

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

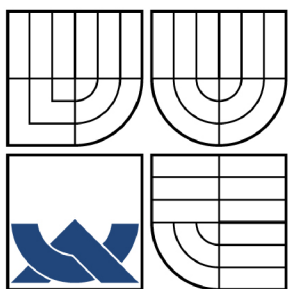
VYUŽITÍ POČÍTAČOVÉ GRAFIKY V SILNOPROUDÉ
ELEKTROTECHNICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

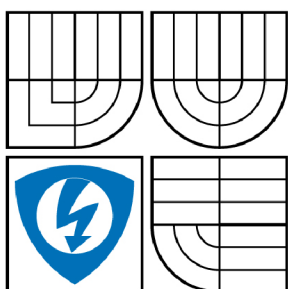
Bc. PAVEL BZDUCH

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

VYUŽITÍ POČÍTAČOVÉ GRAFIKY V SILNOPROUDÉ ELEKTROTECHNICE

THE UTILIZATION OF COMPUTER GRAPHIC IN POWER ELECTRICAL ENGINEERING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

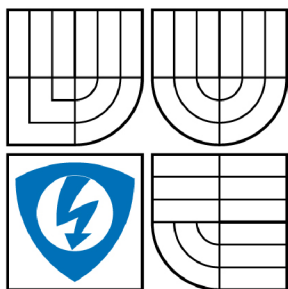
Bc. PAVEL BZDUCH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. HANA KUCHYŇKOVÁ

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a
elektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Bzduch Pavel Bc.

ID: 47254

Ročník: 2

Akademický rok: 2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Využití počítačové grafiky v silnoproudé elektrotechnice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popište novinky v Inventoru 2008.
2. Zhodnoťte možnosti tvorby výkresové dokumentace v Inventoru 2008.
3. Vytvořte 3D model asynchronního motoru pro výpočet oteplení.
4. Připravte manuál pro výpočet oteplení motoru v programu Ansys Workbench.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání: 10.10.2007

Termín odevzdání: 30.5.2008

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Hana Kuchyňková

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Pavel Bzduch
Bytem: Nám. Svobody 723, 69123, Pohořelice
Narozen/a (datum a místo): 17.12.1982, Valtice

(dále jen "autor")

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

(dále jen "nabyvatel")

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Využití počítačové grafiky v silnoproudé elektrotechnice

Vedoucí/školitel VŠKP: doc. Dr. Ing. Hana Kuchyňková

Ústav: Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě - počet exemplářů 1
- elektronické formě - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užit, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

ABSTRAKT

V této práci jsou popsány novinky v programu Autodesk Inventor Professional 2008. Popsány jsou také možnosti tvorby výkresové dokumentace v programu Autodesk Inventor. V druhé části práce jsou uvedeny základní informace o programu ANSYS Workbench a je v něm vypočítáno oteplení asynchronního motoru.

ABSTRACT

The aim of this work is to describe news in Autodesk Inventor Professional 2008. In second part of the work there are described the possibilities of technical drawing in Autodesk Inventor. In third part there is mentioned basic information about ANSYS Workbench. There is thermal simulation of asynchronous motor too.

KLÍČOVÁ SLOVA

ANSYS; Asynchronní motor; Autodesk; Inventor; Oteplení; Šíření tepla; Tepelná analýza; Teplotní přechodová analýza; Výkres; Workbench; Ztrátový výkon;

KEYWORDS

ANSYS; Asynchronous motor; Autodesk; Dissipated power; Drawing; Inventor; Propagation of heat; Temperature rise; Thermal analysis; Workbench;

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BZDUCH, P. Využití počítačové grafiky v silnoproudé elektrotechnice. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 70 s. Vedoucí diplomové práce doc. Dr. Ing. Hana Kuchyňková.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Využití počítačové grafiky v silnoproudé elektrotechnice jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Haně Kuchyňkové a ing. Marcelu Jandovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé práce.

V Brně dne Podpis autora

OBSAH

ABSTRAKT	5
KLÍČOVÁ SLOVA	6
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	7
PROHLÁŠENÍ	8
PODĚKOVÁNÍ	8
1. NOVINKY V PROGRAMU AUTODESK INVENTOR 2008	12
1.1 Přehled novinek.....	12
1.2 DWG TrueConnect.....	13
1.3 Produktivita náčrtu	14
1.4 Shodnosti Inventoru s AutoCADem.....	15
1.5 Modelování složitých tvarů.....	15
1.6 MDT komptabilita	17
1.7 Tvorba náčrtových sestav	18
1.8 Návrh plechových součástí	19
1.9 Generátor rámečků	20
1.10 Import – Export	21
1.11 Výkresy.....	22
1.12 Autodesk Inventor Professional 2008.....	24
1.13 DWF - kontrola návrhu.....	26
2. TVORBA VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE V INVENTORU	28
2.1 Pohledy	28
2.2 Kóty	30
2.3 Hladiny a styly	31
3. ANSYS	35
3.1 Metoda konečných prvků.....	44
3.2 Teorie asynchronního stroje.....	45
3.3 Šíření tepla	50
3.4 Výpočet oteplení motoru	52
3.4.1 Model.....	53
3.4.2 Výpočet modelu	55
3.4.3 Postup nastavení simulace - manuál.....	55
3.4.4 Výsledek výpočtu.....	64
4. ZÁVĚR	69
5. POUŽITÁ LITERATURA	70

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1.1 Ukázka modelů	13
Obrázek 1.2.1 Spolupráce programu Inventor a AutoCAD	14
Obrázek 1.3.1 Zobrazené vazby	15
Obrázek 1.5.1 Ohyb.....	16
Obrázek 1.5.2 Ohyb.....	16
Obrázek 1.5.3 Analýza tvaru	17
Obrázek 1.6.1 Model z MDT	17
Obrázek 1.7.1 Náčrtová sestava	18
Obrázek 1.7.2 Náčrtová sestava	18
Obrázek 1.8.1 Návrh plechové součásti	19
Obrázek 1.8.2 Ohyb plechu	19
Obrázek 1.8.3 Tvorba rozvinů	20
Obrázek 1.9.1 Rám.....	21
Obrázek 1.10.1 Export a import modelů	22
Obrázek 1.11.1 Řez modelem.....	23
Obrázek 1.11.2 Řez modelem ve výkresu	23
Obrázek 1.12.1 Ploché kabely a konektory	24
Obrázek 1.12.2 Trubky.....	25
Obrázek 1.12.3 Dynamická simulace.....	26
Obrázek 1.13.1 Poznámka v Autodesk Design Review	27
Obrázek 2.1.1 Výkres se základním i promítnutými pohledy	28
Obrázek 2.1.2 Řez součástí.....	29
Obrázek 2.1.3 Detail součásti	29
Obrázek 2.1.4 Přerušený pohled	30
Obrázek 2.2.1 Kóty a popisky pro výkres	30
Obrázek 2.2.2 Kóty	31
Obrázek 2.3.1 Hladiny.....	32
Obrázek 2.3.2 Styl textu	32
Obrázek 2.3.3 Nastavení zobrazení kót.....	33
Obrázek 2.3.4 Nastavení textu kót	33
Obrázek 2.3.5 Možnosti zobrazení kót.....	34
Obrázek 2.3.1 Statická strukturální analýza	35
Obrázek 2.3.2 Flexibilní strukturální analýza.....	36
Obrázek 2.3.3 Harmonická analýza	36

Obrázek 2.3.4 Analýza vibrací.....	37
Obrázek 2.3.5 Analýza optimalizace tvaru.....	37
Obrázek 2.3.6 Teplotní analýza desky plošného spoje	38
Obrázek 3.2.1 Momentová charakteristika asynchronního motoru	46
Obrázek 3.2.2 Tok výkonů v asynchronním motoru.....	47
Obrázek 3.2.3 Momentová charakteristika jednofázového asynchronního motoru...	49
Obrázek 3.3.1 Přestup tepla vedením.....	50
Obrázek 3.4.1 Jednofázový asynchronní motor s trvale připojeným kondenzátorem	52
Obrázek 3.4.2 Původní model motoru.....	54
Obrázek 3.4.3 Zjednodušený model motoru.....	54
Obrázek 3.4.4 Model motoru v ANSYS Workbench.....	56
Obrázek 3.4.5 Nastavení vzduchové kapsy	56
Obrázek 3.4.6 Menu projektu	57
Obrázek 3.4.7 Nastavení Meshe	57
Obrázek 3.4.8 Model motoru s Mesh sítí	58
Obrázek 3.4.9 Výpis částí modelu	59
Obrázek 3.4.10 Ovládaní zobrazení částí modelu.....	59
Obrázek 3.4.11 Vinutí statoru.....	60
Obrázek 3.4.12 Rotorová klec	60
Obrázek 3.4.13 Ložiska.....	60
Obrázek 3.4.14 Plechy rotoru a statoru	61
Obrázek 3.4.15 Nastavení generace tepla pro vinutí statoru	61
Obrázek 3.4.16 Vybraný povrch vzduchové kapsy	62
Obrázek 3.4.17 Nastavení parametrů výpočtu.....	63
Obrázek 3.4.18 Graf závislosti teploty motoru na čase.....	64
Obrázek 3.4.19 Rozložení teploty na motoru po jedné hodině.....	64
Obrázek 3.4.20 Rozložení teploty na motoru – podélný řez	65
Obrázek 3.4.21 Výsledek teplotní analýzy motoru.....	66
Obrázek 3.4.22 Podélný řez motorem.....	67
Obrázek 3.4.23 Příčný řez motorem.....	68

1. NOVINKY V PROGRAMU AUTODESK INVENTOR 2008

Nová verze Autodesk Inventoru přichází s mnoha vylepšeními a novinkami, kde mezi největší určitě patří integrace AutoCADu. Inventor nyní obsahuje funkci DWG TrueConnect, jež umožňuje integraci 2D a 3D návrhů prostřednictvím přímého čtení a zápisu formátu DWG s plnou asociativitou na 3D návrhová data bez překladačů.

Výkresy z programu Inventor uložené jako soubory DWG umožňují věrné prohlížení, tisk a měření, což zlepšuje možnosti sdílení výrobních údajů. Funkce *DWG Read* umožňuje otevírání projektů AutoCAD v programu Inventor. Snadná je kombinace pohledů vytvořených z 3D návrhů součástí a sestav s daty AutoCAD, např. schémata a plány celků. Lze též aktualizovat staré 2D výkresy vkládáním pohledů na nové 3D návrhy.

1.1 PŘEHLED NOVINEK

DWG TrueConnect

Tato technologie je zaměřená na funkční souhru mezi AutoCADem a Inventorem. Toto zdokonalení přináší Inventoru možnost pracovat se soubory DWG jako s nativními formáty, tzn. možnost číst a zapisovat přímo v DWG. Navíc formát Inventor DWG je stoprocentně shodný a kompatibilní s formátem AutoCAD DWG.

Kompatibilita s AutoCADem

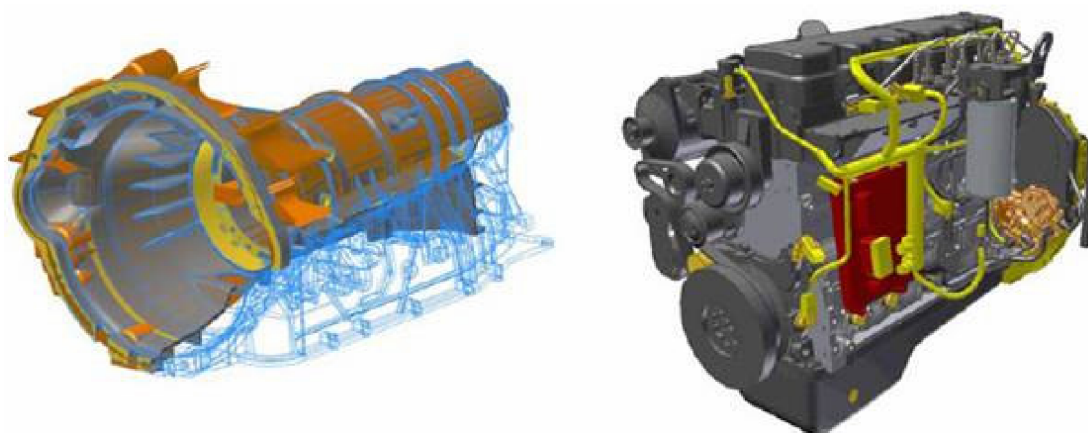
Uživatelské prostředí bylo změněno pro snazší přechod z produktu AutoCAD na Inventor. Pracovní prostředí bylo více připodobněno prostředí AutoCADu.

Tvorba plechů

Byly přidány možnosti vytvoření tabulek ohybů a rozšířené výstupy pro technologickou dokumentaci. Dále pak byla přidána analýza plechů metodou konečných prvků.

Prostředí modelování

Byl přidán nový prvek *Ohyb* v prostředí tvorby součástí a také řízení šablonování podle plochy.



Obrázek 1.1.1 Ukázka modelů

Návrh sestav

Generátor rámmů získal nové algoritmy pro ukončování profilů. Ke zlepšení došlo i při práci s náčrtovými sestavami.

Výkresové prostředí

Přidáno kótování a šrafy v izometrickém pohledu, vylepšeny tabulky revizí a také podpora více norem.

Verze Professional

Do kabelových svazků přibyla plná podpora pro tvorbu plochých vodičů. V potrubním systému se objevují nové styly přírubových a svařovaných trubek. Vyšší efektivita byla dosažena také v modulu *Dynamické simulace*.

1.2 DWG TRUECONNECT

Technologie DWG TrueConnect umožňuje bezproblémové sdílení výkresů Inventoru s výkresy AutoCADu, rychlé otevření AutoCAD výkresu v Inventoru, opětovné využití geometrie vytvořené v AutoCADu Inventorem, použití DWG šablon pro výkresy v Inventoru a zhodnocení stávajících 2D projektů.

DWG TrueConnect obsahuje nové nástroje pro prohlížení, kreslení a odměřování DWG z AutoCADu přímo v prostředí Inventoru a další využití této geometrie pro tvorbu modelu. Tato technologie dovoluje Inventoru vytvářet

a manipulovat s výkresy v nativním formátu DWG. Výkresy vytvořené v Inventoru vypadají, jako by byly vytvořeny v AutoCADu, je zaručena 100%-ní kompatibilita. Také je nyní možné nastavit DWG jako šablonu pro výkres Inventoru a využívat bloky a symboly AutoCADu ve výkresu Inventoru. Takto vytvořené DWG výkresy jsou asociativní se součástmi a sestavami Inventoru. Použitím formátu DWG jako standardizovaného formátu umožňuje udržovat všechna data projektů v jednom formátu, což dělá z DWG univerzální formát. Významný je i mnohem snadnější přechod do 3D prostředí Inventoru pro uživatele AutoCADu vzhledem k úzké provázanosti Inventoru s AutoCADem.



Obrázek 1.2.1 Spolupráce programu Inventor a AutoCAD

1.3 PRODUKTIVITA NÁČRTU

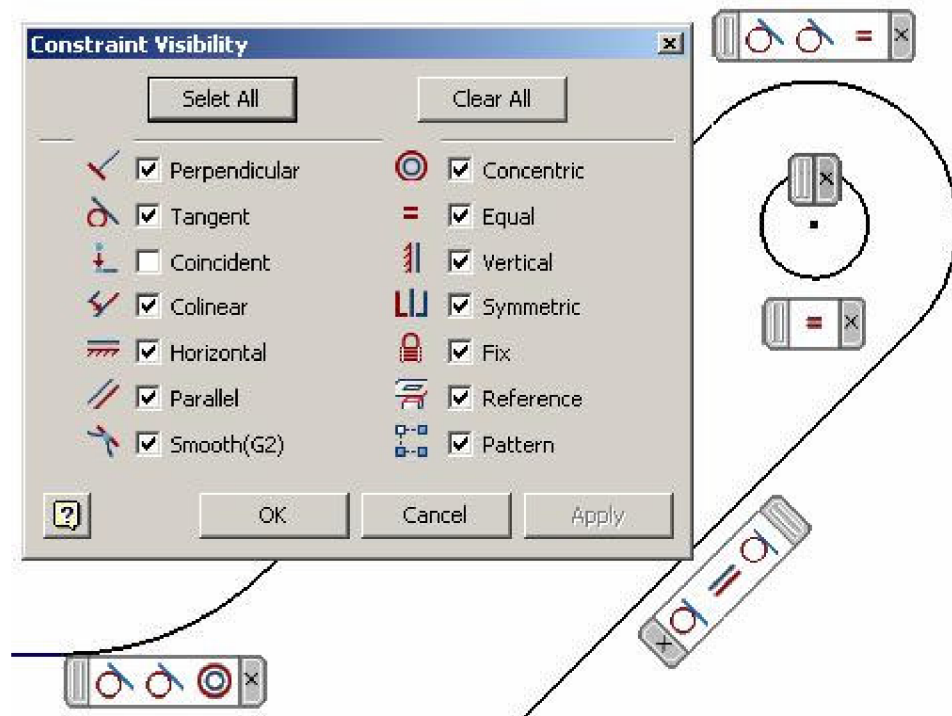
Vazby jsou logicky orientovány ke tvaru vazbené geometrie, a to i po změně rozměrů. Jednotlivé vazby jsou přehledněji zvýrazněny. Stavový řádek nyní upozorňuje na počet požadovaných vazeb k plnému zavazbení náčrtu. Byl přidán nový filtr zobrazování vazeb a také nová referenční vazba z promítnuté geometrie.

Editační nástroje

Byly přidány nové náčrtové nástroje pro změnu měřítka a protažení vybrané geometrie, dále pak rozšíření možností posunu a otočení.

Formátování čar

Nový panel *Inventor Standard* umožňuje změny barvy, typu čáry a její tloušťky.



Obrázek 1.3.1 Zobrazené vazby

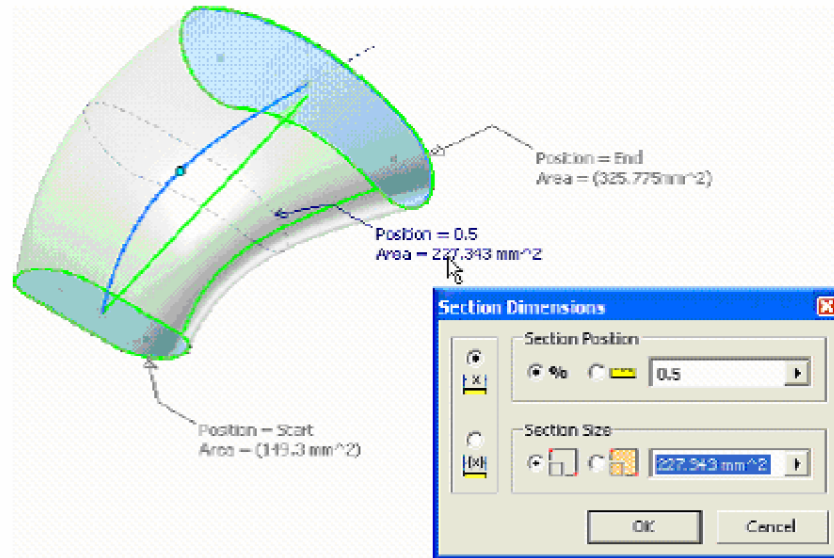
1.4 SHODNOSTI INVENTORU S AUTOCADEM

Byla vytvořena podpora profilů a uživatel tak může pracovat v prostředí podobném AutoCADu nebo v klasickém prostředí Inventoru. Některé produktivní nástroje AutoCADu byly přidány do Inventoru, např. příkazové zkratky, možnost opakovat poslední příkaz, kurzor s kontextovou nápovědou apod.

