

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití programu Pro/ENGINEER v elektrotechnice

**vedoucí práce: Ing. Petr Řezáček Ph.D.
autor: Stanislav Kroták**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ing. Stanislav KROTÁK**
Osobní číslo: **E09B0079K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Využití programu Pro/ENGINEER v elektrotechnice**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Vypracujte bakalářskou práci podle následujících bodů:

1. Rešerše dostupných CAD systémů.
2. Sestavení postupu tvorby 3D modelu v programu Pro/ENGINEER.
3. Vytvoření jednoduchého modelu z oblasti elektrotechniky.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Internet

2. Manuál programu Pro/ENGINEER

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Řezáček, Ph.D.

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.

vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Práce na téma „Využití programu Pro/ENGINEER v elektrotechnice“ v úvodní části vysvětluje pojem CAx a jeho návaznost na CAD systémy. V dalších kapitolách práce jsou vysvětleny základní myšlenky parametrického modelování, potažmo parametrických CAD systémů s jejich možným nasazením během životního cyklu produktu. Vedle stručného popisu používaných CAD systémů je podrobněji rozebrán postup tvorby parametrického modelu s vysvětlenými základními principy práce v tomto programu. Důležitou součástí práce je i praktická ukázka využití programu Pro/ENGINEER na jednoduchém příkladu s objasněním elementárních modelovacích technik.

Klíčová slova

CAD systémy, Pro/ENGINEER, parametrické modelování, modelovací techniky

Abstract

The bachelor thesis on the topic "The use of the program Pro/ENGINEER in Electrotechnics" presents the term CAx and its relation to CAD systems in the introduction. In the next chapters the basic ideas of the parametric modelling, parametric CAD systems, with their possible using during the product lifecycle are presented. Apart from a brief description of CAD systems the procedure of the parametric model creation with explained basic principles of the work with this program is analyzed. An important part of the bachelor thesis is a practical demonstration of the use of the program Pro/ENGINEER on a simple example with an explanation of elementary modelling techniques.

Key words

CAD systems, Pro/ENGINEER, parametric modeling, modelling techniques

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 3.6.2012

Stanislav Kroták

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petrovi Řezáčkovi Ph.D. za připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM OBRÁZKŮ	8
ÚVOD	9
1 VYSVĚTLENÍ POJMU CAX	10
1.1 CAD (COMPUTER-AIDED DESIGN) SYSTÉMY	11
1.2 PARAMETRICKÉ MODELOVÁNÍ.....	11
2 PARAMETRICKÉ 3D CAD SYSTÉMY	12
3 POUŽÍVANÉ CAD SYSTÉMY	14
3.1 CATIA	14
3.2 SOLID EDGE.....	15
3.3 AUTODESK INVENTOR	16
3.4 PRO/ENGINEER.....	17
4 ZÁKLADY PRÁCE V PROGRAMU PRO/ENGINEER	20
4.1 KONCEPCE PROGRAMU	20
4.2 SOUBORY V PROGRAMU	21
4.3 VOLBA PRACOVNÍHO ADRESÁŘE.....	21
4.4 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ PROGRAMU PRO/ENGINEER.....	22
5 PRAKTICKÁ UKÁZKA VYUŽITÍ MODULŮ PRO/ENGINEER WF5	25
5.1 TVORBA DÍLU	25
5.2 TVORBA DÍLU POMOCÍ PLOCH	28
5.3 TVORBA SESTAVY.....	31
5.3.1 <i>Návrh zdola nahoru</i>	31
5.3.2 <i>Návrh shora dolů</i>	31
5.3.3 <i>Ukázka tvorby sestavy zdola nahoru</i>	32
5.4 TVORBA SVARŮ	33
5.5 MATERIÁL	35
5.6 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE.....	36
6 ZÁVĚR	37
POUŽITÁ LITERATURA	38

Seznam obrázků

OBR. 1 - OBLAST NASAZENÍ VIRTUÁLNÍCH NÁSTROJŮ [8].....	12
OBR. 2 - PROSTŘEDÍ CATIA V5 [1].....	15
OBR. 3 - PROSTŘEDÍ SOLIDEDGE [2].....	16
OBR. 4 - PROSTŘEDÍ AUTODESK INVENTOR [7]	17
OBR. 5 - PŘÍKLAD DATABÁZE NORMOVANÝCH DÍLŮ [11]	18
OBR. 6 - PŘEHLED VYDANÝCH VERZÍ 3D SYSTÉMŮ OD SPOLEČNOSTI PTC.....	18
OBR. 7 - UKÁZKA VZTAHU PARENTS/CHILDREN.....	20
OBR. 8 - NASTAVENÍ PRACOVNÍHO ADRESÁŘE	22
OBR. 9 - NABÍDKOVÁ LIŠTA	22
OBR. 10 - HORNÍ NÁSTROJOVÁ LIŠTA	22
OBR. 11 - STROM MODELU V SESTAVĚ	23
OBR. 12 - BOČNÍ NÁSTROJOVÁ LIŠTA NA ÚROVNI SESTAVY A SOUČÁSTI [4]	23
OBR. 13 - HLAVNÍ GRAFICKÉ OKNO S PROSTŘEDÍ PRO/ENGINEER	24
OBR. 14 - MODEL POTÁPĚČSKÉ SVÍTILNY	25
OBR. 15 - VOLBY TYPU DÍLU - PART.....	25
OBR. 16 - HLAVNÍ GRAFICKÉ OKNO PRO MODELOVÁNÍ SAMOSTATNÉHO DÍLU	26
OBR. 17 - SKICOVÁNÍ TVARU DÍLU	26
OBR. 18 - VYTAŽENÍ 3D MODELU.....	27
OBR. 19 - KONEČNÁ PODOBA MODELU DÍLU V ŘEZU	28
OBR. 20 - ČÁST RUKOJETI VYTVOŘENÁ POMOCÍ PLOCH.....	29
OBR. 21 - UKÁZKA SÍTĚ FREE FORM MODELOVÁNÍ	29
OBR. 22 - VYTVOŘENÁ PLOCHA POMOCÍ FREE FORM	30
OBR. 23 - VYTVOŘENÁ SOUČÁST POMOCÍ PLOCH S DEFINOVANOU TLOUŠŤKOU	31
OBR. 24 - VOLBA TYPU DÍLU - ASSEMBLY	32
OBR. 25 - PŘIDÁNÍ SOUČÁSTI DO SESTAVY	32
OBR. 26 - UKÁZKA DEFINOVÁNÍ VAZEB V SESTAVĚ.....	33
OBR. 27 - SPUŠTĚNÍ APLIKACE WELDING	34
OBR. 28 - UKÁZKA APLIKACE SVAŘOVÁNÍ	34
OBR. 29 - DEFINICE MATERIÁLU DÍLU	35
OBR. 30 - VÝSLEDEK ANALÝZY MODELU.....	35
OBR. 31 - NABÍDKOVÁ LIŠTA ŠABLONY VÝKRESU	36

Úvod

Dnešní doba klade vysoké požadavky na rychlost a odpovídající kvalitu výstupu konstrukčního oddělení a je jedno v jakém oboru. Pro efektivní využití nejen lidského potenciálu, který je k dispozici v mnoha firmách, jsou ve velké míře využívány různé počítačové nástroje. Tyto nástroje umožňují konstruktérům, technologům a managerům snadnější přenos svých myšlenek a nápadů do podoby vývojových schémat, funkčních virtuálních modelů apod. Vedle těchto konstrukčních a tvůrčích činností usnadňují mnoho jiných činností během celého životního cyklu výrobku. Tyto počítačové nástroje se obecně zařazují do skupiny CAx programů. V této skupině je možné nalézt jednoúčelové programy, které nabízejí mnohé firmy pro zvýšení své tržní úspěšnosti, nebo také komplexní programy umožňující řízení celého životního cyklu výrobku. Jedním takovým programem je i v této práci představený počítačový nástroj Pro/ENGINEER, který nabízí pestrou paletu funkčních modulů pro rozdílné oblasti nasazení. Některé tyto moduly jsou v práci představené a jsou ukázány jejich typické funkce na jednoduchém modelovém příkladu.

1 Vysvětlení pojmu CAx

CAx neboli Computer-Aided Technologies je široký pojem, který vyjadřuje využití počítačové technologie s cílem navrhnout, analyzovat a vyrobit produkt. Využívání CAx nástrojů spojuje mnoho různých aspektů řízení životního cyklu produktu (PLM) včetně návrhu, analýzy metodou konečných prvků, výroby, plánování výroby, testování produktů s virtuálními modely a vizualizací, dokumentace, podpory produktů apod. CAx zahrnuje širokou škálu nástrojů a to jak komerčně dostupných, tak i patentovaných jednotlivých firem. [1]

Díky neustále se zlepšujícím a zdokonalujícím se CAx technologiím mohou konstruktéři, technologové a další pracovníci předvýrobních etap vytvářet mnohem složitější návrhy, varianty a komplexní řešení nového produktu nebo jeho inovaci.

Používané CAx technologie [10]:

- Component information system (CIS)
- Computational fluid dynamics (CFD)
- Computer numerical controlled (CNC)
- Computer-aided architectural design (CAAD)
- Computer-aided design (CAD)
- Computer-aided design and drafting (CADD)
- Computer-aided engineering (CAE)
- Computer-aided industrial design (CAID)
- Computer-aided manufacturing (CAM)
- Computer-aided process planning (CAPP)
- Computer-aided quality assurance (CAQ)
- Computer-aided reporting (CAR)
- Computer-aided requirements capture (CAR)
- Computer-aided rule definition (CARD)
- Computer-aided rule execution (CARE)
- Computer-aided software engineering (CASE)
- Computer-integrated manufacturing (CIM)
- Electronic design automation (EDA)
- Enterprise resource planning (ERP)

- Finite element method (FEM)
- Harris Academy Merton (HAM)
- Knowledge-based engineering (KBE)
- Manufacturing process management (MPM)
- Manufacturing process planning (MPP)
- Manufacturing resource planning (MRP II)
- Material requirements planning (MRP)
- Product data management (PDM)
- Product lifecycle management (PLM)

Názvy CAx technologií jsou ponechány v anglickém znění. Je to z důvodu, že některé nemají odpovídající české ekvivalenty, nebo jsou jejich anglické názvy tak zažitě, že nemá dle mínění autora smysl jejich název překládat do češtiny.

