

## **Anotace:**

Tato práce popisuje současné možnosti parametrického modelování, je zde sestaven výčet nových možností programu Autodesk Inventor Series 10 a popis tvorby modelu zhášecí komory jističe BD250.

Další část práce popisuje funkci dvojitého kontaktu při vypínání, vznik a zánik oblouku. Princip jeho zhášení pomocí magnetického vyfukování do zhášecí komory za účasti dynamických sil. Pro tvorbu animace bylo použito datového formátu IGES, je uveden jeho stručný popis a historie jeho vzniku. Pro sestavení animace vypínání bylo použito polohové animace v Autodesk Inventoru 10.

## **Klíčová slova:**

CAD systémy, elektrické přístroje, jistič BD250, zhášecí komora, elektrický oblouk, dvojitý kontakt, dynamický kontakt

## **Abstract:**

This thesis presents current possibilities of parametric modelling. In the first section the new features of Autodesk Inventor Series 10 and process of designing model of arc chute cut of circuit-breaker BD250 are described. A next section of the thesis describes functionality of double contact element during switching off, creation and disappearance of electric arc. The principle of electric arc extinction using magnetic exhaustion into arc chute with the participation of dynamic forces. The data format IGES was used for animation creation and also there is a short description of the history and origin of the format.

The position animation in Autodesk Inventor 10 was used for designing animation.

## **Keywords:**

CAD systems, electrical apparatuses, distribution circuit-breaker BD250, arc chute, electric arc, twin contact, dynamic contact

## **Bibliografická citace mé práce:**

BOJANOVSKÝ, L. Využití CAD systémů v oblasti elektrických přístrojů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007. 31 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Valenta, Ph.D.

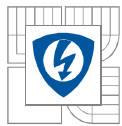
## Prohlášení

Tímto čestně prohlašuji že jsem zadanou bakalářskou práci vypracoval sám, pouze za pomoci vedoucího semestrálního projektu Ing. Jiří Valenta, Ph.D. .

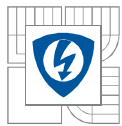
Lukáš Bojanovský

## Poděkování

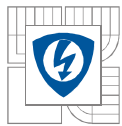
Děkuji panu Ing. Jiřímu Valentovi, Ph.D. za poskytnutou literaturu a za pomoc s vypracováním projektu. Děkuji také Doc. Dr. Ing. Haně Kuchyňkové za pomoc se semestrálním projektem.



1. Úvod.....	5
2. CAD systémy .....	6
2.1 Historie CAD systémů.....	6
2.2 Systémy CAD .....	6
2.3 Rozdělení CAD systémů podle zaměření.....	7
2.4 Rozdělení CAD systémů z hlediska vyspělosti .....	8
2.5 Parametrické modelování .....	9
2.6 Metody tvorby těles a ploch .....	10
2.7 Metoda tvorby modelu .....	11
3. Současné parametrické CAD systémy .....	12
3.1 CATIA .....	12
3.2 Pro/ENGINEER .....	12
3.3 Solid Works .....	12
3.4 3D Studio Max .....	12
3.5 Inventor series .....	12
4. Nové možnosti Autodesk Inventor series 10 .....	14
5. Vznik elektrodynamických sil .....	17
6. Elektrický oblouk a jeho vlastnosti.....	19
6.1 Vznik oblouku v přístrojích.....	20
6.2 Vypínání elektrického obvodu s obloukem.....	21
6.3 Zánik elektrického oblouku .....	21
6.4 Princip deionizace výbojové dráhy v přístrojích .....	22
6.5 Funkce dvojitého kontaktu při vypínání.....	22
7. Modelace zhášecí komory v Autodesk Inventor 10.....	25
8. Import IGES souboru do Autodesk Inventoru .....	28
9. Tvorba polohové animace v Autodesk Inventor 10.....	30
10. Závěr.....	31
Literatura .....	32



Obrázek 1 - Změnou jednoho rozměrů (parametru), se model automaticky upraví.....	9
Obrázek 2 - Rozdílné metody návrhu.....	11
Obrázek 3 - Princip magnetického vyfukování oblouku.....	23
Obrázek 4 - Spínací mechanismus jističe.....	23
Obrázek 5 - Nabídka 2D modelovacích nástrojů.....	25
Obrázek 6 - Nastavení kóty.....	25
Obrázek 7 - Dokončený náčrt.....	26
Obrázek 8 - 3D modelovací funkce.....	26
Obrázek 9 - Vysunutí náčrtu.....	26
Obrázek 10 - Dokončené části zhášecí komory.....	27
Obrázek 11 - Zhášecí komora.....	27
Obrázek 12 - IGES logo.....	28
Obrázek 13 - Importovaná geometrie z IGES.....	29
Obrázek 14 - Vytvořit pohled.....	30
Obrázek 15 - Panel prezentace.....	30
Obrázek 16 - Pohyb komponentu.....	30



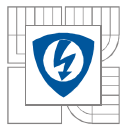
## 1. ÚVOD

V současnosti dochází k trvalému růstu výkonu a možností výpočetní techniky. Tento trend ovlivňuje i oblast počítačové grafiky, která je především na výpočetním výkonu a schopnostech zobrazování velmi závislá. Sleduje tak dynamicky vývoj výpočetní techniky. S nasazením CAD systémů došlo k velkým změnám ve výrobních postupech, samotný průmyslový design získal s přechodem do 3D zobrazování úplně nový směr. Vizualizace se stala nedílnou součástí života konstruktérů a návrhářů. Složité technické výpočty zvládají CAD systémy mnohem rychleji, než dříve používané logaritmické pravítko, případně kalkulačky, značně se urychlil proces návrhu a testování funkčnosti, díky tomu také dochází k minimu chyb při návrhu.

Informační technologie jsou nástrojem, který poskytuje uživatelům v konkrétních oborech zcela netradiční možnosti a postupy při řešení problémů. V oblasti návrhu a konstrukce nových výrobků znamená nasazení informačních technologií především zkrácení doby výroby a možnost komplexního popisu výrobku z hlediska jeho geometrie a mechanických vlastností. Systémy 3D zobrazování poskytují daleko komplexnější pohled na řešený problém nesrovnatelně přehlednější než pouhá výkresová dokumentace.

Na trhu s CAD systémy tak nastává velmi příznivá situace - uživatelé mají dostupné prakticky všechny aplikace bez nutnosti dalších investic do nákupu nového hardware, není potřeba kupovat žádné speciální vybavení, veškeré systémy jsou navrženy na práci s běžným vybavením. Dostupnost těchto technologií tak již není hlavním problémem, je však důležité aby panovala také obecná znalost těchto systémů a možností, které nabízejí.

Systémy CAD mají mnoho společných vlastností, například stejné nebo přibližně podobné modelovací nástroje, způsob vytváření výkresové dokumentace a podobné výstupy které programy nabízejí. Aby bylo možné spolupracovat na větších projektech společně je důležité používat dohodnutý typ dat. K tomu slouží výměnné formáty. Těchto formátů existuje velké množství, v oblasti CAD systémů se ustálilo několik standardů. I když i tyto používané standardy se s časem mění, především z důvodu vývoje programů, které s nimi pracují. Tento trend je v delším časovém horizontu problematický, často se tak stává že taková data jsou pro dlouhodobé uchování nepoužitelná. Stává se tak že tyto standardy neplatí ani po celou dobu životního cyklu výrobku.



## 2. CAD SYSTÉMY

### 2.1 HISTORIE CAD SYSTÉMŮ

Tento přibližný nástin slouží ke krátkému přiblížení historického vývoje systému pro počítačovou podporu projektování. Původně bylo projektování podporováno výpočetní technikou bez grafiky, pro tzv. vědecko-technické výpočty. Jednalo se často o parciální úlohy bez návaznosti mezi sebou. Úkolem bylo např. spočítat objemy, těžiště, časový plán. Již dávno jsou známy principy metody konečných prvků.

V pozdější době se přidala počítačová grafika, sloužící pro zobrazování grafu výpočtu a především pro kreslení v rovině. Problémy byly s interaktivním ovládáním těchto grafických programů, používaly se především příkazy. Kvalitní grafický výstup z programů byl dlouho problematický, protože mechanické součásti výstupních zařízení byly často velmi nespolehlivé. V současnosti se zdá, že s příchodem laserových a inkoustových technologií byly problémy do značné míry vyřešeny, dokonce i v případě barevných výstupů. Trojrozměrné modelování a zobrazování bylo technologicky dobře zvládnuto v 80. letech a v současnosti je tak propracované, že se dá dobře používat i na osobních počítačích. Koncem 80. let se začala prosazovat technologie animace a vizualizace a známá je v poslední době aktivita firmy Autodesk v rovině tzv. virtuální reality. Teprve v poslední době se reálně a v širším měřítku propojují grafické informace o objektech s ostatními informacemi, uloženými v databázích. Postupem času dochází k potlačení vedoucí pozice grafiky v procesu projektování a k projektům se přistupuje pomocí objektové technologie. Navrhuje se objekt, který má mnoho charakteristik, mimo jiné i geometrické a grafické. Kromě toho jeho popis obsahuje též technologii jak s objektem zacházet (např. nelze umístit židli do prostoru, vždy jen na podlahu).

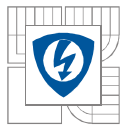
Jednotlivé prostředky se integrují na takovou úroveň, aby se tlumily problémy spojené s předáváním dat mezi systémy a celkově se zjednodušilo ovládání. Počátek CAD (Computer Aided Design). Prvopočátek kreslení na počítači je spojen s vynálezem světelného pera v roce 1950. Namalovaný obraz zůstával elektrostaticky zachycen na stínítku obrazovky, která sloužila zároveň jako paměť. Nápadu se ujala armáda. Tento vynález našel praktické uplatnění u protivzdušné obrany v radarovém systému SAGE (Semi-Automatic Ground Environment) vyvinutý v MIT Lincoln Labs. Tento počítačem vybavený stroj dokázal vypočítat budoucí trasu letounu na základě dat vložených právě světelným perem. Byl zde použit tehdejší nejsilnější počítač světa TX-2.

### 2.2 SYSTÉMY CAD

Zvážení nasazení 2D výkresové dokumentace nebo 3D parametrických modelů tvoří základ zdárné realizace nového výrobku. Znalost výhod a možností obou přístupů pomůže řešit i volbu efektivní metodiky navrhování nových výrobků v podniku nebo soukromé firmě. Dostupnost kvalitní a dostatečně výkonné výpočetní techniky v posledních letech umožňuje využívat efektivnější postupy v oblasti počítačového navrhování a přípravy výroby. Nový výrobek se stává virtuálním prototypem v elektronické podobě, který může být na osobním počítači kompletně navrhnut a zkontrolován, včetně simulace jeho výroby.

Moderní technologie umožňují se stále častěji vracet k podstatě prostorového myšlení, které je pro navrhování daleko přirozenější než plošné. Samozřejmě že klasická koncepce 2D výkresové dokumentace ještě zůstane v některých oborech dlouho základním zdrojem informací, ale i zde může znamenat využití prostorových modelů urychlení a zkvalitnění vývoje. Potenciálem znalostí konstruktérů, technologů a návazných oborů nemusí být plýtváno v oblastech, které dokáže zpracovat výpočetní technika v podstatně kratším čase a vyšší kvalitě.

