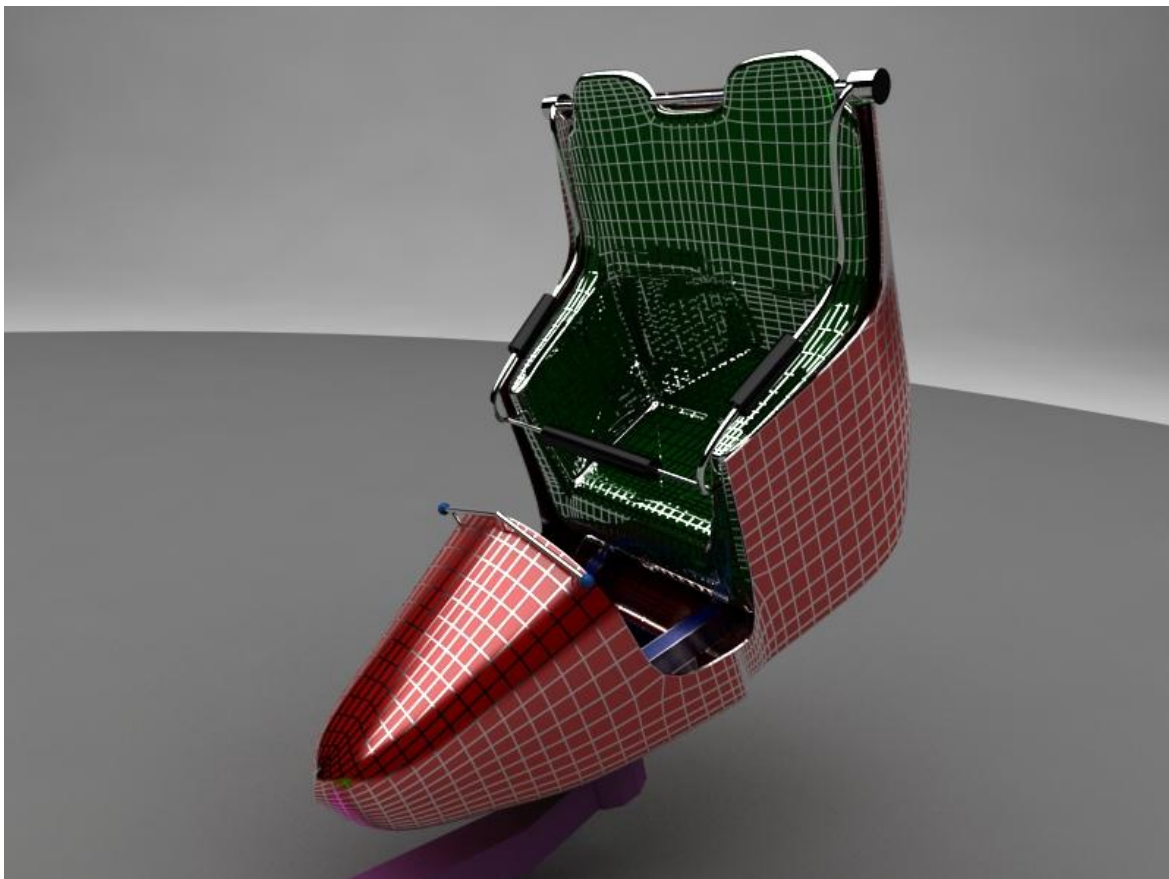
Standardně pracuje program 3DStudio s formátem *.3ds, importovat umí hned několik formátů, ale nejjednodušší je využívat již zmíněný formát *.dwg. Jako tak zvané reference pro tvorbu 3D kapoty gondoly jsem využil právě 2D výkresy vytvořené v jednom z předchozích kroků.



Zobrazení částí tvořených v programu 3DStudio

Zde je na vizualizaci vidět souhrn částí tvořených v programu 3DStudio. Je to zleva: zelená vnitřní sedačka, červená kastle gondoly a vpravo je chromová konstrukce sloužící k bezpečnostním účelům.

