

Technická universita v Liberci

Fakulta strojní



FILIP VAMBERA

**CAD SYSTÉM V PROCESU TVORBY MODELU
ŽEHLIČKY**

Diplomová práce

1997/98

Technická universita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

obor 23 - 29 - 8

Výrobní systémy

zaměření

Pružné výrobní systémy pro strojírenskou výrobu

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra : výrobních systémů

Školní rok : 1997/98

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Filipa V A M B E R U

obor (23 - 29 - 8) Výrobní systémy

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č.172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: CAD systém v procesu tvorby modelu žehličky

Zásady pro vypracování :

1. Rozbor současných metod v podniku ETA.
2. Spolupráce designera a konstruktéra.
3. Měření souřadnic na maketě.
4. Úpravy dat na vyhlazování křivek a ploch.
5. Fotorealistická designová studie CAD modelu.
6. Porovnání metod k výrobě prototypu.
7. Zkušební výroba modelu - obráběním.
8. Studie rozložení teplot na topné ploše.
9. Ekonomické zhodnocení.

V13/98 S + DISKETA

KVS/VŠ
44 s., 1 vol. příl. (DISKETA)

Rozsah grafických prací : dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 40 stran textu

Seznam odborné literatury :

- 1/ Podklady ETA - Hlinsko
- 2/ Manuál CATIA - modul CAD
 - modul NC
 - modul MkP

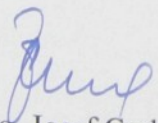
Vedoucí diplomové práce : Doc. Ing. Přemysl Pokorný, CSc.

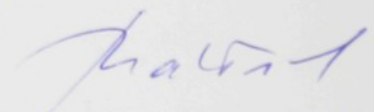
Konsultant : Jan Tuček

Zadání diplomové práce: 31.10.1997

Termín odevzdání diplomové práce: 29.5.1998




Doc. Ing. Josef Cerha, CSc.
Vedoucí katedry


Doc. Ing. Ludvík Prášil, CSc.
Děkan

V Liberci dne 31.10.1997

CAD SYSTÉM V PROCESU TVORBY MODELU ŽEHLIČKY

KVS - 99

FILIP VAMBERA

Počet stran	:	49
Počet příloh	:	1
Počet výkresů	:	0
MDT	:	621.83

leden 1998

Podpis:

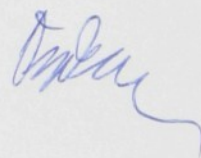


Místopřísežné prohlášení:

„ Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.“

V Liberci dne : 5. 1. 1998

Podpis :



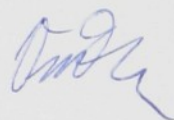
Prohlášení k využívání výsledků DP :

Jsem si vědom toho, že diplomová práce je majetkem školy a že s ní nemohu sám bez svolení školy disponovat, a že diplomová práce může být zapůjčena či objednána (kopie) za účelem využití jejího obsahu.

Beru na vědomí, že po 5-ti letech si mohu diplomovou práci vyžádat v Univerzitní knihovně TU v Liberci, kde je uložena.

Jméno a příjmení : FILIP VAMBERA
Adresa : VELKÁ ÚPA 235
 54222

Podpis :



Poděkování:

Chtěl bych poděkovat firmě BEKO Engineering , kde byla diplomová práce zpracována, za poskytnuté HW i SW prostředky nutné k provedení práce, a za nalezení vhodného tématu.

Podniku ETA a. s. za poskytnutí interních tajných materiálů, jmenovitě pak za ochotu ing. Marka Pěchoučka a ing. Miloslava Pantůčka.

Ing. Přemyslu Pokornému za poskytované konzultace v průběhu tvorby diplomové práce a za všestrannou pomoc v průběhu studia.

Rodičům a svojí slečně za trpělivost, kterou se mnou stále mají.

Seznam použitých symbolů a zkratk

CATIA	Computer Aided Three - Dimensional Interactive Application
CAX	Computer Aided CA...
CAE	CA Engineering
CAD	CA Design
CAM	CA Manufacturing
AEC	Architecture, Engineering, Construction - Architektura, inženýring , stavby
PDM	Project Data Management - Řízení dat projektu
AIX	Advanced Interactive Executive
RAM	Randon Access Memory
HDD	Hard Disk Drive
IGES	Initial Graphics Exchange Specification

Obsah:

Seznam použité literatury:

Propagační a interní materiály ETA a.s.

Manuály CAE systému CATIA - 3-D modelování, obrábění, studio, metoda konečných prvků

Mathematical Methods for Engineering - 6th conference, 27 května 1991 Plzeň

Internet - www.catia.com, www.ibm.catia.com, www.3dsystems.com

Computer Aided Design, ročníky 1991 až 1997

OBSAH :