Některé CAD systémy nabízejí nástroje pro víceuživatelské navrhování a umožňují tak sdílet a pracovat daty více členů skupiny, přičemž je zabezpečen požadavek, aby nebyly změny provedené jedním uživatelem přepsány změnami provedenými jiným uživatelem. Jedná se o tzv.



paralelní konstruování. Všichni členové rozsáhlého návrhářského týmu mohou zobrazit, manipulovat a označovat soubory v zabezpečeném webovém prostředí. V systému s touto službou (např. Autodesk Streamline) může jakýkoli návrhář okamžitě sdílet informace návrhů uložené v CAD souborech s kýmkoli uvnitř týmu spolupracovníků nebo i mimo společnost - a to ve formě, která se automaticky přizpůsobí potřebám příjemce. Například pracovník zásobovacího oddělení vidí pouze ty informace, které jsou pro něho relevantní, tj. soupis materiálu, obchodník má přístup pouze k animacím a informacím o ceně, konstruktér má přístupnou celou strukturu výrobku a dělník na dílně pracuje pouze s dílenskými výkresy a montážními pokyny. Tato služba tak pomůže uživatelům rychle realizovat nové a kreativní nápady, promítnout je do výrobků a udržet vysokou úroveň kvality při současném snižování nákladů. Mezi přínosy zmíněných CAD systémů patří:

Jednoduchost:

- okamžité připojení,
- žádné procesní změny v podniku,
- rychlá implementace.

Jediný zdroj:

- všechny informace o výrobku jsou na jediném místě,
- žádné faxy, kopírování souborů nebo poštovní zásilky,
- žádná "zastaralá data".

Výkon:

- navržen pro běžná připojení,
- žádné přenosy velkých souborů,
- žádné čekání na zobrazení souboru.

Funkčnost:

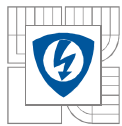
- úplná správa projektů,
- snadný přístup k negrafickým datům o výrobku, struktuře sestavy a grafice,
- on-line poznámky,
- integrace 2D dat,
- animace a montážní postupy.

## 2.3 ROZDĚLENÍ CAD SYSTÉMŮ PODLE ZAMĚŘENÍ

CAD aplikace dostupné na trhu můžeme rozdělit do několika skupin podle různých hledisek. Každý CAD se více či méně hlásí buď ke skupině specializovaných programů na určité profesi či přímo typy objektů, nebo ke skupině nesespecializovaných, obecných systémů.

### 2.3.1 Obecné systémy

- jsou rozšířené, obecné v podvědomí, často se učí na školách, patří tedy takřka k obecné technické gramotnosti
- díky rozšířenosti jsou levnější (i jejich školení, dokumentace, knihovny prvků nebo fontů,...)
- často se teprve s patřičnou aplikací se dají používat pro profesionální projekční práci a občas i s aplikací jsou slabé
- souhrn ceny za obecný systém a za aplikaci může vyjít vyšší než cena za hotový specializovaný produkt
- jsou zde prostředky pro vytvoření silných nadstaveb na míru, ovšem jejich vývoj si projekční firmy dovolit nemohou, což je na druhé straně dobře proto, že nadstavby jsou vyvíjeny profesionálními vývojovými centry
- takřka světové rozšíření větších systémů nedovoluje mateřské firmě změnit zásadně zavedené standardy a techniky a také prakticky zaručuje neustalý vývoj
- uživatel si v jednom grafickém prostředí poskládá svoji technologickou linku přesně tak, jak mu



vyhovuje

- při jeho používání musí často uživatel táhnout za sebou přes tzv. kompatibilitu slabosti starších verzí rozšířeného systému
- poskládaný celek z několika dílů je vždy horší a dražší než specializovaný kompletní program se stejnými funkcemi

Představiteli obecných systémů jsou např. AutoCAD, Microstation, DesignCAD.

### 2.3.2 Nadstavby CAD systémů

Obecné CAD systémy nejsou příliš vhodné pro práci v konkrétním oboru (například elektrotechnice). Jejich nevýhodou je právě ona obecnost, která nutí uživatele pracovat na velmi nízké úrovni s entitami převážně geometrickými (úsečka, kružnice, křivka). Tuto nevýhodu částečně odstraňují profesní nástavby. Jedná se souhrn předdefinovaných bloků a dalších prvků, které je možné do modelu vkládat a volit jejich vlastnosti. Příkladem takové nástavby mohou být například CADCON a ARCADA (nastavby AUTOCADu), MechSoft Profi pro strojnické výkresy.

### 2.3.3 Specializované CAD systémy

Specializované CAD systémy

- pro konkrétní problémy jsou absolutně nejvhodnější
- jsou méně rozšířeny než obecné systémy
- pokud odborník pracující s programem odejde, může nastat problém najít někoho, kdo umí se specializovaným systémem pracovat
- uživatelé jsou často závislí na jediném vývojovém centru a jeho obchodních výsledcích a proto musí věřit většinou menší autorské firmě, že bude dále svůj systém rozvíjet tím správným (uživatелеm požadovaným) směrem
- málokdo si může dovolit koupit všechny funkce najednou (jak to u obecných programů často bývá), a proto musí hledat v obrovském množství CAD systémů přesnou specializaci ušitou na míru

## 2.4 ROZDĚLENÍ CAD SYSTÉMŮ Z HLEDISKA VYSPĚLOSTI

CAD systémy lze také rozdělit podle jejich velikosti, možností nasazení, nebo vyspělosti.

### 2.4.1 Rozdělení z hlediska vyspělosti

1. generace

- 2D CAD systémy bez otevřené architektury - AutoCAD LT.

2. generace

- 2D a 3D CAD systémy s podporou klasického modelování a otevřenou architekturou - AutoCAD, MicroStation.

3. generace

- 2D a 3D CAD systémy (CAD/CAE) s podporou parametrického modelování a otevřenou architekturou - Inventor, systémy s modelovacím jádrem Parasolid nebo ACIS.

4. generace

- 2D a 3D CAD systémy s podporou adaptivního modelování a správou dat o výrobku (PDM) - Catia, Pro/Engineer.

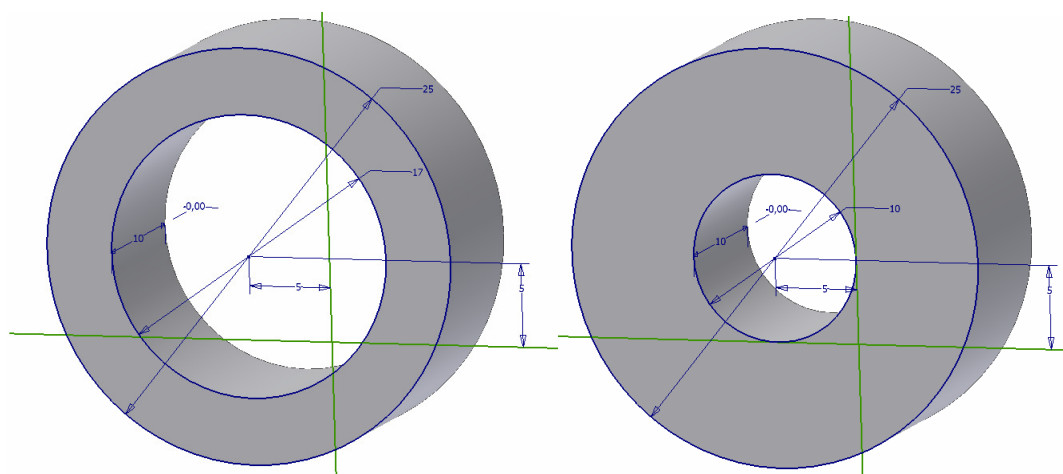
Dále se budeme zabývat třetí a čtvrtou generací CAD systémů, tedy systémy s parametrickým modelováním.

## 2.5 PARAMETRICKÉ MODELOVÁNÍ

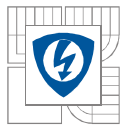
V současné době neexistuje progresivnější a produktivnější metoda tvorby geometrických dat nového výrobku než je parametrické modelování. Prostorový parametrický model součásti poskytuje řadu informací nejen o geometrických charakteristikách, ale také o vzájemných polohách a vazbách součástí v sestavách. Parametrizace je užitečná především ve spojení s modelováním řízeným vlastnostmi (Feature Based Modelling). Parametrický 3D model tělesa je model, který je již od počátku jeho tvorby svázán se systémem vazeb a kót, které popisují jeho rozměry a geometrii. Veškeré rozměry jsou kdykoli modifikovatelné pouhou změnou číselného údaje u příslušné kóty. Neméně důležitým faktem je u tohoto typu modelování to, že se také uchovává historie tvorby modelu. Konstruktor získává aplikací prostorových modelů možnost neomezené práce s virtuálním objektem. Není již omezen pouze na použití 2D pohledů vytvořených na základě ortogonálního promítání. Začíná tvorbou nového výrobku od prostorového modelu součásti. Model je vytvořen obdobnými technikami jako u klasického modelování, často pomocí náčrtu a prvků bez ohledu na přesné rozměry. Náčrty konstrukčních prvků se skládají z jednotlivých objektů (oblouky, úsečky), které jsou svázány pomocí geometrických vazeb. Vazby omezují stupně volnosti při tvorbě náčrtu a definují jeho geometrii, např. vzájemnou rovnoběžnost, kolmost nebo soustřednost objektů. Rozměry náčrtů a prvků popisují a řídí parametrické kóty.

Parametrický modelář je jádrem vyspělých CAD systémů třetí a čtvrté generace. U jednotlivých systémů se liší právě v požadovaném stupni parametrizace. V některých se bez úplné parametrizace nedá pokračovat, v jiných stačí např. jen zadat geometrii návrhu a případně několik definičních rozměrů. V CAD systémech, které využívají parametrické modelování, je ulehčena tvůrčí práce. Návrh je průběžně kontrolován systémem a uživateli je oznamováno, jaké množství kót je třeba doplnit. Podle nově zadané nebo změněné kóty je vytvářený náčrt upraven. Jsou pohlížány samozřejmě i kolize, které mohou být způsobeny např. nevhodnou kótou.

U takto vytvořených modelů nejsou rozměry určeny konkrétními hodnotami, ale pomocí proměnných, výrazů, a rovnic. Po dosažení několika základních konkrétních hodnot dojde k výpočtu skutečných rozměrů. Po návrhu parametrického modelu můžeme zadat počítači příkaz k vytvoření jednotlivých výkresových pohledů, řezů a detailů. Výsledný výkres je plnohodnotnou výkresovou dokumentací. Důležité v tomto okamžiku je, že je možno se kdykoli vrátit k původnímu náčrtu nebo modelu a provést jeho modifikaci. Veškeré změny se automaticky promítají do předem vytvořených pohledů výkresové dokumentace. Konstruktor je tedy skutečným návrhářem, který se náležitostí výkresové dokumentace již tolik nemusí zabývat, a plně se může soustředit na úpravu virtuálního modelu pomocí parametrických kót a geometrických vazeb.



Obrázek 1 - Změnou jednoho rozměru (parametru), se model automaticky upraví.



## 2.6 METODY TVORBY TĚLES A PLOCH

Prostorový model poskytuje řadu informací nejen o geometrických charakteristikách, ale také o vzájemných polohách a vazbách ve skupinách těles. Konstruktor, návrhář, designér získává použitím prostorových modelů možnost neomezené práce s reálným objektem. Nemusí být již omezen 2D pohledy vytvořenými na základě ortogonálního promítání.

Existují dvě metody tvorby prostorových objektů ve scéně. Obě metody lze aplikovat na konkrétních případech prostorové scény. Tyto objekty lze ve scéně libovolně kombinovat.

### 2.6.1 Tvorba objektů pomocí těles

využívá se tehdy vyžadujeme-li skutečná prostorová tělesa, která mají nejen povrch, ale také určitou vnitřní hmotu. Tělesa používáme především pro tvorbu prostorových útvarů s tvarově nenáročným povrchem a tehdy vyžadujeme-li následné použití Boolean operací (sjednocení, rozdíl, průnik) pro skládání těles.