1.1 CAD (Computer-Aided Design) systémy

CAD je používání grafických programů pro projektování. CAD systémy se dělí na dvě skupiny - na obecné (2D a 3D modelování) a na specializované (např. strojírenství, stavebnictví, elektrotechnika, ...). Do obecných CAD systémů je možné zařadit CAD programy AutoCAD, Allplan, Microstation aj. Specializované zahrnují např. programy CATIA, Inventor, Pro/ENGINEER, Solid Edge aj. [1]

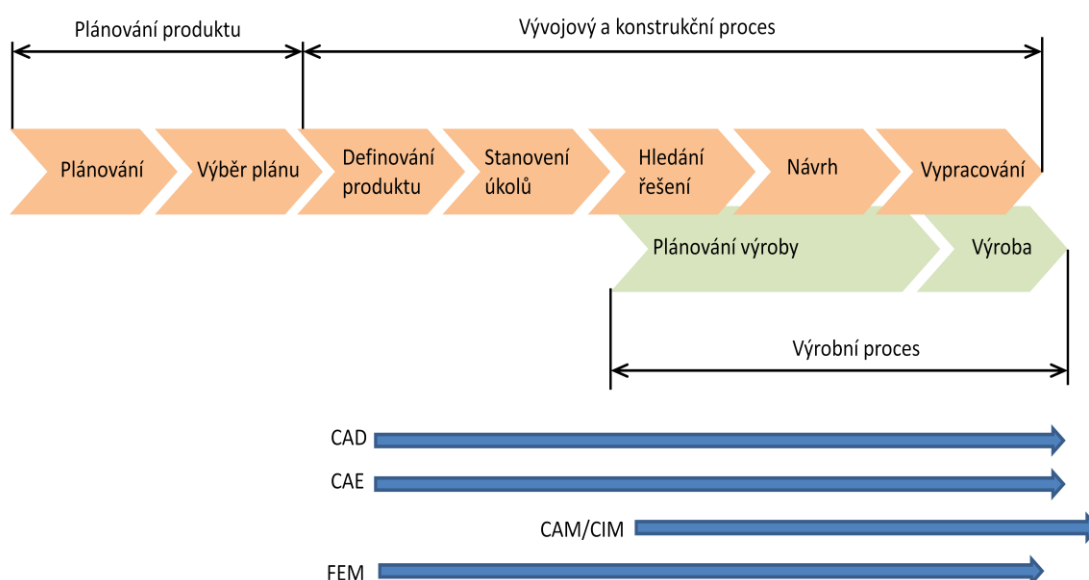
Současné možnosti výpočetní techniky a CAD systémů umožňují nové přístupy k dané problematice. Uplatňuje se přístup parametrického modelování. Výkon výpočetní techniky umožňuje vytvářet reálné prostředí provozů, simulování manipulace s materiálem, osvětlení pracovišť, ergonomii při obsluze jednotlivých strojů atd. Mnohé CAD systémy se dají zakoupit modulárně, aby si zákazník koupil jen to, co opravdu využije. [1]

1.2 Parametrické modelování

Jedná se o tvorbu objektů, jejichž popisné informace jsou zadány jako parametry, které mohou být zpětně měněny. Způsob parametrizace modelu není nijak stanoven a liší se zejména implementací v daném systému. Velký význam parametrizace je zejména v oblasti konstruování s CAD systémy, a to především ve spojení s modelováním prvků. Parametrizace poskytuje nástroj k zefektivnění pracovního času, možnost generování výkresů a přesné výpočty. Samotná parametrizace však konečný produkt nenavrhne a nevyrobí, jedná se vždy jen o pomůcku a její co nejlepší využití pro daný problém.

2 Parametrické 3D CAD systémy

Používání parametrických 3D CAD systémů je již řadu let standardní součástí vývoje produktů. Bez těchto systémů by nemohl být vyžadován stále kratší čas vývoje produktu při současně stoupající požadované kvalitě. V minulých letech se tyto tak zvané CAD systémy dále vyvíjely. Dnes neslouží jen v konstrukčním procesu k určování tvaru budoucího produktu, ale rovněž v oblasti, jako je nalézání řešení v počátečních fázích vývoje produktu, kde umožňují virtuální průzkum a přípravu výrobních a montážních procesů nebo simulaci modelovaných produktů s ohledem na jejich strukturní a kinematické vlastnosti. K tomu přibyly v posledních letech moduly znalostního inženýrství, které umožňují podporu konstruování. Obr. 1 ukazuje oblast nasazení různých virtuálních nástrojů ve vývojové, konstrukční, případně ve výrobní fázi.



Obr. 1 - Oblast nasazení virtuálních nástrojů [8]

Úspěšnost nasazení takovýchto systémů nezáleží pouze na výkonnosti daného systému, ale především na lidech, kteří je obsluhují a kteří svojí kreativitou a znalostmi ovlivňují používaný nástroj.

Parametrické 3D CAD systémy otevírají nové možnosti vývoje produktu a dále umožňují integrovat rozhodovací postupy vydávané vedením. Úspěch počítačově integrovaného vývoje produktu bude viditelný tam, kde bude uplatňováno systematiky a metodiky jako pevných součástí pracovního procesu.

Před konstrukcí za pomoci parametrického modelování by mělo být zjištěno, do jaké míry může být samotný požadovaný výsledek pomocí CAD vůbec prezentován, a tím zajistit optimální nasazení počítačově integrovaného vývoje.

V počáteční fázi tvorby modelu musí být zřejmé, jaké parametry jsou k dispozici (např. pro naplnění požadovaných funkcí, pro zástavbový prostor, rozměry polotovarů, normy a předpisy atd.) a s tím získat hrubou představu.

Na základě nástrojů, které umožňují moderní systémy, musí být rozhodnuto, zda a když ano, tak v jaké formě (hrubá, úplná stavební struktura) budou realizovány rozdílné konstrukční a funkční možnosti.

Moderní parametrické 3D CAD systémy představují rozdílné nástroje k rozsáhlému popsání produktu. Některé jejich možnosti budou popsány i v dalších kapitolách této práce pomocí systému Pro/ENGINEER.

3 Používané CAD systémy

3.1 Catia

Systém Catia (Computer-Graphics Aided Three Dimensional Interactive Application) prvotně vyvinut francouzským výrobcem letadel Marcellem Dessaultem. S původním názvem CATI (Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive - Interaktivní podporovaný trojrozměrný design). Teprve od roku 1981 nese název CATIA. [3]

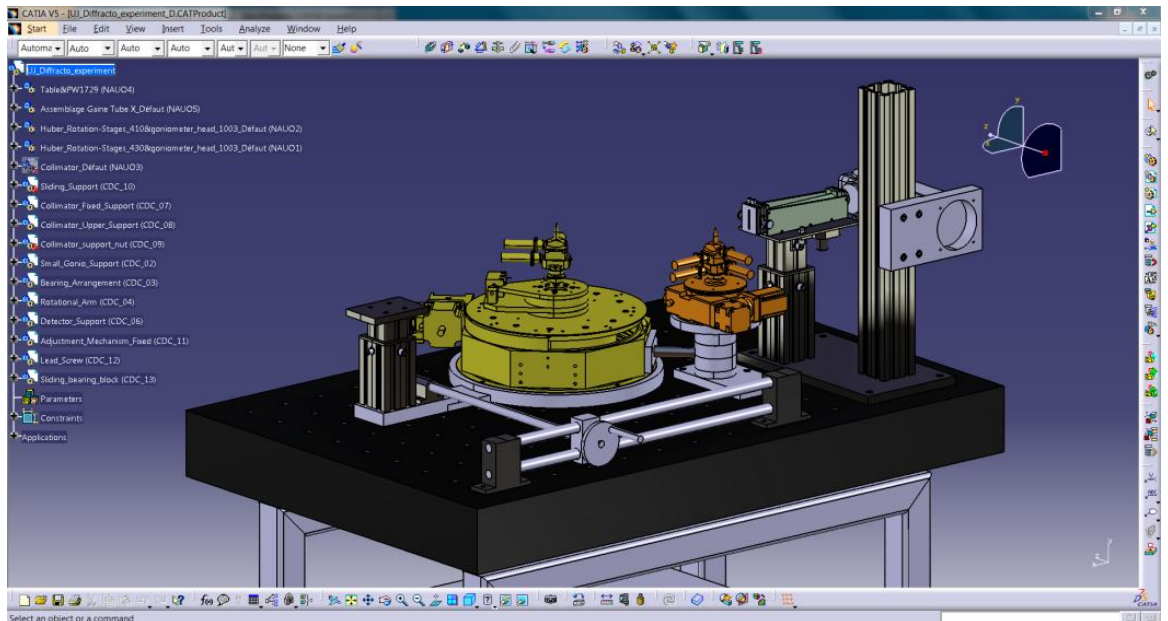
Je hojně používán v automobilovém a leteckém průmyslu po celém světě. Poskytuje komplexní nástroj pro vývoj a výrobu výrobků napříč průmyslovými obory. [3]

CATIA (Obr. 2) umožňuje modelovat jak objemové, tak plošné prvky, a to v jednom modelu. Uživatel má dále možnost výběru, zda bude modelovat pomocí parametrizace, nebo využije metody volného modelování. Volné modelování lze využít například pro design výrobků, kdy v tomto případě nepotřebuje uživatel přesné rozměry, ale např. různě zakřivené plochy. [3]

Všechny moduly a modelářské techniky v CATIA jsou propojené, což znamená, že je-li změněn nějaký prvek v jednom modulu, tato změna se projeví ve všech modulech. [3]

Výběr některých dostupných modulů pro systém Catia: [3]

- modelování dílů a sestav,
- povrchové modelování,
- výkresová dokumentace,
- CATIA Team Data Management (TDM) - správa dat během celého životního cyklu výrobku,
- tvorba plastových odlitků, vylisků,
- volné modelování ploch,
- tvorba plechových dílů,
- tvorba forem a nástrojů,
- rozpoznání a znovuvytvoření parametrických tvarových prvků na neparametrické geometrii,
- tvorba svarů.



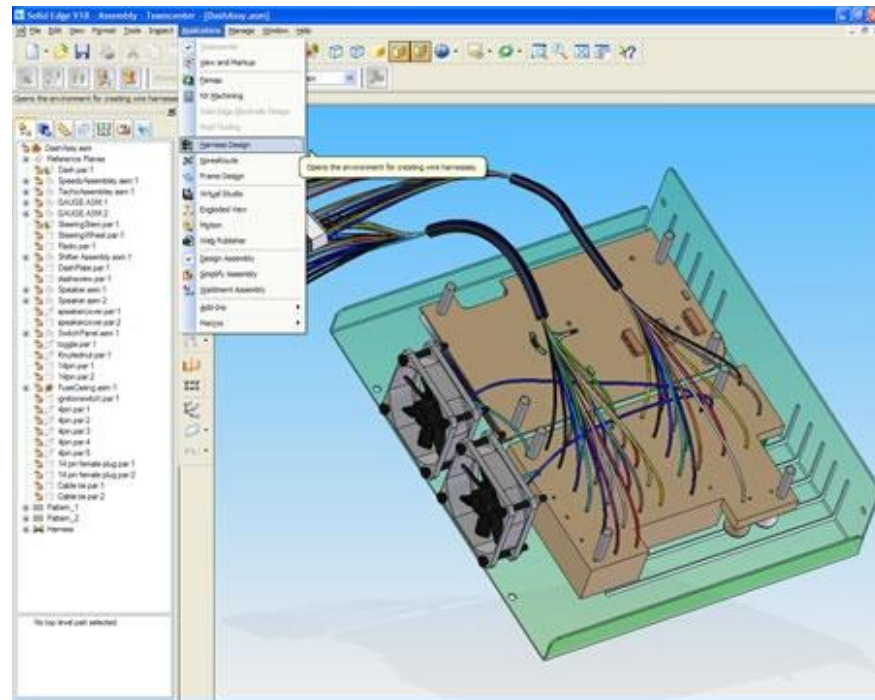
Obr. 2 - Prostředí CATIA V5 [1]

3.2 Solid Edge

Byl prvně představen v roce 1995. Dnes je součástí produktové řady UGS Velocity Series patřící pod společnost Siemens. Solid Edge (Obr. 3) je postaven na modelovacím jádře Parasolid, které patří společnosti UGS (dříve Unigraphics Solutions Inc) spadající pod korporaci Siemens. [2]

Výběr některých dostupných modulů pro systém Solid Edge [2]

- 2D a 3D modelář,
- tvorba sestav,
- import a export geometrií různých formátů,
- modelování plechových dílů,
- kinematické sestavy,
- MKP výpočty,
- výkresová dokumentace,
- kreslení schémat - důležité zejména pro usnadnění práce v oblasti elektrotechniky pro vytváření a správu elektrických schémat. Díky možnosti importu souborů ve formátu DWG je možné pracovat i s daty vytvořenými v AutoCADu.