1. ÚVOD	8
2. HISTORIE A SOUČASNOST PODNIKU ETA, A.S.	8
2.1 SOUČASNÁ VÝROBNÍ ŘADA ŽEHLIČEK.....	9
2.2 HW A SW VYBAVENÍ KONSTRUKCE ŽEHLIČEK.....	10
3. CAE SYSTÉMY	11
3.1 PODPORA INŽENÝRSKÝCH PRACÍ VÝPOČETNÍ TECHNIKOU	11
3.2 HISTORIE ZAVÁDĚNÍ CAE	11
3.3 OBLASTI PŮSOBNÍ PODPORY INŽENÝRSKÝCH PRACÍ VÝPOČETNÍ TECHNIKOU.....	12
3.4 CHARAKTERISTIKA PROSTŘEDKŮ	12
3.5 EFEKTIVNÍ PŘÍNOS PRAKTICKÉ APLIKACE CAE	13
3.6 STRUČNÝ POPIS ZVOLENÉHO CAD SOFTWARE	14
3.7 HARDWAROVÁ PODPORA CAE.....	14
3.8 STRUČNÝ POPIS POUŽITÉHO HARDWARE	15
4. SPOLUPRÁCE DESIGNERA S KONSTRUKTÉREM.....	15
5. MĚŘENÍ NA MĚŘÍCÍCH STROJÍCH.....	16
5.1 ROZDĚLENÍ 3D SCANNERŮ	16
5.1.1 Dotyková digitalizace	16
5.1.2 Bezkontaktní laserová digitalizace.....	17
5.2 FORMÁTY VÝMĚNY DAT	18
5.3 SCANOVÁNÍ SÁDROVÉHO MODELU ŽEHLIČKY	19
6. TVORBA CAD MODELU.....	20
6.1 OBECNĚ POUŽÍVANÉ MODELOVACÍ RUTINY	20
6.1.1 Systémem podporované druhy křivek.....	21
6.1.2 Systémem podporované druhy ploch.....	21
6.2 ČLENĚNÍ PLOCH MODELU	22
6.2.1 Tvorba a modifikace křivek	23
6.2.2 Tvorba základních ploch	26
6.3 KONTROLA KVALITY PLOCH	27
6.4 KOMPLETNÍ MODEL TVARU ŽEHLIČKY	29
7. FOTOREALISTICKÉ ZOBRAZENÍ MODELU	30
8. VÝROBA PROTOTYPŮ.....	35
8.1 KONVENČNÍ METODY VÝROBY PROTOTYPŮ.....	35
8.2 RAPID PROTOTYPING.....	36

1. Úvod

Ke vzniku této diplomové práce vedlo přání podniku Elektro-Praga Hlinsko uvést na trh nový model napařovací žehličky s vyspělým designem a špičkovými parametry. Jedním z hlavních hledisek, podle kterých se spotřebitel orientuje na současném trhu, je design a zpracování výrobku. Technické parametry a ceny nejznámějších výrobců žehliček jsou na stejné ^{výrobní} hladině. O tom, jaký bude mít výrobce zisk tedy do značné míry rozhoduje design výrobku a to, jak konkrétní výrobce dokáže snížit své výrobní náklady. Moderní cestou, která vede ke snížení nákladů, je využití výpočetní techniky jak ve fázi předvýrobní, tak i ve výrobní. Tato diplomová práce má ověřit smysluplnou cestu nasazení CAE systému v etapě předvýrobní, na cestě od návrhu designu až po schválení prototypu. Důležitým aspektem diplomové práce byla spolupráce týmu osob, kde každý měl svůj vlastní úkol. Proto ^{je} buďe v diplomové práci analyzována i metodika této spolupráce. Dobrá komunikace je jedním z klíčových předpokladů úspěšného zvládnutí úkolu. V menších podnicích se dá komunikace snadno zajistit, ve větších pak vzniká potřeba ucelených databázových informačních systémů o produktu (PDM). V diplomové práci ^{je} buďe vyzkoušen jeden z možných způsobů spolupráce tvůrčího týmu a nasazení CAE do předvýrobní etapy. Závěrem diplomové práce by mělo být zhodnocení úspěšnosti dané cesty, případně návrhy na další přístupy k této problematice.

2. Historie a současnost podniku ETA, a.s.

Akciová společnost ETA Hlinsko je dlouholetý a tradiční výrobce elektrospotřebičů pro domácnost v České republice. Výroba elektrospotřebičů byla zahájena již v roce 1943. Během 50. let přešla výroba od jednoduchých žehliček a vařičů k dalším, technicky náročnějším druhům elektrospotřebičů. ETA zaujala již v minulých letech velmi významné postavení na našem trhu a úspěšně expanduje i na zahraniční trhy. V současné době vyrábí ucelenou řadu výrobků pro domácnost, jako vysavače, kuchyňské strojky, vařiče, fritézy, žehličky, průtokové ohříváče, atd. Další výrobní program tvoří topná tělesa pro využití v domácnosti i průmyslu, audiotechniku, reproduktorové soustavy, osvětlovací technika a speciální zakázky v oblasti regulace vytápění. ETA je též dodavatelem komponentů pro další výrobce : komutátory, papírové filtry, litinové plotny pro vařiče, elektronické transformátory. Vývoj a konstrukci výrobků včetně konstrukce potřebného nářadí zajišťují pracovníci firmy.

Akciovou společnost ELEKTRO-PRAGA Hlinsko tvoří komplex šesti závodů, které mají následující výrobní program:

Závod 01 Hlinsko	- výroba ručních a podlahových vysavačů
Závod 02 Proseč u Skutče	- výroba kuchyňských strojů, šlehačů, kávomlýnků a šamponovačů
Závod 03 Hlinsko	- výroba topných těles do praček, bojlerů a průmyslových topných těles

Závod 04 Jablunkov	- výroba žehliček, grilů, kávovarů, el. pánví, fritéz a průtokových ohřivačů
Závod 05 Milotice nad Bečvou	- výroba vařičů, varných panelů, fritéz, litinových ploten
Závod 06 Litovel	- výroba elektroniky, konvektorů, svářeček fólií, varných konvic, teplovzdušných ventilátorů a infrazářičů

2.1 Současná výrobní řada žehliček

V současné době jsou ve výrobě čtyři různé základní designy žehliček. Od každého tvaru se vyrábí několik typů v různých barevných i funkčních modifikacích. Elektrické napařovací a suché žehličky ETA jsou dodávány v širokém sortimentu, který zahrnuje výběr od běžných žehliček až po modely s nadstandardním vybavením. Nejmodernějším typem v současnosti vyráběným je ETA 2272. Tato žehlička má technické parametry srovnatelné s žehličkami od předních světových výrobců: →

regulace napařování v šesti stupních

silné napařování - parní šok, přístřík

odnímatelná nádobka na vodu

snadné žehlení v záhybech

drážka pro žehlení kolem knoflíků

optická kontrola množství vody v nádobce

světelná signalizace dosažené teploty

napájecí šňůra z měkkého kabelu

prostor k navinutí napájecí šňůry

výkyvná vývodka

horká zóna v zadní části žehlicí desky

možnost použití destilované i neupravené vody

bezpečnostní akustická signalizace - ?