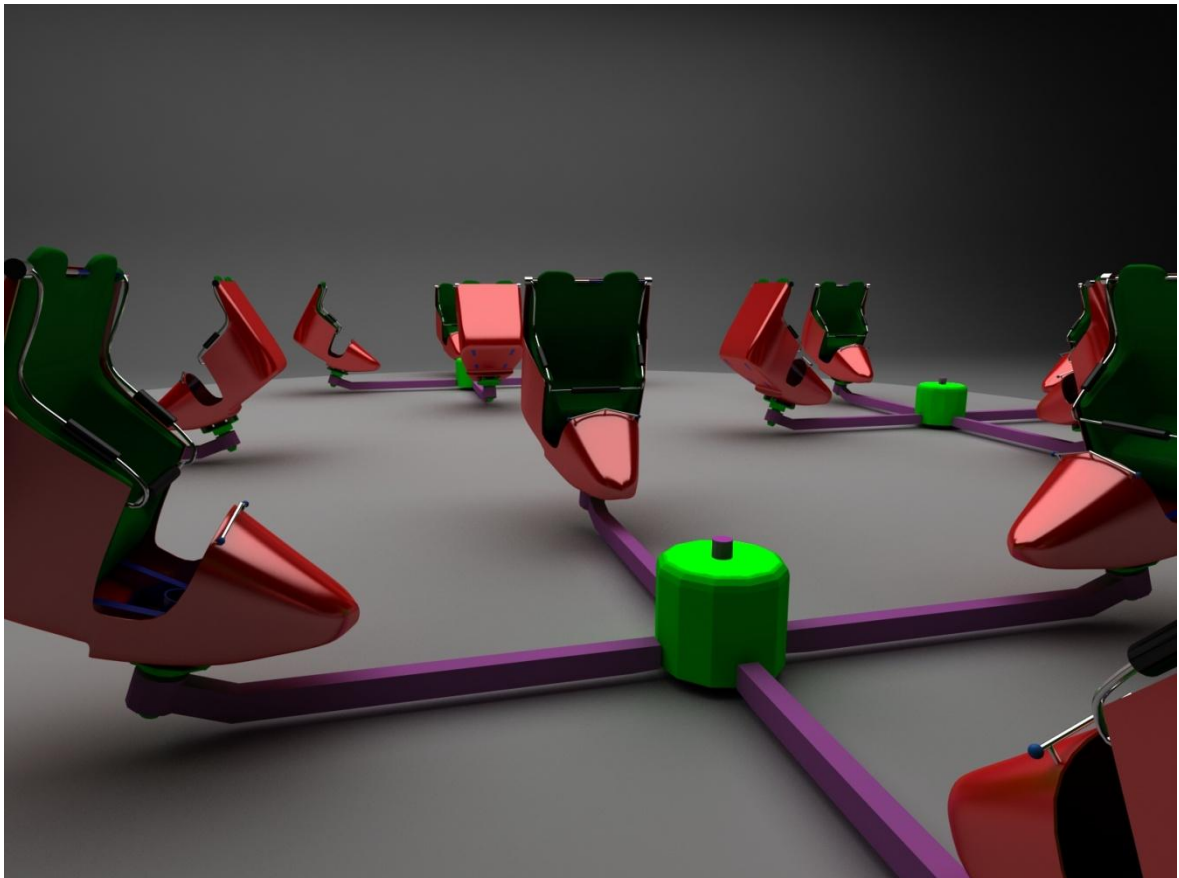
Tyto jednotlivé objekty jsou po usazení do správných pozic exportovány do formátu *.dwg, který je nejvhodnější pro následující zpracování. Tímto přeložením nastává lehká komplikace. Jelikož je síť modelu popisována jinak v programu 3DStudio a jinak v programu AutoCAD, export do *.dwg vytvoří poměrně složitý soubor popisující poměrně komplikovaný tvar a tím se na úkor kvalitního výsledku dostáváme do možných problémů s pamětí při dynamickém výpočtu.