Obr. 3 - Prostředí SolidEdge [2]

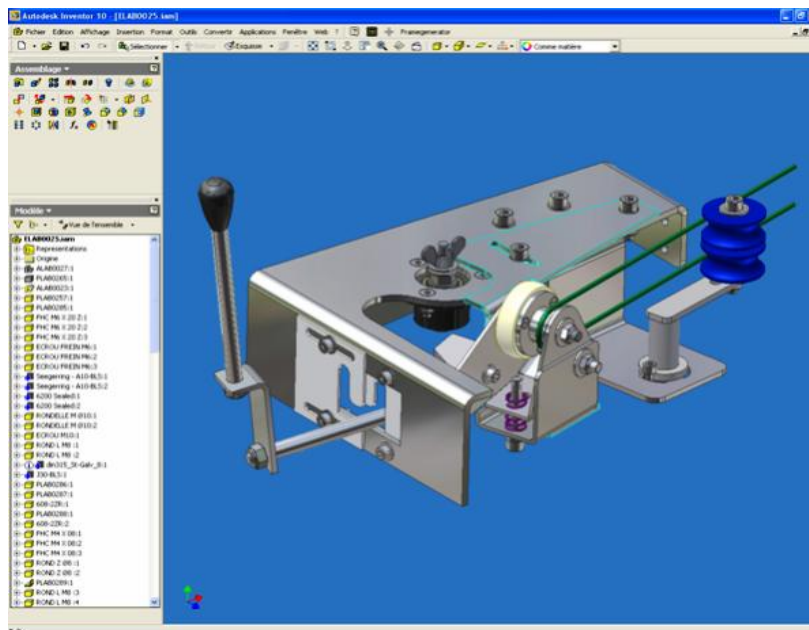
3.3 Autodesk Inventor

Jedná se o parametrický, adaptivní modelovací nástroj od firmy Autodesk (Obr. 4). Jelikož firma Autodesk vyvíjí i program AutoCAD, dají se prvky vytvořené v tomto programu maximálně využít i v Inventoru.

Základ konstruování tvoří součást, jejíž geometrie je odvozena z parametricky definovaných 2D náčrtků. Opět disponuje řadou modulů, které jsou vzájemně integrované a umožňují vysokou efektivitu práce. [5]

Výběr některých dostupných modulů pro systém Autodesk Inventor [5]:

- 2D a 3D modelování,
- tvorba výkresové dokumentace,
- plechové součásti,
- svařence,
- ocelové konstrukce,
- rendering a animace,
- databáze normovaných prvků,
- import a export geometrií různých formátů.



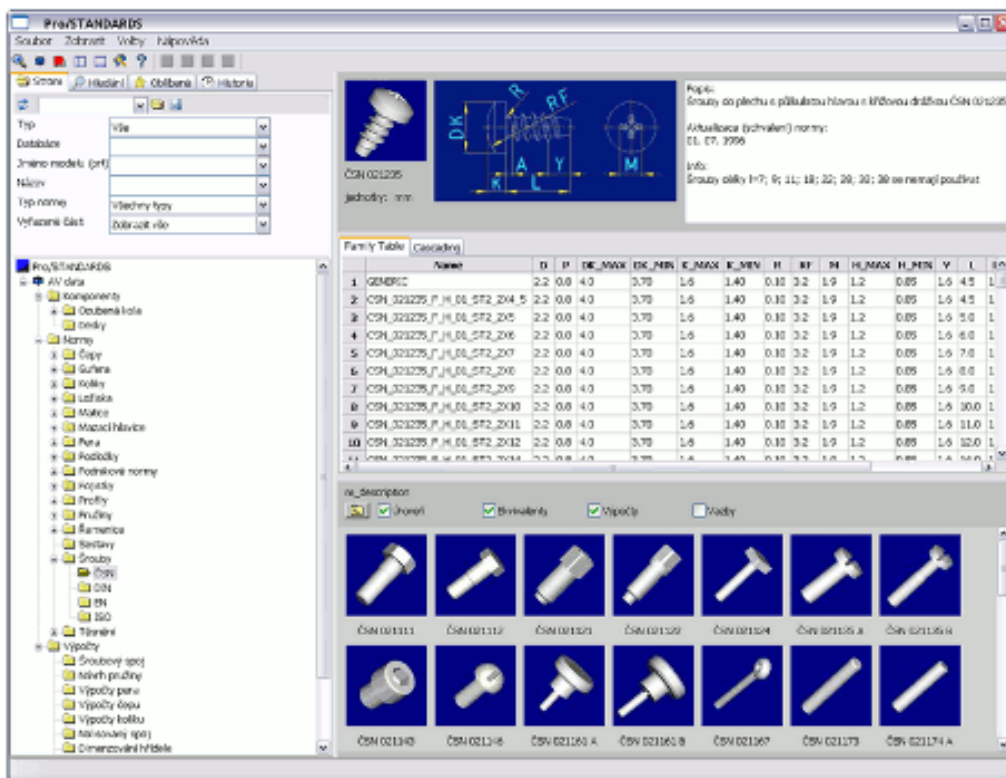
Obr. 4 - Prostředí Autodesk Inventor [7]

3.4 Pro/ENGINEER

Pro/ENGINEER je základní konstrukční řešení systému Product Development System od společnosti Parametric Technology Corporation (PTC). Je možné v něm navrhovat tvar, vlastnosti a funkce výrobků. Tvůrčí týmy mají díky integrovanému webovému propojení přístup ke zdrojům, informacím a funkcím, které jsou nutné při koncepčním návrhu, při detailní konstrukci výrobku, vývoji výrobních nástrojů a v neposlední řadě při výrobě [6]. V systému Pro/ENGINEER mají modely plnou asociativitu, což znamená, že změny provedené v kterékoliv fázi vývoje se automaticky promítají do všech výskytů změněného produktu. To vše je třeba k dosažení přesného digitálního výrobku, který je nutný před provedením značné investice do získání zdrojů, výrobních kapacit a zahájení výroby. [5]

Výběr modulů systému Pro/ENGINEER:

- 2D a 3D modelování,
- modelování ploch,
- plechové součásti,
- svařence,
- tvorba kabelů a trubek,
- rendering a animace,
- MKP výpočty,
- databáze normovaných prvků (Obr. 5),
- import, export geometrií a jejich oprava.



Obr. 5 - Příklad databáze normovaných dílů [11]

Historický vývoj

Rok	Název	Verze
1987	Pro/ENGINEER	R 1.0
1991	Pro/ENGINEER	R 8.0
1992	Pro/ENGINEER	R9 9.0
1993	Pro/ENGINEER	R 10.0
1993	Pro/ENGINEER	R 11.0
1993	Pro/ENGINEER	R 12.0
1994	Pro/ENGINEER	R 13.0
1994	Pro/ENGINEER	R 14.0
1995	Pro/ENGINEER	R 15.0
1996	Pro/ENGINEER	R 16.0
1997	Pro/ENGINEER	R 17.0
1997	Pro/ENGINEER	R 18.0
1998	Pro/ENGINEER	R 19.0
1998	Pro/ENGINEER	R 20.0
1999	Pro/ENGINEER	R 2000i
2000	Pro/ENGINEER	R 2000i2
2001	Pro/ENGINEER	R 2001
2002	Pro/ENGINEER Wildfire	R 1.0
2004	Pro/ENGINEER Wildfire	R 2.0
2006	Pro/ENGINEER Wildfire	R 3.0
2008	Pro/ENGINEER Wildfire	R 4.0
2009	Pro/ENGINEER Wildfire	R 5.0
2010	Creo Elements/Pro	R 5.0

Obr. 6 - Přehled vydaných verzí 3D systémů od společnosti PTC

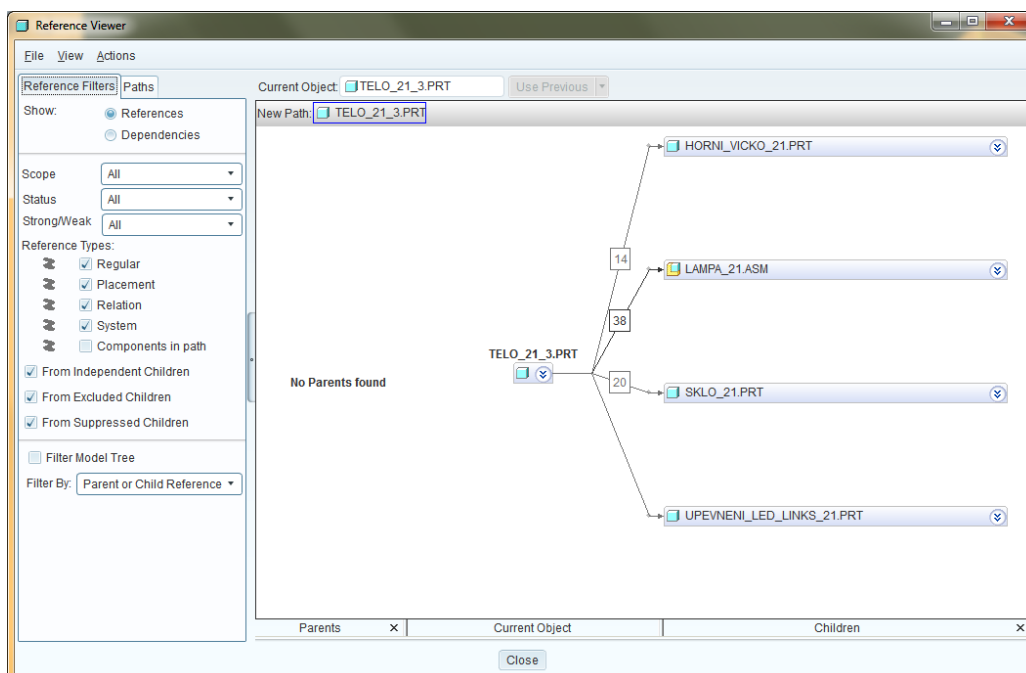
V roce 2010 byla oficiálně vydaná společností PTC verze 3D-CAD systému s názvem Creo a společnost PTC nadále opustila od názvu Pro/ENGINEER. Přesto v průmyslové praxi je Pro/ENGINEER a jeho verze Wildfire hojně používán a jen pomalu se přechází na novější Creo. Jedním z důvodů může být i neznalost lidí o původci tohoto nového systému a jeho návaznosti na modelovou řadu Pro/ENGINEER.