automatické vypnutí při nečinnosti - ?

provedení: aluminiová deska

tvrdá nerezová deska

deska s povrchem teflon

Ve vybavení umožňuje

Tabulka technických parametrů vyráběných typů:

Elektrické žehličky	ETA 0219	ETA 0220	ETA 1246	ETA 0246	ETA 2246	ETA 1271	ETA 1272	ETA 2272
Napětí (V)	220	220	220	220	220	220		
	230	230	230	230	230	230	230	230
	240	240	240	240	240	240	240	240
Příkon (W)	1200	1200	1000	1000	1000	1000	1200	1380
Napětí (V)	110	110	110	110	110	-	110	110
	120	120	120	120	120	-	120	120
Příkon (W)	700	700	700	700	700	-	1000	1000
Napařování	-	-	-	-	-	-	+	+
Náplň vody (ml)	-	-	-	-	-	200	220	220
Pojistka proti přehřátí	-	-	+	+	+	+	+	+
Aretace regulačního kotouče	-	-	+	+	+	+	+	+
Signální kontrolní světlo	+	+	+	+	+	+	+	+
Délka přívodního kabelu (m)				1,8				
Výkyvný vývod kabelu	-	-	+	+	+	+	+	+
Hmotnost (kg)	1,1	1,1	0,9	0,9	1,0	1,3	1,4	1,4
Provedení žehlicí desky	Al, Tf	Al, Tf	Al, Tf, Cr	Al, Tf, Cr	Al, Tf, Cr	Al, Tf, Cr	Al, Tf, Cr	Al, Tf, Cr

K modelům bez tepelné pojistky ji na požádání lze montovat.

2.2 HW a SW vybavení konstrukce žehliček

Historie zavádění prostředků CAE v oddělení vývoje tepelných spotřebičů ETA a.s. je poměrně mladá, ale dynamicky se rozvíjející. Začala před třemi roky nasazením AutoCAD R12, který byl používán jako 'elektronické kreslicí prkno'. Výkresy na něm pořizované byly elektronicky archivovány, odpadla tak potřeba skladování velkého množství klasických výkresů. Komunikace s kooperujícími podniky se velké rozšíření AutoCADu začala orientovat na předávání dat na disketách, příp. přes E-mail. Po třech letech užívání tohoto SW je již v tomto oddělení vybudován zkušený tým, který má s tvorbou výkresů značné zkušenosti. Nyní je zde provozováno 12 instalací AutoCADu, převážně na počítačích třídy PC osazených procesorem Pentium.

V roce 1997 šel vývoj dále a bylo rozhodnuto provozovat jako podpůrný program některý z 3D 'vyspělých' grafických systémů. Byl zvolen nejrozšířenější představitel této oblasti, ProEngineer. V současné době má

ETA a.s. zakoupeny dvě licence, platformou pro provozování jedné instalace je PowerPC s WindowsNT, druhá je provozovaná na stanici Silikon Graphic Indy. Zkušenosti s užíváním tohoto systému se stále formují a vyhodnocují, nicméně již dnes je znát velký přínos jeho zavedení.

V roce 1998 se uvažuje o posílení konstrukčního týmu v této oblasti, probíhá výběrové řízení na návrh vhodného CAE systému a dodavatele HW. Do budoucna by všechny návrhy měly být zpracovány v podobě 3D elektronických modelů, s minimem výkresové dokumentace nezbytné pro výrobu nářadí.

3. CAE systémy

Při konstrukčním zpracovávání vlastního projektu jsem plně využíval výpočetní techniky. Bylo potřeba vybrat dostatečně výkonný systém, který by odpovídal charakteru prováděných prací. V následující kapitole je rozebrána historie vývoje systémů a jejich současné možnosti.

3.1 Podpora inženýrských prací výpočetní technikou

Cílem podpory inženýrských prací výpočetní technikou je dojít do stavu, kdy budou optimálně uspokojeny potřeby předvýrobních etap, zejména pak inovací výrobků. CAE se zaměřuje i na podpůrné činnosti, jako jsou výroba navazujícího nářadí nebo pořizování technické, údržbové, servisní i propagační dokumentace. Všechny prostředky CAE pak musí být zapojitelné na informační systém výrobního celku.

3.2 Historie zavádění CAE

Grafické editory začaly jako 'elektronická kreslicí prkna' a urychlovaly a zkvalitňovaly postupy vytváření výkresové dokumentace. Hlavním představitelem je v oblasti menších počítačů systém AutoCAD firmy Autodesk nebo pro sálové počítače systém CADAM firmy IBM. Významná je rovněž možnost souběžného pořizování doprovodné písemné dokumentace (kusovníky, rozpisky). V současnosti však jde vývoj směrem k prostorovým (3D) systémům, které znamenají to, že vývojový pracovník pracuje bezprostředně s plně popsáním prostorovým modelem a nemusí tedy myšlenky přenášet do 2D výkresu.

3.3 Oblasti působení Podpory inženýrských prací výpočetní technikou

Základní oblastí pro nasazování CAE je ve vývoji výrobků. Nejprve je potřebné definovat dva pojmy, vlastní hlavně podnikům, vyrábějícím technicky náročné výrobky. Tyto pojmy se týkají jak předvýrobních, tak výrobních činností. Jde o:

- ¹ Projekce výrobků.

Zde jde o činnost pro definování koncepcí a základních parametrů výrobku včetně potřebných výpočtů, stavby a zkoušení prototypů a přípravy dokumentace pro její další podrobné zpracování.

- ² Konstrukce výrobků.

Zde se vytváří podrobná dokumentace pro výrobu a to ve formě: 3D počítačové modely, dále výkresy s kusovníky a rozpiskami (nebo podobnými dokumenty), technické podmínky, montážní návody a některé speciální dokumenty.