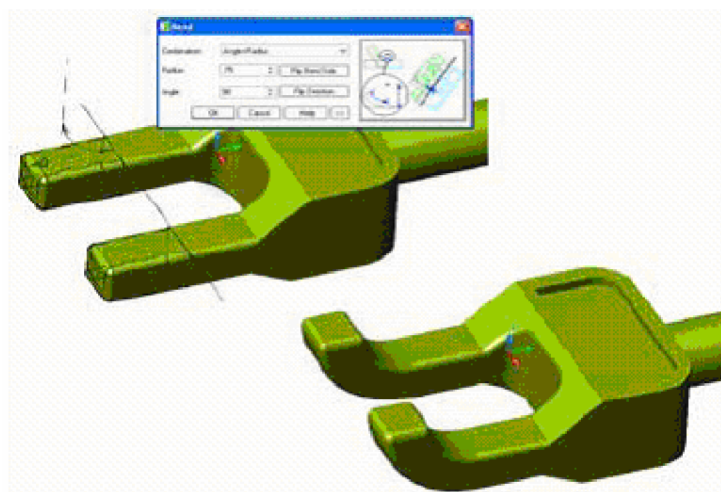
1.5 MODELOVÁNÍ SLOŽITÝCH TVARŮ

Rozšíření modelovacích prvků

Bylo přidáno šablonování podle plochy a nový prvek *Ohýbání*, rozšíření *Odvozené součásti* - funkce *Kopíruj prvek*, díky níž lze vytvářet asociativní kopie tvarů. Dále pak možnost rozdělení plochy pomocí 2D nebo 3D křivek, nástroj *3D šroubovice* a asociativita promítnutí různutých hran.



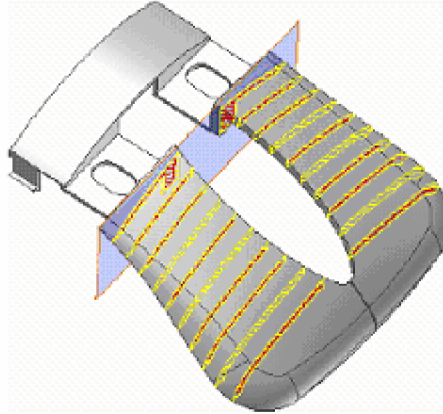
Obrázek 1.5.1 Ohyb



Obrázek 1.5.2 Ohyb

Analýzy tvarů

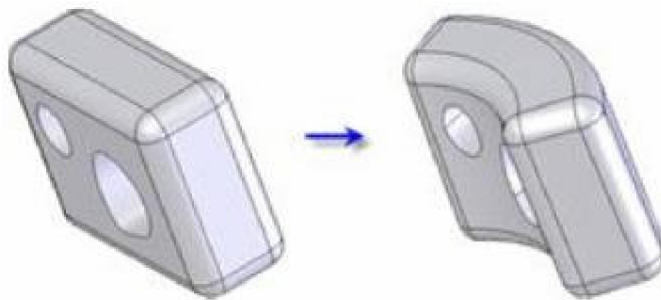
Rozšířené nastavení a export výsledků analýzy příčného řezu, průměrná a maximální analýza křivosti a také zobrazení momentu setrvačnosti v analýze řezu i v odměřování.



Obrázek 1.5.3 Analýza tvaru

1.6 MDT KOMPTABILITA

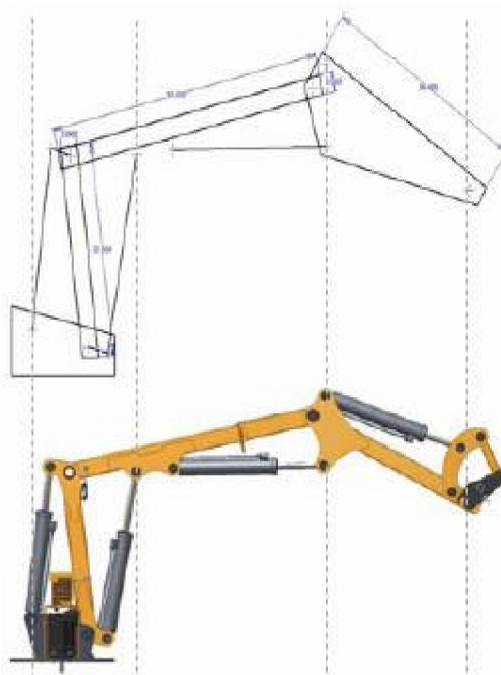
Bezchybný převod dat z Mechanical Desktopu vzniklých složitějšími modelovacími postupy, funkce *Vložit z MDT* a vazba *Středový bod*, kompatibilita barevných schémat prvků.



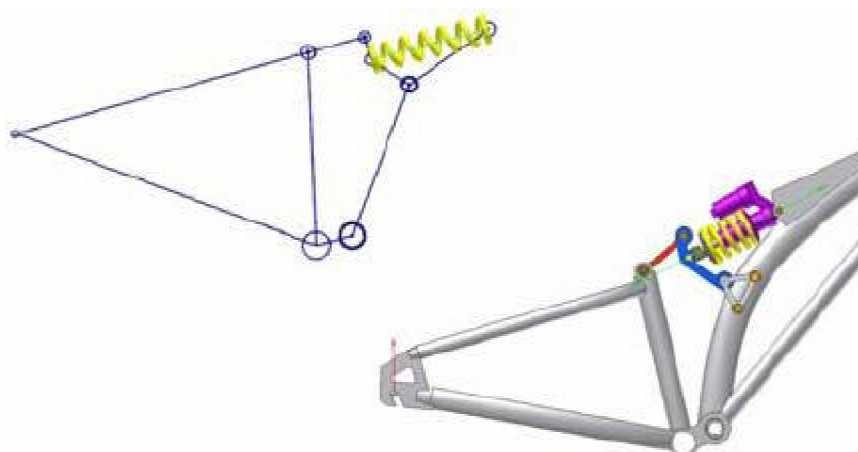
Obrázek 1.6.1 Model z MDT

1.7 TVORBA NÁČRTOVÝCH SESTAV

Jedná se o velmi efektivní metodu modelování na základě objektového trasování. V Inventoru 2008 je možno spolehlivě řídit dopady změn na cílová data v závislosti na datech vzorových. Z modelů součástí a sestav mohou být exportovány prvky, parametry i objekty.



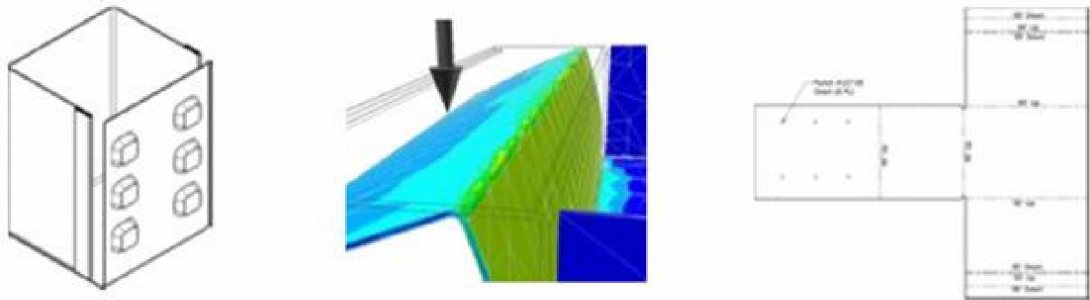
Obrázek 1.7.1 Náčrtová sestava



Obrázek 1.7.2 Náčrtová sestava

1.8 NÁVRH PLECHOVÝCH SOUČÁSTÍ

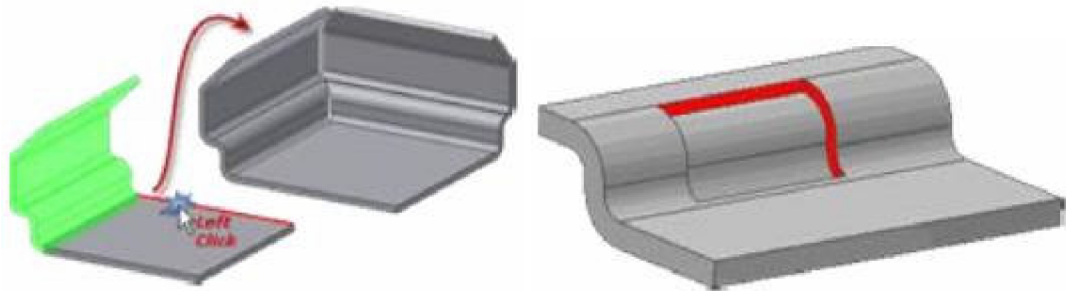
Autodesk Inventor 2008 umožňuje vytvářet kompletní výrobní dokumentaci plechových dílů za pomoci 3D modelů.



Obrázek 1.8.1 Návrh plechové součásti

Nástroje pro modelování plechu

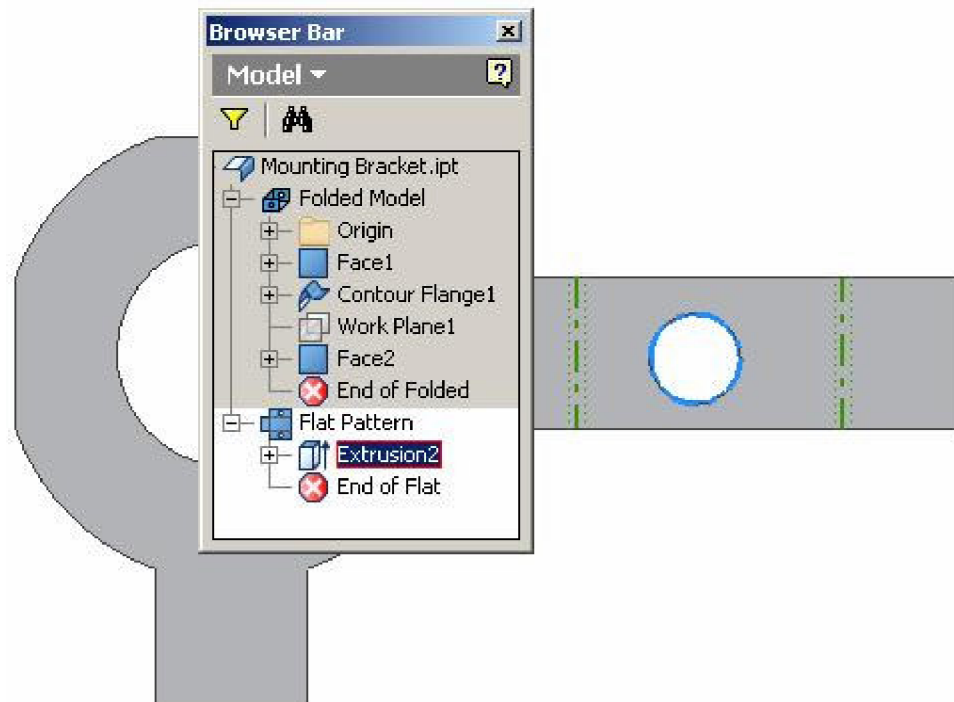
Pro snadnější použití a vyšší produktivitu byla přidána podpora více ohybů v jedné operaci, zvýšená kontrola ohybových vlastností a lepší podpora vystřížení napříč ohybem.



Obrázek 1.8.2 Ohyb plechu

Tvorba rozvinů

Byla přepracována tak, že poskytuje prohlížeč stromové struktury, který je rozdělen do dvou oddílů - pro složený model a navíc i pro rozvin, možnost tvorby prvků v rozvinu, nové nastavení pro následný export rozvinu - změna orientace, reprezentace razníků. Většinu kroků v modelování plechu lze nyní provádět přes API rozhraní, např. generování poznámek razníků nebo export do DXF.



Obrázek 1.8.3 Tvorba rozvinů

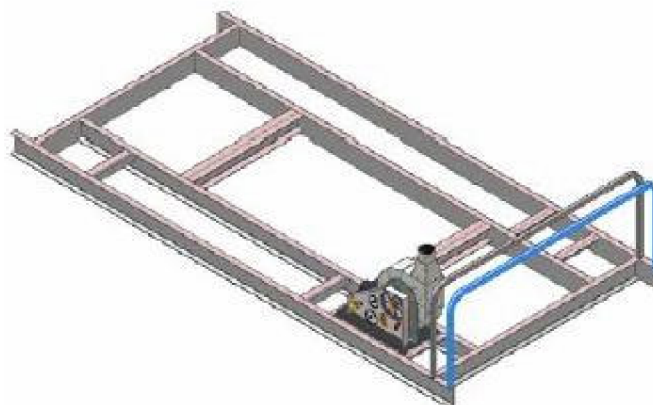
Razníky

Definování razníků použitím tabulky řízených iPrvků. Využití výrobních údajů jako je ID razníku a parametr hloubky. Možnost definování alternativních razníků na základě náčrtů pro následné využití ve výkresech.

Do výkresové dokumentace byly přidány ohybové poznámky a tabulka razníků. Výstup do DXF dokumentace byl rozšířen o možnosti mapování hladin a uživatelské nastavování XML souborů.

1.9 GENERÁTOR RÁMEČKŮ

Ořezávání a úpravy zakončení profilů byly přidány do stromové struktury v průzkumníku sestavy pro zjednodušenou editaci. Úroveň jednotlivých sestav rámečků může být nyní zvyšována nebo snižována dle struktury výrobních postupů. Celé skupiny profilů mohou být vyměněny za jinou normu, typ nebo velikost.

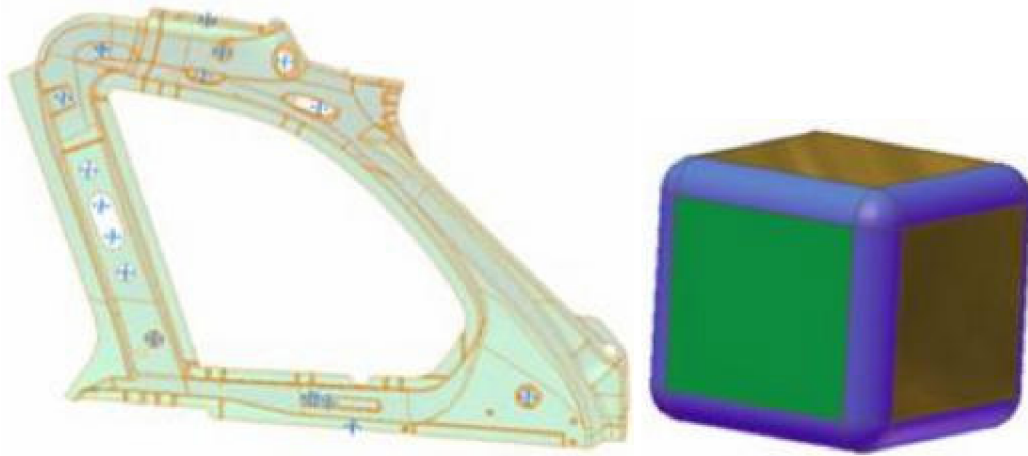


Obrázek 1.9.1 Rám

1.10 IMPORT – EXPORT

Kromě známých převodových formátů byl import rozšířen o načítání 3D ploch programu AliasStudio. Do 3D náčrtů lze nyní importovat 3D body z cizích formátů. Při načítání je výrazně posíleno řešení plošných modelů. Rovněž byly vylepšeny nástroje pro úpravu importovaných dat a došlo ke zjednodušení přenosu do konstrukčního prostředí. Se smíšenými daty je možno manipulovat mezi součástmi v rámci sestavy, dále přenášet je mezi prvky, případně provádět průsečky 3D křivek.

Autodesk Inventor 2008 umí vytvářet výkresové pohledy i z „nekvalitních“ STEP souborů. Export do STEPu byl rozšířen o schopnost výstupu do plošných modelů a možnost exportu barev u konkrétních prvků i ploch.

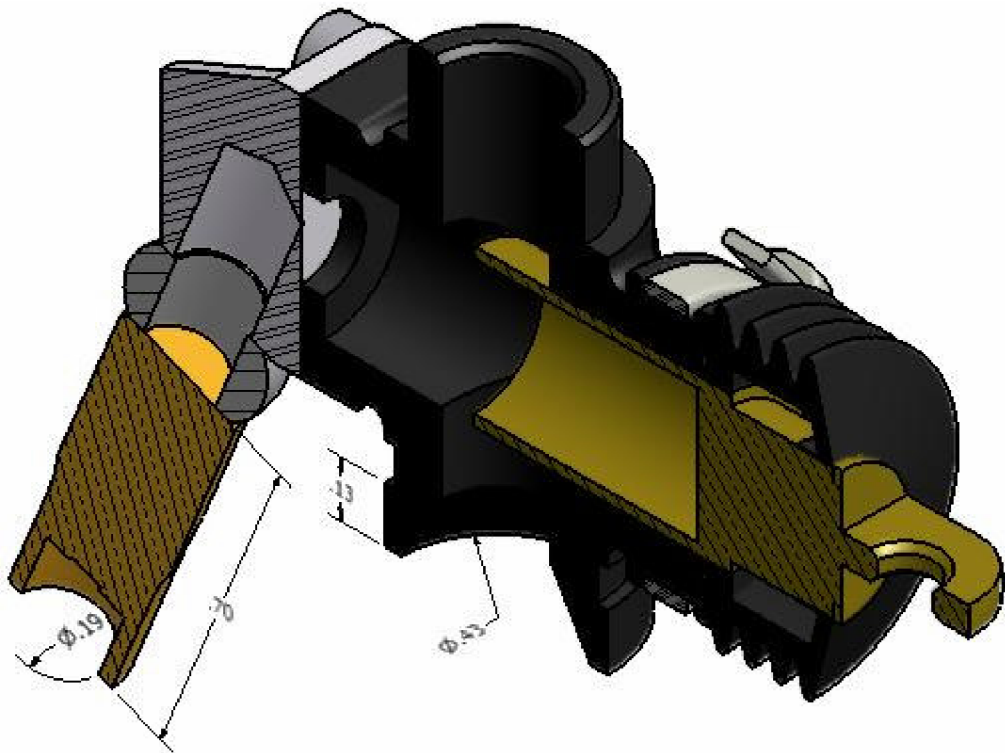


Obrázek 1.10.1 Export a import modelů

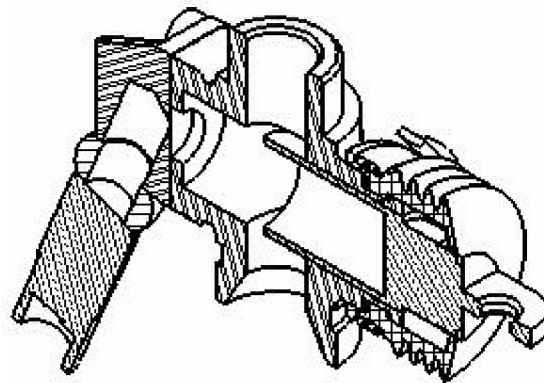
1.11 VÝKRESY

Vylepšení výkresových pohledů

Přidána obecná kóta v izometrickém pohledu a šrafování v izometrických pohledech s asociací na materiál součástí. Nové možnosti ohraničování a výřezů při vytváření detailů, skryté čáry ve vystínovaných pohledech, zneviditelnění pohledu bez potřeby jeho přetažení mimo list. Nové vrstevnicové řezy a tvorba řezů s nulovou hloubkou.



Obrázek 1.11.1 Řez modelem



Obrázek 1.11.2 Řez modelem ve výkresu

Tabulky

Tabulka revizí byla přidána do stylů, separátní tabulka revizí pro každý komponent i list, *iVlastnosti* mohou být nyní začleněny do tabulky revizí. Byla přidána nová tabulka razníků a ohybů.

Styly a normy

Do stylů byla doplněna šipka typu GHOST, lineární kóta závitů, nový text pro radiální kótování, značení lichoběžníkových závitů a filtrování kusovníků.

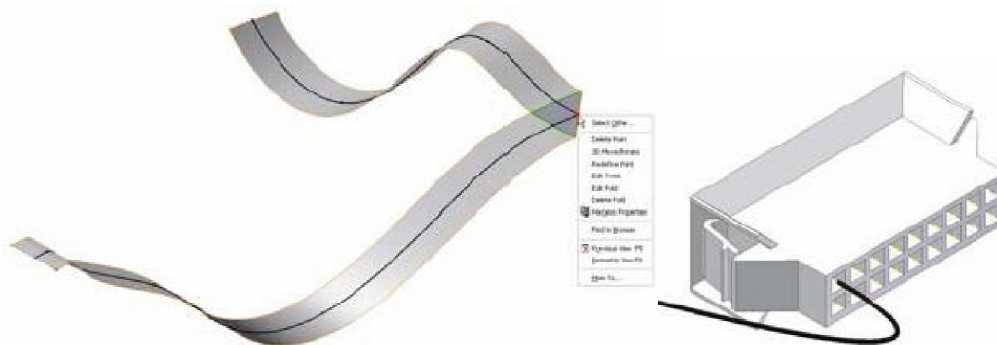
Správce výkresů

Přidána asociativní hmotnost do razítka a rozšíření možnosti tisku.