4 Základy práce v programu Pro/ENGINEER

4.1 Koncepce programu

Celý systém stojí na několika základních pilířích, které společně tvoří stavební prvek úspěšného využívání programu. [11]

- **Objemové modelování** - konstruktér vytváří 3D model tělesa, který odpovídá realitě - odpovídající hmotnost, objem, povrch, materiál, poloha vůči ostatním prvkům.
- **Modelování z prvků** - vytvářené těleso vzniká přidáváním definovaných prvků. Každý takový prvek je závislý na prvcích předchozích. Ačkoliv přidávané prvky mohou být velice jednoduché (díra, sražená hrana, ...) výsledný díl může dosáhnout vysoké složitosti.
- **Parametričnost modelu** - každý prvek definován soustavou kót.
- **Vztah rodič/potomek (Parents/Children)** - vytvořený prvek je nějakým způsobem závislý na prvku předchozím. Pro/ENGINEER nabízí nástroj umožňující správu a přehled těchto vztahů (Obr. 7).



Obr. 7 - Ukázka vztahu Parents/Children

- **Asociativita dílu** - kromě dílu (part) je možné pracovat se sestavami (assembly) a výkresy (drawing). Asociativita znamená, že pokud změním díl v jakémkoliv zpracovávaném modulu, tato změna se promítne i do všech ostatních jeho výskytů.

4.2 Soubory v programu

Program pracuje se třemi základními typy souborů:

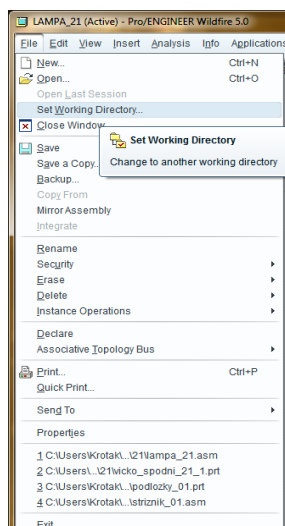
- **Part (*.prt)** - soubor jedné konkrétní součástky. Obsahuje informace o geometrii, použitém materiálu, řezy a pohledy součástí využitelné v dalších fázích vývoje produktu. Jako jediný je schopen samostatného otevření v programu bez dalších přidružených souborů.
- **Assembly (*.asm)** - soubor sestavy, který vzniká sestavením jednoho a více dílů (part). Obsahuje informace, jakým způsobem jsou díly k sobě poskládány a jaká je jejich pozice. Tento soubor lze otevřít pouze v případě, že všechny soubory dílů jsou přítomné ve stejné složce jako otvíraný soubor sestavy. V opačném případě nelze soubor sestavy otevřít.
- **Drawing (*.drw)** - soubor výkresu dílu a sestavy. Obsahuje informace o pohledech a definované kóty, které jsou uživatelem nastaveny k zobrazení, nemusí být ukázány všechny použité při tvorbě jednotlivého dílu.

Bez dílů (part) nemůže systém správně fungovat a nejdou otevřít ani sestavy (assembly), ani výkresy (drawing), ve kterých se díly vyskytují. Z tohoto důvodu je nutné před započítím samotné práce definovat pracovní adresář, ve kterém budou všechny díly, sestavy a výkresy vztahující se k jednomu projektu uloženy. Jeho tvorba a nastavení budou podrobněji vysvětleny v samostatné kapitole.

4.3 Volba pracovního adresáře

Ačkoli se jedná o zcela banální záležitost, je to jedna z nejdůležitějších činností při začátku práce v programu Pro/ENGINEER. Pracovní složka je standardně nastavena během instalace do adresáře v PC. Pokud ale chceme ukládat vytvořené modely do jiné složky, je nutné pracovní složku před začátkem práce ručně nastavit. V případě sestavy je nutné mít uložené všechny stavební komponenty výsledného modelu v jedné pracovní složce.

Pro nastavení pracovního adresáře se vybere v nabídkové liště (Obr. 8) File → Set Working Directory a dále se vybere libovolná složka v PC.



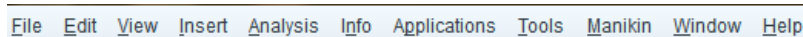
Obr. 8 - Nastavení pracovního adresáře

Při každém novém startu programu a v případě pokračování na rozpracovaném projektu je nutné stejným způsobem nastavit pracovní adresář.

4.4 Uživatelské prostředí programu Pro/ENGINEER

Uživatelské prostředí programu je složeno z několika oblastí:

- **Nabídková lišta** – v jednotlivých menu se nacházejí funkce a příkazy (Obr. 9).



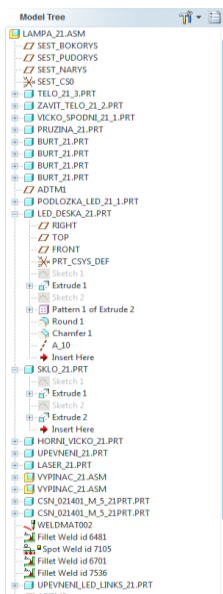
Obr. 9 - Nabídková lišta

- **Horní nástrojová lišta** – obsahuje nejčastěji používané funkce (Obr. 10) k ovládní zobrazení, kopírování atd.



Obr. 10 - Horní nástrojová lišta

- **Strom modelu** - jsou zde zaznamenávány konstrukční i pomocné prvky použité během tvorby modelu (Obr. 11). Strom se automaticky tvoří shora dolů a je z něj poznat časový sled prováděných úkolů. Používá se mimo jiné k volbě prvků, přejmenování, vyhledávání, úpravě prvků, změně pořadí prvků, otevírání dílů (v sestavě).



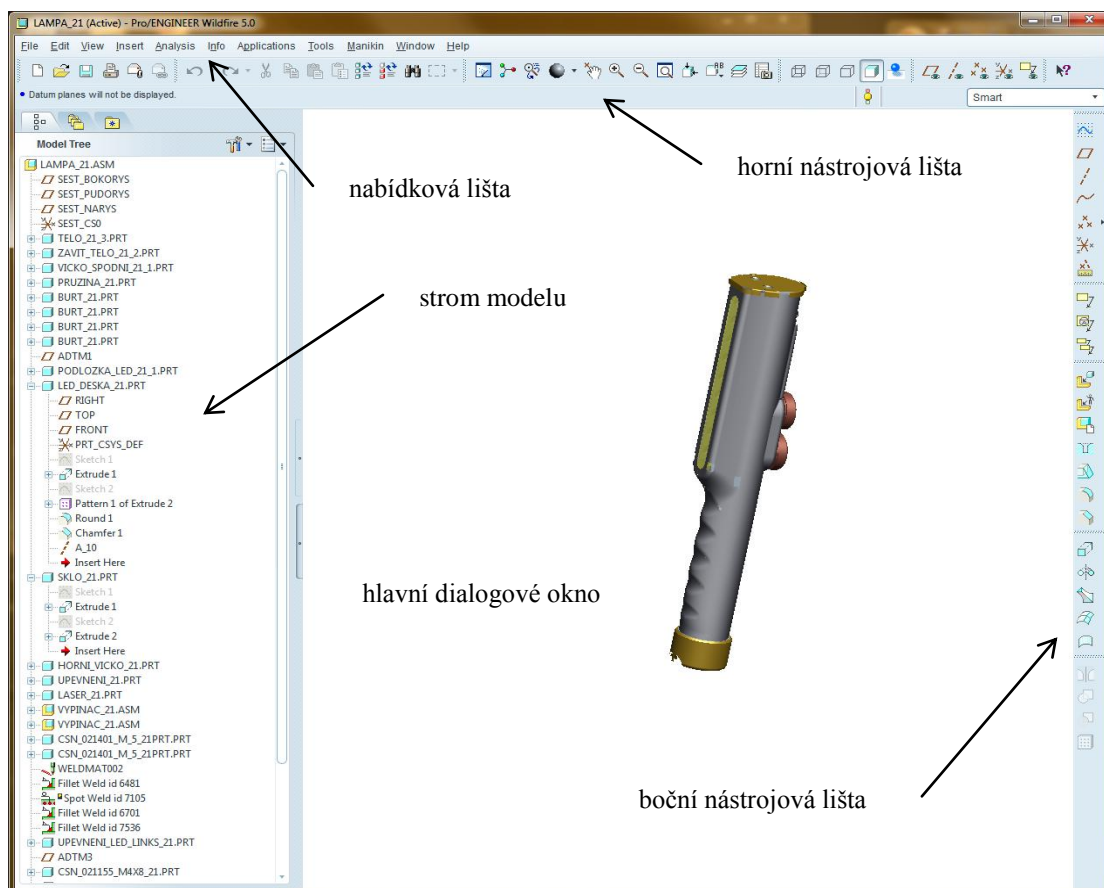
Obr. 11 - Strom modelu v sestavě

- **Boční nástrojová lišta** – je tvořena sety ikon (Obr. 12), slouží k rychlému spuštění příkazů dostupných v Nabídkové liště.



Obr. 12 - Boční nástrojová lišta na úrovni sestavy a součásti [4]

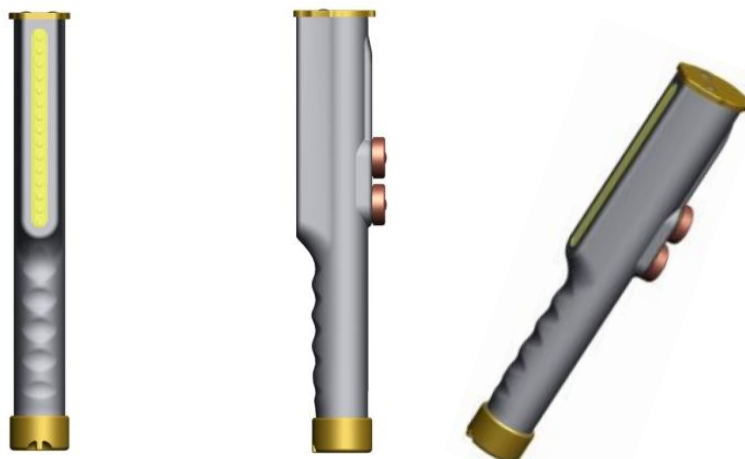
- **Hlavní grafické okno** – v tomto okně se zobrazuje model (Obr. 13).



Obr. 13 - Hlavní grafické okno s prostředí Pro/ENGINEER

5 Praktická ukázka využití modulů Pro/ENGINEER WF5

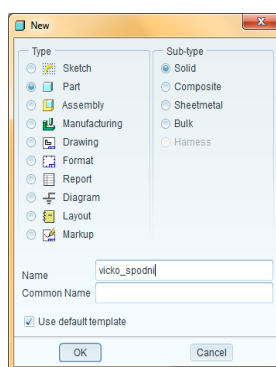
Možnosti využití programu Pro/ENGINEER v oblasti elektrotechniky jsou ukázány na tvorbě modelu potápěčské svítilny (Obr. 14). Svítilna byla vyvíjena za účelem dosažení funkčního prototypového výrobku vyrobeného inovovaným způsobem tváření tlakem vodní emulze [1]. Při tomto způsobu tváření odpadá potřeba mít dva nástroje (tvárník a tvárnici), neboť vodní emulze jeden nástroj nahrazuje. To na jedné straně vede ke snížení výrobních nákladů, ale na straně druhé klade odlišné požadavky na konstrukci.