V praxi se setkáváme v podstatě se dvěma základními postupy používanými při tvorbě modelů. Nelze jednoznačně uvést, který je produktivnější a který naopak umožňuje efektivnější konstrukci. Jednotlivé produkty preferují tyto postupy především v závislosti na typu modelovacího jádra a jeho optimalizaci.

### 2.6.2 Modelování pomocí konstrukčních prvků

Základní těleso je vytvořeno pomocí parametricky definovaného objemového tělesa. Jedná se většinou o *válec*, *kvádr* nebo jiné těleso. Na tomto tělese jsou postupně vytvářeny geometrické prvky pomocí konstrukčních příkazů. Prvky jsou umístěny pozicními *kótami* na základní těleso. V objektovém stromu je takto vytvořen základní *kvádr*, *vybrání*, *díra* a *sražení*.

Metoda modelování pomocí konstrukčních prvků umožňuje velmi efektivní tvorbu modelů, které lze vytvořit právě jejich kombinací. Je velmi vhodná pro začínající uživatele. Pro opakující se vývoj podobných výrobků může mít aplikace uživatelských konstrukčních prvků poměrně základní vliv na produktivitu práce. Typickou ukázkou konstrukčních prvků mohou být *drážky*, *vybrání*, *čepy*, *díry*, *zaoblení*, *sražení* apod.

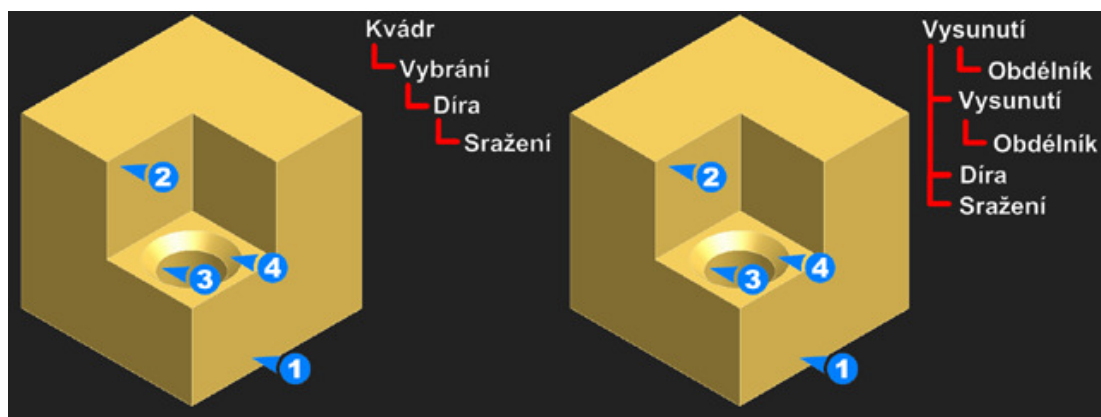
Pro geometricky náročné součásti může být aplikace konstrukčních prvků nedostačující, případně velmi složitá. V těchto případech je efektivní vytvořit charakteristický tvar součásti jako *náčrt* a na ten aplikovat modelovací operaci. Lze tak vytvořit například složitý tvarový *hřídel* rotací *náčrtu* kolem zvolené osy nebo těleso odlitky páky pomocí vysunutí *náčrtu*.

*Náčrt* pro tvorbu modelu musí být předem parametrizován pomocí *geometrických a rozměrových vazeb*. Vazby navíc zásadně ovlivňují chování *náčrtů* a následně vytvořených součástí v průběhu modifikace.

### 2.6.3 Modelování pomocí náčrtů a konstrukčních prvků

Jedná se o kombinaci dvou základních přístupů v modelování objektů. Je v současné době zřejmě nejlepší volbou pro efektivní tvorbu tvarově složitých modelů. Modely jsou vytvářeny z plně nebo částečně parametrizovaných *náčrtů*.

V objektovém stromu je *Kvádr* a *Vybrání* vytvořen pomocí *profilů* a *Díra se Sražením* pomocí konstrukčních prvků.



Obrázek 2 - Rozdílné metody návrhu

Parametrizace náčrtů může být automatická nebo manuální. Produkty jednotlivých firem přistupují k úrovni parametrizace podle určitých pravidel.

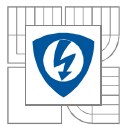
- Plná parametrizace je vhodná především pro konstrukci výrobků u kterých předpokládáme již v průběhu vývoje nutnost přesné geometrické charakteristiky s možností následných modifikací.
- Částečná nebo žádná parametrizace, nazývá se také někdy hybridním modelováním. Prakticky lze vytvářet modely z křivek bez nutnosti jejich parametrizace. Výhodou je vysoká produktivita modelování bez nutnosti detailní analýzy vazeb. Metoda se často využívá při tvorbě návrhu nového výrobku a modelování obecných ploch. Nevýhodou je problematická modifikace a tvorba variant.

## 2.7 METODA TVORBY MODELU

Základní kroky, které musí provést konstruktér nového výrobku v parametrickém modeláři při návrhu 3D modelu s následnou vazbou na generování pohledů a případné dotváření výkresové dokumentace.

- Výchozí objekty pro parametrické modelování mohou být definovány pomocí 2D náčrtů (profilů) nebo předdefinovaných konstrukčních prvků. Jednotlivé možnosti jsou dány především vyspělostí jádra parametrického modeláře.
- Konstruktér, návrhář začíná tvorbu nového výrobku od prostorového modelu. Model je vytvořen obdobnými technikami jako u klasického modelování, často bez ohledu na přesné rozměry. Jednotlivým rozměrům jsou přiřazeny rozměry (kóty), které nazýváme *Parametry*.
- Dalším krokem při tvorbě parametrického modelu je vytvoření vzájemných vazeb jednotlivých *ploch*, případně *těles*. Vazby definují geometrické parametry, např. vzájemnou *rovnoběžnost*, *kolmost*, *soustřednost* jednotlivých *ploch* a *těles*.
- Po návrhu parametrického modelu můžeme zadat počítači příkaz k vytvoření jednotlivých výkresových *pohledů*, *řezů* a *detailů*. Výsledkem je výkres, který se po doplnění kót (nejsou-li odvozeny z parametrů), formátu a dalších náležitostí stává plnohodnotnou výkresovou dokumentací.

Zde ovšem možnosti parametrického modelování nekončí. Je možné kdykoliv se vrátit k původnímu modelu a provést jeho modifikaci. Veškeré změny se automaticky promítají do předem vytvořených pohledů, které tvoří výkresovou dokumentaci.



### 3. SOUČASNÉ PARAMETRICKÉ CAD SYSTÉMY

#### 3.1 CATIA

Catia je CAD/CAM software vyvinutý firmou IBM pro všechny stádia výroby, tedy od konceptu, přes design a výrobu až po analýzu a testování modelu hotového výrobku. Catia má otevřenou architekturu, je tedy možné naprogramovat úzce specializované moduly, přímo pro potřeby zákazníka. Hojně je tento software používán v automobilovém a v leteckém průmyslu.

#### 3.2 PRO/ENGINEER

Pro/ENGINEER je parametrický 3D CAD systém vyvinutý firmou PTC, používaný především v automobilovém průmyslu pro konstrukci motorů a převodových skříní. Pro/ENGINEER je plně parametrický modelář, tento systém byl prvním, který s parametrickým modelováním přišel.

Výhodou je možnost software používat i pod operačním systémem Linux, IRIX, HP-UX a Solaris.

#### 3.3 SOLID WORKS

SolidWorks je český 3D CAD systém vyvíjený společností SolidWorks. Jako parametrický 3D modelář SolidWorks nabízí výkonné objemové i plošné modelování postavené na jádře Parasolid, prací s neomezeně rozsáhlými sestavami a automatické generování výrobních výkresů.

V SolidWorks je k dispozici celá škála základních, specializovaných i rozšiřujících nástrojů počínaje elementárními nástroji pro vytváření objemových těl a ploch, přes nástroje pro analýzu, až po specializované návrhářské nástroje jako jsou nástroje pro plechové díly, formy či svařování. SolidWorks je zajímavou volbou zejména pro plastikáře či nástrojaře, neboť již v základní verzi nabízí užitečné funkce pro vytváření forem – od nástrojů pro hledání siluet, přes vytváření dělicích křivek a ploch, až po automatické vytvoření tvárníku a tvárnice a bočních jader. Zajímavý je také integrovaný nástroj pro základní statickou pevnostní analýzu pomocí metody konečných prvků a také nástroj pro simulaci zatékání plastů do formy.

Výhodou je že program je kompletně lokalizován už výrobcem, což usnadňuje používání programu a urychluje jeho vývoj a distribuci uživatelům.

#### 3.4 3D STUDIO MAX

Výrobcem 3D Studio Max je americká firma Autodesk, 3D Studio Max je nejrozšířenějším 3D animačním nástrojem na trhu. Oblibu získal díky širokým možnostem editace a otevřené architektuře, je tedy možné vytvářet zásuvné moduly (plug-in), díky kterým mají uživatelé možnost funkce programu dále rozšiřovat.

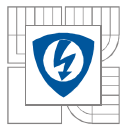
Často jej používají vývojáři počítačových her, ale dá se využít i pro tvorbu filmů, speciálních efektů a architektonických prezentací. Zajímavostí je že u prvních verzí byl pro ochranu licence použit hardwarový klíč, který musel být zasunut v počítači, když chtěl uživatel s programem pracovat. V nových verzích byl nahrazen softwarovou ochranou.

#### 3.5 INVENTOR SERIES

Autodesk Inventor je 3D-CAD modelovací software vytvořený firmou Autodesk. Často je označován za relativně levnou alternativu programům jako je Pro/ENGINEER, nebo CATIA.

Po předchozím více než 3-letém vývoji ho Autodesk uvedl v roce 1999 (krycí jméno *Rubicon*) jako nový modelovací nástroj. Rychlý vývoj verzí programu (přibližně každých 9 měsíců nová verze) zajišťuje stálý přísun nových funkcí zefektivňujících konstruování. V balíku Inventor Series 10 je Mechanical Desktop 2006, AutoCAD Mechanical 2006, AutoCAD 2006 a Autodesk Inventor 10.

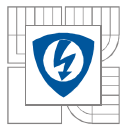
Mezi hlavní vlastnosti Autodesk Inventoru patří :



- Single-Day Productivity, rychlé seznámení s aplikací
- Komplexní popis virtuálního prototypu nikoliv pouze jednotlivých částí
- Maximální podpora spolupráce při tvorbě výrobku v rozsáhlém týmu
- Zachycení inženýrského záměru již ve fázi tvorby náčrtů jednotlivých součástí, podsestav a sestav
- Vytvoření podmínek pro opakované použití modelů, zajištění informací o možnostech jejich úprav
- Podpora efektivní práce na sestavách o desítkách tisíc součástech
- Kompatibilita s existujícími formáty

Při tvorbě návrhu začíná konstruktér vytvořením *2D náčrtu*, kterému přiřadí geometrické vazby (například *rovnoběžnost, kolmost, souosost* ) . Následuje přidání třetího rozměru a úprava do konečné podoby například zaoblení, zkosení, nebo díry. Posledním krokem je vytvoření výkresové dokumentace, která se vygeneruje sama na základě modelu.

Výhodou Autodesk Inventoru je, že běží i na běžných osobních počítačích, není tak nutné pořizovat drahé pracovní stanice. Často jej také používají firmy, které chtějí přejít z 2D navrhování na 3D, má snadné ovládání a tím zjednodušuje přechod na 3D modelování.



## 4. NOVÉ MOŽNOSTI AUTODESK INVENTOR SERIES 10

### 4.1.1 Kapacita a výkon

Ani pro navrhování velkých a složitých strojů o desítkách tisíc komponent, není potřeba nákladný hardware. Segmentovaná databázová architektura průběžně zvyšuje kapacitu tak, aby odpovídala potřebám, a je nyní rychlejší než dřív.