Zobrazení částí s drátovou texturu

4.4. Kompletace

Následovná kompletace je, pokud nemáme problémy s formáty, bezproblémová. Jediný problém, který jsem měl, byla vyčerpání paměti. AutoCAD má tendenci streamovat paměť na disk v momentech kdy kurzor přejíždí přes komplikovanou síť gondoly. Zde je namístě si uvědomit, že přestože v 3DStudios je objekt hladký, exportem do *.dwg se modifikátory, starající se právě o zaoblení jednotlivých hran odstraní a hladký tvar, převedou jen na drátovou síť v takové hustotě, jakou si určíme. Hustota sítě je zásadní pro obtížnost s dalšími operacemi, co se týče paměti počítače.



Obrázek znázorňuje sestavení všech jednotlivých částí v celek

Zde je kompletní model. Bylo na něj za potřebí několik programů a ve finále je ve formátu *.dwg (AutoCAD 2000) přímo připraven na další zpracování. AutoCAD Mechanical tento soubor dokáže zpracovat a rozpoznat jednotlivé objekty. Dalším krokem je pohyb, přiřazení rychlostí a dynamická analýza soustavy. Dále tedy o nastaveních a možnostech Dynamic Designeru.

5. Kinematická a dynamická analýza

V této části mé práce se budu zabývat konkrétními nastaveními jednotlivých funkcí potřebných pro získání výstupových informací. Dynamic Designer je pouze nástroj pracující v systému AutoCAD Mechanical, jehož schopností je dále pracovat s jednotlivými prvky. Je určen pro dynamickou a kinematickou analýzu. Postup pro zjednodušení je takový, že se zaprvé definují objekty za jednotlivá pohybuující se tělesa, potom jim definujeme vazby. Vazby se už velice snadno dají ovládat a tím i celá situace zkoumat. Nastavujeme vazby volné a hnané. Hnané vazby jsou dvě, jedna je hlavní osa otáčení a druhá je osa vedlejší, která otáčí ramenem. Dále je na modelu osa volná, která zajistí volný pohyb gondoly na čepu. V rámci specifického pohybu je nutno dodržet specifické otáčky celého systému tak, aby pohyb byl co nejvěrnější. Jde speciálně o protipohyb hnaných os a poměr velikostí úhlových rychlostí obou hnaných os. Po sestavení pohybu je další analýza jen otázkou sestavení grafů, program sám vyhodnotí průběhy silových účinků a zobrazí je v jednotkách námi požadovanými. Jednotky, které nám vyhovují, budou N.mm v souvislosti z vzorcem pro výpočet namáhání na ohyb.