Obr. 14 - Model potápěčské svítilny

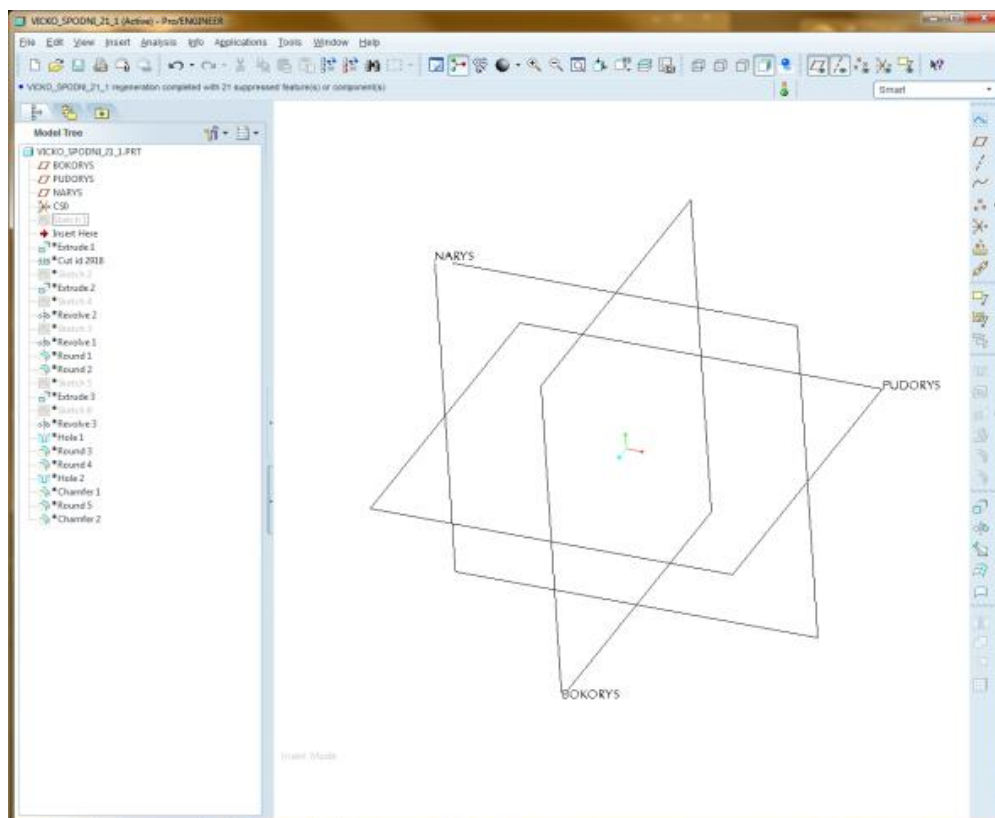
5.1 Tvorba dílu

V nabídkové liště se vybere první záložka File a dále New. Pro vytvoření nového dílu (part) je nutné vybrat jednu z předdefinovaných šablon vlastností dílu. Protože zde bude ukázána tvorba dílu, je vybrán typ Part a je zadáno jméno budoucího dílu (Obr. 15).

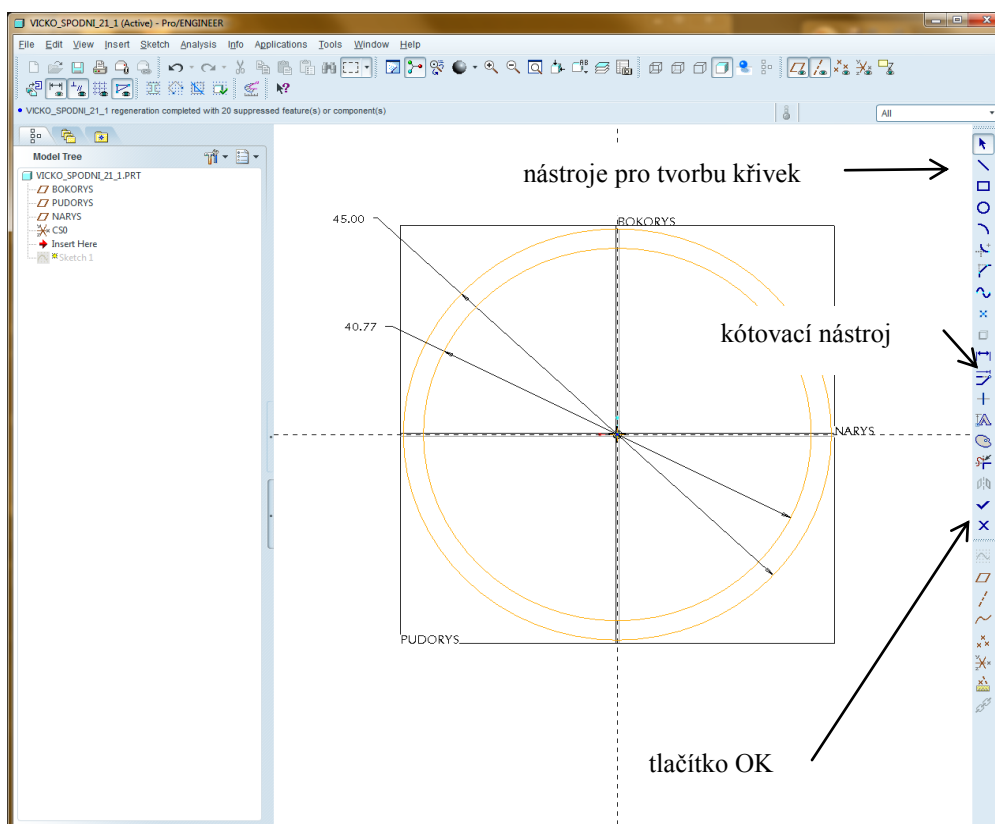


Obr. 15 - Volby typu dílu - Part

Po kliknutí na OK se otevře hlavní grafické okno se zobrazenými rovinami. V boční nástrojové liště se vybere první ikona skica a vybere se skicovací rovina. Skicovací rovina nemusí být jen předem definovaná rovina (viz Obr. 16), ale může jí být i libovolná rovinná plocha na již hotovém modelu.



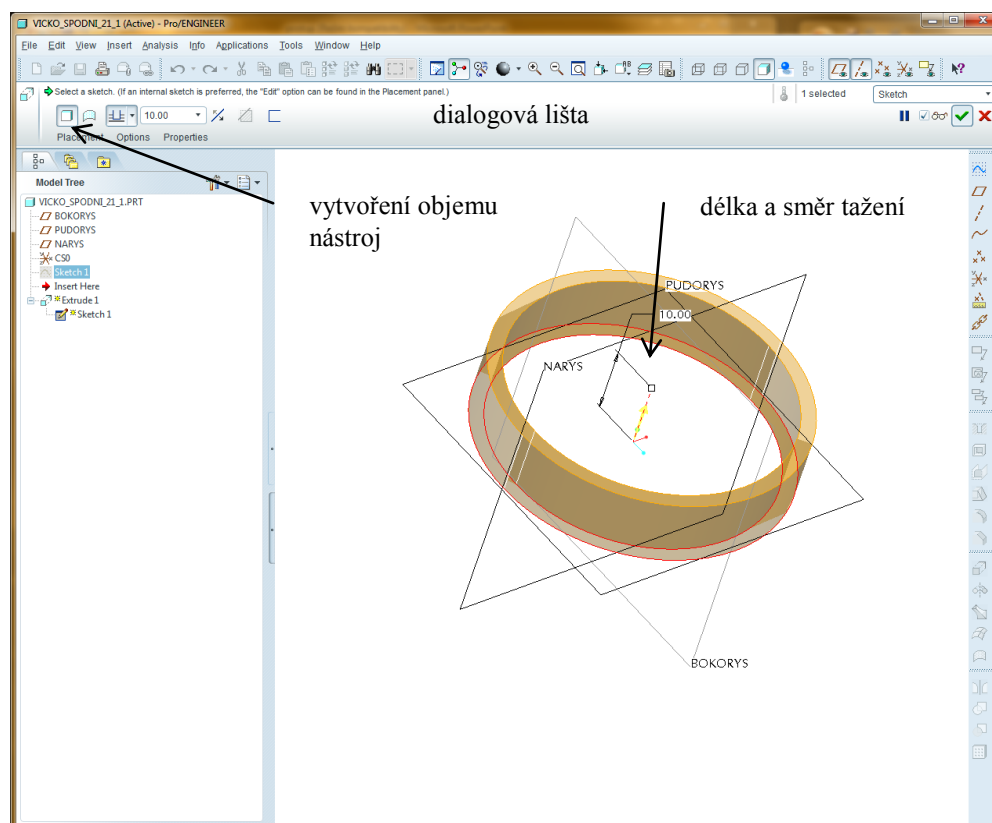
Obr. 16 - Hlavní grafické okno pro modelování samostatného dílu



Obr. 17 - Skicování tvaru dílu

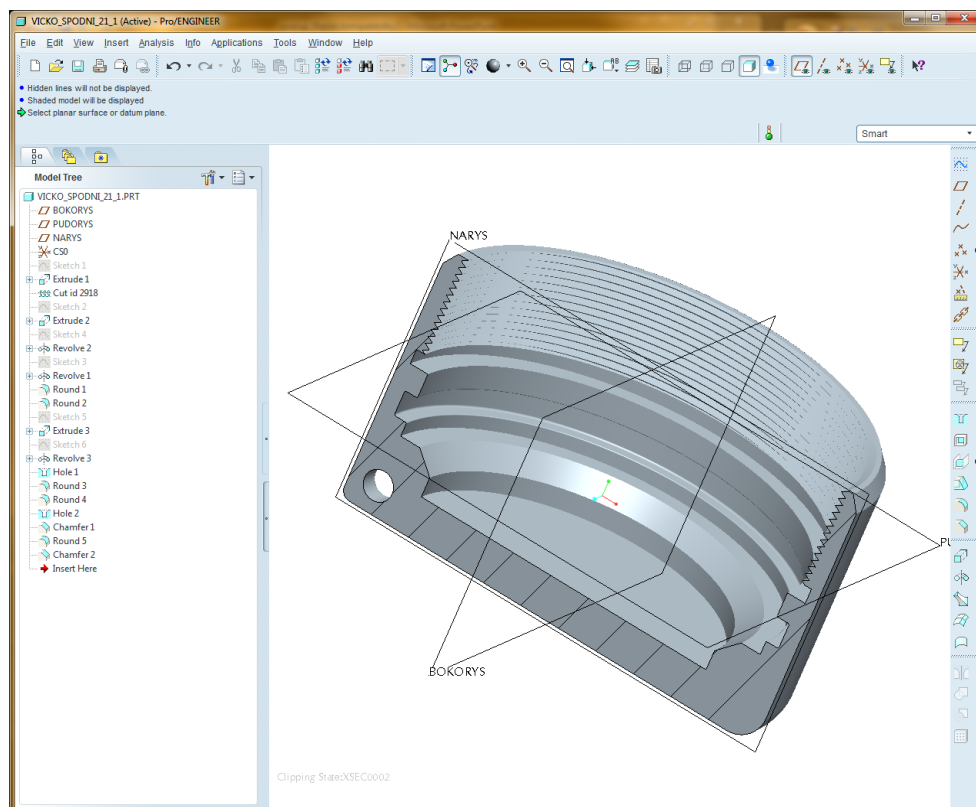
Po otevření skici se boční nástrojová lišta změnila a s novými tlačítky je nyní možné vytvořit požadovaný tvar (Obr. 17). Po načrtnutí tvaru je nutné tento řádně okótovat. Poté, co je tvar naskicován a řádně okótován, je možné po kliknutí na tlačítko OK skicář opustit.