### 4.1.2 Svary

S vestavěným prostředím pro návrh svarů lze snadno modelovat svary ve 3D a zlepšit kvalitu díky simulaci úkonů před svářením, při něm a při jeho dokončení. Je možné klasifikovat a modelovat drážky, rozestupy a vyhloubení pro svary jako 3D tělesa. Automaticky vytvořit 3D anotace podle oborových či firemních standardů a vygenerujete asociativní 2D symboly sváření pro dokumentaci. Funkce analýzy sváření a tvorby sestav zahrnují sestavy vyhloubení pro svary a komplexní rozpoznání interference u všech typů vyhloubení pro svary.

### 4.1.3 Opětovné využití komponent a funkcí

Díky okamžitému přístupu k často používanému strojírenskému obsahu dochází k zrychlení práce. Autodesk Inventor obsahuje knihovnu více než 650 000 komponent, které představují často používaný obsah, včetně matic, šroubů a vrutů. Mezi výkonné nástroje patří:

- Content Center: Centrální umístění, které umožňuje správu obsahu, přizpůsobení a publikování vlastního obsahu pro jednotlivé uživatele i pro pracovní skupiny.
- iParts: Tabulkami řízené knihovny skupin komponent (například díl iPart pro kolo auta, který lze zařadit do tabulky mezi vzory se čtyřmi, pěti, šesti nebo osmi otvory pro šroub podle toho, na jakém vozidle je umístěn).
- iFeatures: Interaktivní rozhraní pro zadání drobných prvků, jako jsou porty konektorů, plechové žaluzie, porty pro hydrauliku, drážky pro klíč a další, které lze přetáhnout přímo do návrhu.
- funkcionality i-drop®: Snadný způsob, jak využít díly, které výrobci publikují na webu, pouhým přetažením z prohlížeče do okna rozhraní.

### 4.1.4 Kusovníky

Funkcionality kusovníku poskytuje jediný zdroj pro správu struktury sestav a dílčích sestav ze zakoupených i nezakoupených dílů díky automatickému generování a údržbě konzistentního kusovníku (BOM) napříč sestavami, výkresy a prezentacemi. Veškeré vlastnosti kusovníků lze upravovat ve snadno ovladatelném, tabulkou řízeném rozhraní, které dovoluje, aby nemodelované součásti (mazivo, barva atd.) byly představovány virtuálními komponentami.

### 4.1.5 Parametrické prvky a adaptivní technologie

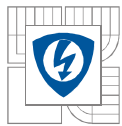
Dochází ke snížení počtu kroků návrhu díky tomu, že se provedené změny s využitím návrhových enginů pro parametrické prvky a adaptivní technologii okamžitě promítnou do celého návrhu. Tato funkcionality pomáhá asociativně propojit součásti tak, že změna součásti způsobí odpovídající změny souvisejících dílů.

### 4.1.6 Přehlednější umístění otvorů

Zlepšení produktivity díky automatickému vytváření otvorů, poznámek k nim a tabulek otvorů, které se při změnách automaticky aktualizují. Přehledné umístování otvorů nezávisle na náčrtu, s využitím lineární (umístění za dva okraje) nebo koncentrické metody. Parametrická definice otvoru podle standardních upeňovacích prvků.

### 4.1.7 Spolupráce aplikací Inventor a AutoCAD Mechanical

Díky asociativní spolupráci ve 2D a 3D mezi aplikacemi Autodesk Inventor a AutoCAD Mechanical stačí otevřít aplikaci AutoCAD Mechanical a při procházení aktuálními soubory aplikace Autodesk Inventor zvolit požadovaný soubor dílu či sestavy. Aplikace AutoCAD Mechanical pak vytvoří nový propojený výkres. Při změně návrhu v aplikaci Autodesk Inventor se pak výkres v softwaru AutoCAD Mechanical automaticky aktualizuje.



#### **4.1.8 Příručka konstruktéra**

Konstrukční teorii, vzorce a algoritmy má konstruktér stále při ruce. Můžete tak výrazně zkrátit čas nutný ke konstrukční analýze. Tato komplexní online referenční příručka a databáze znalostí pro oblast výroby je snadno přístupná z kteréhokoli místa v aplikaci Autodesk Inventor.

#### **4.1.9 Strojírenské kalkulátory**

Vyhnout se nákladnému přepracování a zlepšení efektivity navrhování díky snadno ovladatelným online nástrojům pro analýzu konstrukcí. Komplexní sada strojírenských kalkulátorů staví na standardních matematických vzorcích a fyzikálních teoriích používaných při návrhu i validaci strojírenských systémů.

#### **4.1.10 3D úchopové body**

Editace úchopových bodů představuje rychlý a pružný způsob úprav parametrických dílů. Nové 3D úchopové body urychlují změny v návrhu díky intuitivním úpravám náčrtů a modelů. Stačí pouze vybrat úchopový bod a přetáhnout jej podle potřeby.

#### **4.1.11 Zrcadlení sestav**

Snížení počtu kroků nutných k duplikování a zrcadlení složitých sestav. V návrhu sestav obvykle bývají dílčí sestavy, které jsou identické, pouze zrcadlově obrácené pro pravou a levou stranu. Pomocí funkce zrcadlení sestav v aplikaci Autodesk Inventor lze definovat pravo-levé nebo předo-zadní převedení a vytvořit symetrické díly nebo dílčí sestavy. Funkce podporuje vlastnosti a vzory sestav, přípravu pro sváření, automatické názvy součástí a obrábění s možností opětovně využít standardní obsah.

#### **4.1.12 Automatické pohledy na výkres**

Automatická tvorba čelních a bočních pohledů, iso, detailů, řezů a pomocných pohledů pomocí automatického načtení rozměrů modelu šetří čas potřebný k tvorbě výkresů při užití tradičních 2D metod. Pomocí rozsáhlé palety kót, anotací a 2D symbolů pak sadu výkresů rychle dokončíte. Můžete vytvářet také překrývající se pohledy na výkres, které ilustrují různé pozice sestav.

#### **4.1.13 Automatická aktualizace výkresů**

Software Autodesk Inventor minimalizuje množství chyb a potřebu ruční kontroly díky asociativnímu propojení pohledů na výkres do původních komponent. Každá změna provedená v součásti sestavy se tak automaticky odrazí ve výkrese. A nyní Autodesk Inventor podporuje globální aktualizace zdrojů pro výkresy, jako jsou rohová razítka, ohraničení a načrtnuté symboly.

#### **4.1.14 Asociativní seznamy součástí**

Generovat a aktualizovat přesné seznamy součástí je možné za zlomek času, jaký vyžadují tradiční 2D metody, a navíc je téměř vyloučeno riziko lidské chyby. Množství součástí a dílčích sestav je vždy aktuální a okamžitě se uspořádává a vkládá do seznamů součástí na výkresech. Tvorba bublin a číslování položek probíhá automaticky. A nyní máte k dispozici více flexibility při vytváření a přizpůsobování seznamů součástí odpovídajících firemním standardům.

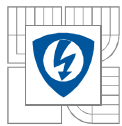
#### **4.1.15 Styly**

Umožňují pracovat rychleji a s jistotou, že práce odpovídá firemním standardům, díky schopnosti kontrolovat a okamžitě měnit formátování celého dokumentu. Styly usnadňují formátování prvků, jako je velikost a barva písma, standardy a typy čar. Použitím vybraného stylu, okamžitě budou uplatněny veškeré formátovací instrukce v něm obsažené. Lze také konfigurovat sadu běžně používaných firemních stylů, které mohou využívat všichni členové projektového týmu.

#### **4.1.16 Formáty pro import/export**

Autodesk Inventor Series podporuje standardní přenosy dat při importu a exportu informací o návrhu a výkresech. Zlepšuje tak spolupráci s dodavateli a zákazníky, protože umožňuje sdílet a opětovně využívat data v rámci dalších 3D systémů na platformě CAD/CAM.

Je možné importovat soubory ve formátech DWG, DXF, ProE, SAT, IGES a STEP.



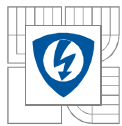
Exportovat lze soubory součástí a sestav včetně formátů SAT, IGES, STEP, STL a online služby Autodesk Buzzsaw. Dále je možný export souborů s výkresy ve formátech DWG (s úplným mapováním vrstev), DWF (Design Web Format) a DXF.

#### **4.1.17 Konstrukční prostředí**

Nové konstrukční prostředí IGES nebo STEP zjednodušuje spolupráci díky možnosti sdílení a opětovného využití dat návrhu v 3D systémech na platformě CAD/CAM. Obsahuje nástroje pro kontrolu, úpravy a opravu dat před jejich použitím. Opětovné využití importovaných těles, povrchů, drátěných modelů a bodů je tak snazší než dříve.

#### **4.1.18 Import návrhů z aplikace Autodesk Mechanical Desktop**

Snadný import návrhů z aplikace Autodesk Mechanical Desktop umožňuje automatizovat přechod k softwaru Autodesk Inventor Series. Můžete tak opětovně využít modely a výkresy aplikace Mechanical Desktop jako díly, sestavy a výkresy v nativním formátu aplikace Autodesk Inventor a přitom zachovat jejich původní podobu, omezení a vztahy mezi výkresy. Funkcionalita pro migraci podporuje automatickou tvorbu pohledů na výkresy a rozpoznání asociativního propojení mezi modelem a výkresem v anotacích, scénách, nastavení jednotek apod.



## 5. VZNIK ELEKTRODYNAMICKÝCH SIL

Prochází-li proudovou dráhou elektrického zařízení proud, vzniká v proudové dráze síla, která působí mechanické namáhání. Toto namáhání může dosáhnout zvláště vysokých hodnot při zkratech, kdy procházejí zařízením poměrně velké zkratové proudy.

Ještě větší mechanické namáhání proudové dráhy, nebo její části vzniká dostane-li se proudová dráha, nebo její část do rezonance s elektrodynamickou silou. Někdy se snažíme tyto vznikající síly potlačit jako nežádoucí, v jiných případech je konstrukčními úpravami zvětšujeme.

Příčina vzniku těchto elektrodynamických sil v elektrických zařízeních je existence magnetických polí, která na sebe působí. Obecně platí, že na element  $dl$  proudového vlákna s proudem  $i$ , které se nachází v magnetickém poli indukce  $B$ , působí síla :

$$dF = idl \times B \quad (1)$$

Na proudové vlákno délky  $l$  tato síla bude :

$$F = i \int_l dl \times B \quad (2)$$

Při průchodu proudu dochází v elektrických přístrojích ke vzniku magnetických polí, která jsou příčinou vzniku elektrodynamických sil v těchto případech :

- Při více proudových drahách
- Při zakřivení proudové dráhy
- U proudové dráhy nacházející se v blízkosti feromagnetického rozhraní
- Při deformaci proudového pole v proudové dráze vyvolané změnou jejího průřezu.
- Při změně indukčnosti obvodu vyvolané činností elektrického přístroje
- Při průtoku proudu proudovou dráhou

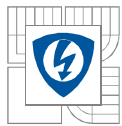
V místě kontaktu, kde na sebe dosedají kontakty, dochází ke změnám v průřezu vodiče. Tím se také deformuje proudové pole a mohou vznikat síly. Při souměrné změně kruhového průřezu udává velikost působící síly rovnice

$$F = i^2 \ln \frac{d_2}{d_1} \cdot 10^{-7} \quad (3)$$

U čelních kontaktů s bodovým stykem počítáme odpudivou sílu podle předchozího vztahu, přičemž uvažujeme kruhovou stykovou plošku s průměrem  $d$ . Při kontaktech ze stejného materiálu a při uvažování pružné deformace určuje velikost průměru  $d$  rovnice.

$$d = 2,22 \sqrt{\frac{F_K R}{E}} \quad (4)$$

Kde  $F_K$  je kontaktní přítlak,  $R$  je poloměr kulových povrchů kontaktů a  $E$  modul pružnosti v tahu materiálu kontaktů.