5.1. Sestava

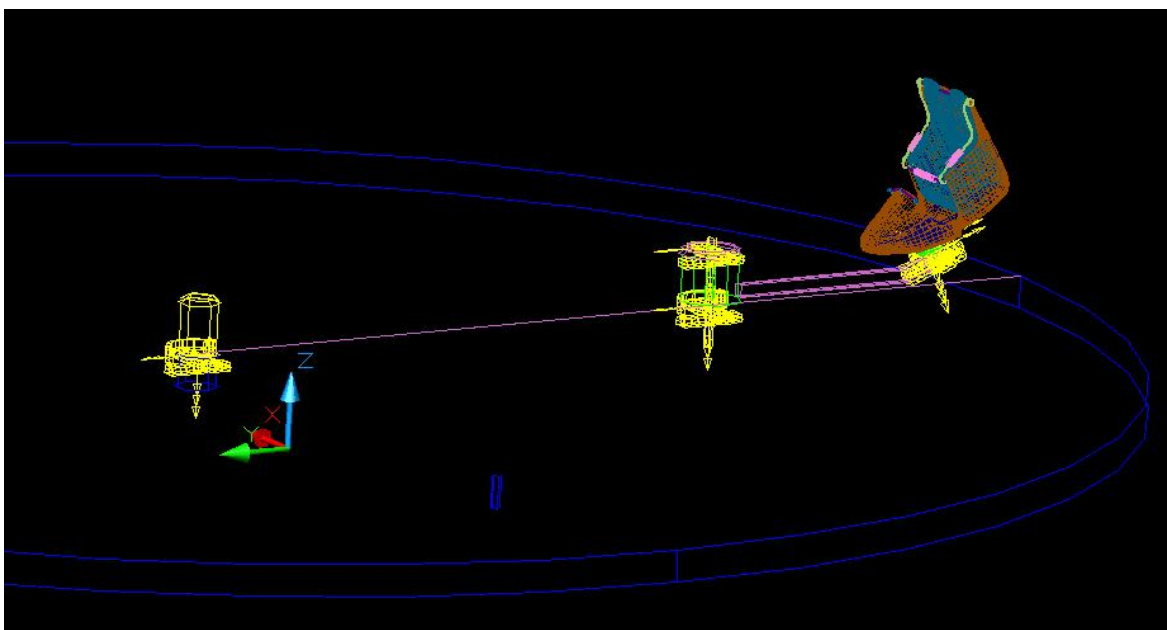
V našem případě je model, stejně jako skutečná sestava, složen ze čtyř ramen. V modelu tyto ramena budou zanedbána a nahrazena plochým válcem, který zároveň symbolizuje plochu z perforovaného hliníkového plechu, která ve skutečnosti zakrývá nosná ramena. Pro náš konkrétní výpočet je jejich konstrukce zbytečná, protože nepředpokládáme jejich významný pohyb v souvislosti s vedlejšími rameny a tudíž pro jednodušší zpracování takto zanedbáváme. Dále, podíváme-li se na jednotlivá ramena nesoucí gondoly, je zřejmé, že čtyři gondoly se v průběhu určité časové smyčky budou pohybovat stejně. V tomto případě řešíme na modelu pohyb pouze jedné gondoly.

Model se tedy bude skládat pouze ze základní desky, jednoho vedlejšího ramene, celého usazení čepu, samotného čepu a gondoly. Jako hlavní osu jsem vytvořil pomocný válec jen z důvodů přehlednějšího pohledu na situaci. Vedlejší osa pohybu je opět určena válcovým objektem. Shrneme-li sestavu je složena z šesti

prvků, tedy šesti těles. Hlavní osa je určena jako nehybný objekt, zbytek je pohyblivý. V dalším bodě bude tedy popis prvního kroku analýzy, určení vazeb.

5.2. Vazby mezi jednotlivými prvky

Jednotlivých nastavení je v daných vazbách hned několik. Vazba se definuje tak, že označíme po sobě jednotlivá tělesa a definujeme osu pohybu mezi oběma tělesy současně se společným bodem na ose, který bude pro obě tělesa místem dotyku.



Printscreen pohledu na jednotlivá tělesa a vazby mezi nimi

Jednotlivé vazby se zobrazí, jako je vidět na obrázku. Postup definování je potřeba opakovat pro všech šest kontaktů mezi tělesy. Pak vzniknou tedy vazby mezi: hlavní osa-hlavní rameno; hlavní rameno-vedlejší osa; vedlejší osa-vedlejší rameno; vedlejší rameno-čep; čep-gondola