1.12 AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2008

Ploché kabely

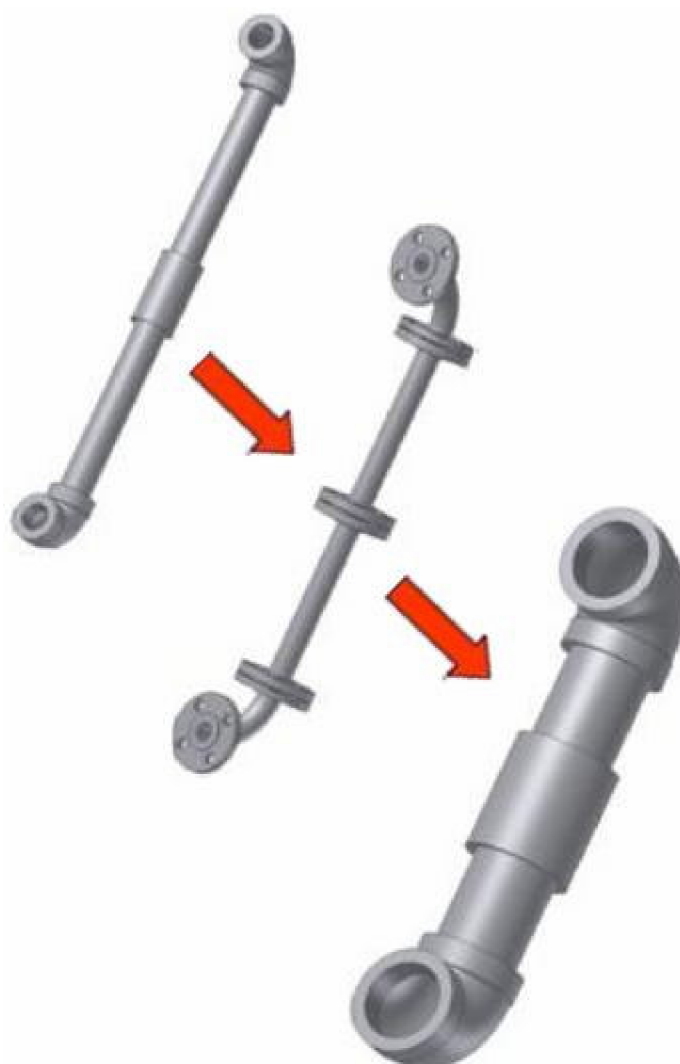
Do verze Professional byl přidán nový typ vodičů a to páskové neboli ploché kabely. Konektory mohou být tvořeny pomocí konfigurovatelných svorek. Ploché kabely mohou být ve 3D dle potřeby zakrouceny a zohýbány. Byla přidána podpora tvorby výkresové dokumentace v prostředí formovací desky.



Obrázek 1.12.1 Ploché kabely a konektory

Trubky

Byly přidány nové přírubové potrubní styly s plnou podporou pro těsnění a trubky svařované natupo s připravenými mezerami. K vylepšení došlo i v definování uživatelských knihoven pro tvarovky. Vylepšen byl rovněž export do formátu ISOGEN.



Obrázek 1.12.2 Trubky

Dynamická simulace

Polohové vazby ze sestav se nyní dají jednodušeji a rychleji konvertovat do "spojů" potřebných pro nastavení simulace. Dochází k efektivnějším možnostem výměny dat s metodou konečných prvků v násobných časových úsecích. Křivky analýz mohou být generovány do náčrtů pro následné využití v modelování součástí. Ovládání *Dynamické simulace* se výrazně přiblížilo uživatelskému prostředí Inventoru.



Obrázek 1.12.3 Dynamická simulace

1.13 DWF - KONTROLA NÁVRHU

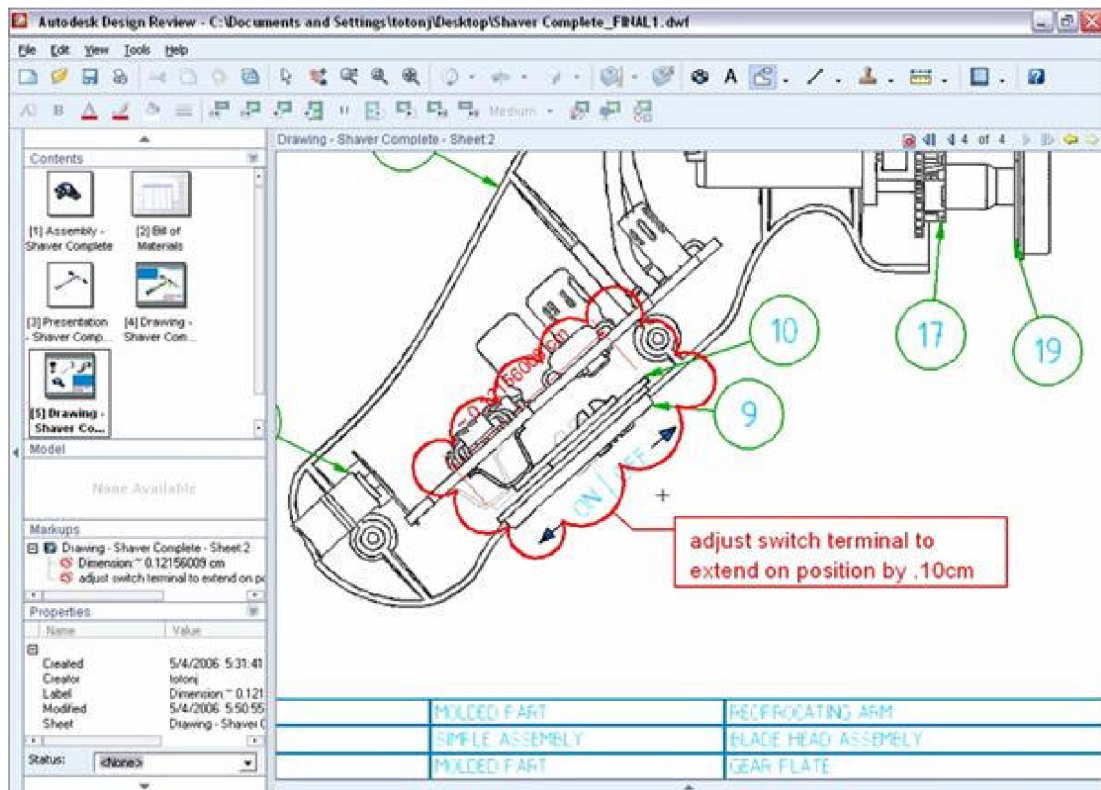
Možnosti výstupu do DWF

Kromě výkresové dokumentace, 3D modelů součástí a sestav nyní umí DWF zobrazit:

- animace z prezentačních souborů
- aktivní instrukce sestav - návrhové pohledy, polohové reprezentace a úrovně detailů
- rozpisky *Strukturované* nebo *Pouze součásti*
- výsledky z MKP analýz

Kontrolní poznámkování

Konstruktér může přímo ve výkresu reagovat na revizní poznámky načrtnuté zákazníkem do DWF pomocí freeware programu Autodesk Design Review a opravený výkres exportovat i s původními poznámkami zpět do DWF.



Obrázek 1.13.1 Poznámka v Autodesk Design Review

Ochrana duševního vlastnictví

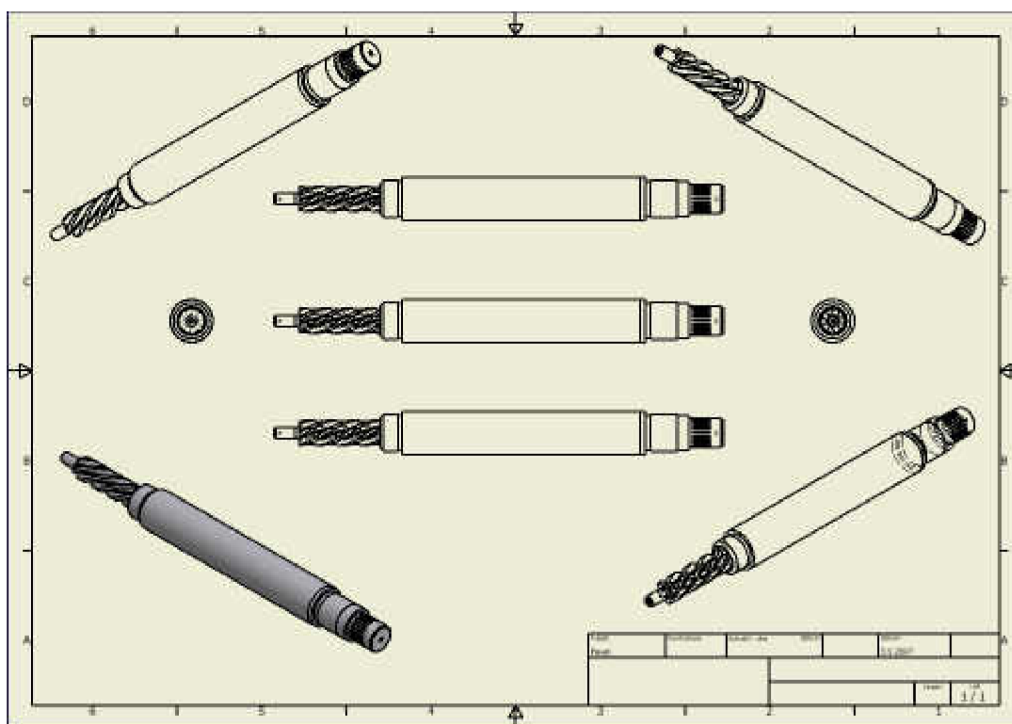
Soubory lze zabezpečit heslem a zamezit přístup k odměřování nebo tisku.

2. TVORBA VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE V INVENTORU

Autodesk Inventor Professional umožňuje tvorbu výkresu přímo z modelu součásti nebo sestavy. V porovnání s vytvářením výkresů pro 2D návrhy je způsob, který Autodesk Inventor používá, výrazně rychlejší.

2.1 POHLEDY

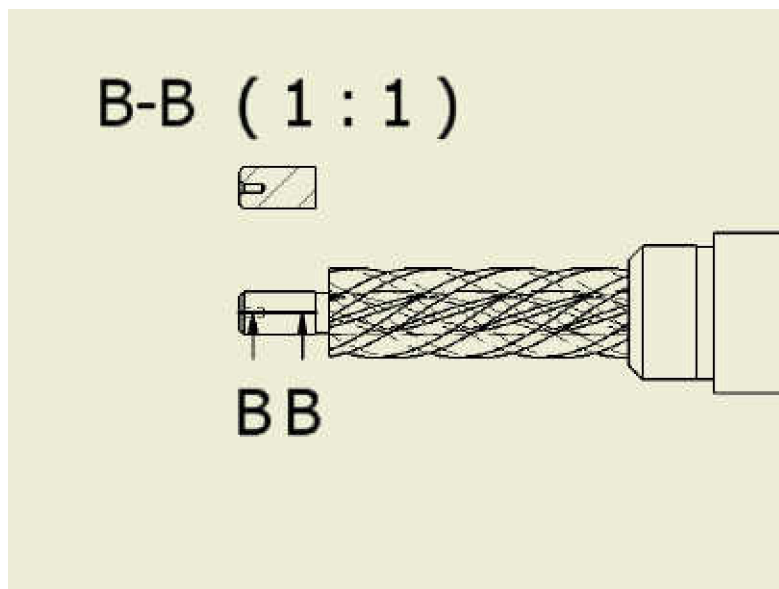
Program dokáže automaticky vytvářet přední, boční, izometrické, detailní i pomocné pohledy, jakož i pohledy v řezu. Samozřejmostí je automatické zjištění rozměrů modelu. Do jednoho výkresu je možné vložit více různých součástí. Program automaticky umísťuje promítnuté pohledy do správných pozic.



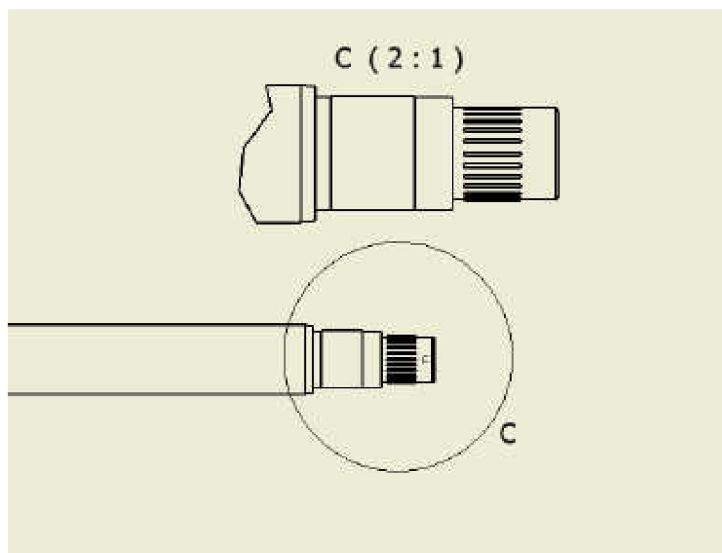
Obrázek 2.1.1 Výkres se základním i promítnutými pohledy

Jednotlivým pohledům lze nastavit různý styl zobrazení. Také je možno zvolit jaké měřítko bude pohled mít.

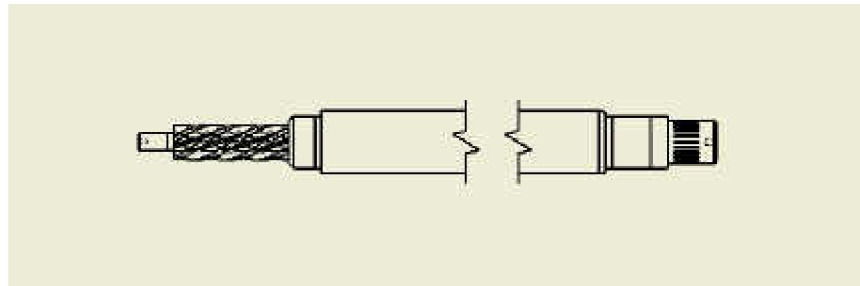
Dále lze vkládat do výkresu pomocné pohledy. Je také možné vytvořit řez, částečný řez, detail nebo přerušovaný pohled.



Obrázek 2.1.2 Řez součástí



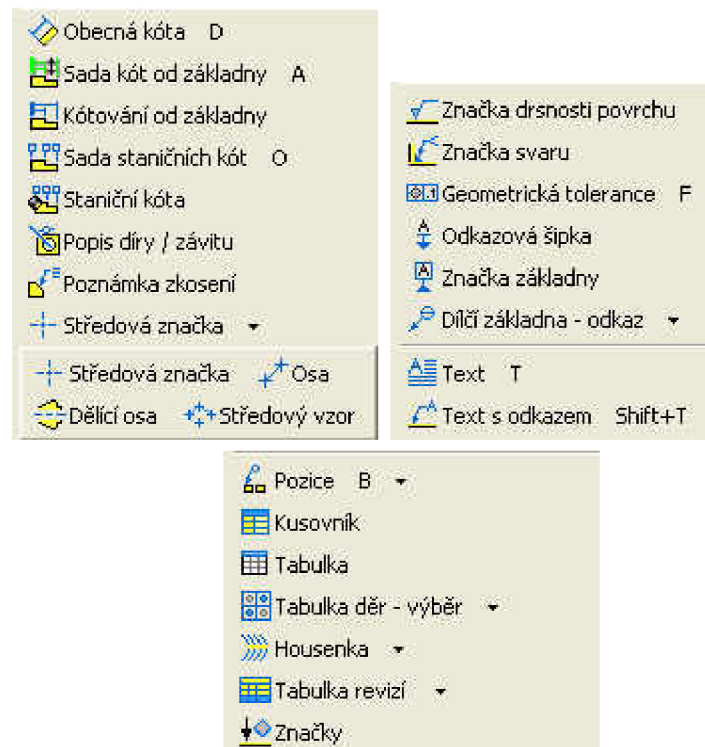
Obrázek 2.1.3 Detail součásti



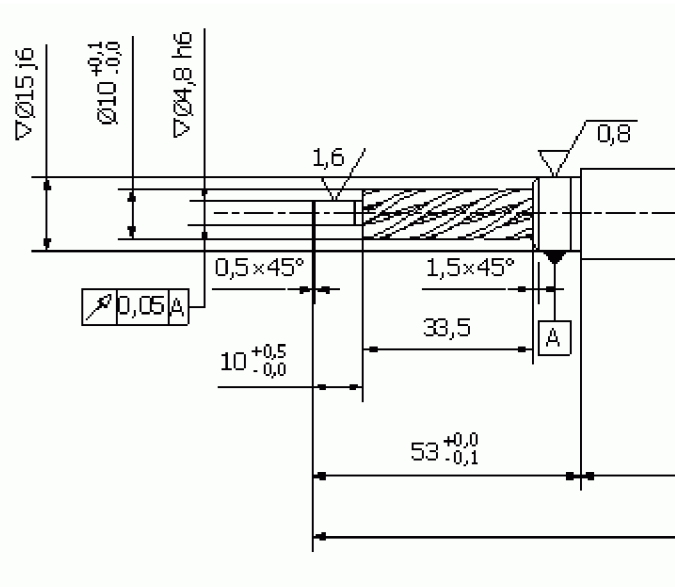
Obrázek 2.1.4 Přerušný pohled

2.2 KÓTY

Kóty lze do výkresu vložit dvěma způsoby. Program umožňuje zobrazení kót použitých při návrhu součástí. Dále je možné vložit kóty nové. K dispozici jsou obecné kóty, popisy děr a závitů, značky drsnosti povrchu, značky svarů, geometrické tolerance a různé kusovníky a tabulky.



Obrázek 2.2.1 Kóty a popisky pro výkres



Obrázek 2.2.2 Kóty

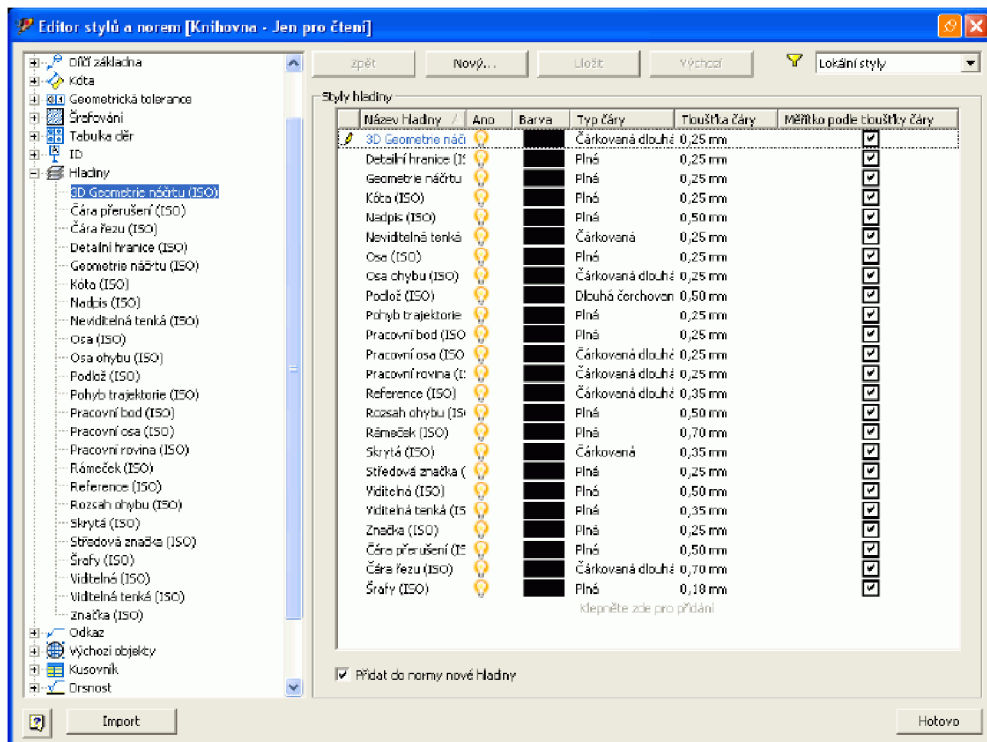
2.3 HLADINY A STYLY

Autodesk Inventor umožňuje okamžitou změnu formátování kteréhokoliv objektu v dokumentu při zachování souladu s definovanými firemními standardy. Styly usnadňují práci s různými atributy, jako jsou velikost písma, jeho barva, standardy či typy čar. Hladiny umožňují u vybraných objektů rychlé přepínání viditelnosti, barvy, typu čáry nebo její tloušťky.