Po naskicování základního tvaru modelu je možné vybrat tlačítko Vytažení a vytvořit objemový model naskicovaného tvaru (Obr. 18).



Obr. 18 - Vytažení 3D modelu

Pomocí tlačítek na boční nástrojové liště a dialogové lišty, která se objeví vždy, když je vybrána nějaká funkce, je možné postupovat v tvorbě modelu, až k dosažení jeho požadovaného tvaru (Obr. 19).



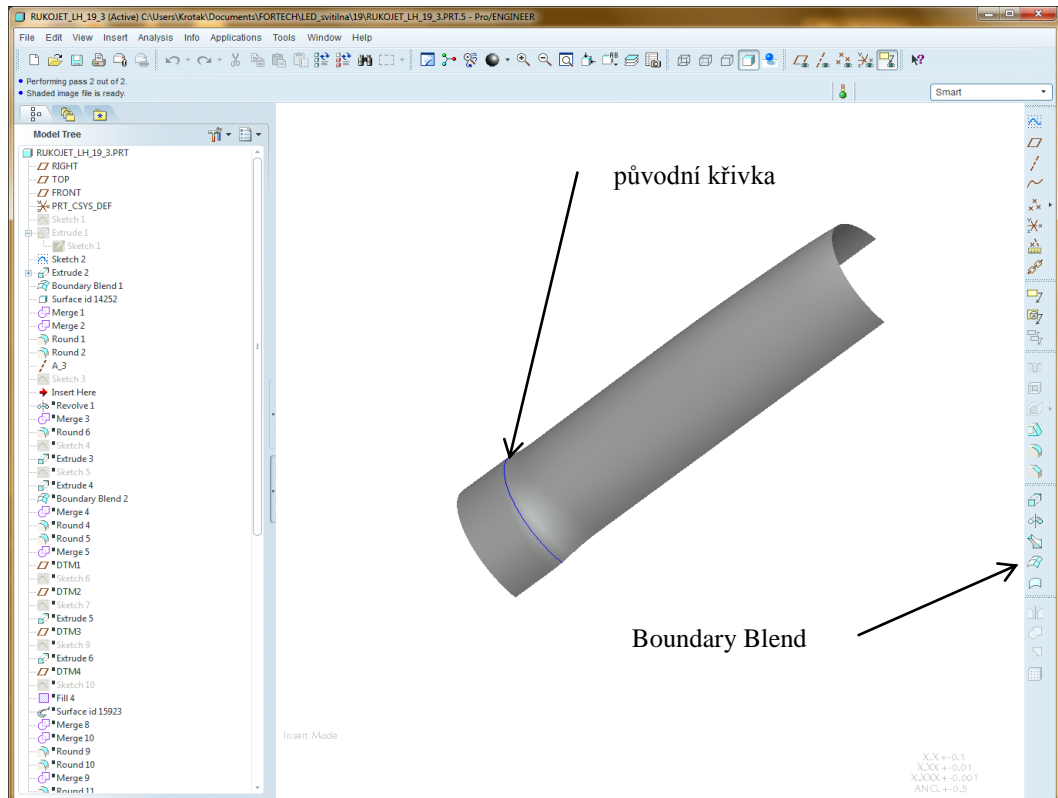
Obr. 19 - Konečná podoba modelu dílu v řezu

5.2 Tvorba dílu pomocí ploch

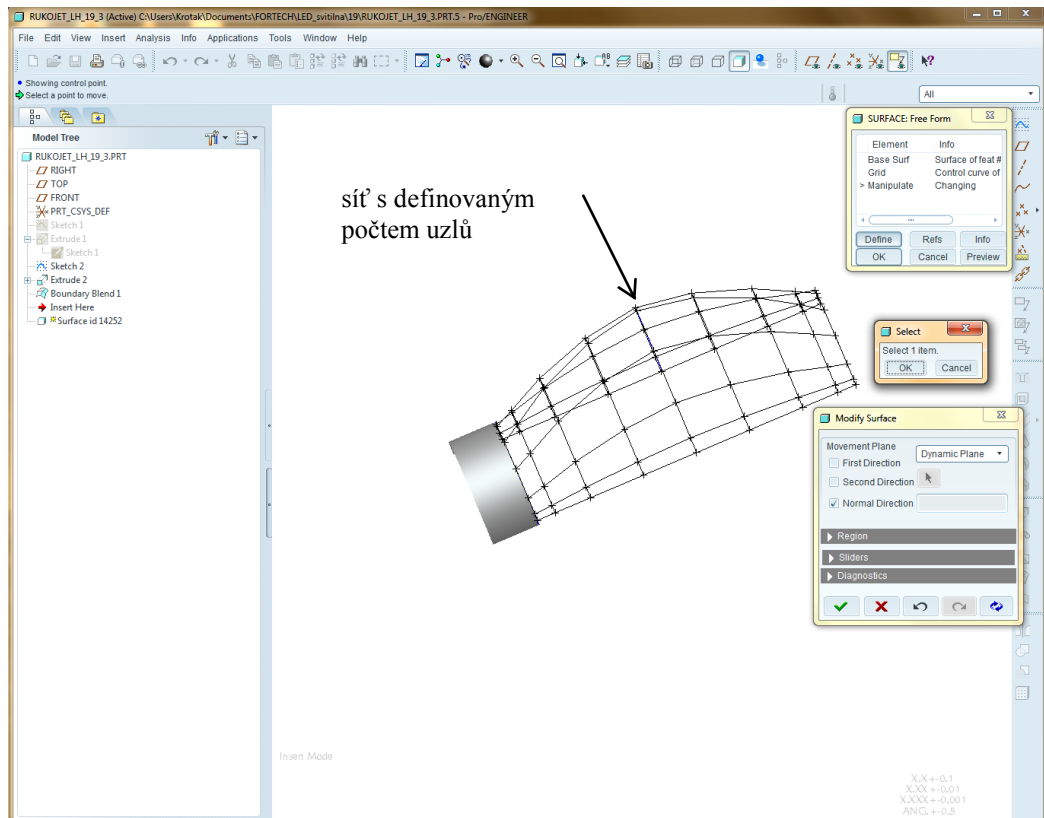
V některých případech je výhodnější a rychlejší využít při tvorbě objemového dílu výchozí kontury prvku vytvořené pomocí plošného modelování. Plošné modelování (surface modeling) je vytvoření požadovaného tvaru jen s využitím ploch, které jsou definované jako nekonečně tenké. Je to výhodné zejména v případě, kdy modelový prvek má složitý tvar nebo pro přípravu zjednodušených modelů pro výpočty metodou konečných prvků. V případě této práce byla tato technologie tvorby modelu využita při návrhu těla svítilny, kde máme poměrně tvarově složitou rukojeť s plynulým přechodem do horní části těla svítilny.

Při tvorbě dílu, jehož základ tvoří plochy, se postupuje stejně jako v případě tvorby objemového dílu (File→New→Part).

Po vybrání skicovací roviny se nakreslí křivka určující tvar a po dokončení se klikne na tlačítko OK. Dále se nabízí několik možností, jak vytvořit plochu. Může být využito rotace, tažení nebo spojení s další křivkou pomocí tlačítka Boundary Blend (Obr. 20). Další postup záleží na požadovaném tvaru a především zkušenosti obsluhujících osob.



Obr. 20 - Část rukojeti vytvořená pomocí ploch



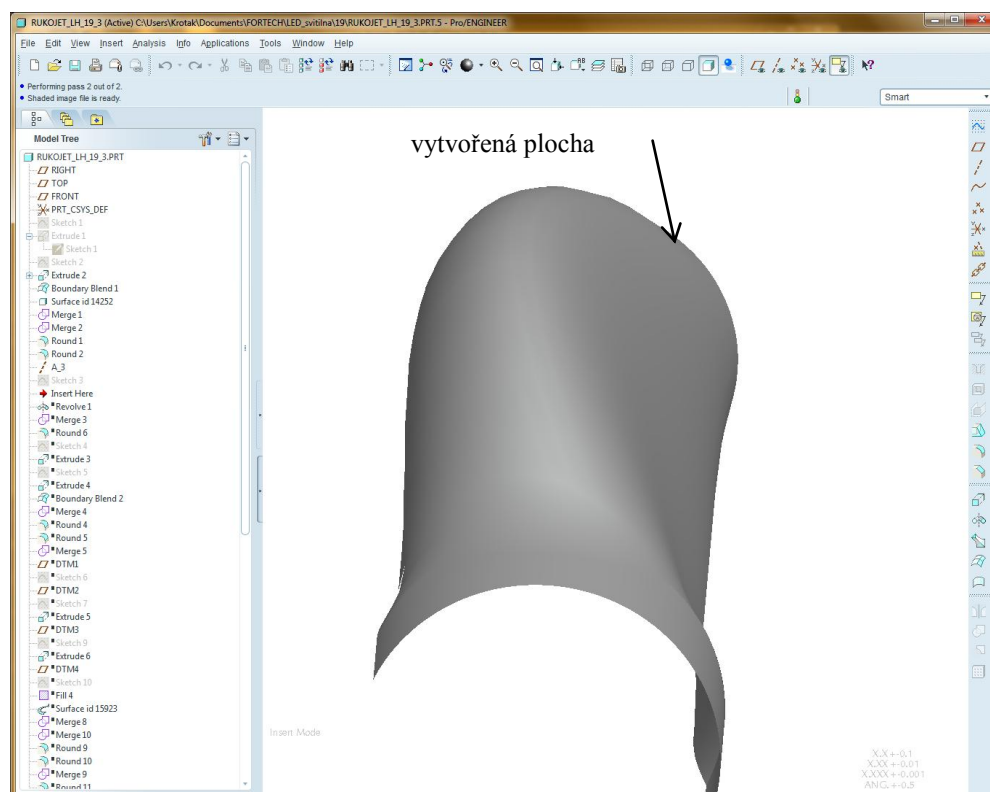
Obr. 21 - Ukázka sít' Free Form modelování

Velice zajímavým doplňkem tvorby dílu v programu Pro/ENGINEER je možnost volného modelování (Free Form) bez definovaných rozměrových vlastností. Tato funkce

může být využita v případě tvorby zakřivených ploch, které jsou jen obtížně definovatelné ve třech rozměrech pomocí kót a u kterých tedy nejsou požadované přesné rozměry. Free Form je dostupný pod Insert→Advanced→Solid Free Form.

Po klepnutí na tlačítko Solid Free Form je nutné vybrat plochu na modelu určenou k upravení tímto nástrojem. Ačkoliv přesný název nástroje zní Solid Free Form, je možné tvarovat i plochy s nekonečně malou tloušťkou.