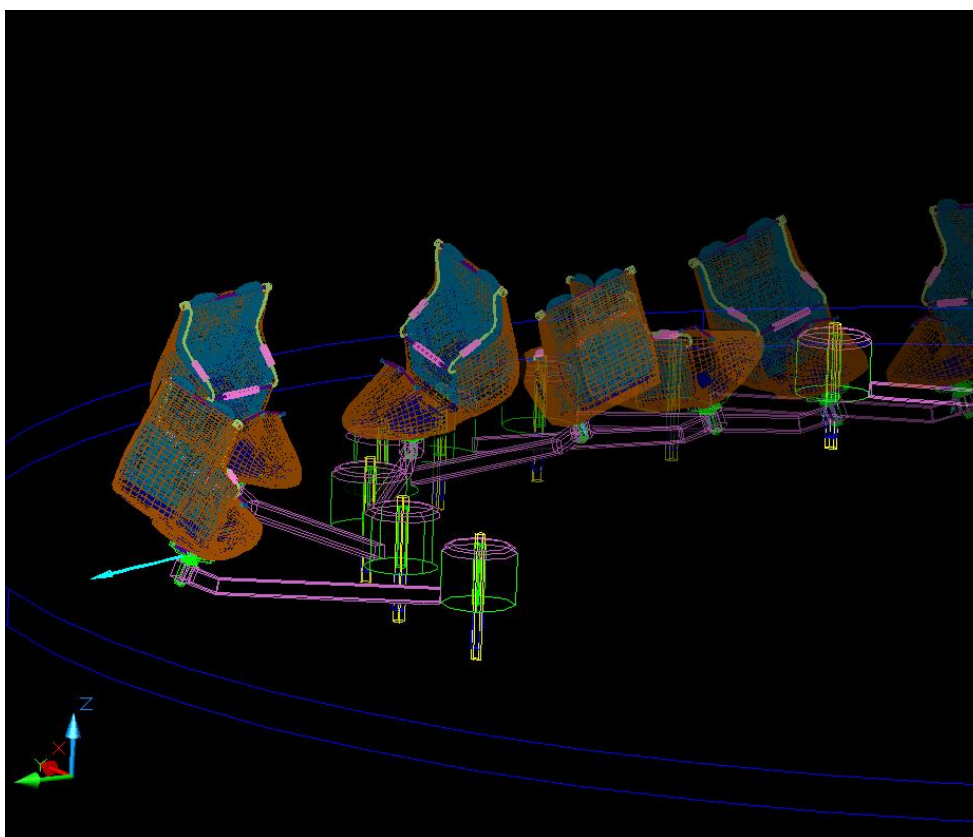
Takto sestavená scéna je připravena na pohyb a další zpracování. Je zde nezbytné vyzkoušet, zda je vše v pořádku, je-li každá vazba na správném místě a má-li správné vlastnosti. Takovýto test se provede předběžnou analýzou ovšem nikoli dynamického rázu, ale pouze tzv. assembly. To znamená sestavení modelu na základě jeho definovaných vazeb. Tímto se přesvědčíme, že model je nastaven, tak jak má být. Další bod, který je možno kontrolovat, je dynamická

analýza. Při správném nastavení působení gravitačního zrychlení se při takto způsobeném pohybu stane pouze to, že gondola sklouzne z vrcholového klidového bodu do kyvadlového pohybu. Tím se ujistíme o správném chodu celého mechanismu a jsme připraveni na další krok, zadání pohybu soustavy.

5.3. Pohyb

Nastavení pohybu je poslední operace vytváření celé pohybové scény. Na Základní osu jsem umístil 200 stupňů za sekundu, přičemž na vedlejší rameno bylo za potřebí v opačném směru nastavit stupňů 70 za sekundu.

Pohyb je zajištěn spuštěním simulace. Vhodné je vytvořit simulaci tak dlouhou, abychom zaznamenali celý cyklus pohybu. Pak si budeme jisti, že ve výpočtech bude zahrnut maximální možný silový účinek na naši zkoumanou součást. Takto získaný výsledek je možno považovat za správný za předpokladu jsou-li správné velikosti modelu, hmotnost modelu (generovaná programem na základě definované hustoty), správné otáčky.