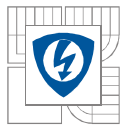
Pro harmonicky se měnící proud udává časový průběh odpudivé síly rovnice

$$F = I^2(1 - \cos 2\omega t) \ln \frac{D}{d} \cdot 10^{-7} \quad (5)$$

a její maximální velikost určuje vztah

$$F_{\max} = 2I^2 \ln \frac{D}{d} \cdot 10^{-7} \quad (6)$$

U kontaktů s přímkovým a plošným stykem jsou poměry pro výpočet odpudivé síly značně komplikované. Komplikovaný je také výpočet při plošném styku, protože technický povrch není nikdy ideálně rovný a styk nastává na konečném počtu mikroplošek, který se při každém zapnutí mění. Stanovit velikost odpudivé síly pro plošné kontakty je tak možné pouze ze závislosti změny indukčnosti obvodu na zdvihu kontaktů.



## 6. ELEKTRICKÝ OBLOUK A JEHO VLASTNOSTI

Elektrický oblouk je výboj hořící v plynu, schopný samostatné existence libovolnou dobu, pokud jej nepřerušíme vhodným zásahem do jeho mechanismu.

Charakteristické znaky oblouku jsou :

- Vysoká teplota katodové skvrny dostačující k tepelné emisi elektronů
- Hustota proudové katodové skvrny se řádově rovná desítkám MA/m<sup>2</sup>
- Malé elektrodové úbytky
- Malé napětí mezi elektrodami (vzhledem k napětí zdroje)
- Velký proud procházející obloukem (více než 1A)
- Intenzivní vyzářování světla z výbojového plazmatu a z elektrod.

[1]

Podle druhu napětí v obvodu ve kterém oblouk hoří dělíme oblouky na

- Napájené stejnosměrným proudem (stejnosměrný oblouk)
- Napájené střídavým proudem (střídavý oblouk).

Stejnosměrný oblouk považujeme za statický, závislost napětí mezi elektrodami na obloukovém proudu v tomto případě nazýváme statickou charakteristikou. Střídavý oblouk je proměnný s časem, jeho charakteristika se nazývá dynamická.

Doba vytváření oblouku je velmi krátká, řádově to je 10<sup>-6</sup>s. Po vytvoření je plazma oblouku v termické rovnováze, to znamená, že elektrony, ionty, neutrální atomy a popřípadě molekuly mají stejné teploty. Oblouk je schopen samostatně existovat, pokud v něm probíhají ionizační pochody, které po dobu existence oblouku jsou v rovnováze s rekombinačními pochody. Pokud převládají rekombinační pochody nad ionizačními dojde k zániku oblouku. Této převahy rekombinačních pochodů lze dosáhnout různými způsoby, které budou popsány níže.

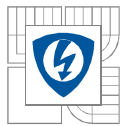
V makroskopickém měřítku se oblouk jeví jako ostře ohraničený svítící plynný útvar hořící mezi elektrodami. Pro zjednodušení jej lze považovat za souměrný, avšak jeho osou souměrnosti není přímka ale oblouk. Při průchodu elektrického proudu plazmatem vznikají v plazmatu tepelné ztráty, které se projeví zvýšením teploty plazmatu. Teplota plazmatu se vlivem těchto ztrát velmi rychle zvyšuje, není však v celém průřezu plazmatu stejná. V ose plazmatu je nejvyšší a směrem k okrajům se snižuje. Rozdělení teploty v závislosti na poloměru nazýváme radiálním průběhem teploty. Okrajová teplota plazmatu v místech kde plazma už nezáří je 2000K až 4000K. Tato teplota je dána ionizační energií  $W_i$  atomů plynu, ve kterém oblouk hoří.

Mají-li atomy obsažené v plynu malou ionizační energii, například pro atomy sodíku, draslíku s  $W_i = 5 eV$  je to teplota přibližně 2000K. Ve vzduchu kde ionizační energie je  $W_i = 14 eV$  je to přibližně 4000K. Při těchto teplotách je kinetická energie tepelného pohybu částic schopna vyvolat budící pochody, při vyšších teplotách je tato energie schopna vyvolat ionizační pochody.

Závislost teploty v ose plazmatu na proudu jím procházejícím můžeme pro oblouk hořící ve vzduchu popsat vzorcem :

$$\Theta = 30,885 \left( \frac{I_a}{r_a^2 E_a} \right)^{2/3} \quad (7)$$

kde  $\Theta(K)$  je teplota v ose oblouku,  $I_a(A)$  proud,  $r_a(m)$  poloměr a  $E_a(V/m)$  intenzita elektrického pole oblouku.



## 6.1 VZNIK OBLOUKU V PŘÍSTROJÍCH

V elektrických přístrojích vzniká oblouk principiálně ve dvou případech, při spínání a při vypínání. Zapínací oblouk ve většině případů zanikne bez znatelného vlivu na spínání. Vypínací oblouk je nutné k zániku přivést vhodným zásahem do jeho mechanismu. Zhášení těchto oblouků je vlivem velkých proudů vzniklých při vypínání poměrně obtížné.

### 6.1.1 Zapínání

Proces zapínání je charakterizován přibližováním kontaktů spínače, na kterých se potenciální rozdíl rovná napětí zapínaného zdroje. Při přibližování kontaktů se zvětšuje intenzita pole v prostoru mezi kontakty. V určitém okamžiku dosáhne velikosti elektrické pevnosti prostředí, které je mezi kontakty. Při dosažení průrazné intenzity elektrického pole je síla způsobující urychlování elektronů tak velká, že kinetická energie urychleného elektronu je schopna vyvolat ionizaci atomu, na který urychlený elektron narazil. Celý děj probíhá v oblasti elektrického průrazu, mezi elektrodami vznikne zárodek koróny, který umožňuje vznik elektronové laviny. Vznikne tak elektrický oblouk, který však trvá jenom velmi krátkou dobu, dokud se přibližující se elektrody nedotknou. Oblouk zanikne při vodivém spojení kontaktů.

Budeme-li předpokládat, že volná dráha elektronu ve vzduchu za normálního tlaku je řádově  $10^{-3}mm$ , elektrická pevnost vzduchu je  $3kV/mm$  a vzdálenost elektrod je minimálně 100 volných drah (pro vytvoření elektronové laviny) vznikne oblouk při zapínání pouze při napětí na elektrodách vyšším než 300V. [1]

Při nižším napětí může oblouk na elektrodách vzniknout po prvním dotyku kontaktů, kdy se vlivem pružných sil kontakty od sebe odrazí. V tomto případě vzniká elektrický oblouk s negativním vlivem na elektrody. Při odražení kontaktů vypínače zapínajícího velký proud může mít takto vzniklý oblouk za následek trvalé svaření kontaktů a tím selhání vypínače při dalších spínacích pochodech.

Dalším důvodem vzniku zapínacího oblouku může být nerovnost povrchu spínajících elektrod. Tyto nerovnosti mohou vznikat při předcházejících spínacích pochodech, kdy došlo k přenosu materiálu z jedné elektrody na druhou. Takto přenesený materiál vytváří na druhé elektrodě vyvýšeniny. Při dotyku takovýchto vyvýšenin při zapínání může následkem velké proudové hustoty vzniknout velké teplo, které vyvýšeniny roztaví nebo vypaří.

### 6.1.2 Vypínání

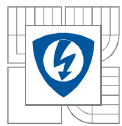
Podle vzniku vypínacího oblouku lze rozdělit spínací přístroje do tří skupin

- Pojistky
- Svodiče přepětí
- Přístroje se spínacími kontakty

#### 6.1.3 Přístroje se spínacími kontakty

V zapnutém stavu jsou kontakty navzájem přitlačovány silou kontaktní pružiny, síla pružiny deformuje současně pružně a elasticky materiál v oblasti styku kontaktů. Během vypínacího pochodu se zmenšuje síla kontaktní pružiny, kontakty se pohybují v mezích pružné deformace materiálu, současně se zmenšuje počet a velikost kontaktních bodových plošek. Kontaktní odpor narůstá, Jouleovým teplem dochází k ohřevu kontaktních můstek. Pokud jsou kontakty vyrobeny z materiálu s nízkou teplotou tavení (například měď nebo stříbro) může v okamžiku rozpojování vzniknout můstek z roztaveného kovu, a vznikne oblouk podobně jako v pojistce.

V případě že jsou kontakty vyrobeny z materiálu s vysokou teplotou tavení (wolfram, uhlík) nebo nevzniknou-li můstky z roztaveného kovu je v místech posledního dotyku kov rozehrát na teplotu blízkou teplotě tavení a ve vyhrátých místech je energie potřebná pro uvolnění elektronů malá.



Z elektrody která je v okamžiku rozpojení katodou jsou elektrickým polem vytahovány elektrony, které po urychlení vytvoří elektronovou lavinu a vznikne oblouk.  
V obou případech dojde k zahřátí elektrod, oblouk tedy vznikne i při nízkých hodnotách napětí na elektrodách.

## 6.2 VYPÍNÁNÍ ELEKTRICKÉHO OBVODU S OBLOUKEM

Vypínání silnoproudého elektrického obvodu spínačem je doprovázeno vznikem elektrického oblouku mezi jeho kontakty. Proces úspěšného vypnutí je závislý na několika činitelích. Hlavním z nich je mechanická a tepelná spolehlivost funkčních dílů vypínače společně s úspěšným průběhem vypínacích pochodů, vedoucích k obnovení elektrické pevnosti média mezi kontakty vypínače. Z hlediska vypínače považujeme vzniklý oblouk za nežádoucí jev, plazma vznikající při vypínání respektive při hoření oblouku způsobuje zahřívání kontaktů a tím pádem jejich značné opotřebování. Rozsah opotřebení závisí na velikosti vypínacího proudu a na době trvání oblouku mezi elektrodami.

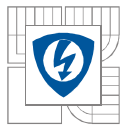
Pokud však budeme celý vypínací pochod posuzovat komplexně má přítomnost elektrického oblouku ve vypínacím pochodu i některé pozitivní vlivy. Převážná část elektromagnetické energie akumulované v obvodu se přemění na energii teplenou, která je snáze zvládnutelná než napětí, které by vzniklo při vypínání bez oblouku. Tento jev se nejvíce projevuje při vypínání stejnosměrného obvodu.

I přesto zůstávají tepelné účinky oblouku hlavním problémem při zvládnání vypínacího pochodu.

## 6.3 ZÁNÍK ELEKTRICKÉHO OBLOUKU

Pro vznik a existenci elektrického oblouku je nutné vytvořit nabitě částice umožňující průchod elektrického proudu ve výbojové dráze mezi elektrodami. Z kapitoly 6.1 popisující vzniku oblouku plyne, že podmínkou vzniku oblouku jsou ionizační pochody v prostoru mezi elektrodami. Současně s ionizačními pochody probíhají i pochody vedoucí k zániku nabitých částic. Souhrnně je nazýváme deionizačními pochody, hlavním z nich je difúze částic z teplých oblastí v okolí osy plazmatu oblouku do okrajových tedy studenějších oblastí v okolí osy oblouku, kde probíhá rekombinace. Rekombinace je opačný děj k ionizaci, záporný elektron se spojí s kladným iontem a vznikne neutrální atom. Přitom se uvolní energie spotřebovaná na ionizaci. V jakou energii se uvolněná energie změny závisí na okolnostech, za kterých dochází k rekombinaci. Rekombinace může nastat v elektrodě, v prostoru vyplněném plazmatem nebo na okraji plazmatu tvořeném buď pevnou stěnou nebo rozhraním plazmatu a okolního prostředí. Ve většině případů probíhá rekombinace za účasti tří částic. Charakteristikou takového rekombinačního pochodu, nazývaného potrojná srážka, je převzetí rekombinační energie třetí částicí. Není-li v bezprostředním okolí nekombinujícího iontu žádná třetí částice, která by energii odebrala, uvolněná energie se z plazmatu vyzáří jako světlo. Nastane-li rekombinace v bezprostředním okolí elektrody předá se uvolněná energie elektrodě ve formě tepla. Tento jev společně s přeměnou kinetické energie částic dopadajících na elektrody v teplo má za následek ohřívání elektrod na vysoké teploty.