V projekci výrobků se VT používá dlouho, nejprve to bylo v oblasti výpočtů. Zde hrály úlohu jak specializované výpočty (na př. výpočty hoření ve spalovacích motorech), tak obecné pevnostní výpočty. Byly to právě pevnostní výpočty metodou konečných prvků, které pronikaly s počítači do projekčních a konstrukčních kanceláří jako prvé. Po nástupu kvalitních grafických editorů však začaly hlavní roli hrát ony. Grafické editory, nejprve ve dvou dimenzích a nyní s převahou 3D, jsou hlavní součástí ucelených systémů CAD. Ty umožňují definovat celou geometrii dílu nebo sestavy, což znamená velký rozdíl od klasického výkresu.

Je zřejmé, že konečným počtem výkresů nelze popsat geometrii složitého tělesa, jako je např. blok převodové skříně. Pokud technologie vede na odlitek, podle běžné praxe byl výrobek navržen v určitém počtu pohledů a řezů, tedy prostorová představa konstruktéra byla přenesena do 2D modelu. Na modelářích ve slévárně pak bylo, aby 2D výkres zpětně ztělesnili, což v praxi vedlo obvykle k nutnosti konzultací - ty ovšem znamenají zdržení. Úplný prostorový geometrický model jako výsledek práce na současném 3D CAD systému pak situaci zásadně mění - výrobek je z konstrukce geometricky úplně nadefinován, tzn. odpadá vysvětlování a předchází se často nákladným chybám.

3.4 Charakteristika prostředků

V dalším se budeme zabývat pouze 3D grafickými editory, samostatné 2D editory jsou na ústupu. Jádrem současných grafických editorů je tzv. modelář. Je to programový systém, který umožňuje úplný matematický popis geometrie a některých dalších parametrů tělesa - materiálem počínaje přes charakteristiku povrchu (tzv. texturu) až po kontrolní geometrické údaje. Celý grafický editor je pak souhrnem dalších funkcí, napojených na tento modelář.

Modeláře se dělí na dvě základní kategorie a to na povrchové a objemové. Povrchové modeláře, historicky starší, se zabývají, jak je patrné z názvu, popisem vnějšího povrchu tělesa a vyznačují se propracovaností a také tím, že jimi vytvořené modely jsou relativně úsporné na paměť. Objemové modeláře popisují geometrické útvary jako plná tělesa a jejich hlavními výhodami jsou možnost sestavování složitějších součástí z tzv. primitiv (hranolů, válců, kuželů, prstenců a pod.) a dále možnost booleovských operací s těmito primitivy. Např. vytvoření otvoru v tělese znamená odečtení válce od tohoto tělesa a pod. Nevýhodou jsou obtížnější matematické aparáty pro popis průniků těles a jejich zaoblování (filletting) a další operace s nimi. Ty vedou na výrazně vyšší objem dat a z toho plynou požadavky na vyšší výkony počítačů a větší paměti. Současné kvalitní grafické editory pak kombinují obě metody, je to takzvané Hybridní modelování.

Dalším významným rysem je parametrizace. Je to schopnost editorů některý rozměr zvolit jako parametr a po příkazu na změnu tohoto parametru přepracovat celý model.

Úplný systém grafického editoru pak obsahuje další řešení. Nejvýznamnější z nich:

- vizualizace. Jde o soubor prostředků pro zviditelnění výsledku modelování. První funkcí je pořizování kvalitního, tzv. fotorealistického zviditelnění modelu. K tomu mimo jiné slouží prostředky pro znázornění různých textur povrchů - ocel, litina, sklo, dřevo a pod., umísťování světelných zdrojů, stanovení stupně průsvitnosti a odrazivosti tělesa a další. Dále jsou zde zahrnuty prostředky pro rozpohybování struktur, důležité pro kontrolu návrhu mechanismů a robotů, zviditelňování pohybů podél struktury (průjezd strukturou nebo průlet nad ní) a prostředky zviditelňování postupů a výsledků výpočtů, např. analýz metodou konečných prvků nebo pohybových simulací.
- kreslení výkresů
- analýza a simulace. Jde o moduly pro strukturální analýzu metodou konečných prvků a prostředky simulace kinematických případně dynamických poměrů navrhovaných soustrojí.
- doplňkové systémy. Sem patří systémy řízení projektů, překladače pro výměnu dat mezi CAD systémy, normy, kontroly sestavitelnosti a smontovatelnosti sestav, databáze materiálů a řezných podmínek

3.5 Efektivní přínos praktické aplikace CAE

Prostředky CAE umožňují nejen kvalitnější 'virtuální realizaci' myšlenek konstruktérů a vývojářů, umožňují rovněž jejich pružnější sdílení. Konstruktéři jednotlivých skupin složitých výrobků, příkladně aut či letadel, mohou velmi operativně konfrontovat své výsledky a zadávat vzájemné požadavky a jejich případné následné změny. Technologové jsou o úmyslech konstruktérů informováni rovněž s větším předstihem než dříve a tím jsou na svůj podíl na řešení úlohy lépe připraveni. Současné 3D grafické editory mají velký dopad na urychlování práce.

3.6 Stručný popis zvoleného CAD software

Po zohlednění všech aspektů byl pro účel diplomové práce zvolen SW produkt CATIA, který je instalován i na TU Liberec. CATIA je vysoce výkonný CAD/CAM/CAE systém pro tvorbu 3D modelů strojních součástí, který je firmou DASSAULT SYSTEMES vyvíjen již více než 20 let. Pro tento konkrétní úkol byl vybrán díky výborně zvládnutým a uceleným nástrojům pro kvalitní plošné modelování. Z tohoto důvodu má dominantní postavení především v leteckém průmyslu (Boeing - nosný vývojový SW), široce rozšířen je však i v automobilním (BMW, Chrysler, VW ŠKODA - nosný vývojový SW). Jeho rozšířenost je dána především jeho výkonností v nejnáročnějších aplikacích. Schopnost systému pracovat efektivně s tvarově velmi složitými součástmi a způsobilost analyzovat kvalitu velkých ploch ho předurčuje k modelování povrchů letadel, karoserií automobilů, trupů lodí, ale i k modelování složitých odlitků. Tento systém je vystavěn modulárně, zákazník si tedy může objednat konfiguraci přesně takovou, jaká vyhovuje jeho potřebám. V závislosti na konfiguraci systém nabízí:

Umožňuje tvorbu 3D modelu, včetně komplexních ploch, jeho fotorealistické znázornění, tvorbu výkresové dokumentace, kinematickou analýzu mechanismů, pevnostní a teplotní analýzu, tvorbu programů pro NC obráběcí stroje a mnoho dalších funkcí. Nejpodstatnější? Samozřejmostí je komunikace s jinými CAD systémy prostřednictvím formátů IGES, VDA-FS a STEP. Systém je vázán na platformy IBM, HP, SGI a SUN.

3.7 Hardwarová podpora CAE

Počítačová grafika je velmi mladý obor. Její rychlý rozvoj byl umožněn vývojem odpovídajících technických prostředků. Těmi jsou v oblasti zařízení jak stále mohutnější výkony procesorů a grafických akceleratorů, tak kvalitní stabilní obrazovky s jemným rozlišením a dále tiskárny nebo plotry. Je obecně znám ^{vytváření} dostatek mezi možnostmi hardware a software. nové softwarové systémy vyžadují stále větší výkony procesorů a paměti a tak ceny výpočetní techniky vlastně neklesají, i když měřeno výkonem ceny každých 18 měsíců klesají na polovinu.

CAE se provozuje na

- velkých počítačích (serverech). Je to u velkých podniků, jako jsou automobilky, letecké továrny nebo loděnice.
- pracovních stanicích (workstations). Jsou to převážně počítače s procesory s architekturou RISC a operačním systémem UNIX. Výhodou je nízká pořizovací cena, efektivní rozšiřování pracovišť.
- počítače třídy PC. Dá se očekávat velký nárůst hlavně díky vyššímu výkonu a grafickým podpurným prostředkům současných operačních systémů.

V oblasti operačních systémů jsou to dnes, jak bylo řečeno, grafické podpůrné prostředky, které významně ovlivňují další vývoj - je to dáno tím, že grafické výstupy jsou běžné i v ekonomických oblastech a nejsou tedy už doménou CAD systémů. Velkým impulsem pro vývoj dalších systémů jsou prostředky grafické podpory operačních systémů Microsoft (Windows NT a Windows95) nebo IBM (OS/2). To umožnilo vytvořit celé modeláře prostorových objektů, které dále slouží jako prostředek výstavby vlastních 3D grafických editorů. Příkladem je na př. firmami Autodesk (AutoCAD R13,R14), Hewlett-Packard (Solid Designer), Bentley (Microstation), a další. X
čif.

3.8 Stručný popis použitého hardware

3-D model z diplomové práce byl zpracován na pracovní stanici IBM RISC System/6000 model 530 osazené procesorem POWER, operační pamětí (RAM) 128 MB, diskovou pamětí (HDD) 3,4 GB a 24-bitovou grafickou kartou POWER Gt4xi schopnou maximálního rozlišení 16,7 milionů barev. Jako periferie byly použity 20" monitor P200, standardní IBM klávesnice s digitizérů pak tři tlačítková IBM myš a SpaceBall.

Nainstalován byl operační systém UNIX v IBM odnoži zvané AIX, verze 4.1.4 s řadou nadstaveb např. X - Windows, grafický systém graPHIGS a další.

4. Spolupráce designera s konstruktérem

Pro úspěšné vyřešení daného úkolu ve vysoké kvalitě a krátkém termínu byla nutná úzká spolupráce mezi obsluhou CAE systému se znalostí technologických postupů, tj. konstruktérem, a autorem návrhu, člověkem s výtvarným citem, ale malými znalostmi o technologii - designérem.

Postupy, které mají oba zažité, se značně liší. Designér nejprve studuje výrobky na trhu dostupné, posuzuje je z výtvarného hlediska a všímá si předností i nedostatků jednotlivých modelů. Rozkresluje svoje návrhy jako stínované obrázky na papír. Když je spokojen se vzhledem návrhu na papíře, přistoupí zpravidla k modelování sádrového modelu. Pro modelování si nejprve vytvoří hrubou kostru sestávající z řezů a konstrukčních omezení (zde například tvar žehlicí plochy), kterou vyplňuje sádrou a tvaruje za pomoci šablon. Tato etapa práce designéra je velice zdlouhavá, trvá několik týdnů. Během této doby bylo vytvořeno celkem 6 sádrových modelů.

Konstruktér, který je zkušeným uživatelem CAD, si při návrhu nejprve udělá základní skicu na papír, potom ale veškeré modelování provádí v prostředí počítače. Většinou není schopen vytvořit estetický design,

protože inklinuje k používání jednodušších tvarů, ale součásti jím vypracované jsou technologicky vyrobitelné.

Zpočátku byla snaha eliminovat zcela modelování do sádky a přímo podle návrhu designéra započít modelování v prostředí CAD systému. Z důvodů, (zmiňných v závěru diplomové práce), se modelování provedlo klasicky. Designér vytvořil sádkový model, který byl konstruktérem převeden do CAD systému, kde byl dále podle přání designéra upravován.

5. Měření na měřících strojích

Dnes se stále více setkáváme s potřebou načítat do CAE systémů tvary již fyzicky existující. První příklady těchto postupů byly z oblasti kontroly přesnosti vyrobených modelů. Tento proces je již z velké části automatizován. Těžiště důležitosti měření tvarů se posouvá do oblasti tzv. reverzního inženýrství. Součást je nejprve fyzicky vyrobena, jsou na ní provedeny potřebné změny, a až následně se CAE odborník pokouší na základě změřených dat model znovu 'postavit' v prostředí CAD systému. Důvodem k tomuto postupu je kromě potřeby mít výrobek zdokumentován také častá nízká kvalita (měřených) ploch (rozvlnění, propady ...). V tomto procesu se tedy vlastně snažíme vytvořit lepší počítačový model než původní výrobek.