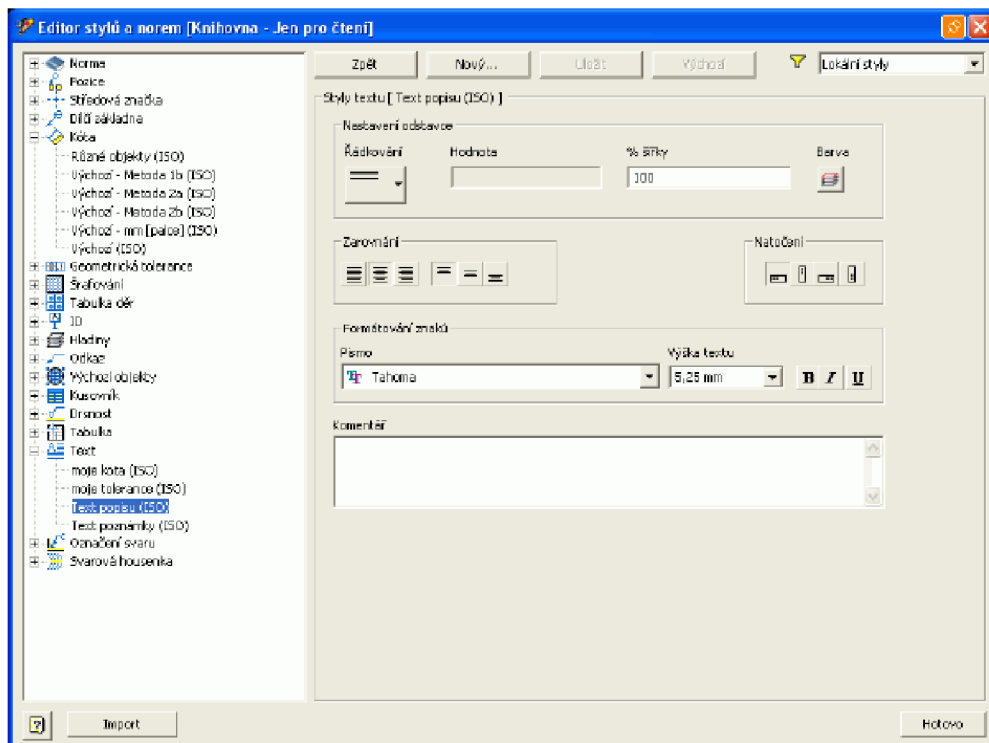
Například u kót lze upravovat jednotky kót a jejich přesnost. Lze upravovat také jejich zobrazení, konkrétně pak rozteče jednotlivých kót a jejich odsazení od součásti, přesah vynášecích čar a jejich odsazení od počátku. Upravovat je možné i vzhled šipek, jejich velikost a tloušťku čáry.

Dále lze upravit vzhled textu kót (font a velikost písma, jeho zarovnání a orientaci), jednotlivě pro různé typy kót.

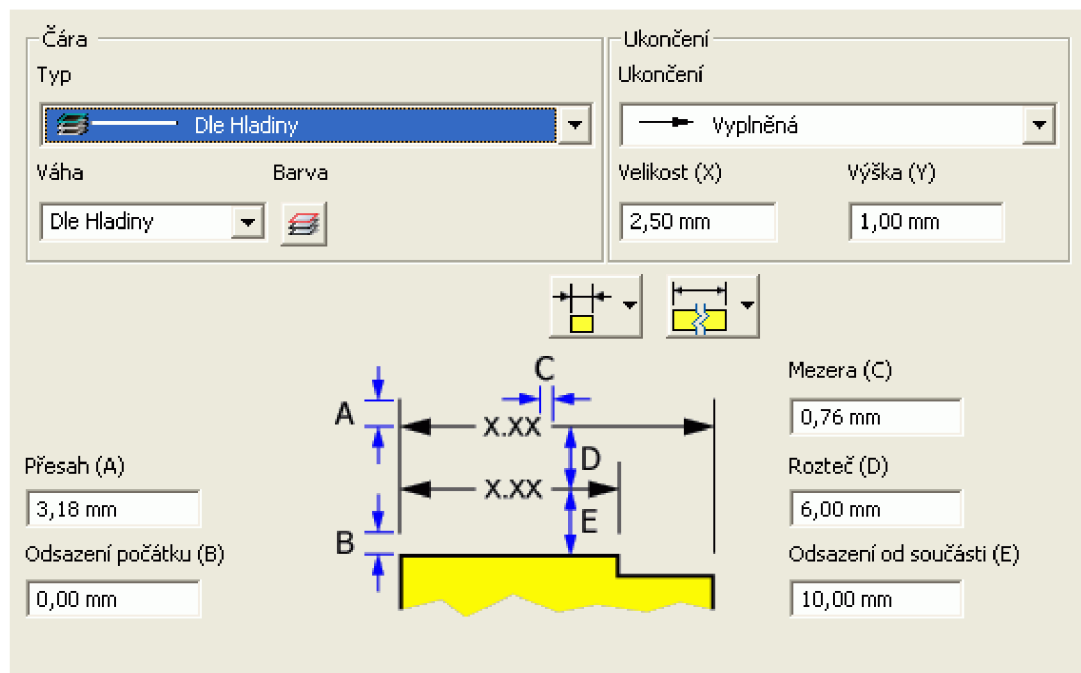
Z dalších možností pak třeba umístění šipek u různých typů kót, skrytí vynášecích čar, styl uhlových kót, atd.



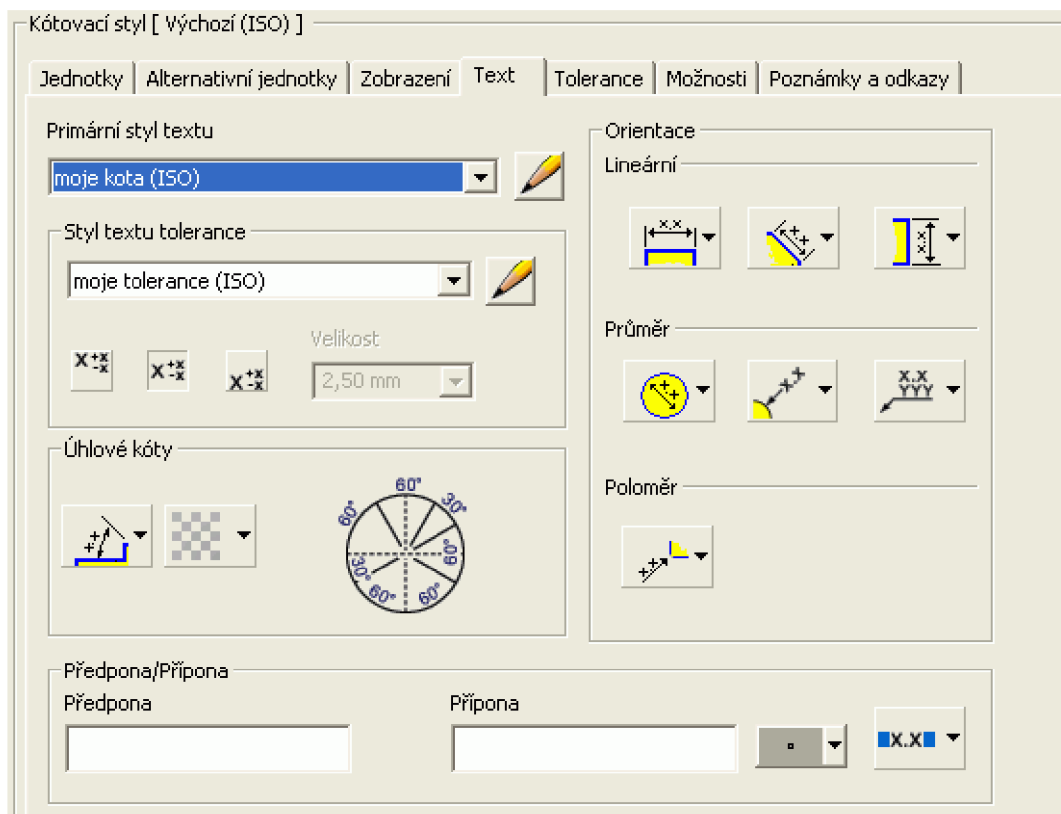
Obrázek 2.3.1 Hladiny



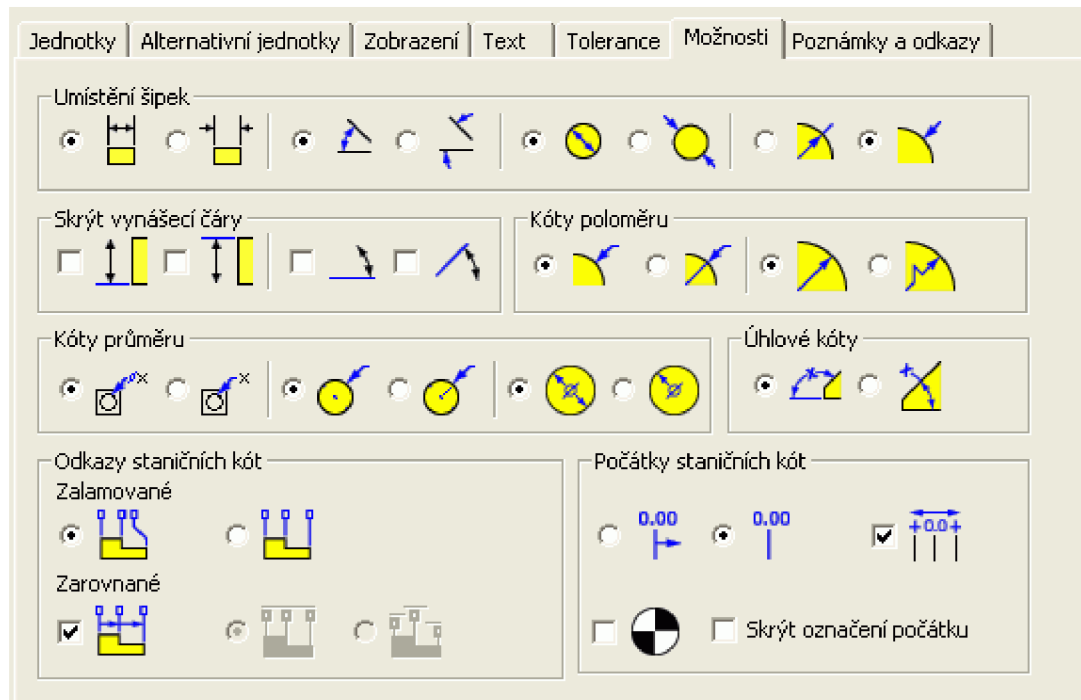
Obrázek 2.3.2 Styl textu



Obrázek 2.3.3 Nastavení zobrazení kót



Obrázek 2.3.4 Nastavení textu kót



Obrázek 2.3.5 Možnosti zobrazení kót

3. ANSYS

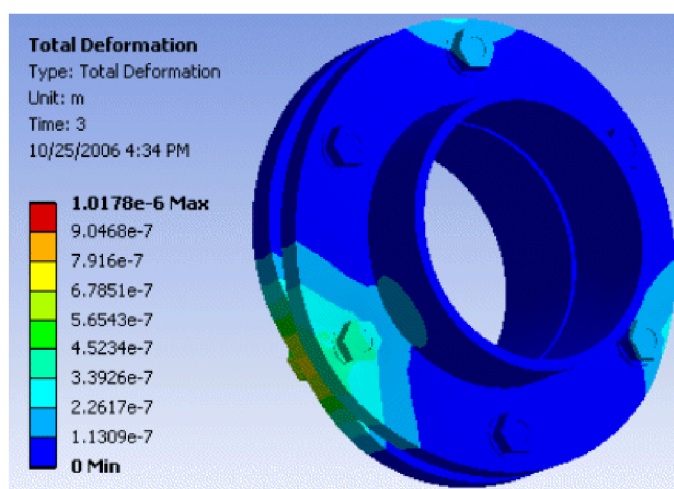
ANSYS je univerzální softwarový nástroj pro modelování a analýzu. Používá se pro řešení složitých problémů z oblastí mechaniky těles, přenosu tepla, proudění kapalin a plynů, magnetismu, elektrického pole a mnoho dalších. Jednotlivé problémy je možné navzájem kombinovat a řešit tak společně například tepelné a mechanické namáhání, elektromagnetické pole a podobně.

Strukturální analýza

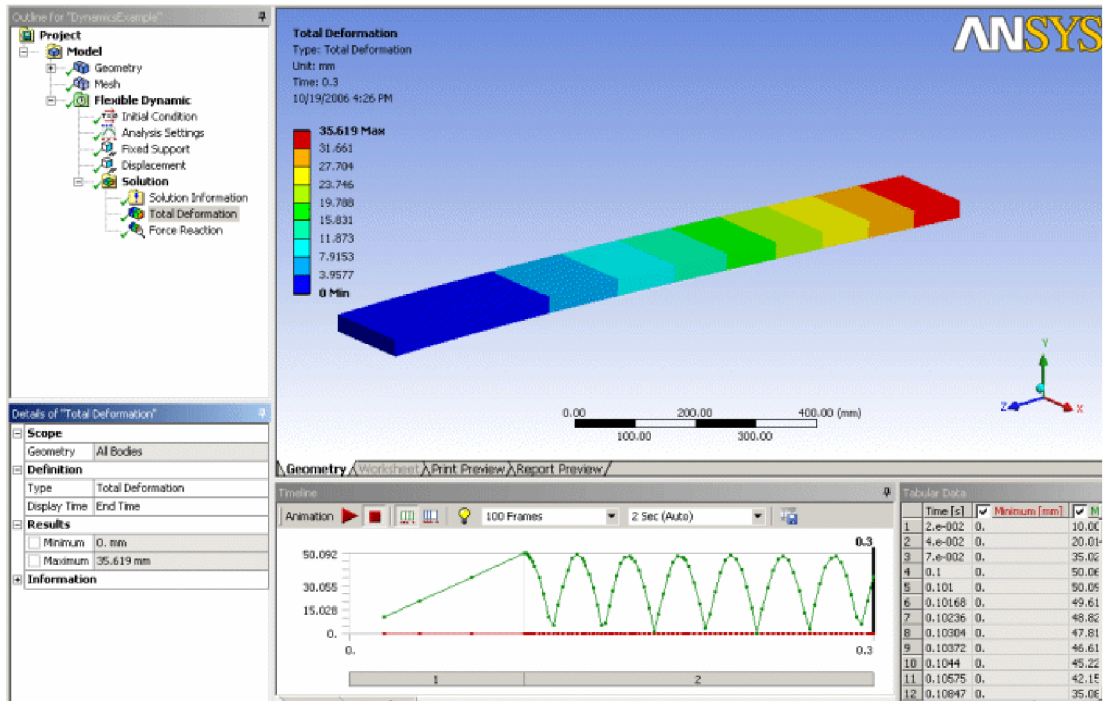
Umožňuje stanovit deformace, mechanické namáhání a síly reakce.

Typy strukturální analýzy:

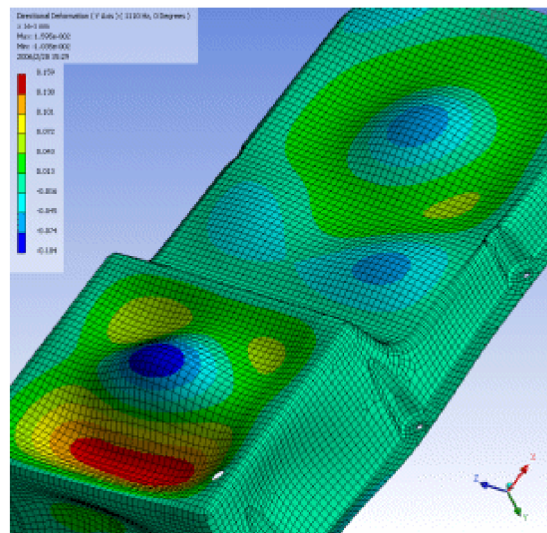
- Statická analýza – používá se při podmínkách statického zatížení. Je možné řešit jak lineární, tak i nelineární úlohy, jako např.: rozsáhlé průhyby, ohyb, napětí v nosníku, pevné spoje, plastičnost, apod.
- Modální analýza – výpočet vlastních frekvencí a tvar módů lineárního systému. Spektrální analýza pro výpočet namáhání v důsledku náhodných vibrací.
- Harmonická analýza – výpočet odezvy lineárního systému na harmonicky proměnnou zátěž.
- Přechodová dynamická analýza – výpočet odezvy systému na časově proměnnou zátěž.
- Výpočet vzpěrového namáhání – mechanika zlomů, výpočet únavy materiálů.



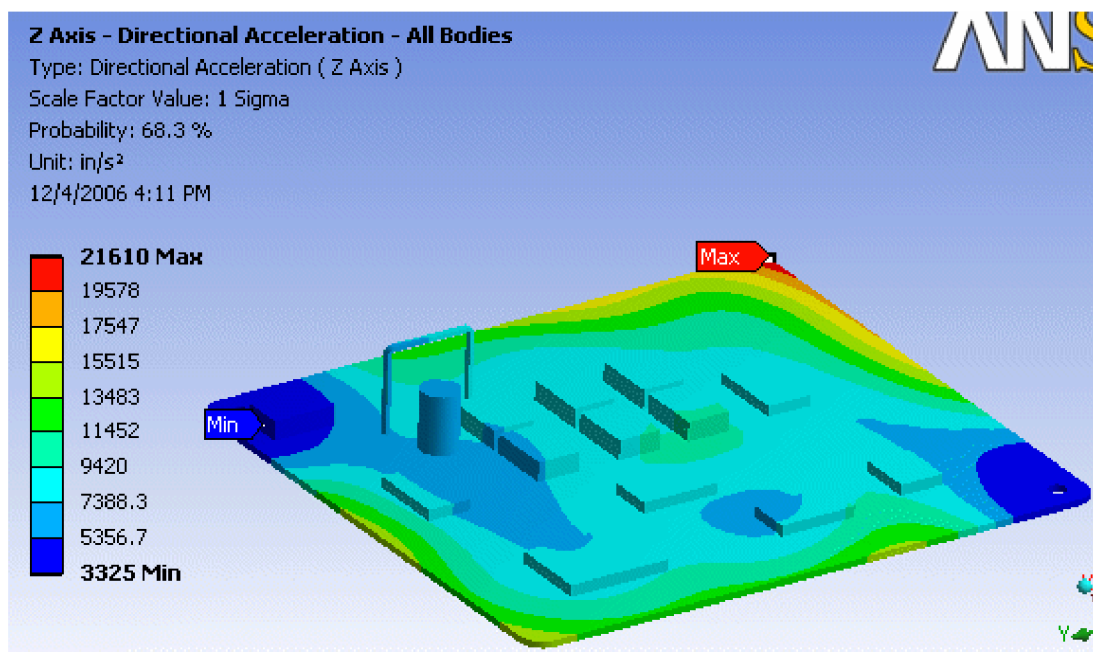
Obrázek 2.3.1 Statická strukturální analýza



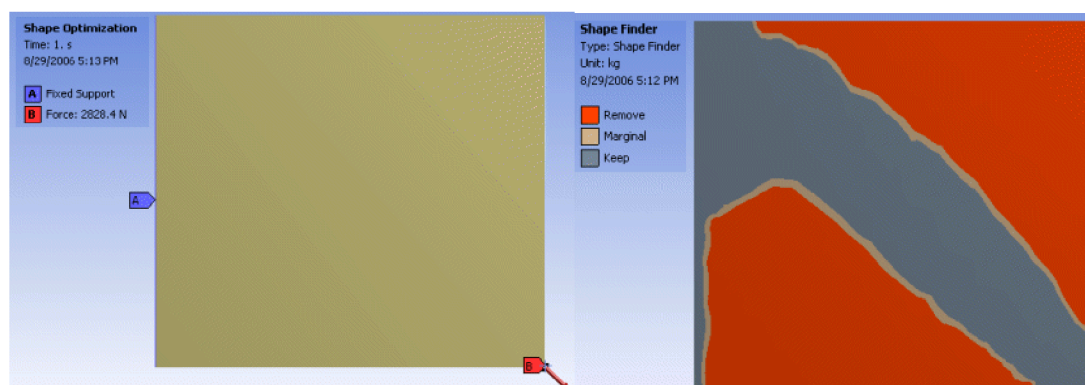
Obrázek 2.3.2 Flexibilní strukturální analýza



Obrázek 2.3.3 Harmonická analýza



Obrázek 2.3.4 Analýza vibrací



Obrázek 2.3.5 Analýza optimalizace tvaru

Teplotní analýza

Umožňuje stanovit ustálené nebo časově závislé rozložení teploty v daném objektu. Mezi další hledané veličiny patří např. tepelné ztráty nebo oteplení, teplotní gradienty, tepelný tok. Teplotní analýza je často následována strukturální analýzou pro výpočet namáhání v důsledku šíření tepla.