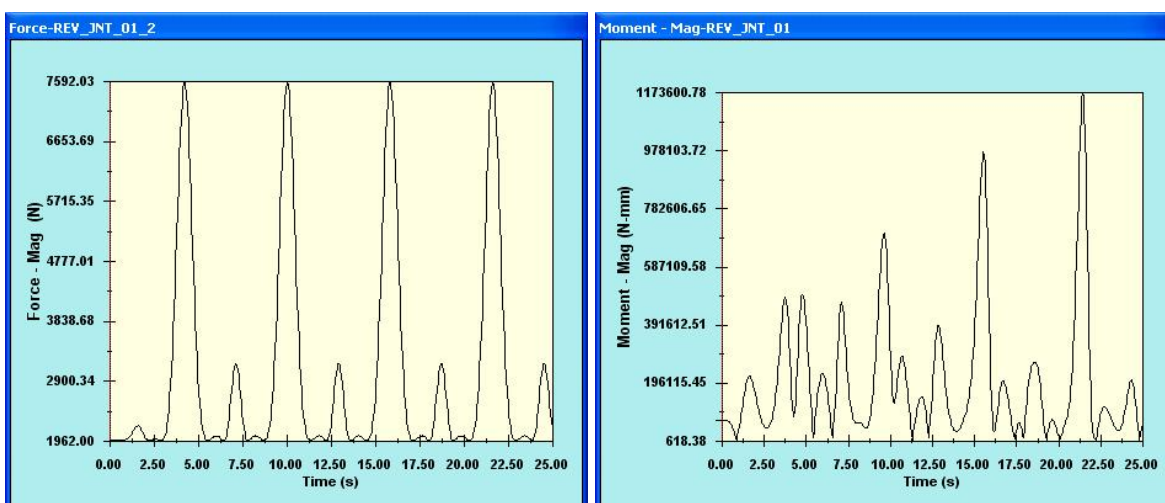


Záznam pohybu gondoly ve finální fázi

Na obrázku je patrný pohyb vedlejší osy zobrazené žlutě, která je hlavním ramenem (modrým válcem), unášena proti směru hodinových ručiček. Podle zobrazení je zřejmé, že tento pohyb je konstantní. Z obrázku jde také zjistit, že pohyb vedlejšího ramene je ve směru opačném. Gondola se pak pohybuje pohybem generovaným zrychlením působícím oběma pohyby a také zrychlením gravitačním. Na gondole zcela vlevo je patrné zobrazení síly (azurová šipka), která zobrazuje v určitém měřítku silové namáhání na náš čep.

5.4. Výsledky silových účinků

Silové účinky jsou z pohybu možné zobrazit přímo v animaci, kdy zobrazují jak velikost, tak směr silového účinku. Výhodnější je však zobrazit průběh silového účinku v závislosti na čase, kdy je možno se ujistit o maximální hodnotě tohoto účinku. Ve vazbě působí reakční síla a silová dvojice. Síla zobrazená na rozfázovaném obrázku gondoly je právě reakční silou. Její velikost ovlivňuje pevnost čepu na stříh. Tyto hodnoty jsou však v porovnání s namáháním na ohyb velice malé. Zde je zobrazen průběh reakcí v grafu.



Grafy reakcí působících na čep

Tyto výsledky jsou vygenerovány na základě pohybu modelu za daných podmínek, přičemž je upravena hustota modelu gondoly tak, aby vážila o 160 kg více. Přidaná váha reprezentuje dvě dospělé osoby. Celková váha modelu gondoly je tedy přibližně 200 kg.

6. Dimenzování vybraného prvku konstrukce

Pro výpočty jsem vybral maximální hodnoty jak síly, která bude čep namáhat na stříh, tak maximálního momentu, který čep namáhá na ohyb. Jednotlivé výpočty jsou provedeny na základě předpokladu ocele 11500, která je vhodná pro výrobu čepu. Materiál původního čepu není znám.

Vlastnosti oceli 11500 jsou: Mez pevnosti v tahu $R_m = 500$ až 600 Mpa, Mez kluzu $R_e = 250$ až 270 MPa, $\sigma_{DO} = 100$ MPa (viz Lit. [1], příloha 1, XIII)

6.1. Pevnostní výpočet

Výpočet namáhání na stříh je dle vzorce:

$S = \frac{4 \cdot F_{pmax}}{3 \cdot \tau_{DS}}$ (viz. Lit. [1], str. 231). Kde $\tau_{DS} = 0,27 |R_e|$ a maximální síla F_{pmax} je z grafu reakční síly 7592 N. Potom: $S = \frac{4 \cdot 7592}{3 \cdot 72,9} = 138,86$. Průměr čepu, který tedy unese stříhové zatížení je přibližně 13,3 mm.