5.1 Rozdělení 3D scannerů

Zařízení pro prostorovou digitalizaci lze v zásadě rozdělit na scannery bezkontaktní a kontaktní. Kontaktní zařízení jsou navrženy převážně na mechanickém principu a fungují jako inverzní frézky nebo inverzní ramena robotů. Bezkontaktní zařízení jsou téměř výhradně založena na principu laseru.

5.1.1 Dotyková digitalizace

Po masovějším nasazování CNC frézek se často odměřovalo přímo na těchto strojích, s běžným nástrojem nebo měřidlem upnutým ve vřetenu. CAD data se prakticky nepřenášela, tj. přenášela se na papíře, kde je konstruktér zadal znovu do CAD systému. Tato cesta je pochopitelně pro scanování obecných ploch velice časově náročná. Dnes již prakticky všechny typy NC strojů umožňují inverzní tok informací. Počítač nezadává produkční program do stroje, ale naopak stroj ukládá do počítačového souboru souřadnice vybraných bodů. Také použití klasických nástrojů se dnes změnilo na používání tlakových nebo dotykových čidel, které se upnou přímo do vřetena místo nástroje. Stále ale u těchto typů strojů zůstává

nutnost ručního nastavení jednotlivých bodů, což vede k nízké produktivitě. Samozřejmě nezanedbatelný není fakt, že frézka tj. výrobní stroj, po dobu scanování nic nevyrábí. Proto jsou na trhu také specializované měřicí stroje, které mají mnoho možností automatizovaného scanování ploch i křivek. Příkladem specializovaných měřicích pracovišť jsou stroje fy. CYCLONE. Nastavbám pro klasické frézky se věnují např. firmy Renishaw (RENSCAN, RETROSCAN), nebo AZT (na modelovací frézku HWT CNC). Přesnost těchto systémů se pohybuje kolem 0,05 mm

Systémy založené na inverzním rameni robota nejsou u nás příliš rozšířeny. Výrobce těchto zařízení je např. firma Immersion (MicroScribe-3D - rameno robota se čtyřmi stupni volnosti zakončené dotykovou sondou). Rameno robota je při měření vedeno lidskou rukou, proto se dosahuje značně nižších přesností - pro výše uvedený systém asi 0,4 mm.

Druhým principem pro dotykovou digitalizaci je použití ultrazvukové sondy. Na tomto principu je založen např. scanner Freepoint firmy Science Accessories. Toto je jedno z nejméně cenově náročných řešení problematiky prostorového snímání povrchů. Scanování je podobně jako v případě inverzního mechanického ramene prováděno manuálně ultrazvukovou sondou tvaru pistole. Tato pistole má kovový hrot, ze kterého je v okamžiku stisku spouště vyslán ultrazvukový signál. Vyslaný signál je pomocí speciální konstrukce s čidly dekodován do prostorových souřadnic. Jedná se o řešení, které má ze všech zmíněných technologií nejmenší přesnost - udává se 0,5 mm. Ale to je pro mnoho aplikací dostačující a díky nízké ceně a jednoduchosti ovládání je často používáno (také v Škoda a.a.s. Mladá Boleslav).

5.1.2 Bezkontaktní laserová digitalizace

Bezkontaktní technologie neslouží jen tam, kde jsou běžné technologie nepoužitelné (např. snímání měkkých hmot), ale především tam, kde je vyžadována vysoká přesnost. Jedná se o cenově nejnáročnější řešení, které je vhodné především pro specializovaná měřicí pracoviště a pro větší podniky, které potřebují často přesně snímat tvary velkých ploch. Typickými oblastmi nasazení jsou automobilový a letecký průmysl. Laserové bezkontaktní měřicí stroje mají nejvyšší rychlost scanování. Rychlost je nejméně 10x vyšší než u špičkových přístrojů pro dotykovou digitalizaci. U systému Replica firmy 3D-Scanners je udáváno 14 000 prostorových bodů za sekundu. Tato technologie patří k nejprogresivnějším. Již dnes se jí používá např. také ve stavebnictví a při geodetických pracích - Laserově zaměřovaný teodolit schopný přímo odečítat vzdálenosti.

5.2 Formáty výměny dat

Na trhu s měřicími stroji existuje velké množství výrobců. Podobně jako se systémy CAD existuje i zde velký problém s množstvím formátů dat. Naštěstí se situaci v tomto oboru podařilo sjednotit rychleji, protože přenášené elementy (body) jsou velice jednoduché na geometrický popis. Většina systémů je schopná přímo přenášet body do formátů pro přenos CAD (IGES, VDA). Každý systém navíc umí tvořit také ASCII soubory bodů, což jsou vlastně pouze X, Y a Z souřadnice bodů. Pro následné obrábění je velice vhodný výstup typu G CODE, který má podobnou strukturu jako programy pro CNC stroje, pouze neobsahuje technologické údaje.