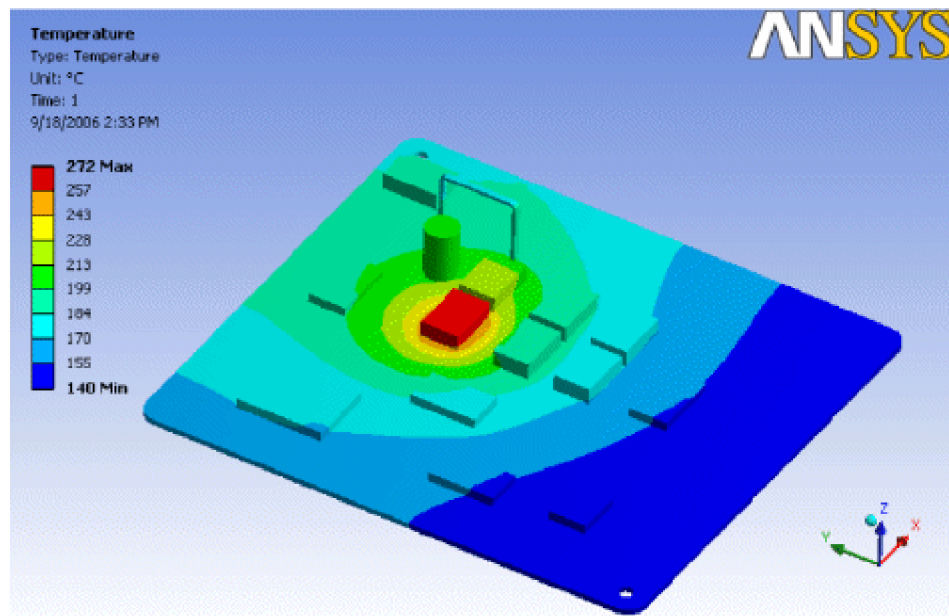
ANSYS umožňuje řešit:

- Fázové změny (tavení nebo tuhnutí), vnitřní zdroje tepla (např. Joulovo teplo v důsledku průchodu elektrického proudu).
- Základní principy přenosu tepelné energie (vedení – kondukce, proudění – konvekce, záření – radiace).

Statická teplotní analýza

Statická tepelná analýza počítá účinky rovnoměrné tepelné zátěže na celý systém nebo na jeho součást. Může být použita pro určení teploty, teplotního gradientu a teplotního toku způsobeného tepelnou zátěží, kterou nelze měnit v čase. Statická teplotní analýza je také často prováděna před teplotní přechodovou analýzou, aby pomohla určit počáteční podmínky, nebo může být také posledním krokem teplotní přechodové analýzy poté, co všechny přechodové jevy skončily.

Statická teplotní analýza může být lineární s konstantními vlastnostmi materiálů nebo také nelineární v případě teplotně závislých vlastností materiálů. Tepelné vlastnosti většiny materiálů se mění spolu s teplotou, takže analýzy jsou obvykle nelineární.



Obrázek 2.3.6 Teplotní analýza desky plošného spoje

Teplotní přechodová analýza

Teplotní přechodová analýza se používá pro určení teploty a tepelného množství měnicího se v čase. Změny rozložení teploty v čase jsou důležité pro mnoho aplikací jako například chlazení elektronických bloků. V oblasti zájmu je také teplotní namáhání způsobené rozložením teploty, které může způsobit selhání. V takových případech jsou výsledky teplotní analýzy využívány jako vstupní data pro strukturální analýzu tepelného namáhání.

Teplotní přechodová analýza zahrnuje mnoho problémů jako např. design elektronických bloků, trysky, bloky motorů, tlakové nádoby, interakce mezi kapalinou a pevnou látkou atd.

Tepelná přechodová analýza může být lineární i nelineární. Teplotně závislé materiálové vlastnosti (tepelná vodivost, tepelná kapacita, hustota) nebo teplotní závislost koeficientů vedení tepla a tepelného záření může mít za následek nelineární analýzu, která vyžaduje k dosažení přesného řešení iterační postup. Tepelné vlastnosti většiny materiálů se mění s teplotou, proto jde obvykle o nelineární analýzy.

Elektromagnetická analýza

Magnetická analýza se používá pro výpočet magnetických polí. Mezi hledané veličiny v magnetické analýze patří hustota magnetického toku, intenzita magnetického pole, magnetické síly a momenty, impedance, indukčnost, vířivé proudy, výkonové ztráty a rozptyl magnetického toku. Magnetické pole může být generováno elektrickými proudy, permanentními magnety nebo externími poli.

Typy magnetické analýzy:

- Statická magnetická analýza – výpočet magnetických polí generovaných stejnosměrným proudem nebo permanentními magnety.
- Harmonická magnetická analýza – výpočet magnetických polí v důsledku střídavého proudu.
- Přechodová magnetická analýza – výpočet magnetických polí generovaných časově proměnným elektrickým proudem nebo externím polem.

Elektrická analýza se používá pro výpočet elektrického pole ve vodivých nebo kapacitních systémech. Mezi hledané veličiny patří: proudová hustota, hustota náboje, intenzita elektrického pole a Joulovo teplo.

Vysokofrekvenční elektromagnetická analýza se používá pro řešení prvků mikrovlnné a radiové techniky, vlnovodů, radarových systémů, koaxiálních konektorů, apod.

Fluidní analýza

Používá se pro stanovení toku a teplotních charakteristik proudících tekutin. Do fluidní analýzy zahrnujeme např. akustickou analýzu – interakce mezi proudící tekutinou a okolními tělesy, šíření zvukových vln, dynamika systémů pod hladinou tekutiny.

Analýza spřažených polí

Uvažuje se vzájemná interakce mezi dvěma nebo více poli. Jednotlivá pole se navzájem ovlivňují, nelze je tedy řešit samostatně a odděleně od ostatních polí. ANSYS umožňuje kombinaci více polí.

[12]

Base ANSYS Product

Base ANSYS Product je plnohodnotný klasický FEM program určený především pro výpočtáře specialisty. Jeho uživatelské prostředí se někdy označuje též názvem ANSYS Classic. Zároveň je ale k dispozici i prostředí ANSYS Workbench. Program obsahuje kompletní knihovnu prvků, automatické i ruční síťování, možnost manipulace s výpočetními uzly a elementy, široké možnosti okrajových podmínek a modelování vazeb, využívání uživatelsky definovaných maker a další. V závislosti na konfiguraci lze řešit různé typy úloh od lineární a nelineární statiky a dynamiky přes teplotní úlohy až po výpočty elektromagnetismu a proudění plynů a kapalin.

K dispozici jsou tři základní konfigurace:

- ANSYS Structural - nabízí kompletní pevnostní statické a dynamické analýzy. Umožňuje počítat rozměrné a složité modely. Zahrnuje všechny typy nelinearit materiálových a geometrických. Je vynikající pro výpočty sestav s kontakty. V konfiguraci Structural/Emag a Structural/CFX-Flo umožňuje provádět analýzy nízkofrekvenčního elektromagnetismu a proudění kapalin a plynů.
- ANSYS Mechanical - zahrnuje možnosti programu ANSYS Structural a navíc přidává výpočty stacionárních i nestacionárních teplotních polí. V konfiguraci Mechanical/Emag a Mechanical/CFX-Flo umožňuje provádět analýzy nízkofrekvenčního elektromagnetismu, respektive proudění kapalin a plynů.

ANSYS Mechanical řeší i multifyzikální analýzy jako jsou kombinace teplotní/strukturální úloha, teplotní/elektromagnetická úloha, akustika a piezoelektrika. V případě v kombinaci s CFX je k dispozici obousměrný přenos výsledků pro analýzy FSI (interakce pevná fáze – proudění).

- ANSYS Multiphysics - umožňuje komplexní analýzy kombinující pevnostní, dynamické a teplotní výpočty, simulace proudění kapalin a plynů, výpočty nízko i vysokofrekvenčního elektromagnetismu a akustiky v jednom programovém řešení.

[11]

ANSYS Workbench

Workbench je moderní prostředí sdružující řadu programů ANSYS a to jak pro FEM výpočty pevnosti, dynamiky, teplotních polí, elektromagnetismu a akustiky, tak i pro CFD analýzy proudění a jejich interakci. Toto prostředí obsahuje *pre a post procesory* pro jednotlivé typy analýz a zároveň zabezpečuje výměnu dat mezi jednotlivými programy pro modelování multifyzikálních problémů.

ANSYS Workbench byl poprvé představen ve verzi Rev.7.0 jako prostředí pro program ANSYS DesignSpace. Workbench, postavený na logickém, cadovsky orientovaném menu podporujícím účinné algoritmy výpočtu nad geometrií CAD modelu představuje nový, od klasického postupu výpočtu zcela odlišný a přitom vysoce efektivní, způsob práce. Vývoj Workbenche je nasměrován na integraci programů ANSYS Base Series, které jsou určeny pro výpočtáře specialisty.

Workbench v aktuální verzi ANSYS Rev.10 je vývojové prostředí, které umožňuje rychlou a efektivní práci současným sdílením libovolných CAD systémů a skupiny FEM softwaru, který je integrovatelný do prostředí ANSYS Workbench.

ANSYS Workbench integruje různé fyzikální analýzy do jednoho multifyzikálního výpočtu, přičemž je výpočet prováděn přímo na geometrii modelu. Toto přispívá k radikálnímu snížení času potřebnému k řešení úloh.

Workbench je určen pro konstruktéry, vývojáře a další uživatele metody konečných prvků, přičemž umožňuje provádět požadované analýzy vysoce efektivně. Intuitivní jednoduché prostředí plus ovládací menu umožňují zkrátit přípravu modelu řádově z hodin na minuty. Workbench lze spustit přímo z menu CAD systému, čímž je automaticky importována geometrie. Nepoužívá se žádná transformace, síť pro výpočet je generována přímo na původní geometrii. V místech vzájemného styku součástí je automaticky vygenerován kontakt. Parametricky definované veličiny geometrie jsou automaticky použitelné jako parametry pro výpočet v programu

ANSYS, takže pokud dojde výpočtem ke změně geometrie, mění se přímo geometrie CAD modelu. Při úpravách geometrie na CAD modelu zůstávají zachovány okrajové podmínky a zatížení.

Mezi podporované CAD systémy patří:

- Pro/Engineer
- Unigraphics
- Catia
- SolidWorks
- Solid Edge
- Inventor / Mechanical Desktop
- standardní formáty IGES, Parasolid, SAT (ACIS).

Workbench podporují tyto výpočetní programy:

- ANSYS Structural, Mechanical
- ANSYS Professional, DesignSpace, DesignXplorer, Fatigue, Paramesh, FE Modeler
- ICEM CFD Tetra Prism, Hexa, ICEM / CFX;
- CFX Base

[10]

ANSYS DesignSpace

ANSYS DesignSpace je nástroj umožňující rychlé a snadné analýzy. Je plně integrován do prostředí Workbench. Program je určen především pro konstruktéry, ale uplatnění nalezne i u výpočtářů specialistů. Má přímou návaznost na CAD programy. S programy Autodesk Inventor, Autodesk Mechanical Desktop, Pro/ENGINEER, SolidWorks, Solid Edge a Unigraphics je obousměrně asociativní, z ostatních může importovat geometrii ve formátech PARASOLID, ACIS (SAT) a STEP. K dispozici jsou tři verze:

- ANSYS DesignSpace Entra - základní programová konfigurace pro lineárně statické výpočty jednotlivých dílů.
- ANSYS DesignSpace Structural - umožňuje lineární statické pevnostní analýzy, výpočty vlastních frekvencí a lineární stability na jednotlivých dílech a komplexních sestavách, a to včetně výpočtů kontaktních úloh.
- ANSYS DesignSpace - proti kompletu Structural jsou navíc k dispozici výpočty stacionárních teplotních polí.

ANSYS Professional

ANSYS Professional je plně integrován do prostředí Workbench. K základním možnostem programů DesignSpace nabízí další rozšíření. Jsou to např. výpočty harmonického buzení a lineární dynamické analýzy na základě rozvoje vlastních tvarů kmitání, nelineární statické výpočty, více druhů kontaktních prvků, větší výběr řešičů, využití příkazů PREP7 ve formě dávkových souborů, možnost importovat zatížení z analýzy proudění ANSYS CFX a řada dalších. Pro práci lze použít i tzv. prostředí ANSYS Classic. K dispozici jsou tři konfigurace:

- ANSYS Professional NLT - rozšiřuje možnosti programů DesignSpace především o nestacionární teplotní výpočty. Součástí teplotních výpočtů jsou i modely radiace a změny fáze.
- ANSYS Professional NLT/Emag - rozšíření předchozí verze o možnosti výpočtů nízkofrekvenčního elektromagnetismu.
- ANSYS Professional NLS - rozšiřuje možnosti programů DesignSpace především o nelineární statické výpočty. Do výpočetního modelu lze zahrnout velké deformace a přemístění, bilineární modely popisující plasticitu materiálů a hyperelastické materiály.

ANSYS Fatigue

ANSYS Fatigue umožňuje simulovat chování konstrukce během nízké nebo vysokocyklického zatěžování a hodnocení únavy. Je možné ho dokoupit jako dodatečný modul do prostředí Workbench např. k programům DesignSpace a Professional.

ANSYS DesignModeler

Součástí prostředí Workbench je geometrický 3D modelář. Ten je možno dokoupit jako dodatečný modul ke všem programům pracujícím v prostředí Workbench.

ANSYS DesignXplorer

Umožňuje parametrickou optimalizaci v prostředí Workbench. Může být použit jak pro výpočty strukturální, tak i pro výpočty proudění. Geometrické parametry se definují v prostředí DesignModeler, nebo na základě obousměrné asociativity v příslušném CAD programu.

ANSYS LS-DYNA

LS-DYNA je určen pro analýzy rychlých nelineárních dynamických dějů, jako jsou např. crash testy, pádové testy nebo tváření. Program využívá jeden z celosvětově nejlepších explicitních dynamických řešičů, který vyvíjí společnost Livermore Software Technology Corporation. Protože je ANSYS LS-DYNA postaven na stejné technologii jako ANSYS Multiphysics, je snadné ji kombinovat s ostatními produkty ANSYS.

ANSYS AUTODYN

Autodyn je unikátní univerzální program založený na explicitním řešiči, který umožňuje řešit jak nelineární dynamické úlohy strukturální, tak i proudění kapalin a plynů a jejich interakci (FSI). Uživatelský interface je plně integrovaný do prostředí Workbench. Autodyn obsahuje řešič FEM pro strukturální dynamické analýzy, řešič CFD pro konečně objemové analýzy rychlých dynamických dějů proudění a řešič SPH pro analýzy na výpočetní síti samostatných částic při rychlých pohybech, velkých deformacích a tříštění a propojení výše uvedených řešičů FEM, CFD a SPH při multifyzikálních analýzách.

[11]

3.1 METODA KONEČNÝCH PRVKŮ

Metoda konečných prvků (Finite Element Method - FEM) je numerická metoda pro analýzu struktur a těles. Její princip spočívá v diskretizaci spojitého kontinua do určitého (konečného) počtu prvků, přičemž zjišťované parametry jsou určovány v jednotlivých uzlových bodech. Zpravidla je možné řešit touto metodou problémy, které klasickými postupy nelze úspěšně řešit. Metoda pokrývá celou šíři fyzikálních aplikací: statika, dynamika, akustika, teplo, elektromagnetické pole, elektrostatika, piezoelektrické jevy a proudění. FEM řeší tyto problémy soustavou lineárních rovnic, jejichž konstrukce a řešení lze efektivně provádět za použití výpočetní techniky.

Metoda konečných prvků vzešla z potřeby řešení komplexních úloh statické mechaniky ve stavebním a leteckém inženýrství. Její vývoj může být vysledován až k pracím Alexandra Hrennikoffova (1941) a Richarda Couranta (1942). I když byly postupy použité těmito průkopníky značně odlišné, mají jednu společnou charakteristiku a to rozšíření spojitě oblasti do množiny samostatných podoblastí. Pro řešení eliptických parciálních diferenciálních rovnic druhého stupně, které byly

sestavěny z úlohy zabývající se krutem válce, dělí Hrennikoff oblast pomocí mřížky. Podobně pak Courant dělí oblast do konečného počtu trojúhelníkových podoblastí.

Vývoj metody konečných prvků započal na začátku 50tých let 20. století při řešení konstrukce letadla a úloh statické mechaniky. Metoda byla propracována spolu s precizním matematickým aparátem v roce 1973 v publikaci Stranga a Fixe „Analysis of The Finite Element Method“ (Analýza metody konečných prvků), kdy již byla zobecněna do samostatného oboru Aplikované matematiky pro numerické řešení fyzikálních soustav.

Z matematického hlediska je metoda konečných prvků používána pro nalezení aproximovaného řešení parciálních diferenciálních rovnic i integrálních rovnic např. rovnice vedení tepla. Postup řešení je založen jednak na úplné eliminaci diferenciální rovnice (stacionární úlohy), nebo na převedení parciálních diferenciálních rovnic na ekvivalentní obyčejnou diferenciální rovnici, jež je následně řešena standardními postupy jako např. metodou konečných diferencí.

Při řešení parciálních diferenciálních rovnic je základním krokem sestavení rovnice, která aproximuje řešenou rovnici a která je numericky stabilní ve smyslu, že chyby ve vstupních datech a pomocných výpočtech se neakumulují a nevedou tak k nesmyslným výsledkům. Existuje celá řada možných postupů, všechny s určitými výhodami i nevýhodami. Metoda konečných prvků je rozumnou volbou pro řešení parciálních diferenciálních rovnic na složitých oblastech nebo v případě, kdy se požadovaná přesnost mění po celé oblasti řešení.

[6]

3.2 TEORIE ASYNCHRONNÍHO STROJE

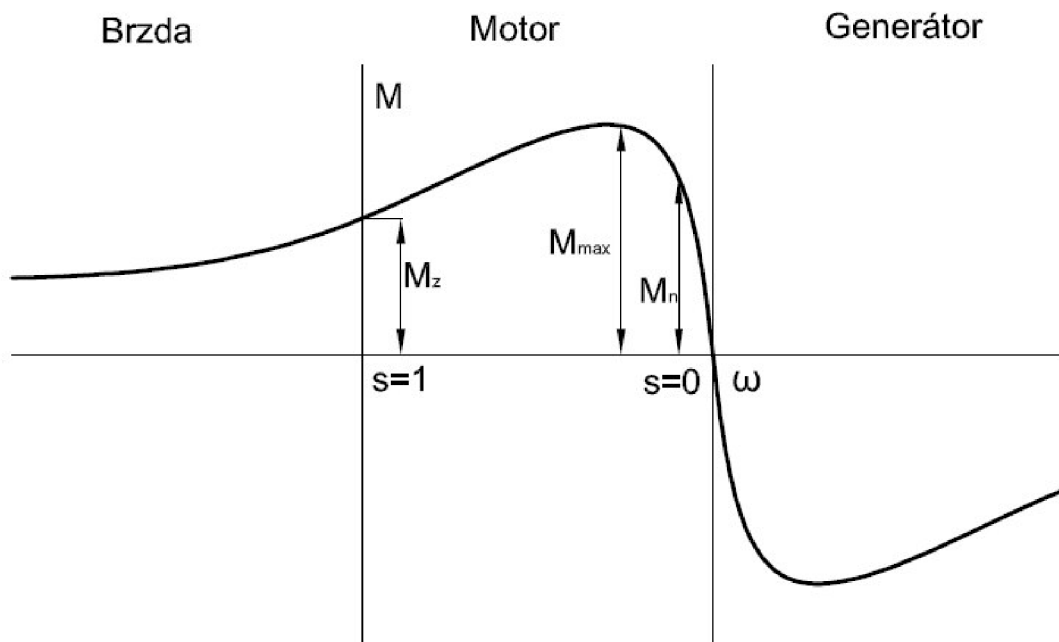
Stator asynchronního motoru se skládá z litinové konstrukce dvou ložiskových štítů. V kostře statoru jsou zalisovány plechy, které jsou navzájem izolovány a tvoří část magnetického obvodu stroje. V drážkách statoru je umístěno třífázové nebo jednofázové vinutí.