Hlavním úkolem zhasnutí je proto uvolněnou energii při rekombinačních pochodech odvést a urychlit spontánně probíhající difúzi v plazmatu. Difúzních pochodů v plazmatu se neúčastní pouze ionty, ale i neutrální částice, případně molekuly plazmatu. Difúze neutrálních částic způsobuje odvádění tepla zevnitř plazmatu směrem ven k jeho okrajům. Každá částice která je neutrální nebo nabitá, vynáší z plazmatu energii totožnou s její kinetickou energií a tuto energii předává při srážkách částicím v okolí plazmatu.



Podle kinetické teorie plynů je energie vynesena částicí v řádech jednotek elektronvoltů. U nabitých částic je tato energie zvětšena o ionizační energii příslušného druhu neutrálních částic, případně disociační energii molekuly, ze které vznikla. Protože částice se pohybují z oblasti s vyšší teplotou do oblasti s nižší teplotou ve směru poloměru plazmatu, nastane radiální difúze částic účinně podporující deionizaci. [1]

#### 6.4 PRINCIP DEIONIZACE VÝBOJOVÉ DRÁHY V PŘÍSTROJÍCH

Jedním z postupů je postup uvedený v předešlé kapitole, tedy radiální difúze částic. Tento princip deionizace probíhá v plazmatu oblouku spontánně. Úkolem zhášedla je tento pochod podporovat odváděním tepla z povrchu plazmatu tím, že ho ochlazuje.

Pro vypínání malých proudů v řádech jednotek ampérů stačí na uhašení oblouku pouze spontánní radiální difúze. Při vypínání proudů o desítkách ampér a větších musí mít proces ochlazování velkou účinnost, protože při ochlazování povrchu oblouku se zvyšuje teplota jeho plazmatu. Tento na první pohled nelogický jev lze vysvětlit pokud uvážíme že ochlazováním povrchu plazmatu dochází ke zmenšení poloměru výbojové dráhy. Následně proud který oblouk udržuje musí procházet větším odporem, Joulovo teplo které se v plazmatu uvolňuje se zvýší a tím se také zvýší i teplota plazmatu. Zároveň s tím se však zvýší i tepelná výměna mezi plazmatem a okolím. Pokud je tedy chladící médium schopné odvést i toto zvýšené teplo zmenší se opět poloměr a celý děj se opakuje dokud oblouk nepřestane existovat.

Účinnost chlazení povrchu plazmatu můžeme zvětšit vzájemným pohybem chladícího média a plazmatu zhášeného oblouku. Podle toho jakým způsobem se tento pohyb vyvolává rozlišujeme dva základní principy – zhášedla s vlastní energií a zhášedla s cizí energií.

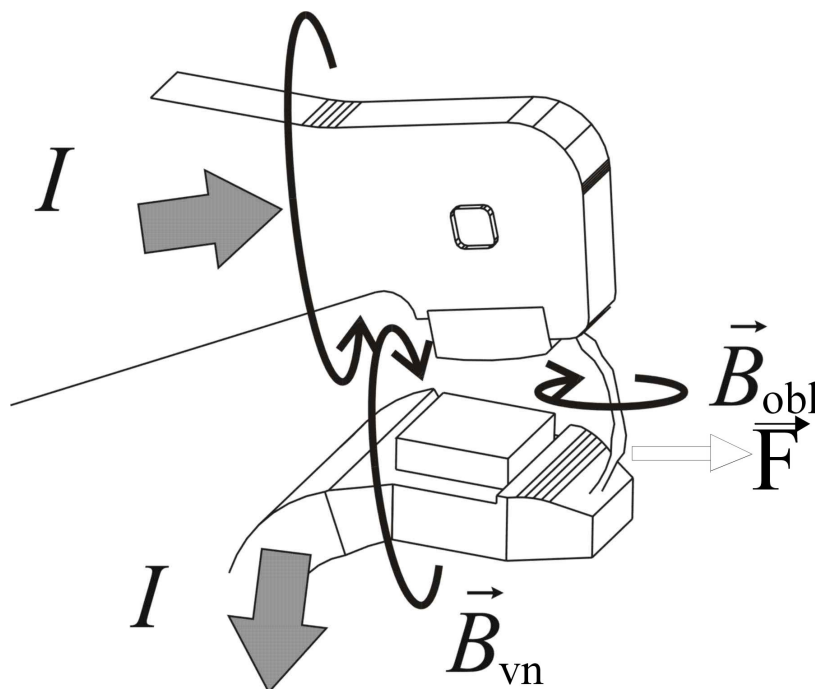
U zhášedel s vlastní energií se pohyb vyvolává energií přerušovaného obvodu, k tomu se používá magnetické pole které budí vypínaný proud nebo teplo které uvolňuje plazma oblouku. Zhášedla s cizí energií využívají předem připravenou energii, například ze zásobníku stlačeného plynu nebo napjaté pružiny spojené s pístem.

#### 6.5 FUNKCE DVOJITÉHO KONTAKTU PŘI VYPÍNÁNÍ

Magnetické vypínače používají k přerušení hoření oblouku magnetickou energii obvodu, který přerušují. Proto se řadí mezi soustavy s vlastní zhášecí energií, což znamená že se u nich vyskytují všechny charakteristické jevy těchto druhů zhášedel, hlavně s možností výskytu oblasti kritických proudů a zhášecí účinností rostoucí s velikostí vypínaného proudu.

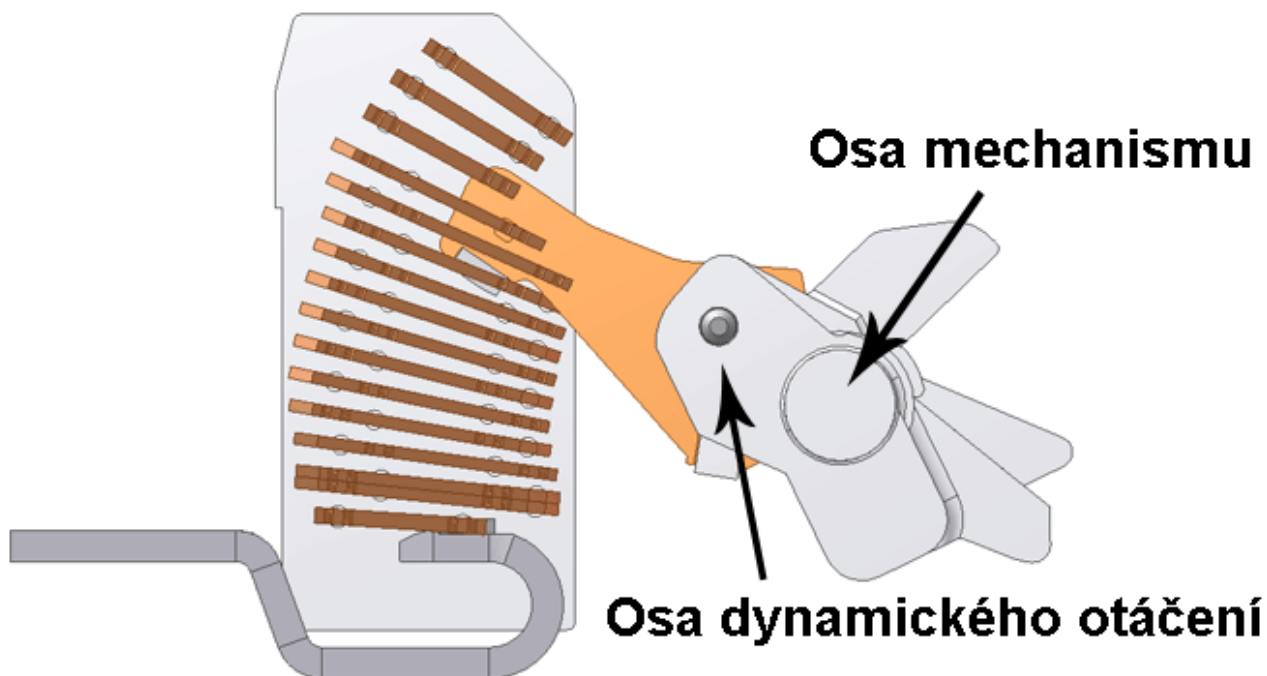
Vypínače s magnetickým vyfukováním oblouku do zhášecí komory mají ze všech typů vypínačů nejvyšší obloukové napětí. Důvodem je značná délka oblouku a jeho chlazení, které zvyšuje odpor. Proto je tento typ vypínače vhodný i pro vypínání stejnosměrných proudů. U střídavého proudu tato okolnost také pomáhá, avšak důležitější je proces deionizace obloukové dráhy v nule proudu. Protože tato deionizace probíhá převážně přirozeným způsobem, tj. radiální výměnou částic, není nakonec magnetický vypínač tak výkonný jako některé jiné soustavy.

Podstatou magnetického vyfukování oblouku je interakce magnetického pole oblouku s magnetickým polem jiného úseku proudové dráhy vypínače, zavedeným vhodně do mezikontaktního prostoru. Toto pole je realizováno záhybem proudové dráhy, který navazuje na pevný kontakt. Díky této interakci vzniká elektrodynamická síla, která vhání vznikající oblouk do zhášecí komory.



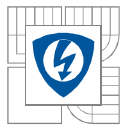
Obrázek 3 - Princip magnetického vyfukování oblouku

Zhášecí komora je tvořena kovovým roštem, jehož úkolem je rozdělení oblouku do na jednotlivé malé oblouky, které hoří mezi jednotlivými plechy komory. Na každém plechu vznikne katodový a anodový úbytek napětí. Tyto úbytky se sčítají a oblouk se dostává do labilního stavu.



Obrázek 4 - Spínací mechanismus jističe

Na obrázku je model zhášecí komory jističe *OEZ BD250*, vlevo je zhášecí komora, která je spojena s proudovou dráhou. Na proudové dráze je také patrný záhyb pevného kontaktu.



Pro správnou funkci omezující funkce jističe je třeba co možná nejrychleji kontakty rozpojit. Při vypínání velkých zkratových proudů představuje vypínání pomocí spouště jisté zpoždění, stejně tak pružina neposkytuje pro omezovací funkci dostatečnou sílu. Proto se využívá odpudivých elektrodynamických sil, které působí na pohyblivý kontakt. Vlivem těchto sil dojde při větších zkratových proudech (pro *BD 250* je to asi  $I_{MAX} = 5kA$ ) k rychlému rozpojení kontaktů, ještě předtím než dojde k reakci spouště.

Pro zajištění této funkce pohyblivého kontaktu je třeba přizpůsobit jeho konstrukci. Celý kontaktní systém, tedy všechny tři fáze se otáčejí kolem hlavní osy otáčení (osa mechanismu), na hlavní hřídel je napojena volnoběžka spínacího mechanismu, přes kterou se po reakci spouště jistič vypíná při menších zkratových proudech. Pro každou fázi zvlášť je připojen nosič pohyblivého kontaktu, pohyblivé kontakty se mohou (každý zvlášť) pohybovat nezávisle na sobě kolem dynamické osy. Při větší hodnotě zkratového proudu tak může kontakt nadskočit a otáčet se kolem dynamické osy vlivem působení elektrodynamických sil. V horní poloze je pohyblivý kontakt zaaretovaný, tak aby nemohlo dojít k případnému zpětnému dosedu kontaktů. Rychlost pohybu kontaktů je závislá na velikosti působících elektrodynamických sil, což významně ovlivňuje zhášecí pochod.