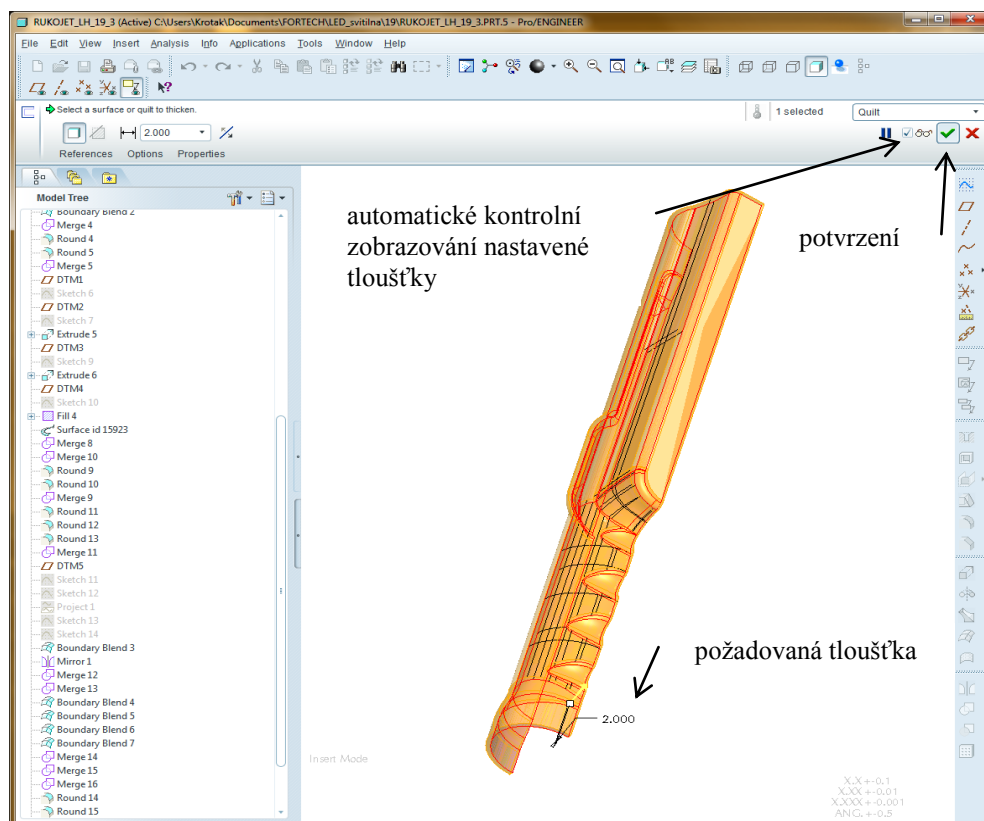
Po vybrání požadované plochy je na této vytvořena síť (Obr. 21), kde je možné navolit počet uzlů. Kliknutím a držením myši na požadovaném uzlu je možné tímto uzlem pohybovat v požadovaném směru. Tento pohyb může být však závislý na úhlu natočení modelu na obrazovce a výsledný tvar nemusí odpovídat požadovanému. Je proto vhodné využít například pohybu v normálním směru k vybrané referenční rovině. Na obrázku (Obr. 22) je vidět vytvořená plocha tímto nástrojem s nevhodně zvoleným směrem. Chyba je dobře viditelná až po natočení modelu.



Obr. 22 - Vytvořená plocha pomocí Free Form

Po vytvoření požadovaného tvaru pomocí ploch s nekonečně malou tloušťkou je možné tomuto modelu přidat požadovanou tloušťku (Obr. 23) a tím získat objemový díl. Není možné zadávat tloušťku v neomezeném rozsahu, neboť musí být brán ohled na vytvořené rádie a

přechody jednotlivých ploch. V některých případech je toto považováno za značné omezení a proto na něj musí být myšleno již v průběhu vytváření modelu pomocí ploch.



Obr. 23 - Vytvořená součást pomocí ploch s definovanou tloušťkou

5.3 Tvorba sestavy

Program Pro/ENGINEER umožňuje dva způsoby tvorby sestavy [9]:

- zdola nahoru,
- shora dolů.

5.3.1 Návrh zdola nahoru

Vychází z vytvořeného dílu tak, jak je představeno v kapitole 5.1. Tyto vytvořené díly se následně vkládají do sestavy a definují se jimi polohy a vazby mezi nimi (vzájemný pohyb, zajištěná poloha, ...). Vytvořené díly jsou na sobě nezávislé a při změně jednoho dílu nedojde k ovlivnění dílů ostatních.

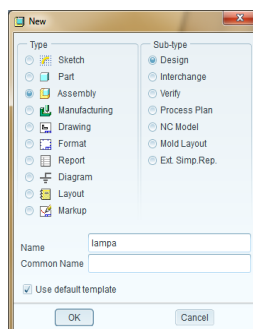
5.3.2 Návrh shora dolů

Tento postup je zcela opačný oproti předchozímu. Jednotlivé prvky jsou vytvořené přímo v sestavě. Vždy se začíná jedním referenčním prvkem, na který jsou postupně navazovány další prvky. Geometrie jednotlivých prvků může být definovaná pomocí geometrie předcházejících. Vytvořené díly jsou na sobě zcela závislé a pokud dojde ke změně geometrie původního dílu, dojde i ke změně geometrie dílů následujících. Tento vztah může být velice

výhodný, usnadňuje mnoho práce, ale v některých případech např. při velkých sestavách s velkým počtem dílů, může dojít k rozpadu celé sestavy změnou jediného zaoblení a jen pracně se opět definuje její původní podoba.

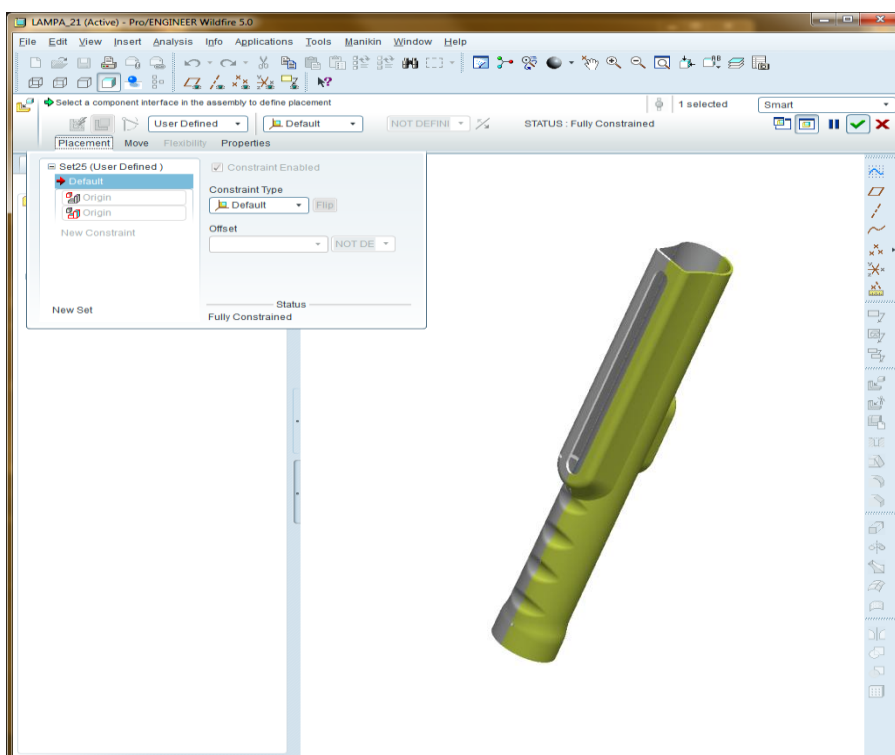
5.3.3 Ukázka tvorby sestavy zdola nahoru

Podobným způsobem jako model spodního víčka (popsáno v odstavci 4.3) byly vytvořeny i ostatní modely sestavy svítilny. Teď, když jsou modely hotovy, je možné z nich sestavit konečný model svítilny. Podobně jako při tvorbě partu se vybere (Obr. 24) File → New a nyní se vybere Type Assembly a opět se zadá požadované jméno sestavy.



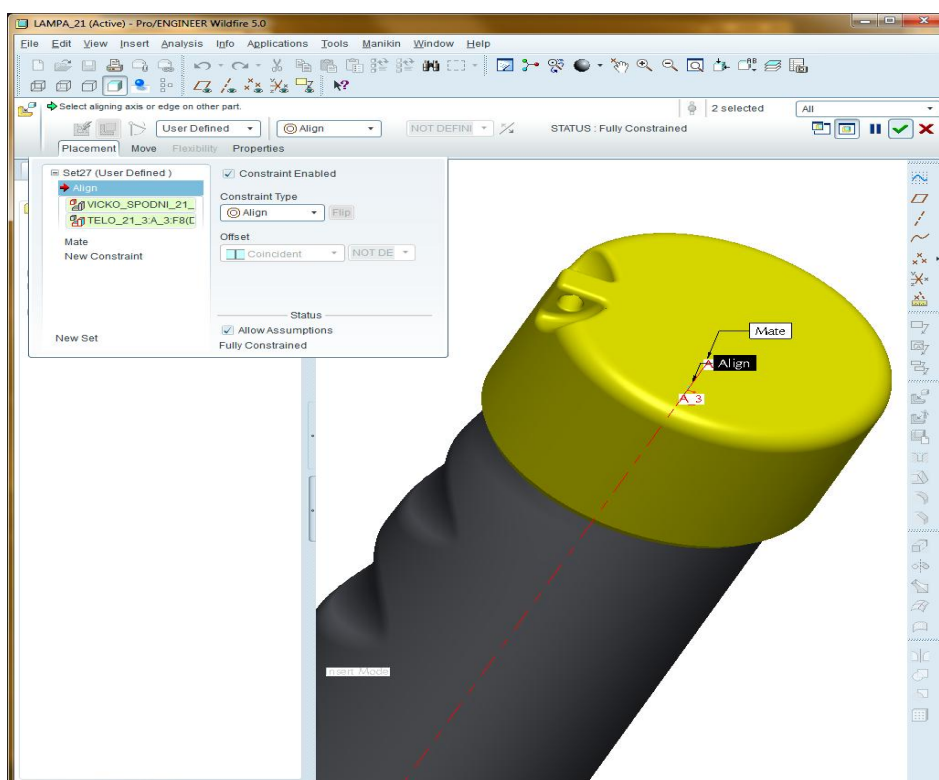
Obr. 24 - Volba typu dílu - Assembly

Po otevření Hlavního okna je nutné kliknout v Boční nástrojové liště na ikonu Přidat součást a tuto součást vybrat z pracovní složky v počítači (Obr. 25).



Obr. 25 - Přidání součásti do sestavy

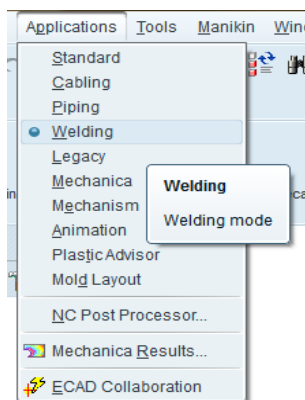
Po přidání součásti je nutné ji správně nadefinovat v prostoru (Obr. 26). Pro první součást je možné vybrat možnost Default. Součást bude poté nadefinována podle souřadného systému tak, jak byla vytvořena. Další součásti jsou definovány podle vhodných prvků na předchozích součástech, nebo podle hlavních rovin souřadného systému v sestavě. V případě potřeby definovat kinematické vazby se tato možnost vybere v nabídkové liště a opět se stanoví potřebné referenční údaje pro vazbu. Každou součást je nutné definovat tak dlouho, dokud se v nabídkové liště neobjeví nápis Fully Constrained. Až poté je součást správně určena a je možné přistoupit k další součásti.