Rotorové plechy jsou nalisovány na hřídeli, která se otáčí v ložiskách, upevněných v ložiskových štítech. V drážkách rotoru je umístěno vinutí, kterému se říká kotva. U motoru s kotvou nakrátko jsou v drážkách rotoru nejčastěji hliníkové spojovací kruhy nakrátko. U motorů menších výkonů se vinutí odlévá spolu s větracími lopatkami z hliníku metodou tlakového lití.

Princip činnosti

Nejrozšířenějším typem asynchronního stroje je trojfázový asynchronní motor. Po připojení jeho statorové vinutí na trojfázovou síť se vytvoří točivé magnetické pole, které protíná vodiče rotoru a indukuje v nich tak napětí. Pokud je vinutí rotoru uzavřeno, protéká jím proud, který vytváří magnetické pole rotoru. Vzájemným působením magnetických polí vzniká síla, působící na vodiče rotoru ve směru pohybu magnetického pole statoru.

Napětí a tedy i proud se bude ve vodičích rotoru indukovat jen v případě relativního pohybu pole statoru vůči vodičům rotoru. V takovém případě nemohou být otáčky točivého pole statoru a otáčky rotoru stejné. Rozdíl otáček vztažený na jednu otáčku točivého pole statoru se nazývá skluz. Skluz a tím i otáčky rotoru se mění s mechanickým zatížením stroje.



Obrázek 3.2.1 Momentová charakteristika asynchronního motoru

M_z – záběrný moment

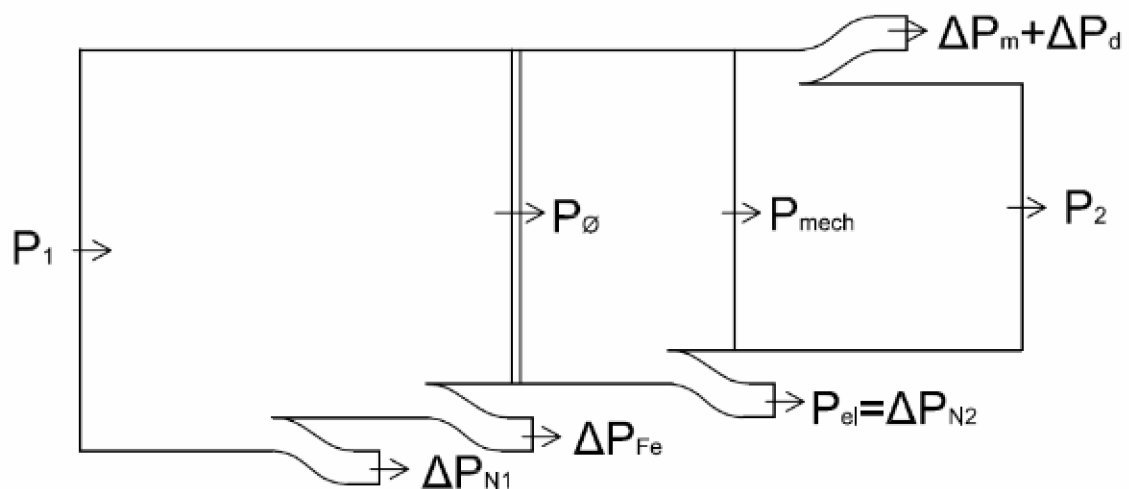
M_{max} – maximální moment

M_n – nominální moment

s - skluz

Tok výkonů v asynchronním motoru

Z příkonu odebíraného motorem ze sítě se hradí činné ztráty ve vinutí statoru ΔP_{N1} a ztráty v magnetickém obvodu motoru ΔP_{Fe} . Hlavní část příkonu P_δ však prochází vzduchovou mezerou do rotoru. Odečteme-li od P_δ činné ztráty ve vinutí rotoru ΔP_{N2} , dostaneme mechanický výkon stroje P_{mech} . Na stator i na rotor působí stejně velký moment M . Výkon na hřídeli není celý mechanický výkon P_{mech} , ale výkon P_2 menší o vlastní mechanické ztráty stroje ΔP_m a ztráty dodatečné ΔP_d .



Obrázek 3.2.2 Tok výkonů v asynchronním motoru

Jednofázový asynchronní motor

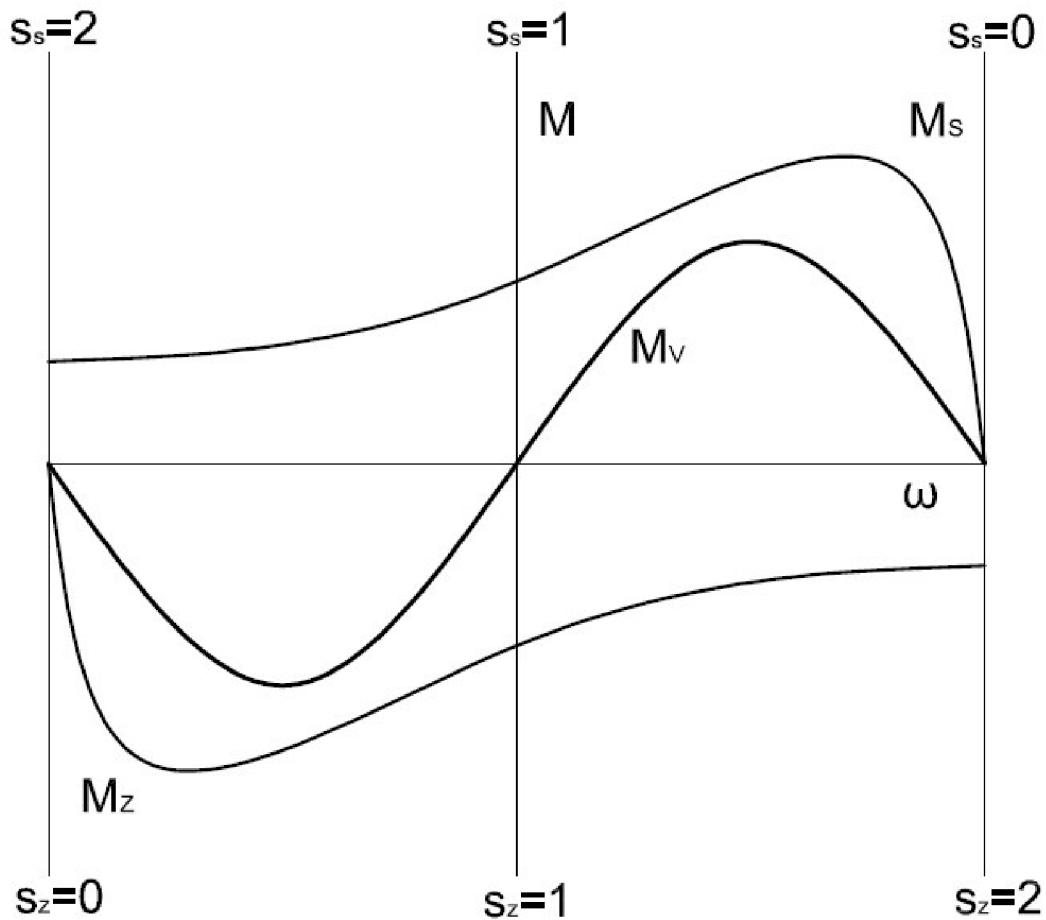
Konstrukčně je jednofázový motor podobný trojfázovému. Do dvou třetin drážek statoru je založeno pracovní jednofázové vinutí. Do zbývajících třetin je založeno vinutí rozběhové a je pootočeno o 90° . Na rotoru je vždy vinutí v podobě klece.

Jednofázové vinutí nevytvoří na statoru točivé magnetické pole, ale pouze pulsující. Pulsující magnetické pole indukuje ve vodičích rotorového vinutí napětí a prochází proud, který vytvoří magnetické pole, působící v každém okamžiku proto poli statoru. Jeho osa je však totožná s osou pole statoru a motor nevytváří výsledný moment. Stroj se zabrzdným rotorem se chová jako transformátor se sekundárním vinutím nakrátko.

Pulsující magnetické pole si také lze představit jako výsledné magnetické pole, vzniklé superpozicí dvou točivých kruhových magnetických polí, otáčejících se proti sobě stejnou rychlostí. Z momentových charakteristik na obrázku 3.2.3 je zřejmé, že motor nevytváří žádný záběrný moment, nemůže se tedy sám rozběhnout. Roztočí-li se však motor v jednom nebo druhém směru, jsou momenty od zpětné složky menší než od sousledné a motor táhne stejně dobře v obou směrech.

Brzdný účinek zpětné složky při jmenovitých otáčkách je zanedbatelný a motor pracuje při jmenovitém zatížení se skluzem jenom nepatrně větším než motor trojfázový.

Rozběh motoru se řeší pomocným rozběhovým vinutím, které je uloženo ve třetině drážek. Rozběhové vinutí má za úkol vytvořit spolu s hlavním jednofázovým vinutím točivé magnetické pole. K tomu je nutné posunout proud rozběhové fáze vůči proudu fáze hlavní. Dosáhne se toho rezistorem, kondenzátorem nebo cívkou, které se zapojují do série s rozběhovým vinutím.



Obrázek 3.2.3 Momentová charakteristika jednofázového asynchronního motoru

M_s – momentová charakteristika sousledné složky

M_z – momentová charakteristika zpětné složky

M_v – výsledný moment

s_s – skluz sousledné složky

s_z – skluz zpětné složky

3.3 ŠÍŘENÍ TEPLA

Přestup tepla mezi dvěma různě teplými tělesy může probíhat třemi způsoby:

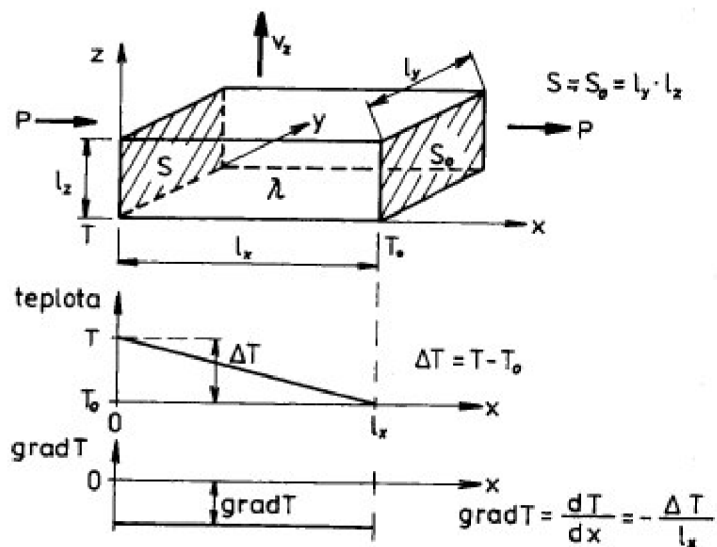
Vedením

Uplatňuje se v nehybném i pohyblivém prostředí, v pevném kapalném i plynném.

Částice látky s vyšší kinetickou energií předávají část své pohybové energie prostřednictvím vzájemných srážek částicím s nižší kinetickou energií. Částice se přitom nepremísťují, ale kmitají kolem svých rovnovážných poloh.

Vedení tepla se uplatňuje především v tuhých tělesech, jejichž různé části mají různou teplotu. Teplo se vedením šíří také v kapalinách a plynech, kde se však uplatňuje také přenos tepla prouděním.

Schopnost látky vést teplo určuje měrná tepelná vodivost λ .



Obrázek 3.3.1 Přestup tepla vedením

Na obrázku 3.3.1 se nachází dva povrchy – povrch S s teplotou T a povrch S_0 s teplotou T_0 , přičemž $T > T_0$. Mezi povrchy je hmotné prostředí s měrnou tepelnou vodivostí λ . Plošná hustota tepelného toku je

$$j_s = \frac{P}{S} = \frac{\Delta T}{R_s S} = \Delta T \frac{G_s}{S}$$

kde ΔT je rozdíl teplot, R_g je tepelný odpor a G_g je tepelná vodivost.

Součinitel přestupu tepla vedením má mezi oběma plochami velikost

$$\alpha_v = \frac{j_g}{\Delta T} = \frac{P}{\Delta TS} = \frac{1}{R_g S} = \frac{G_g}{S} = \frac{\lambda}{l_x}$$

Mechanismus přestupu tepla vedením z pevného tělesa do okolního vzduchu je značně rozdílný v závislosti na velikosti tělesa.

Prouděním

Uplatňuje se v pohyblivém kapalném a plynném prostředí. Přenos tepla je realizován proudící tekutinou. Při přenosu tepla prouděním se významně uplatňuje přenos tepla vedením, kdy je nejprve nutná výměna tepla mezi stěnou tělesa a tekutinou.

Zářením

Uplatňuje se ve vakuu a v plynném prostředí (ve vzduchu).

Tepelná energie je přenášená ve formě elektromagnetického záření. Tepelná radiace nevyžaduje hmotné prostředí, a proto se může šířit i ve vakuu. Každé těleso je zdrojem elektromagnetického záření vznikajícího v důsledku kmitání nabitých částic, z nichž se těleso skládá.

Při dopadu záření na těleso se část záření odrazí, část pohltí a část projde skrz. Tělesa, která pohltí všechno dopadající záření, se nazývají dokonale černá. Tělesa, která všechno dopadající záření odrazí, jsou dokonale bílá a jako dokonale průteplivá označujeme tělesa, která veškeré záření propustí.

Celkovou úhrnnou energii vyzařovanou tělesem v závislosti na jeho povrchové teplotě popisuje Stefan-Boltzmannův zákon. Pro těleso vyzařující ve vakuu platí

$$j_z = \frac{dP}{dS} = A\sigma T^4 \quad [\text{W/m}^2 ; -, \text{W/K}^4\text{m}^2, \text{K}]$$

kde j_z – plošná hustota zářivého toku (výkonu)

σ – Stefan-Boltzmannova konstanta, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/K}^4\text{m}^2$

T – termodynamická teplota

A – poměrná pohltivost zářiče, $A \in \langle 0;1 \rangle$, $A = 1$ pro absolutně černé těleso

Součinitel přestupu tepla zářením lze vyjádřit jako

$$\alpha_z = \frac{j_z}{\Delta T} = A\sigma \frac{T^4 - T_0^4}{T - T_0}$$

Zářivou tepelnou vodivost lze vyjádřit jako

$$G_{g_z} = \frac{1}{R_{g_z}} = S_z \alpha_z = S_z A \sigma \frac{T^4 - T_0^4}{T - T_0}$$

kde S_z je tzv. zářivá plocha tělesa. To znamená, že u kompaktních těles s konvexním povrchem je rovna geometrické velikosti povrchu, ale u silně členěných povrchů (hluboce žebrované chladiče) je rovna geometrické velikosti vnější „obálky“, tj. obrysu tělesa. Vnitřní plochy sousedních žebor totiž září do sebe navzájem a jejich výsledný tok je nulový.

3.4 VÝPOČET OTEPLENÍ MOTORU

Výpočet oteplení je prováděn na modelu jednofázového asynchronního motoru s trvale připojeným kondenzátorem.



Obrázek 3.4.1 Jednofázový asynchronní motor
s trvale připojeným kondenzátorem

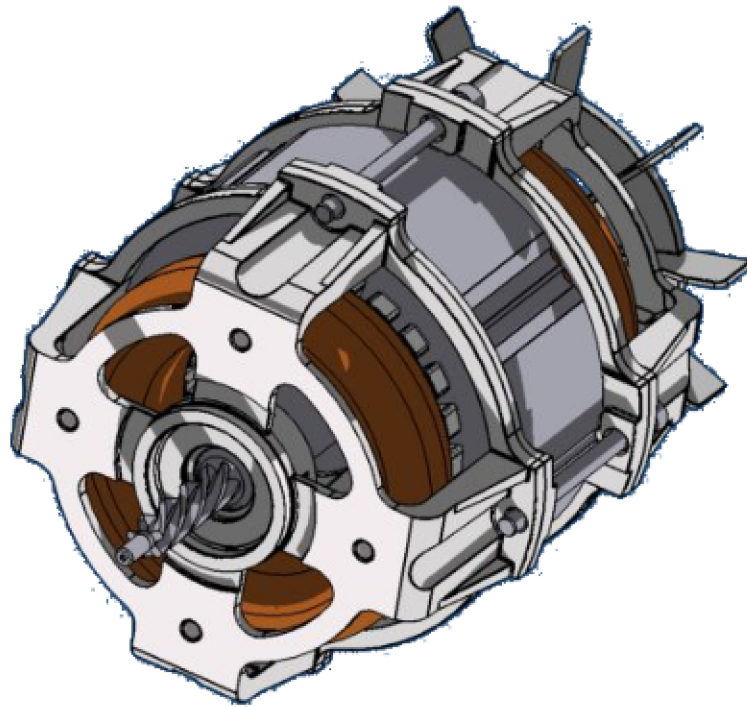
- Napětí 220–230 V
- Frekvence 50 Hz
- Výkon 250 W
- Proud 1,7 A
- Otáčky 2600 1/min
- Kondenzátor 12 μ F / 400V

3.4.1 Model

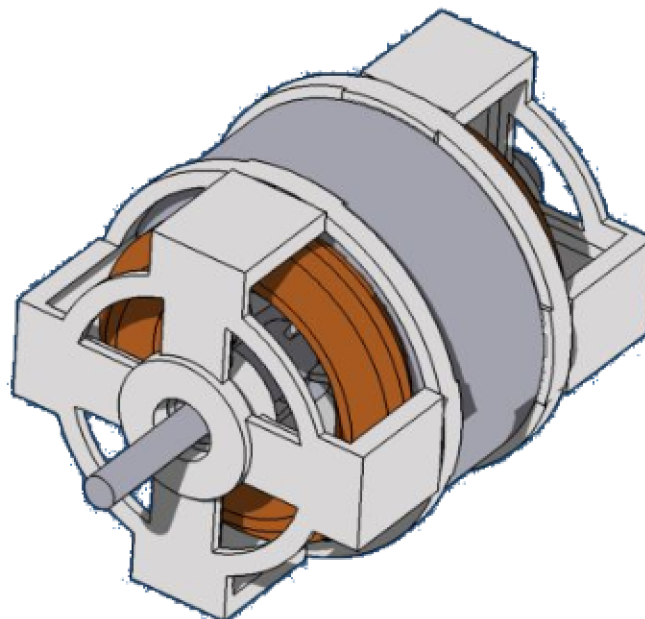
Výpočet oteplení je prováděn na zjednodušeném modelu asynchronního motoru. Zjednodušení modelu se provádí z důvodu snížení náročnosti výpočtu. Zjednodušení spočívá v odstranění nebo nahrazení složitých součástí modelu jednoduššími. Míra zjednodušení modelu ovlivňuje přesnost následujícího výpočtu. Model lze zjednodušit až do takové míry, kdy je chyba výsledku výpočtu, způsobena zjednodušením, ještě přijatelná pro daný účel výpočtu.

Z původního modelu byly odstraněny všechny části, které mají na výsledné oteplení zanedbatelný vliv. Dále byly zjednodušeny použité součásti tak, že z nich bylo odstraněno zaoblení, rýhování atp.

Z modelu byl také odstraněn ventilátor a následující výpočet bude počítán se zanedbáním ventilace.



Obrázek 3.4.2 Původní model motoru



Obrázek 3.4.3 Zjednodušený model motoru

3.4.2 Výpočet modelu

Model byl naimportován do programu ANSYS Workbench a uzavřen do vzduchové kapsy. Dále byla vygenerována síť pro výpočet. Experimentálně bylo určeno, že hustota sítě s nastavením *Relevance=0* je již pro tento výpočet dostatečná a prodloužení času výpočtu je přijatelné.