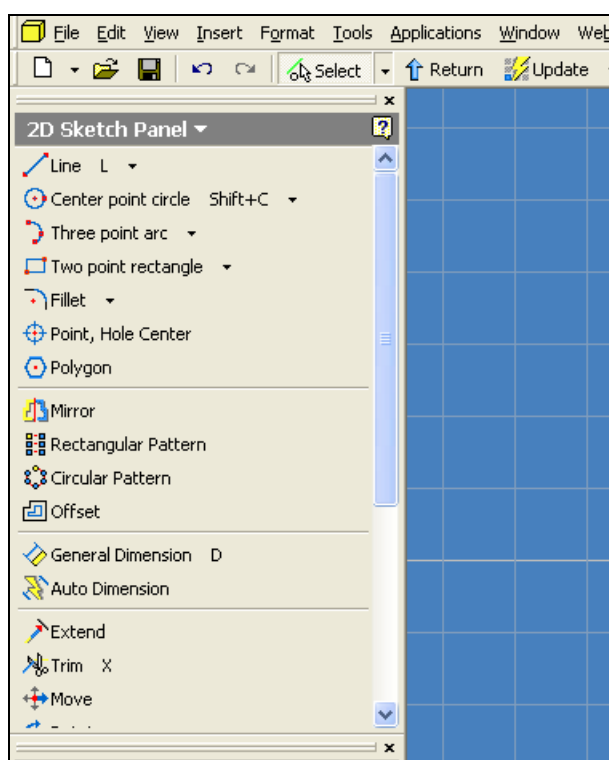
Magnetické pole není přímým zhášecím prostředkem, pouze vyvolává rychlý pohyb oblouku napříč vzduchem, který oblouk ochlazuje. Čím je vyfukovací magnetické pole silnější, tím rychleji se oblouk pohybuje a při stejné délce a stejném proudu lze uhasit oblouk při vyšším napětí obvodu. Rychlost pohybu oblouku tak přímo ovlivňuje vypínací schopnost zařízení.

## 7. MODELACE ZHÁŠECÍ KOMORY V AUTODESK INVENTOR 10

V této kapitole popíšeme jakým způsobem lze v Autodesk Inventoru vytvořit model zhašecí komory pro jistič firmy OEZ BD 250. Na začátku práce je třeba zvolit správný typ šablony na výběr je několik možností, pro vytvoření samostatného dílu se používá šablona *standart.ipt*.

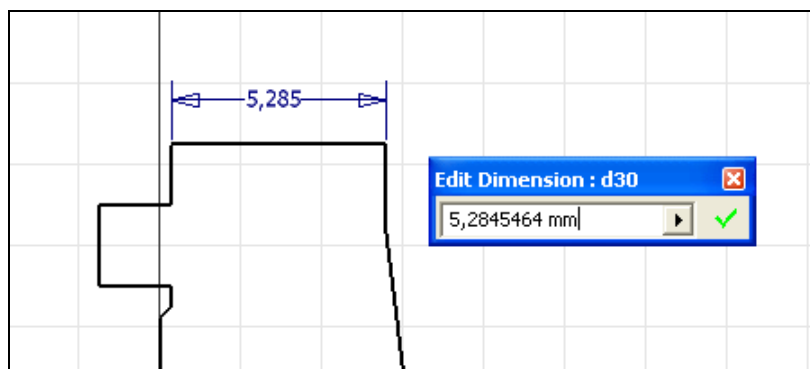
Základní prvek modelování v programu Autodesk Inventor je *SKETCH* (náčrt). Ta se kreslí ve zvolené rovině (2D). Po nákresu skici je potřeba přesně nadefinovat parametry a přesně je vymežit v prostoru (kóty a vlastnosti). Po nákresu je celý náčrt zbarvený jednou barvou v závislosti na pozadí kreslicí plochy, po přesném nadefinování náčrt změní barvu (i po částech).

Pro vytvoření základního návrhu – skici, použijeme některý ze základních nástrojů z nabídky *2D Sketch Panel*.



Obrázek 5 - Nabídka 2D modelovacích nástrojů

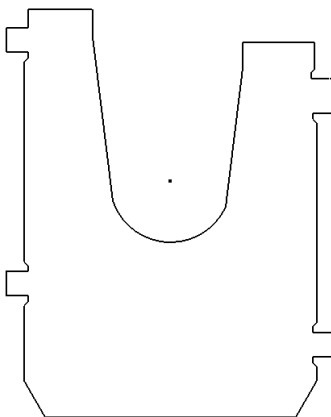
Pomocí nástroje *Line* – čára načrtneme přibližný tvar dané součásti. Při návrhu částí nemusíme vytvořit tvar dané součásti přímo ve 2D návrhu, *zaoblení*, *zkosení*, *díry* a jiné prvky vytvoříme až ve 3D modelu.



Obrázek 6 - Nastavení kóty

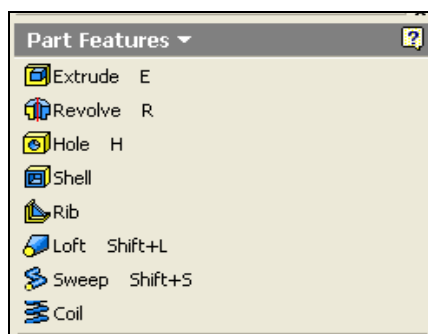
Přesná velikost jednotlivých hran se nastavuje pomocí kót. Tyto kóty mají vliv pouze na výsledný tvar součásti, nemusí se shodovat s normou . Těmito kótami lze později velikosti jednotlivých prvků náčrtu měnit. Po dokončení základního návrhu skicy doplníme geometrické vazby a upravíme velikosti hran pomocí kót.

Pro ukončení režimu návrhu skicy a přechod do 3D modelování použijeme tlačítko *Return* na horní liště programu .

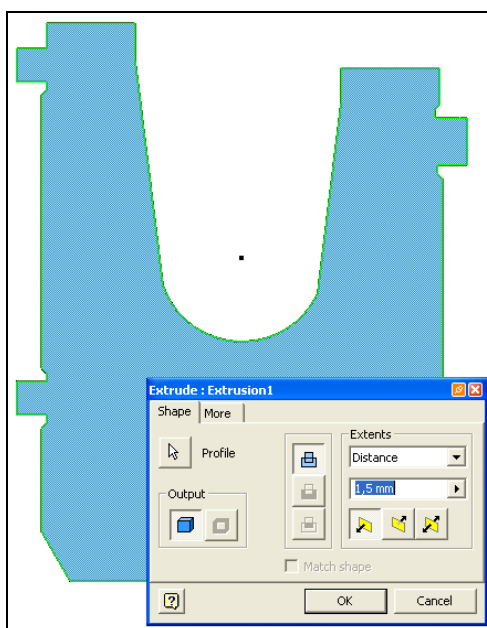


Obrázek 7 - Dokončený náčrt

Po dokončení návrhu má produkt tento tvar, pro vytvoření objemového tělesa použijeme funkce z nabídky *Part features* .

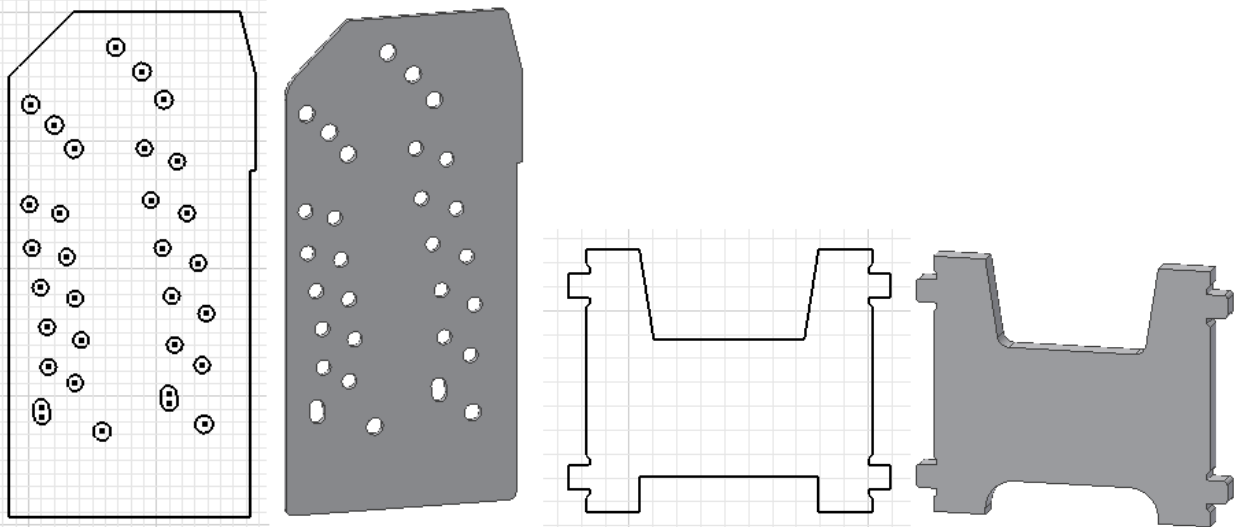


Obrázek 8 - 3D modelovací funkce



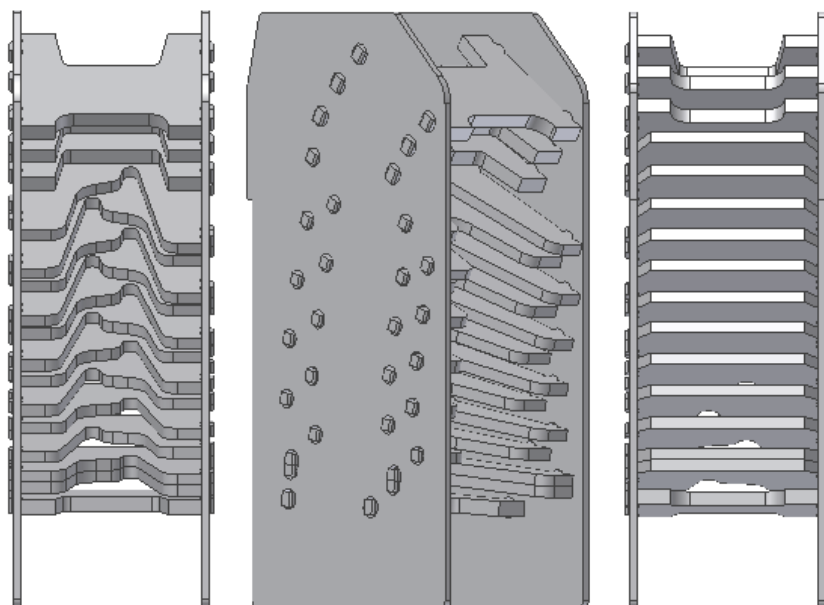
Obrázek 9 - Vysunutí náčrtu

V tomto případě použijeme volbu *Extrude* - vysunout. Pro vysunutí musíme vybrat náčrt, který chceme vysunout, zvolíme na kterou stranu chceme náčrt vysunout (dopředu, dozadu, nebo do obou) a výšku vysunutí. Pokud máme více náčrtů na sobě, můžeme využít *Boolean* operací a tělesa sčítat, odečítat nebo slučovat. Posledním krokem je zaoblit hrany, použijeme funkci *Fillet*, nastavíme poloměr a vybereme hrany, které mají být zaoblené. Můžeme pro různé hrany definovat různý poloměr zaoblení. Inventor naznačí výsledný tvar červenými čarami. Hotovou součást si můžeme prohlížet ve 3D zobrazení, což přispívá k rychlejšímu návrhu, než klasické pouze 2D zobrazení. V panelu *Browser Bar* – prohlížeč můžeme vidět jak součást vznikala, vybírat jednotlivé její části a upravovat rozměry, případně parametry všech operací které jsme na náčrtu provedli. Stejným způsobem vytvoříme i zbývající části zhášecí komory.