Obr. 26 - Ukázka definování vazeb v sestavě

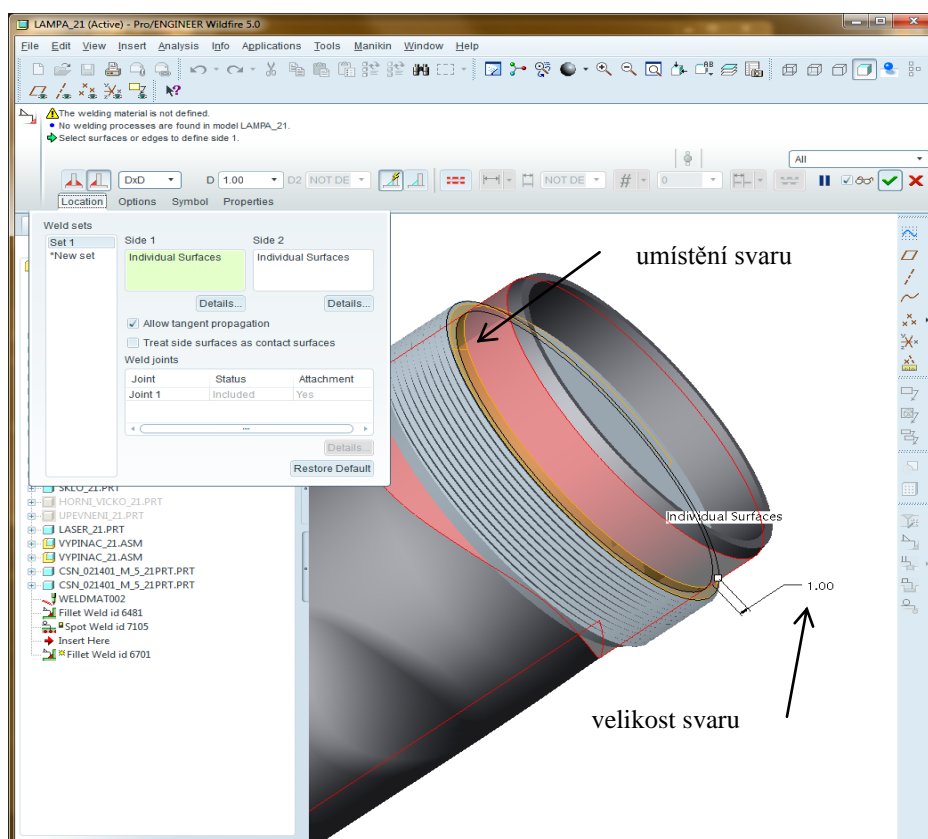
5.4 Tvorba svarů

Po vložení všech stavebních dílů svítilny je možné přejít k dalšímu kroku tvorby komplexního modelu svítilny, a tím je vytvoření svarů na požadovaných místech. Program Pro/ENGINEER obsahuje vlastní integrovanou aplikaci umožňující jednoduchou a rychlou tvorbu svarů. Pro spuštění této aplikace se vybere v nabídkové liště záložka (Obr. 27) Applications → Welding.



Obr. 27 - Spuštění aplikace Welding

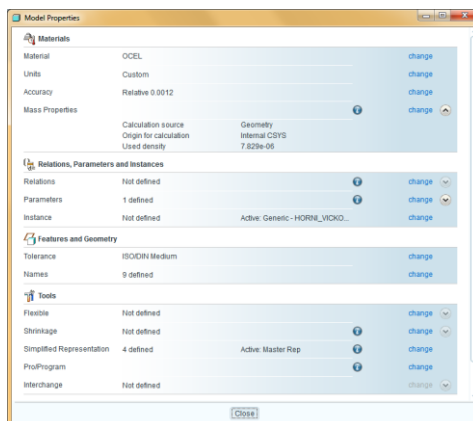
Hlavní dialogové okno zůstane téměř beze změn, jen boční nástrojová lišta se přizpůsobí svařovacímu režimu. Opět se v této liště nacházejí funkční tlačítka, která tentokrát představují jednotlivé druhy svařování. Na obrázku (Obr. 28) je ukázán koutový svar pro svaření těla svítilny a nákrůžku s metrickým závitem. Po vybrání ploch, které je třeba svařit, a nastavení velikosti koutového svaru program automaticky vytvoří model závitu v sestavě.



Obr. 28 - Ukázka aplikace svařování

5.5 Materiál

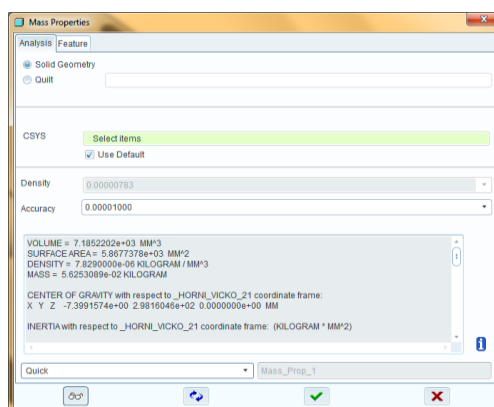
Pro analýzu a další práci s navrženými modely je možné definovat materiál (Obr. 29). Pro/ENGINEER nabízí knihovnu materiálů, ze které je možné požadovaný materiál zvolit. Tato knihovna je dostupná v instalačním adresáři programu a v textovém editoru je možné ji libovolně upravovat a rozšiřovat. Nastavení materiálu se provádí na úrovni dílu (part). V záložce File se vybere Properties a v nově otevřeném okně se zvolí hned první možnost Material → Change.



Obr. 29 - Definice materiálu dílu

Po definování požadovaného materiálu je již možné zkontrolovat hmotnost dílu. Pakliže jsou definované všechny díly sestavy, je možné ukázat i celkovou hmotnost sestavy (Obr. 30).

Cesta pro zjištění hmotnosti dílu: Analysis → Model → Mass Properties.



Obr. 30 - Výsledek analýzy modelu

Vedle hmotnosti tato funkce ukáže mimo jiné polohu těžiště dílu a objem tělesa, který lze použít ke kontrole vypočtené hmotnosti, či v případě nezadání vhodného materiálu k přesnému výpočtu hmotnosti bez nutnosti definovat materiál. To lze využít u modelů prvků, kde ještě není rozhodnuto o použití materiálu a analýza CAD modelu má na jeho výběr vliv.

5.6 Výkresová dokumentace

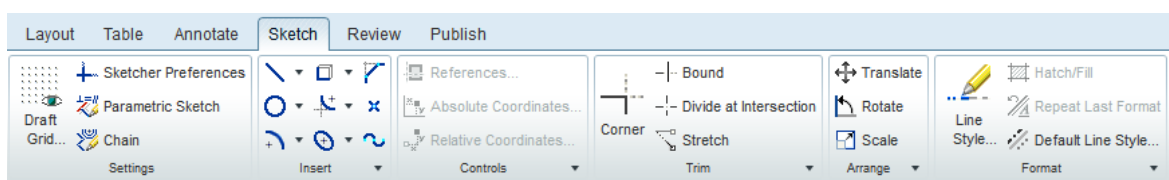
Po zhotovení modelů a sestav lze přistoupit k tvorbě výkresové dokumentace. Před tímto krokem je vhodné mít připravené modely jednotlivých součástí:

- přepokládané řezy modelů,
- definované tolerance,
- materiál, ...

Pro tvorbu výkresu je nutné vybrat předdefinovanou šablonu vlastností Drawing. Tato je přístupná stejně jako v případě tvorby dílu nebo sestavy (viz Obr. 15).

Při tvorbě výkresů dojde k jedné zásadní změně, a to, že všechny příkazy je možné zadávat přes nabídkovou lištu (Obr. 31) pod horní nástrojovou lištu v okně programu. V této liště jsou příkazy seřazeny do šesti záložek. Záložky obsahují následující skupiny funkcí:

- Layout - pohledy, řezy, detaily, ...
- Table - soupiska, popisky, ...
- Annotate - komentáře, kóty, ...
- Sketch - náčrtky, ...
- Review - revize, odměřování, ...
- Publish - export a tisk.



Obr. 31 - Nabídková lišta šablony výkresu

6 Závěr

V dnešních parametrických modelovacích systémech není problém vymodelovat jednoduchou součást o jednom dílu ani velkou komplexní sestavu z několika set dílů, které jsou vzájemně provázané a které mají zpětnou vazbu do knihoven součástí. Všechny parametrické systémy fungují na stejném principu. Rozdíl mezi nimi je jen v jejich obsluze a především ve škále nabízených modulů. Lze předpokládat, že se budoucí vývoj bude vyvíjet směrem k ještě reálnějšímu virtuálnímu zobrazování navrhovaných dílů a k zajištění co nejefektivnějšího průběhu jejich vývoje. Toto bude klást stále vyšší nároky na hardware počítačů a zejména obsluhujících osob. Je to z důvodu, že jen optimální rozložení jednotlivých příkazových ikon na obrazovce je velice složitý proces, jehož výsledek neocení každý stejně.

Pro úplnost musí být zmíněno, že v žádném případě nelze předkládanou práci brát jako manuál pro naučení se v systému Pro/ENGINEER, ale jen jako úvod do problematiky parametrického modelování s využitím výše jmenovaného systému.

Použitá literatura

- [1] Mareš, A., Senderská, K., Fabian, M., Václav, Š.: *Cad systémy v procesu projektování výroby a jejich implementace v procesu vzdělávání* [online]. [cit. 15.11. 2011]. Dostupné na internetu <<http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2377-cad-systemy-v-procesu-projektovani-vyrob-a-jejich-implementace-v-procesu-vzdelavani.html>>
- [2] Solidedge: *SolidEdge* [online]. [cit. 15.11. 2011], Dostupné na internetu. <www.solidedge.info>
- [3] Technodat: *PLM Express* [online]. [citace 16.11. 2011]. Dostupné na internetu <www.technodat.cz/catia-plm-express>
- [4] Hynek, M a kolektiv: *Základy systému Pro/ENGINEER*. ZČU v Plzni, 2011. ISBN 978-80-7043-991-3
- [5] Strnad K.: *Bakalářská práce - Moderní CAD systémy v silnoproudé elektrotechnice*. Vysoké učení technické v Brně. Brno, 2008.
- [6] AV engineering: *Nejúčinnější způsob vývoje digitálních modelů výrobků* [online]. [citace 03.05.2012]. Dostupné na internetu <www.aveng.cz/technologie/proengineer.aspx>
- [7] Mecaform [online]. [citace 03.05.2012]. Dostupné na internetu <www.mecaform.com/mecaform/equipements-1.htm>
- [8] Köhler, P.: *Pro/ENGINEER - Praktikum*. 4 Auflage. Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden, 2006. ISBN 10 3-528-33124-0
- [9] Köhler, P.: *Moderne Konstruktionsmethoden im Maschinenbau*. 1 Auflage. Vogel-Verlag, Wiesbaden
- [10] Vajna, S., Weber, Chr., Bley, H., Zeman, K.: *CAX für Ingenieure - Eine praxis Einführung*. 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009. ISBN 978-3-540-36038-4
- [11] CVUT: *Pro/ENGINEER Wildfire pro nováčky* [online]. [citace 12.05.2012]. Dostupné na internetu <<http://pmo.fs.cvut.cz/wiki/images/b/b9/USPE-01.pdf>>