- Přehled nejpoužívanějších formátů:
- ASCII

VDA

IGES

G CODE

Kreon

Sharnoa

BMW

Digibotics

Eois

Hymarc

Ukázka datové struktury formátu IGES:

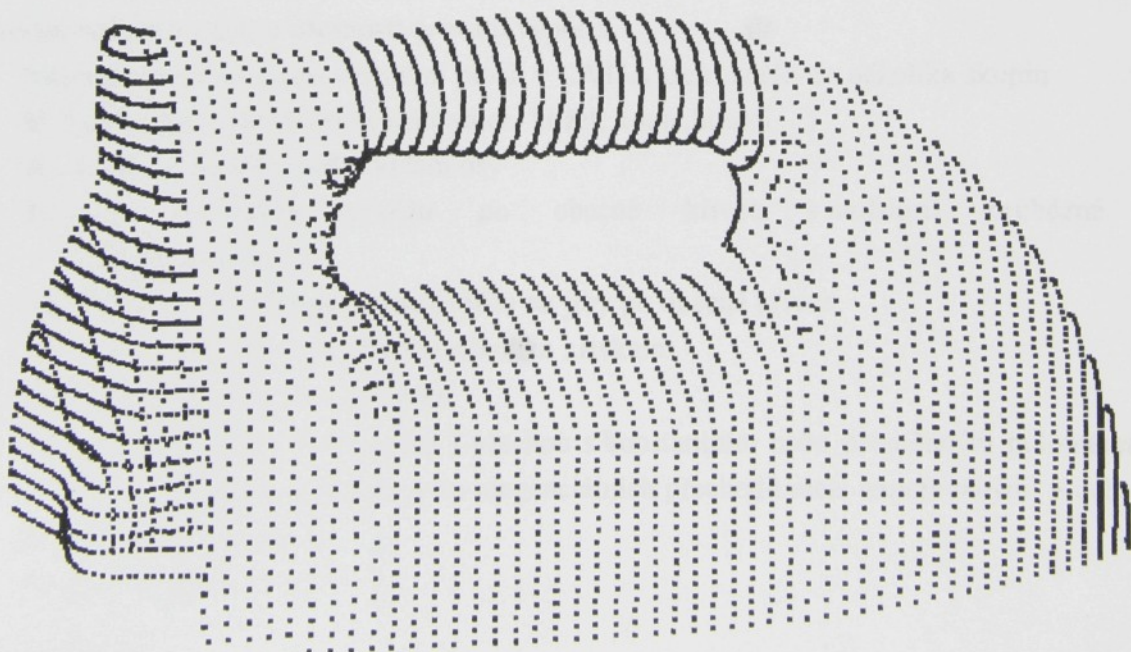
```
Zehlicka                                S    1
1H,,1H;5H4.1.7,34H/home/catadm/site/db/iges.cgo_iges,14HNone CGO 4.1.7,G    1
21HIGES PreProcessor 3.0,16,38,7,307,15,5H4.1.7,1.0,2,2HMM,2,      G    2
0.0253999996930361,13H971030.131523,0.001,2020.0,4HNone,4HNone,10,0,13H9G    3
71030.131523;                                G    4
    10600000001    0    1    0    0    0    000000001D    1
    106    0    8    702    2      PntsTrpl    0D    2
106,2,800,-25.0,-57.4709053039551,3.8964626789093,-25.0,      1P    1
-53.391845703125,10.2746200561523,-25.0,-54.160514831543,      1P    2
17.9752178192139,-25.0,-55.1535911560059,25.6652278900146,-25.0,      1P    3
-53.9923629760742,33.3535308837891,-25.0,-52.0778884887695,      1P    4
40.8968124389648,-25.0,-49.9985237121582,48.3971481323242,-25.0,      1P    5
-47.765998840332,55.8531036376953,-25.0,-45.2645950317383,      1P    6
63.2228469848633,-25.0,-42.4090423583984,70.4623794555664,-25.0,      1P    7
```


Ukázka datové struktury formátu ASCII:

```
-25 -8.4383831 129.93907  
-26.032106 -8.7538862 129.98206  
-27.050774 -9.1127396 130.00085  
-28.060831 -9.4957476 130.00412  
-29.068911 -9.8839693 130.00075  
-30.083765 -10.253904 129.99875  
-31.124367 -10.541438 129.99922  
-32.196434 -10.658921 130.00011  
-33.26582 -10.529984 130.00015
```

5.3 Scanování sádrového modelu žehličky

Při konkrétní úloze je důležité, aby bylo předem jasné, k čemu budou změřená data sloužit. Proto musí mezi měřicím pracovištěm a CAD pracovištěm probíhat komunikace. CAD odborník sdělí měřicímu pracovišti svoje požadavky na scanování tj. jakou hustotu bodů vyžaduje, jakým směrem a v jaké



Obr. 1 - Naskenovaná síť bodů

vzdálenosti mají probíhat jednotlivé průjezdy Nedá se říci, že čím větší hustota bodů, tím lepší výsledek. Naopak příliš velká hustota bodů přináší v CAD fázi často mnoho problémů.

Scanování probíhalo na měřicím pracovišti externí firmy vybavené přístrojem CYCLONE. Přenos změřených dat byl uskutečněn přes formát ASCII. Nascanovaná polovina modelu obsahovala 4320 bodů. Ze scanované sítě je patrné, že na plochách s větším zakřivením bylo snímáno větší množství bodů. Pro popis méně zakřivené plochy je potřeba méně bodů. Větší množství bodů zbytečně vnáší náhodné chyby, vyhlazování křivek je potom náročnější

6. Tvorba CAD modelu

Tvorba CAD modelu byla klíčovou etapou diplomové práce. V této etapě se ověřovala vhodnost různých přístupů k tvorbě modelu. Celá tvorba CAD modelu probíhala ve spolupráci s designerem. Hlavní slovo při posuzování změn měli specialisté z podniku ETA, pokyny k provádění změn zadával designer.

6.1 Obecně používané modelovací rutiny

Nejprve si musíme uvědomit, že povrchový (ale i jakýkoliv jiný) počítačový model součásti není nic jiného než matematický popis geometrie modelu, tedy ve své podstatě složitá soustava matematických výrazů. Vlastní matematický popis ploch není pro zručného programátora CAD systému problémem, hlavní však je, jak zpřístupnit tento matematický popis uživateli s jiným než matematickým vzděláním. Kvalita systému je proto dána tím, jaké nástroje (funkce) systém pro modelování nabízí a s jakou přesností provádí výpočet.