Obrázek 10 - Dokončené části zhášecí komory

Po dokončení jednotlivých částí otevřeme nový soubor typu *.iam* a z jednotlivých částí vytvoříme sestavu .

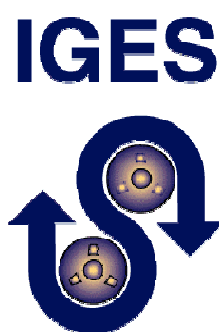


Obrázek 11 - Zhášecí komora

## 8. IMPORT IGES SOUBORU DO AUTODESK INVENTORU

Autodesk Inventor 10 umožňuje import dat z velkého množství formátů, podporovány jsou jak firemní, například z programu Autocad (.dwg), nebo konkurenční jako je třeba Pro/ENGINEER (.prt , .asm) . Stejně tak umožňuje i import největšího konkurenta na poli 3D modelovacích programů tedy Solid Works (.sat). Tato vzájemná kompatibilita je pro konstruktéry velmi důležitá, především pokud na projektu pracuje více organizací a ne všechny používají tentýž software.

I přes tuto možnost importu poměrně široké nabídky formátů (celkem jich je přes deset) vznikají problémy s jejich zpětnou kompatibilitou. Tyto problémy se vyřešili zavedením obecně uznávaného standartu, se kterým bylo možné pracovat téměř ve všech CAD/CAM programech, tento formát ostal název IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*).

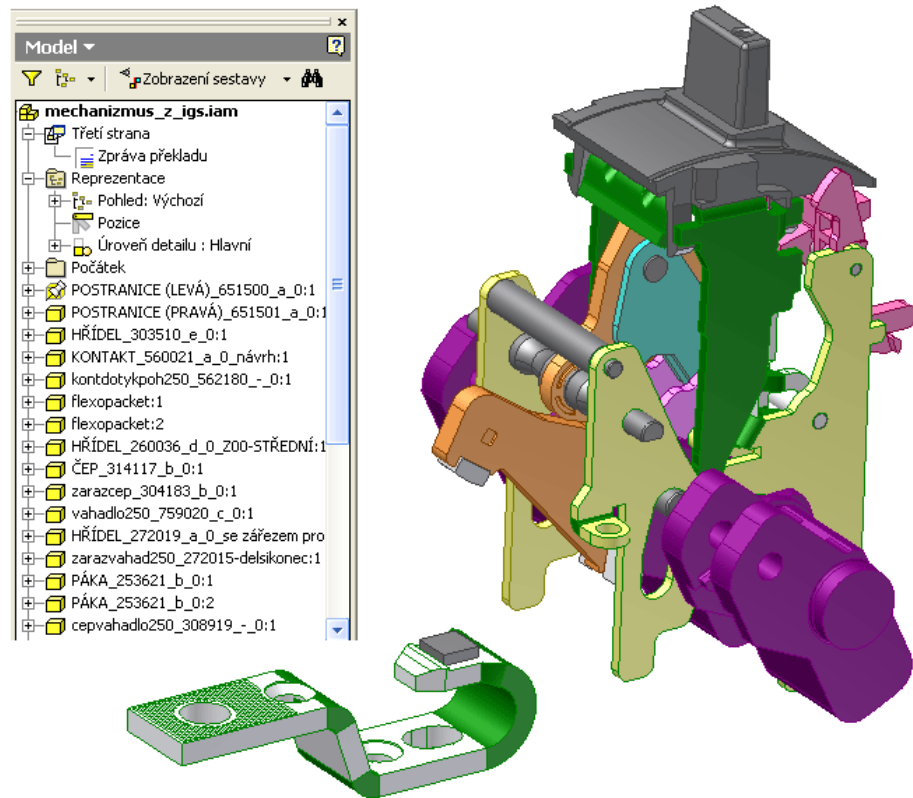


Obrázek 12 - IGES logo

Projekt IGES byl zahájen už v roce 1979 skupinou uživatelů programů CAD podporovanou velkými výrobci jako Boeing, General Electric, Xerox. Už od roku 1988 požadovalo americké ministerstvo obrany veškeré podklady pro výrobu zbraní v elektronické podobě právě ve formátu IGES. Díky tomu došlo k masivnímu rozšíření tohoto formátu, kdy každý výrobce CAD/CAM software který měl být použit pro ministerstvo obrany musel umožňovat práci s formátem IGES a to jak import tak i export. V roce 1980 byl formát IGES standardizován podle ANSI a tak je možné i nyní otevřít a pracovat se soubory starými již téměř 30 let.

Po uvedení nového formátu STEP (*Standard for the Exchange of Product model data*, nebo také *ISO 10303*) v roce 1994 však zájem o další vývoj formátu IGES upadl, poslední verzí je tak verze 5.3. z roku 1996, což je poslední standardizovaná verze tohoto formátu.

Import geometrie uložené ve formátu IGES je v Autodesk Inventoru prakticky stejně jako otevření jakékoliv geometrie uložené v nativním formátu Inventoru. Použijeme tedy příkaz *Otevřít* vybereme soubor a výběr potvrdíme. Pro upřesnění můžeme použít volbu tlačítka *Možnosti importu*, kde můžeme nastavit jaké části geometrie se mají načíst, případně do jaké složky uložit výsledný model. Po otevření a načtení všech vrstev máme dispozici již kompletní sestavu (*iam*), kterou můžeme dále upravovat, nebo přidávat další díly geometrie stejně tak jako když by jsme celou sestavu vytvořili v programu Inventor.

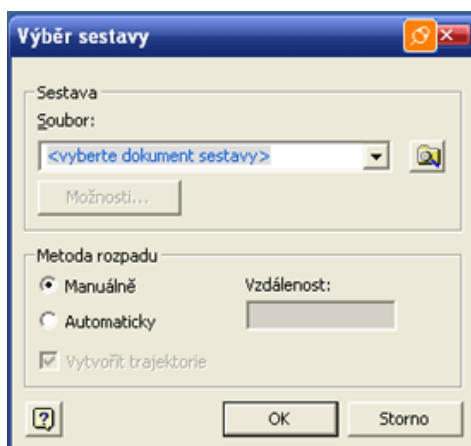


**Obrázek 13** - Importovaná geometrie z IGES

Na obrázku 13 je vidět výsledek importu z formátu IGES do programu Autodesk Inventor, Pro přehlednost je pro každou součást zvolena jiná barva, v prohlížeči součástí je také uvedeno jméno každé části, což zlepšuje orientaci při práci s novou sestavou.

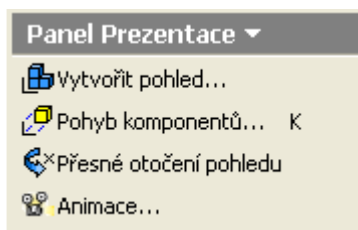
## 9. TVORBA POLOHOVÉ ANIMACE V AUTODESK INVENTOR 10

Pro potřeby polohové animace v Autodesk Inventor 10 použijeme příkaz *Nový* a vybereme *Norma.ipn*. Otevře se na nový soubor polohové animace, kde máme prakticky jedinou možnost – *Vytvořit pohled*. Tato funkce otevře dialog pro načtení souboru *.iam*, tedy hotové sestavu modelu.

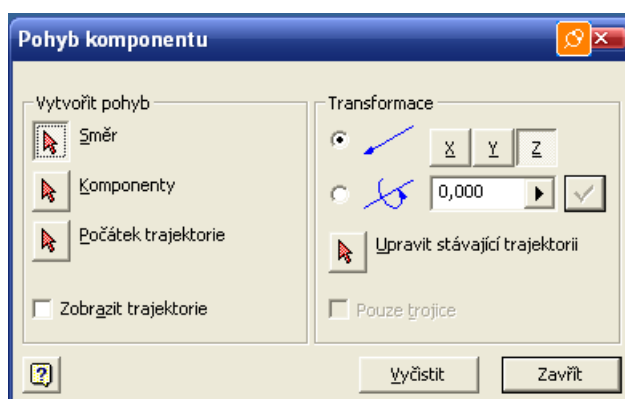


Obrázek 14 - Vytvořit pohled

Po načtení sestavy sestavy dojde ke zpřístupnění dalších možností v Panelu prezentace, především máme možnost zvolit *Pohyb komponentů*, což je hlavní animační nástroj v této šabloně.

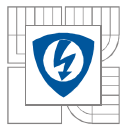


Obrázek 15 - Panel prezentace



Obrázek 16 - Pohyb komponentu

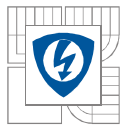
Na panelu *Pohyb komponentu* volíme komponenty, které se mají animovat, směr jejich rotace, případně počátek zamýšlené trajektorie pohybu komponentu. Dále máme možnost zvolit v jaké ose se má pohyb realizovat (X,Y,Z), jestli se má komponent posouvat, nebo otáčet. V každém kroku animace je možné animovat posuv jedním směrem, není tak možné vytvářet složený pohyb, jako je tomu ve vyspělých 3D modelovacích systémech. Výsledná animace je určena především pro účely prezentace hotového výrobku, ne pro ověření jeho vlastností, nebo funkce.



## 10. ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce bylo popsat současné možnosti parametrických CAD systémů, především jsem se při práci zaměřil na systém Autodesk Inventor 10, s jehož použitím jsem byl během výuky seznámen. Použití těchto systémů představuje značné výhody a zlepšení procesu návrhu. Grafický model v 3D prostoru je přehlednější než běžně používaná dokumentace. V současné době jsou možnosti výpočetní techniky takové, že není problém tyto systémy používat na běžně dostupném vybavení v kterékoliv projekční kanceláři. V práci rovněž krátce popisuji vývoj těchto systémů, od systémů které pracovali pouze v 2D prostoru, až po současné plně 3D parametrické modelovací systémy. Parametrické modelování je další velmi důležitý krok ve vývoji grafických programů. Umožnilo rychlejší navrhování ale i pozdější změny podle aktuálních požadavků. Úkolem bylo mimo jiné ověřit možnosti importu standardních formátů. Především jsem pracoval s formátem IGIS, který se mi podařilo bez problémů použít k naimportování části geometrie jističe OEZ BD 250 do Autodesk Inventoru 10. S touto geometrií jsem dále pracoval a domodeloval zhášecí komoru. Komora pracuje na principu elektrodynamických sil a magnetického vyfukování oblouku. Tyto principy jsem v práci popsal a vysvětlil.

Posledním úkolem byla tvorba animace vypínání jističe OEZ BD250 při sepnutí spouště a při průchodu velkého zkratu, kdy je využita funkce dvojitého (dynamického) kontaktu.



## LITERATURA

- [1] HAVELKA, O., a kol.: Elektrické přístroje. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985.
- [2] Fořt Petr, Jaroslav Klečka.: Autodesk Inventor 6. Brno: Computer Press, 2003
- [3] Doc.Ing. Zdeněk Vávra,CSc.: Vysoké napětí a elektrické přístroje Část II Elektrické přístroje, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2003
- [4] Přednášky Doc. Dr. Ing Hany Kuchyňkové
- [5] Browne. Thomas.E., et all.: Circuit interruption, Theory and Techniques. Marcel Dekker, Inc. 1984