Pro výpočet oteplení byla použita teplotní přechodová analýza (Transient Thermal). Ztrátový výkon motoru je:

Ztráty mechanické	$\delta P_m = 19 \text{ W}$
Ztráty v železe	$\delta P_{Fe} = 37 \text{ W}$
Ztráty ve vinutí statoru	$\delta P_{j1} = 56 \text{ W}$
Ztráty ve vinutí rotoru	$\delta P_{j2} = 23 \text{ W}$
Celkové ztráty	$\delta P = 135 \text{ W}$

Tyto ztráty byly přiřazeny k částem motoru, ve kterých se bude generovat teplo. Na jednotlivé součásti byly nastaveny tyto výkony:

Statorové vinutí	$\delta P_{j1} = 56 \text{ W}$
Rotorová klec	$\delta P_{j2} = 23 \text{ W}$
Ložiska	$\delta P_m = 19 \text{ W}$
Plechý	$\delta P_{Fe} = 37 \text{ W}$

Na povrch vzduchové kapsy byla nastavena pevná teplota 22°C. Počáteční teplota celého motoru byla nastavena na 22°C.


Délka simulace byla nastavena na 1 hodinu s maximálním krokem 5 minut.

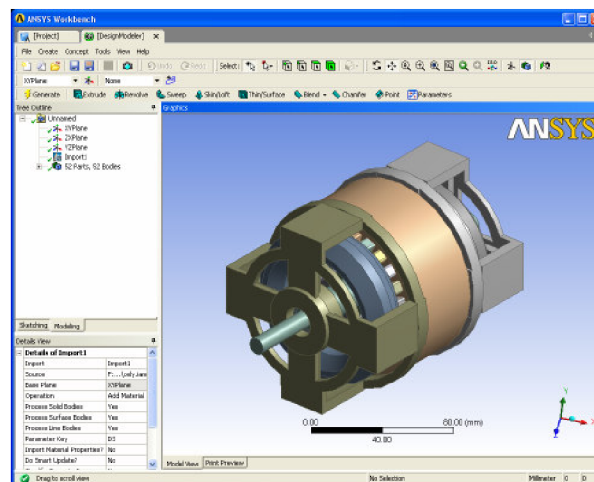
3.4.3 Postup nastavení simulace - manuál

Spustěte aplikaci ANSYS Workbench Multiphysics. Vytvořte nový prázdný projekt – *Empty Project*.

Nyní vložíme model do projektu. Klikněte na tlačítko *New Geometry*. V dialogu zvolte jako jednotky milimetry. Naimportujte model vytvořený v Inventoru:

File -> Import External Geometry File...

Pro zobrazení modelu klikněte na tlačítko *Generate* . Po chvíli se zobrazí naimportovaný model.

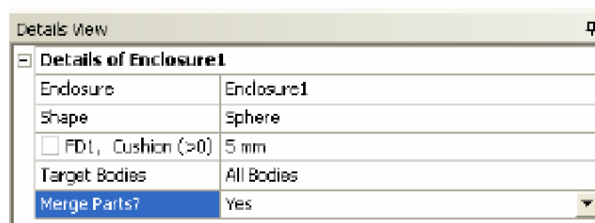


Obrázek 3.4.4 Model motoru v ANSYS Workbench

Model uzavřete do vzduchové kapsy:

Tools -> Enclosure

Ve vlastnosti uzavření (Obrázek 3.4.5) nastavte tvar kapsy na kouli, odsazení kapsy od modelu na 5mm a povolte spojení vzduchu s modelem. Poté opět klikněte na tlačítko *Generate*.

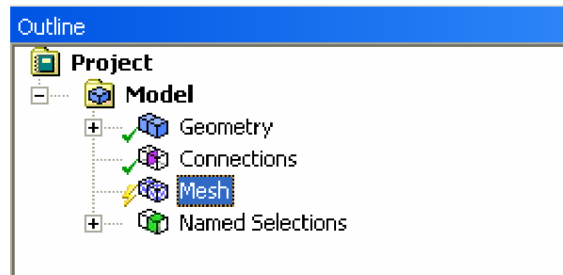


Obrázek 3.4.5 Nastavení vzduchové kapsy

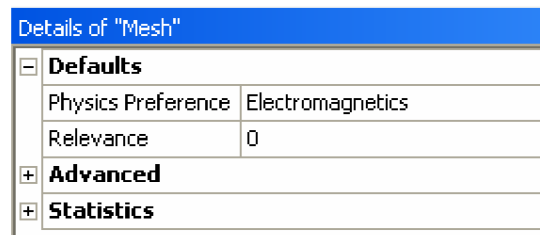
Model je nyní uzavřen ve vzduchové kapse a lze přistoupit ke generování sítě pro výpočet.

Model uložte a můžete jej zavřít. Vytvořte novou simulaci. Na záložce projektu klikněte na tlačítko *New simulation*. Připravený model se do ní automaticky vloží.

Vytvořte síť pro výpočet. V menu projektu vyberte *Mesh*. Ve vlastnostech *Meshe* lze změnou hodnoty *Relevance* měnit hustotu sítě. Pro tuto simulaci ponechte hodnotu nastavenou na nule.

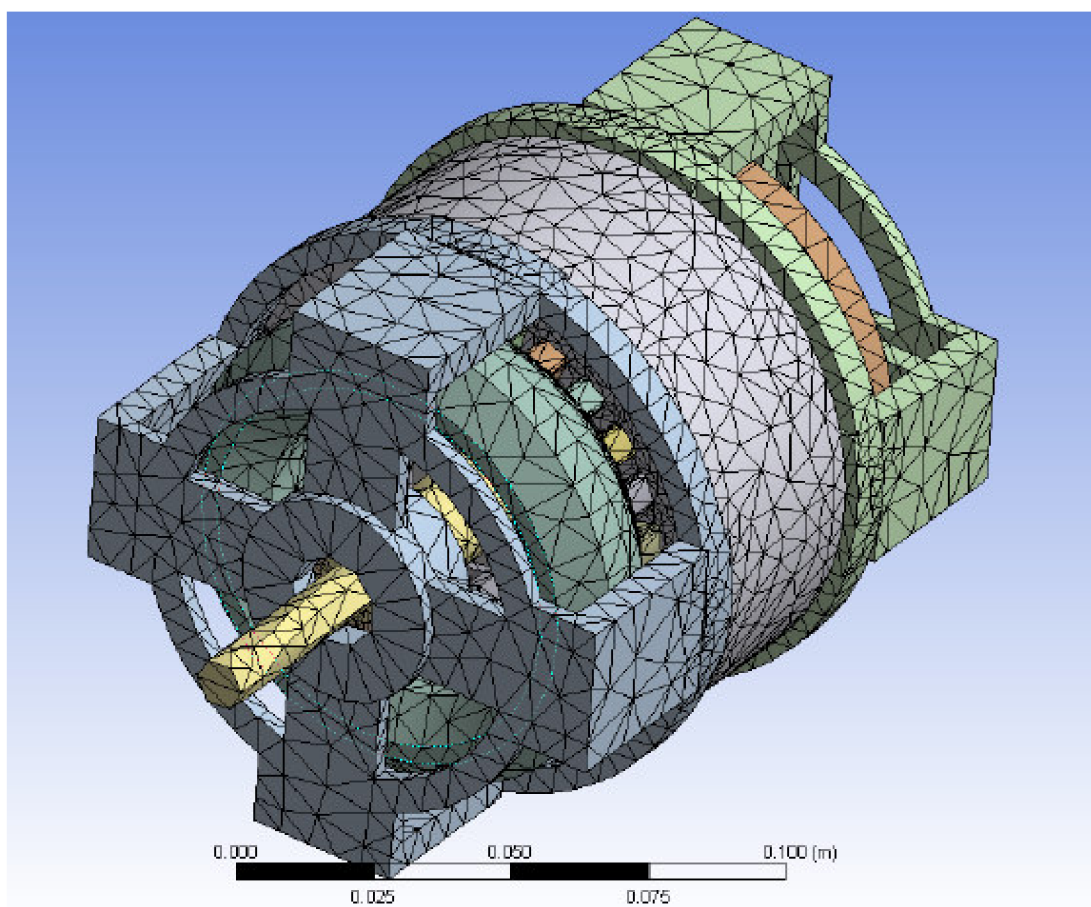


Obrázek 3.4.6 Menu projektu




Obrázek 3.4.7 Nastavení Meshe

Sít' *Mesh* vygenerujete tak, že v menu projektu kliknete pravým tlačítkem myši na položku *Mesh* a dále kliknete na tlačítko *Generate Mesh*. Tato operace bude chvíli trvat. Model s hotovou *Mesh* sítí je vidět na následujícím obrázku.




Obrázek 3.4.8 Model motoru s Mesh sítí

Nyní vložíme do simulace požadovanou analýzu a nastavíme její parametry.

Počítáme oteplení, proto použijeme teplotní přechodovou analýzu. Klikněte na tlačítko *New Analysis*  a vyberte *Transient Thermal*. Analýza se přidala do menu projektu.

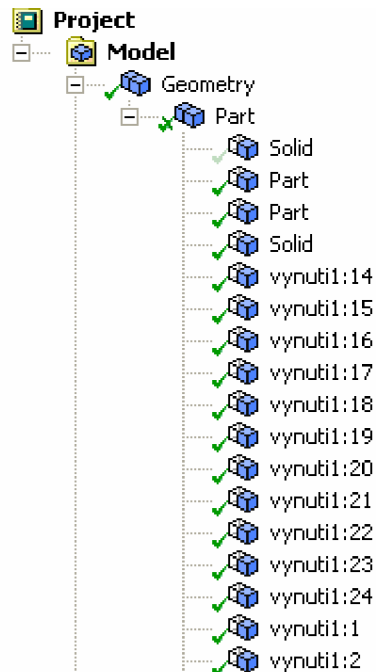
Dále přidáme zdroje tepla. Teplo je generováno ve vinutí statoru, v rotorové kleci, v plechách statoru i rotoru a v ložiskách.

Do simulace vložte 4x vnitřní generaci tepla. V menu projektu vyberte analýzu *Transient Thermal*, dále v menu nahoře klikněte na tlačítko *Heat*  a vyberte *Internal Heat Generation*. Poté opakujte ještě 3x.

Nyní se vytvoří skupiny sdružující jednotlivé části modelu do skupin patřících k statorovému vinutí, plechům atd. Následně přiřadíme generaci tepla těmto skupinám.

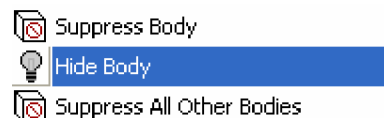
Otevřete v menu projektu položku

Model -> Geometry -> Part



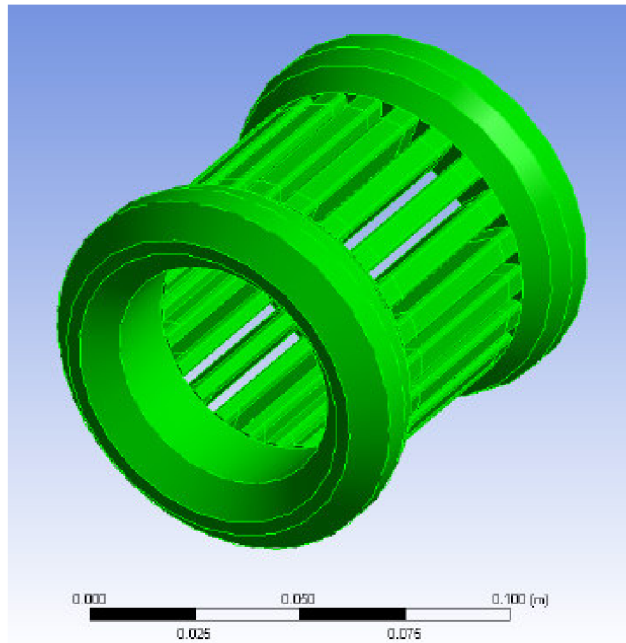
Obrázek 3.4.9 Výpis částí modelu

Zde jsou vypsány všechny součásti, ze kterých se model skládá. Pokud na položku kliknete pravým tlačítkem, a zvolíte *Hide Body*, skryjete danou součást.

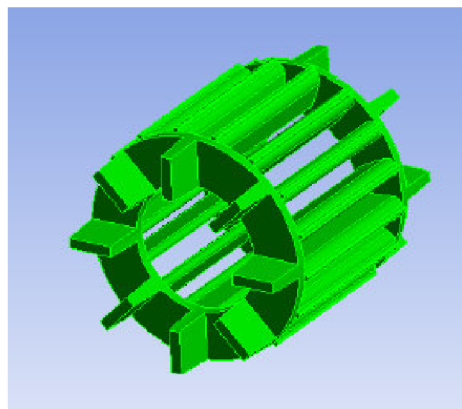


Obrázek 3.4.10 Ovládaní zobrazení částí modelu

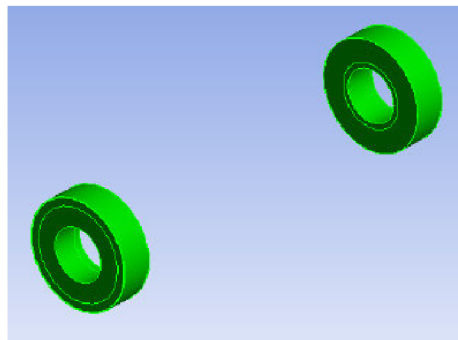
Označte všechny součásti patřící k vinutí statoru, klikněte na ně pravým tlačítkem a zvolte *Create Selection Group*. Výběr pojmenujte. Postup zopakujte pro rotorovou klec, plechy a ložiska.



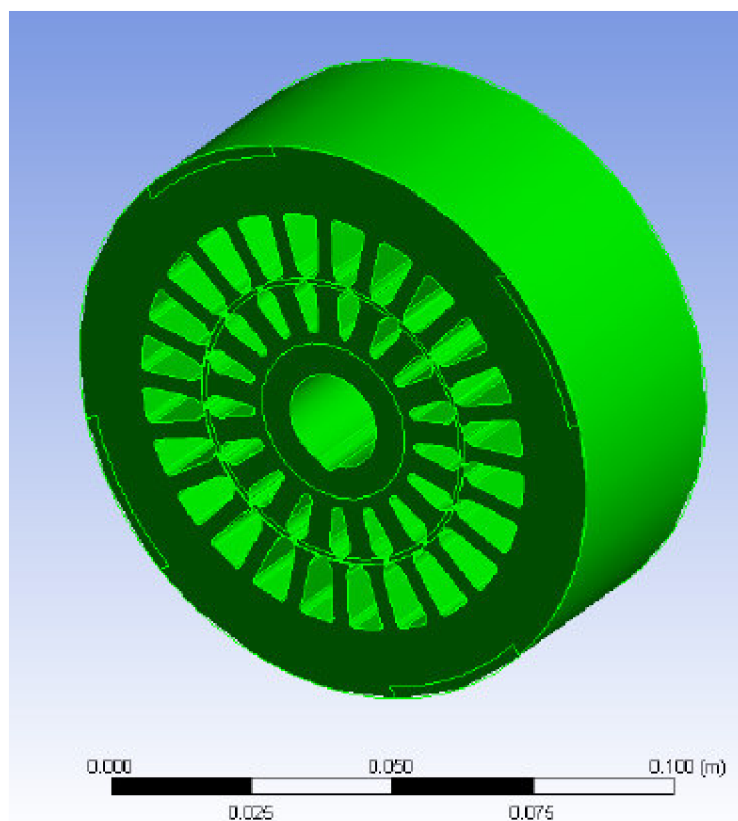
Obrázek 3.4.11 Vinutí statoru



Obrázek 3.4.12 Rotorová klec



Obrázek 3.4.13 Ložiska



Obrázek 3.4.14 Plechy rotoru a statoru

Protože se tepelný výkon zadává v W/m^3 je ztrátový výkon přepočítán na objem. Objem jednotlivých částí modelu zjistíte v detailech objektu pod položkou *Properties -> Volume*

Klikněte na první položku *Internal Heat Generation* a v jeho detailech nastavte hodnotu *Magnitude*.

☐ Scope	
Scoping Method	Named Selection
Named Selection	Statorove vinuti
☐ Definition	
Type	Internal Heat Generation
<input type="checkbox"/> Magnitude	2,1919e+005 W/m ³ (step applied)
Suppressed	No


Obrázek 3.4.15 Nastavení generace tepla pro vinutí statoru

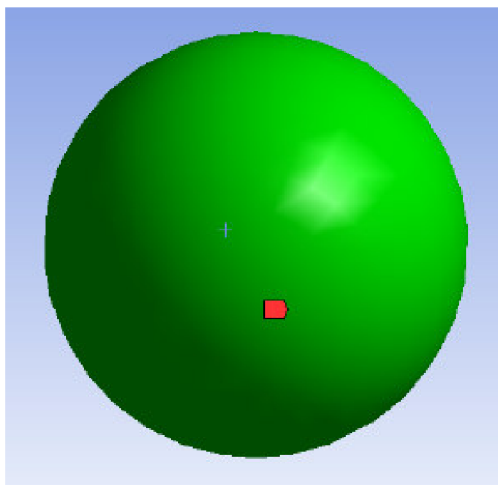
Nastavení zopakujte i pro zbývající položky.

<i>Statorové vinutí</i>	219189 W/m^3
<i>Klec rotoru</i>	703712 W/m^3
<i>Plechý</i>	143436 W/m^3
<i>Ložiska</i>	982646 W/m^3

Do analýzy dále přidejte teplotu pro okolní vzduch.

Pravým tlačítkem na Transient Thermal -> Insert -> Temperature

Na horní liště přepněte na výběr povrchu *Face* . V detailech *Temperature* vyberte *Geometry* a označte povrch vzduchové kapsy. Teplotu nechte nastavenou na 22°C.



Obrázek 3.4.16 Vybraný povrch vzduchové kapsy

Nyní se přiřadí součástíem modelu materiál. V menu projektu klikněte na objekt vzduchové kapsy. V detailech objektu nastavte vlastnosti vzduchu.

Definition -> Material -> Edit Air

V okně *Engineering Data* přidejte do vlastností *Thermal* položky *Thermal Conductivity* a *Specific Heat* a do vlastností *Structural* položku *Density* a nastavte je.

<i>Thermal conductivity</i>	$0,0271 \text{ W/m.K}$
<i>Specific Heat</i>	1005 J/kg.K
<i>Density</i>	$1,127 \text{ kg/m}^3$

Dále označte všechny části statorového vinutí a změňte materiál na měď.
V detailu součásti

Definition -> Material -> Import -> Copper Alloy

Postup zopakujte pro klec rotoru a materiál nastavte na hliník (*Alluminium Alloy*). Stejný materiál nastavte i na oba ložiskové štíty.

Nyní nastavíme vlastnosti analýzy.

V menu projektu označte *Analysis Settings* a parametry v detailu nastavte dle obrázku.

<input type="checkbox"/>	Step Controls	
	Number Of Steps	1,
	Current Step Number	1,
	Step End Time	3600, s
	Auto Time Stepping	On
	Define By	Time
	Initial Time Step	1,e-002 s
	Minimum Time Step	1,e-003 s
	Maximum Time Step	300, s
	Time Integration	On
<input type="checkbox"/>	Solver Controls	
	Solver Type	Program Controlled
<input type="checkbox"/>	Nonlinear Controls	
<input type="checkbox"/>	Output Controls	
<input type="checkbox"/>	Analysis Data Management	
<input type="checkbox"/>	Visibility	

Obrázek 3.4.17 Nastavení parametrů výpočtu

Délka simulace je 1 hodina, minimální délka kroku je 1ms, maximální délka kroku je 300s. Program si délku kroku v rámci mezí určuje sám.