Výpočet namáhání na ohyb:

$d = \sqrt[3]{\frac{5Fl}{\sigma_{DO}}}$ (viz. Lit. [1], str. 56). $F \cdot l$ je ve vzorci ohybový moment, který v našem případě má hodnotu 1173600 Nmm (odečteno z grafu průběhu reakčního momentu působícího na čep). Je to tedy: $d = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot 1173600}{100}} = 36,85$ mm.

Z výpočtů je tedy patrné, že ohybové namáhání bude určovat průměr čepu. Z hlediska střídavých provozních sil a důležitosti součásti na celé konstrukci bych tento výpočet ještě pojistil koeficientem bezpečnosti 1,5. Výpočtový bezpečný průměr čepu by tedy byl 58 mm.

K dosaženým výpočtům lze dojít mnoha způsoby. Konkrétní způsob a technologii pro výpočet daných hodnot považuji za vhodnou. Výsledků lze

dosáhnout poměrně jednoduše za předpokladu přesného modelování. Bez počítačového modelu a dynamické analýzy pohybu by šlo jen velice obtížně vypočítat silové účinky působící na čep a asi bychom předcházeli poruše čepu významným předimenzováním součástí.

7. Hodnocení výsledků

Výsledky silových účinků mechanismu dosažených dynamickou analýzou se dají na základě přesných rozměrů a vah považovat za správné. V praxi bych dále doporučil vytvoření zmenšeného skutečného modelu a testu pevnosti součástí v měřítku. Popřípadě výpočet pevnosti celé sestavy pomocí metody konečných prvků.

Podnět k výpočtu daných hodnot byl na základě poruchy skutečného stroje, kdy došlo k přelomení čepu. Tato situace se z mého pohledu stala z důvodu životnosti materiálu. Zejména je-li prvek takto nepravdělně namáhaný, dochází k únavě materiálu daleko dříve než u konstrukcí namáhaných konstantní silou. Na základě pevnostního výpočtu se tedy domnívám, že byl čep pro držení gondoly pouťové atrakce navrhnout správně. K zásadní chybě pak tedy došlo při zanedbání životnosti.

8. Závěr

V této práci byl komplexně zpracován projekt analýzy silových účinků na daný prvek mechanismu pouťové atrakce. K tom byly použity následné nástroje: AutoCAD 2005, AutoCAD 2000, AutoCAD Mechanical, Dynamic Designer jakožto nástavba pro AutoCAD Mechanical 2002, 3DStudio Max 2008. Tyto produkty byly využity k dosažení výsledných silových účinků. Pro vizualizaci byly použity programy 3DStudio Max s nástavbou renderovacího modulu Vray render.

Konkrétní vytvořené produkty: výkres 2D, výkres 3D konstrukce, výkres 3D gondoly, kompletní model 3D, sestava s vazbami, obrázky vizualizace, grafy průběhů silových účinků

9. Použitá literatura

[1] – Zachariáš Ladislav, ČÁSTI STROJŮ, 2007, ČZU

[2] – Dynamic Designer Motion and Motion Lite Users Guide, 1999, vyd.: Ann Arbor: Mechanical Dynamics, 1999, 328s

[3] – Omura, G. 1999, AutoCAD 2000, 1, vyd.: Grada Publishing, 1999, 935 s.

[4] – Juliš, K., Brepta, R. a kol, 1986, Mechanika I, Statika a kinematika, vyd.: Praha: SNTL, 1986, 480 s

[5] – Juliš, K., Brepta, R. a kol, 1986, Mechanika I, Dynamika, vyd.: Praha: SNTL, 1987, 688 s

Webové zdroje:

[1] – <http://www.rideaccidents.com/>