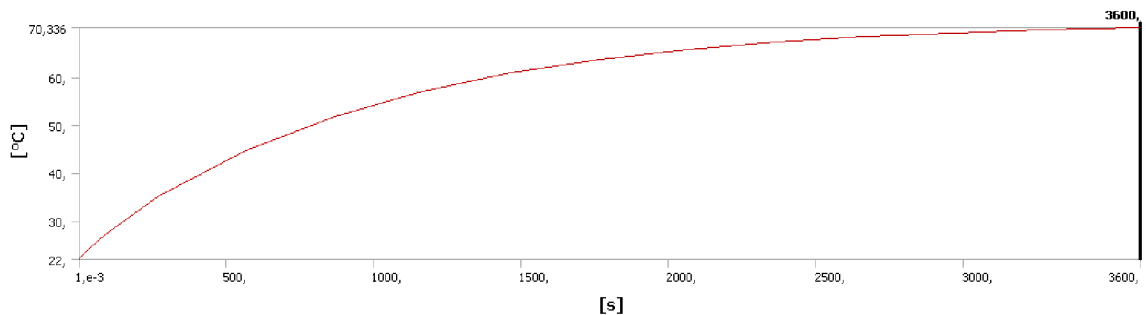
Celou simulaci máte nyní nastavenou a zbývá pouze spustit výpočet. Ten zabere několik hodin.

Výpočet spustíte tlačítkem *Solve* .

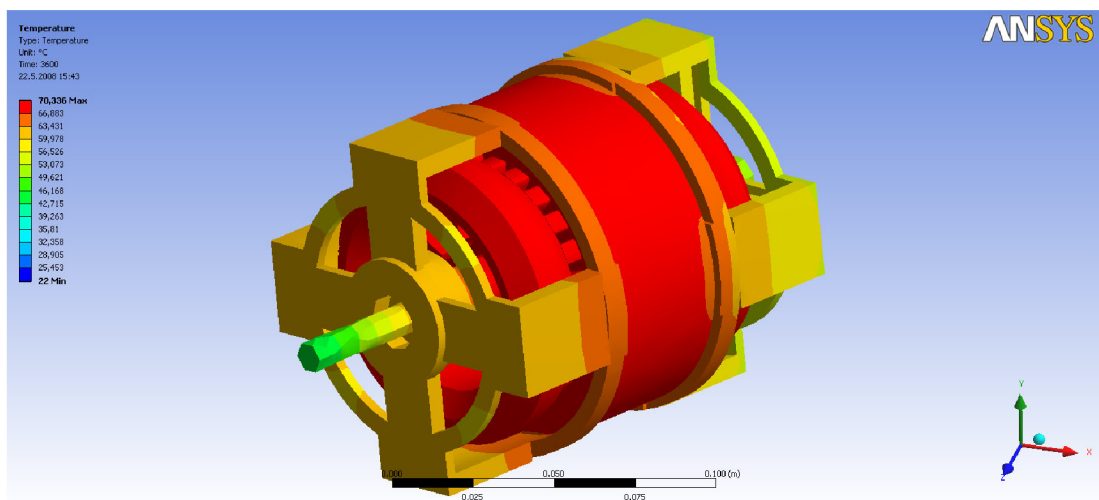
3.4.4 Výsledek výpočtu

Výsledek teplotní analýzy je vidět na následujících obrázcích. Výsledná teplota motoru, která po hodině simulovaného běhu motoru dosáhla 70°C, i průběh oteplení odpovídají předpokladům. Vzhledem k tomu, že výpočet byl proveden se zanedbáním ventilace, byla by teplota skutečného motoru nižší. Výsledek výpočtu nebyl porovnán s měřením na skutečném motoru, ale velmi pravděpodobně by výsledky měření souhlasily s výsledkem výpočtu.

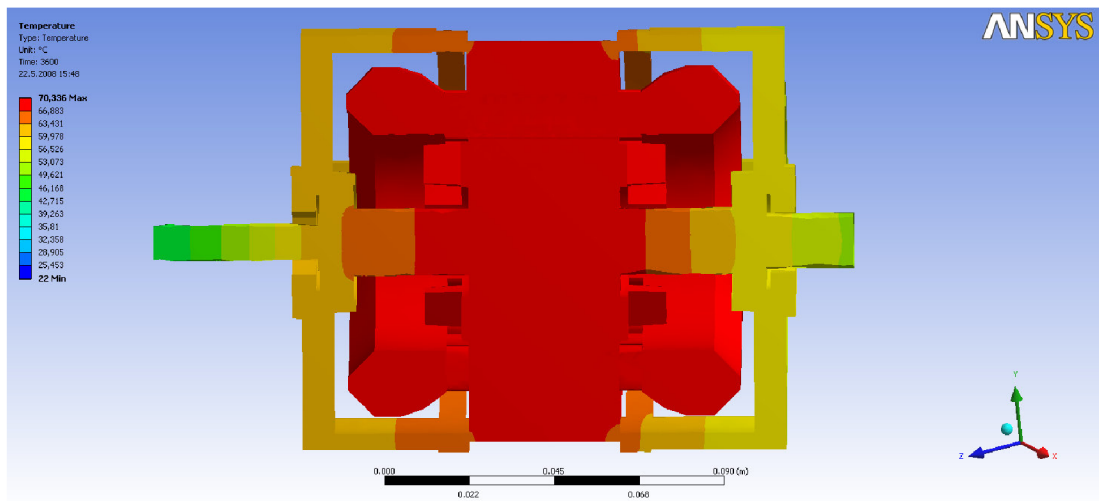
Model má celkem 241533 elementů a jeho výpočet trval necelé 3 hodiny.



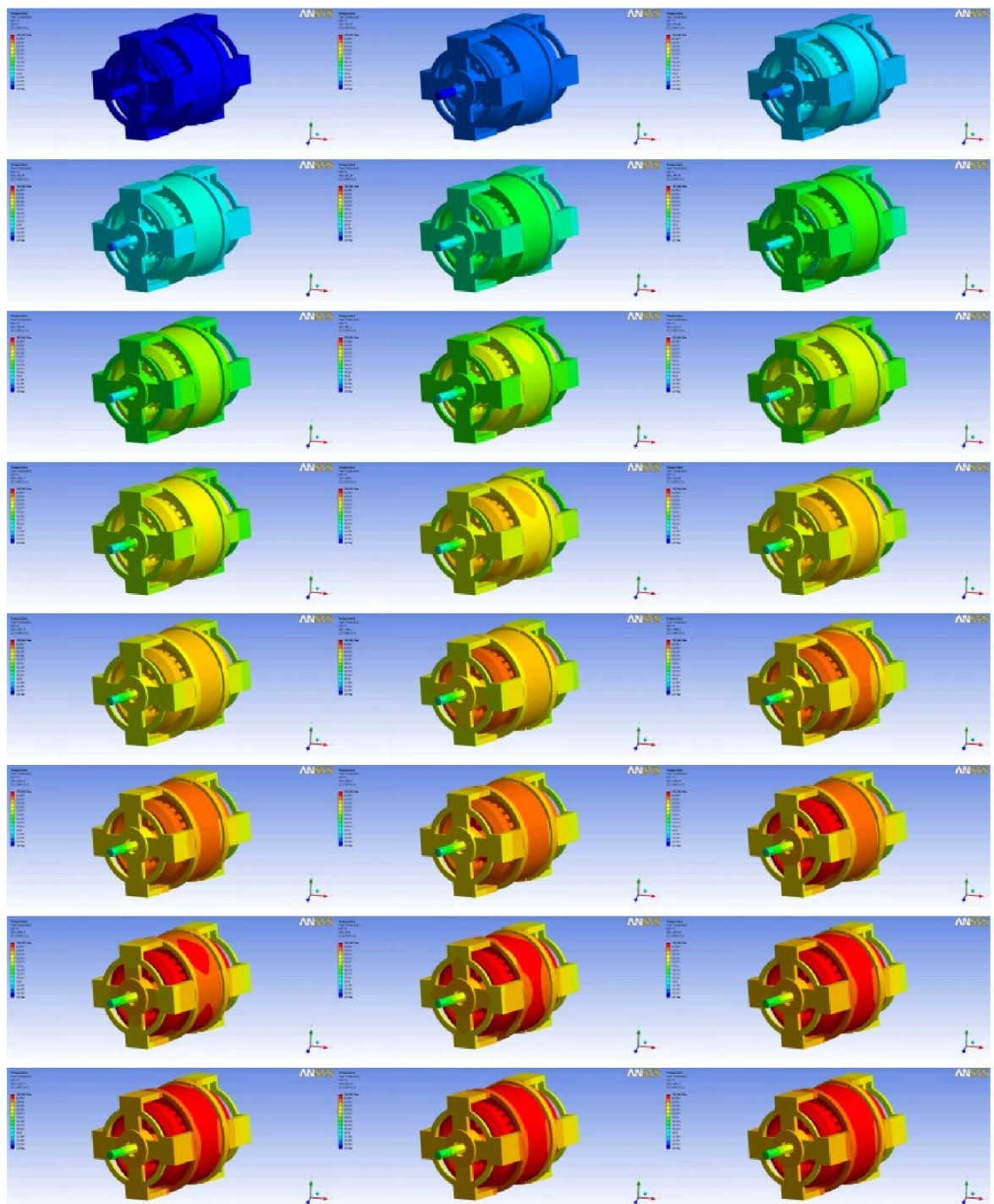
Obrázek 3.4.18 Graf závislosti teploty motoru na čase



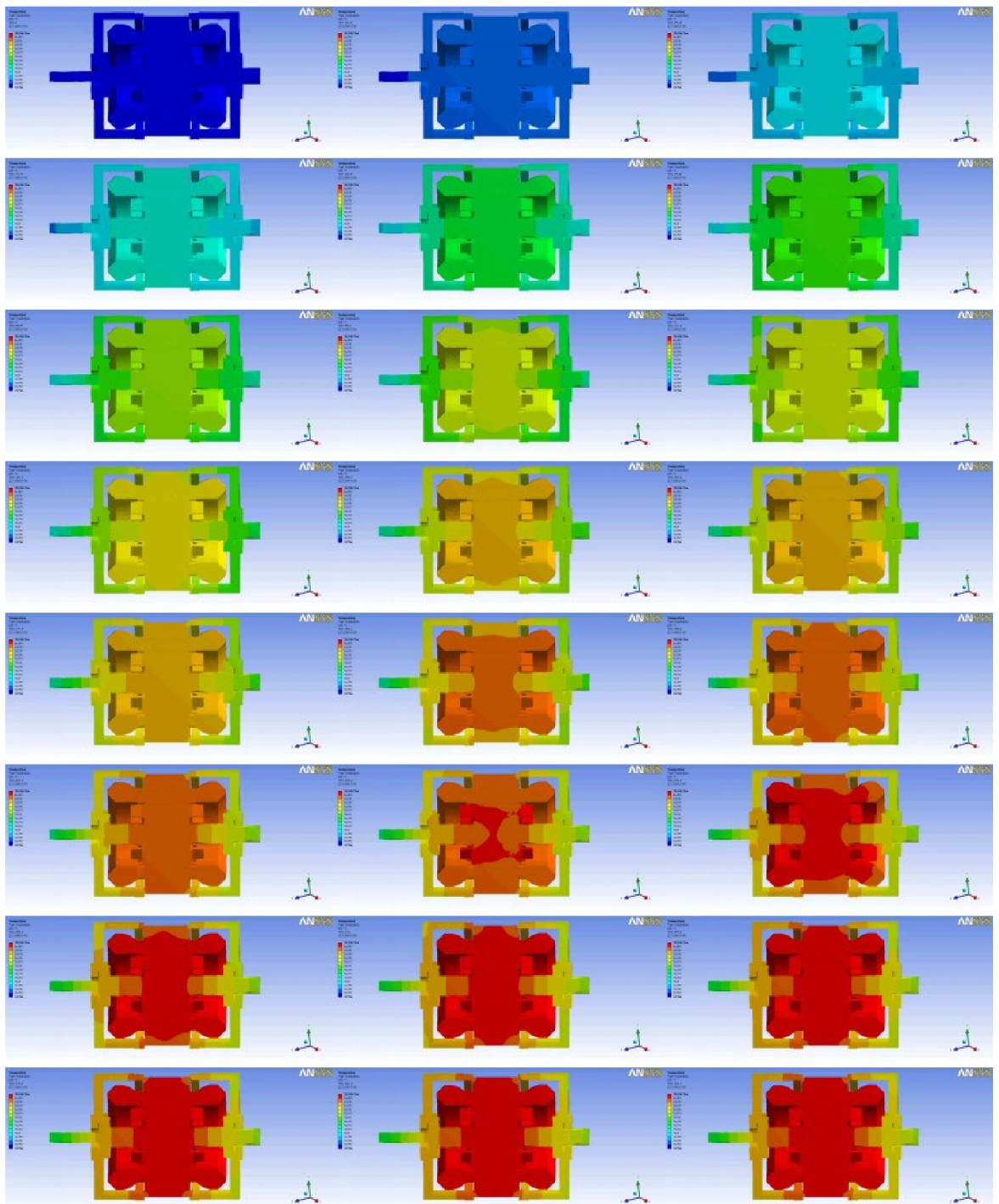
Obrázek 3.4.19 Rozložení teploty na motoru po jedné hodině



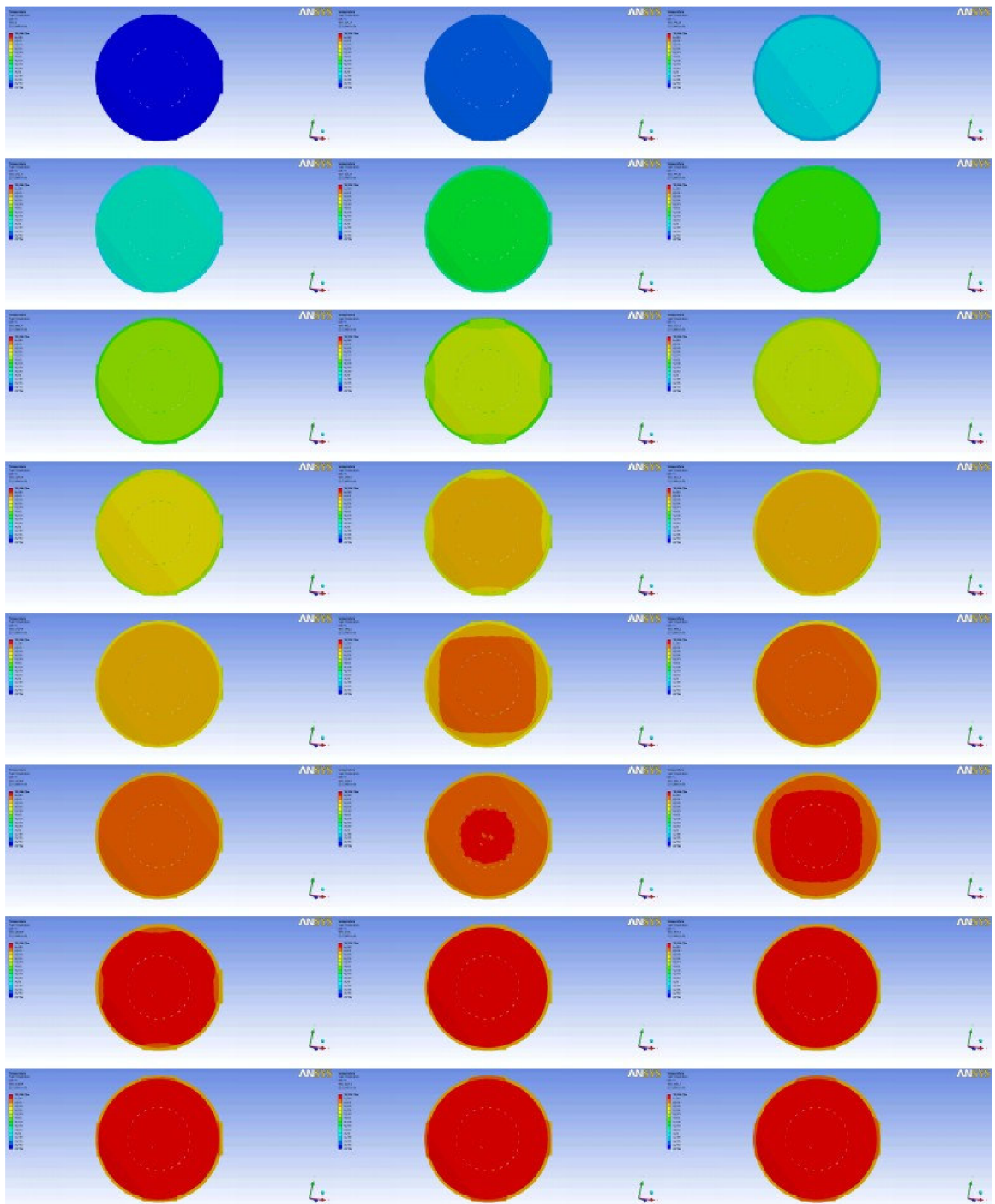
Obrázek 3.4.20 Rozložení teploty na motoru – podélný řez



Obrázek 3.4.21 Výsledek teplotní analýzy motoru



Obrázek 3.4.22 Podélný řez motorem



Obrázek 3.4.23 Příčný řez motorem

4. ZÁVĚR

Program Autodesk Inventor Professional značně usnadňuje navrhování součástí i celých strojů a jeho využití leží v různých oblastech strojírenství. Obsahuje celou řadu nástrojů, které nachází uplatnění právě při konstruování a zrychlují tak postup práce. V průmyslové výrobě se pracuje hlavně se strojírenskými výkresy. Autodesk Inventor umožňuje jejich tvorbu přímo z 3D modelu. Vytvoření výkresu je otázkou několika minut. Program se sám postará o dodržení norem, které jsou v něm zohledněny.

Provedený výpočet oteplení je jen malá část z toho co ANSYS nabízí. Dostupné analýzy nachází využití nejen ve strojírenství, ale i v celé řadě jiných odvětví průmyslu.

Spolupráce mezi oběma programy je příkladná. Stroj nebo součást, která byla navrhována v Inventoru, může být následně ověřena výpočtem v ANSYSu. Zpětně je pak možné opravit chyby v návrhu nebo ho optimalizovat. Šetří se tak náklady na výrobu prototypu.

Samotná práce s programem ANSYS Workbench není složitá. K dispozici je inteligentní průvodce, který zobrazuje kroky, které je ještě třeba udělat, aby mohl být spuštěn výpočet. Tato funkce je velmi užitečná pro začátečníky nebo občasné uživatele.

Model jednofázového asynchronního motoru byl pro potřeby výpočtu oteplení zjednodušen. Při zjednodušování modelu se vyskytly problémy s nepřesností v sestavení modelu. Tyto nepřesnosti způsobovaly nemožnost uzavřít model v prostředí ANSYS Workbench do vzduchové kapsy a proto bylo nutné některé části rozměrově upravit a model poté znovu sestavit.

Dále byl model přenesen do programu ANSYS Workbench a zde byly nastaveny parametry výpočtu. V tomto kroku již nedošlo k žádným potížím a bylo možné spustit výpočet, který zabral necelé 3 hodiny. Teplota motoru dosáhla po hodině 70°C a průběh oteplení odpovídá předpokládanému průběhu oteplení.

5. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] <http://www.autodeskclub.cz>
- [2] <http://www.autodesk.cz>
- [3] <http://www.xanadu.cz>
- [4] <http://www.adeon.cz>
- [5] <http://www.wikipedia.org>
- [6] Metoda konečných prvků [online]. 2007 [cit. 2008-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://wood.mendelu.cz/cz/sections/FEM/?q=node/32>>.
- [7] ONDRŮŠEK, Čestmír. Elektrické stroje. 107 s. Vysoké učení technické v Brně. Skripta.
- [8] PATOČKA, Miroslav. Vybrané statě z výkonové elektrotechniky: Tepelné jevy, činný výkon. Brno, 2005. 61 s. Vysoké učení technické v Brně. Skripta.
- [9] Termokinetika [online]. [2007] [cit. 2008-05-01]. Dostupný z WWW: <if.vsb.cz/Kontakt/Hlavacova/termokinetika.doc>.
- [10] Platforma pro integraci CAE softwaru [online]. 2006 [cit. 2008-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/platforma-pro-integraci-cae-softwaru>>.
- [11] ANSYS Workbench Entry Solver Product [online]. 2006-2007 [cit. 2008-05-01]. Dostupný z WWW: <http://www.techsoft-eng.cz/ansys_workbench_entry_solver_product/>.
- [12] AUBRECHT, Vladimír. Informatika v silnoproudé elektrotechnice. 138 s. Vysoké učení technické v Brně. Skripta.