Nástroje používané pro vytváření ploch v CATIA lze rozdělit do několika skupin :

- konstrukce základních tvarů (válec, kužel, koule, hranol...)
- rotace obecného profilu kolem osy
- posun obecného profilu po obecné křivce s možností průběžné změny posouvaného profilu
- přechod z jednoho obecného profilu na jiný po obecné křivce
- vyplnění prostoru uzavřeného několika křivkami
- vyplnění sítě křivek v prostoru
- napojování ploch (filetování) plochou s konstantním nebo proměnným poloměrem, nebo obecnou plochou s požadavkem tangenciálních přechodů mezi napojovanými plochami
- rozvinování ploch
- aproximování ploch

V CATIA lze libovolně přecházet mezi modelem povrchovým a objemovým oběma směry, obecné plochy mohou tedy tvořit stěny objemového modelu. Toho se dá využít hlavně pro zrychlení konstruování. Například jednoduché tvary se snadněji modelují objemově, složitě zase povrchově.

6.1.1 Systémem podporované druhy křivek

Stavebními kameny ploch jsou křivky. V CATIA se používají pro definování ploch vedle jednoduchých křivek (kružnice, parabola, ..) čtyři základní typy označované jako ARC, SPLINE, SPLINE2, a B-SPLINE. Jednotlivé typy křivek lze snadno modifikovat, deformovat a vzájemně nahrazovat aproximací.

- Křivka typu ARC

Je definovaná jako jednoduchý Beziérův polynom řádu 1. Až 15., který prochází kolem daných bodů s minimální kvadratickou odchylkou. V daných bodech může být zadána tangenta, křivost a podmínka průchodu křivky daným bodem. Křivku ARC lze snadno modifikovat, deformovat změnou okrajových tangent nebo polohy okrajových bodů, případně proložením křivky množinou bodů, které leží mimo ni. Ke křivce jsou přiřazeny kontrolní (řídící) body, které určují vrcholy kontrolního polygonu. Modifikováním řídících bodů (polygonu) lze přímo měnit tvar křivky.

- Křivky SPLINE a SPLINE2

Jsou křivky, které prochází přesně danými body. V každém bodě může být křivce vnucena tangenta a křivost. Mezi jednotlivými body je křivka popsána Bezierovými polynomy 5-tého řádu. V daných bodech má křivka spojitou 1. a 2. Derivaci (tangentu a křivost). Tyto křivky jsou tedy složeny z křivek typu ARC 5-tého řádu.

Rozdíl mezi křivkami SPLINE a SPLINE2 je následující : Z daných bodů, tangent a křivostí (v daných bodech) je funkcí SPLINE vypočtena jediná křivka. Při použití funkce SPLINE2 lze jako výsledek dostat různé tvary křivek v důsledku vyhlazovacích a aproximačních faktorů.

- Křivka B-SPLINE

Je nejobecnější křivka, která je popsána jako složená polynomická křivka, kde každý polynom je stejného řádu od 1. Do 15. Ke křivce je přiřazen jednorozměrný kontrolní (řídící) polygon. Z tvaru polygonu lze snadno určit kvalitu křivky. CATIA obsahuje oba typy B-Spline tzv. Non - Uniform Rational B-Spline (NURBS) a Uniform Rational B-Spline.

6.1.2 Systémem podporované druhy ploch

Plochy jsou definovány jako dvourozměrné pole křivek, které mohou být v CATIA obecně od 1. Do 15. řádu v každém směru. Dále jsou popsány základní typy ploch.

- Bezierovy plochy

Jsou reprezentovány množinou polynomických plátů s hladkým napojením. Přičemž každý plát je popsán dvourozměrným polem křivek typu ARC. Křivky mohou být v každém směru řádu 1.

až 15. Jednotlivé pláty mají čtyři hranice z nichž maximálně jedna může být degenerována do bodu. Pláty lze snadno deformovat vnučením dané tangenty na hranicích plátu nebo změnou průběhu hranic, případně proložením plátu množinou bodů ležících mimo něj. Každý plát má přiřazen dvourozměrný kontrolní polygon, jehož změnou lze rovněž plát modifikovat.

- B - plochy

Jsou tvořeny křivkami typu B-Spline. K B - ploše je přiřazen dvourozměrný kontrolní polygon z jehož tvaru lze na první pohled určit kvalitu plochy a určit případná místa rozvlnění plochy. Modifikaci kontrolního polygonu lze snadno modifikovat B - plochu.

- Sítové plochy

Jsou definované pomocí dvourozměrné sítě křivek. Tyto křivky jsou při výpočtu aproximovány křivkami 5-tého řádu se spojitou tangentou a křivostí. Uzlové body sítě (průsečíky křivek) pak rozdělují každou křivku sítě na oblasti, které jsou popsány jedním Beziérovým polynomem. V praxi většinou uživatel dostane křivky, například z 3D měřicího stroje, které většinou nejsou příliš hladké a požadavkem je hladká plocha, procházející s minimální kvadratickou odchylkou od daných křivek. Proto jsou při výpočtu originální křivky tvořící síť aproximovány, s možností interaktivního vyhlazování a s okamžitým zobrazením výsledků analýzy průběhu tangenty a křivosti aproximovaných křivek. Celou síť pak můžeme libovolně modifikovat. Například posouváním uzlů sítě v prostoru, definováním tangent a křivosti v uzlech sítě, zahušťováním nebo ředěním sítě a podobně.

- Ohraničená plocha

Je uzavřená oblast ohraničená křivkami ležícími na obecné ploše. Počet křivek ohraničujících danou oblast není omezen.

Standardní přesnost při výpočtu plochy je v CATIA nastavena na 1 mikrometr a lze ji až 100 - krát zvýšit nebo pro rozměrné modely snížit. CATIA disponuje mocnými nástroji pro analyzování křivek a ploch. Je možné například analyzovat průběhy tangent a křivosti nebo vzájemný vztah mezi křivkami a plochami(průsečíky, nejmenší a největší vzdálenosti, ...), nebo porovnávat přímo výsledky analýzy více křivek najednou. Při modifikaci křivek se analyzovaná veličina okamžitě zobrazuje, což zrychluje celý postup modelování.

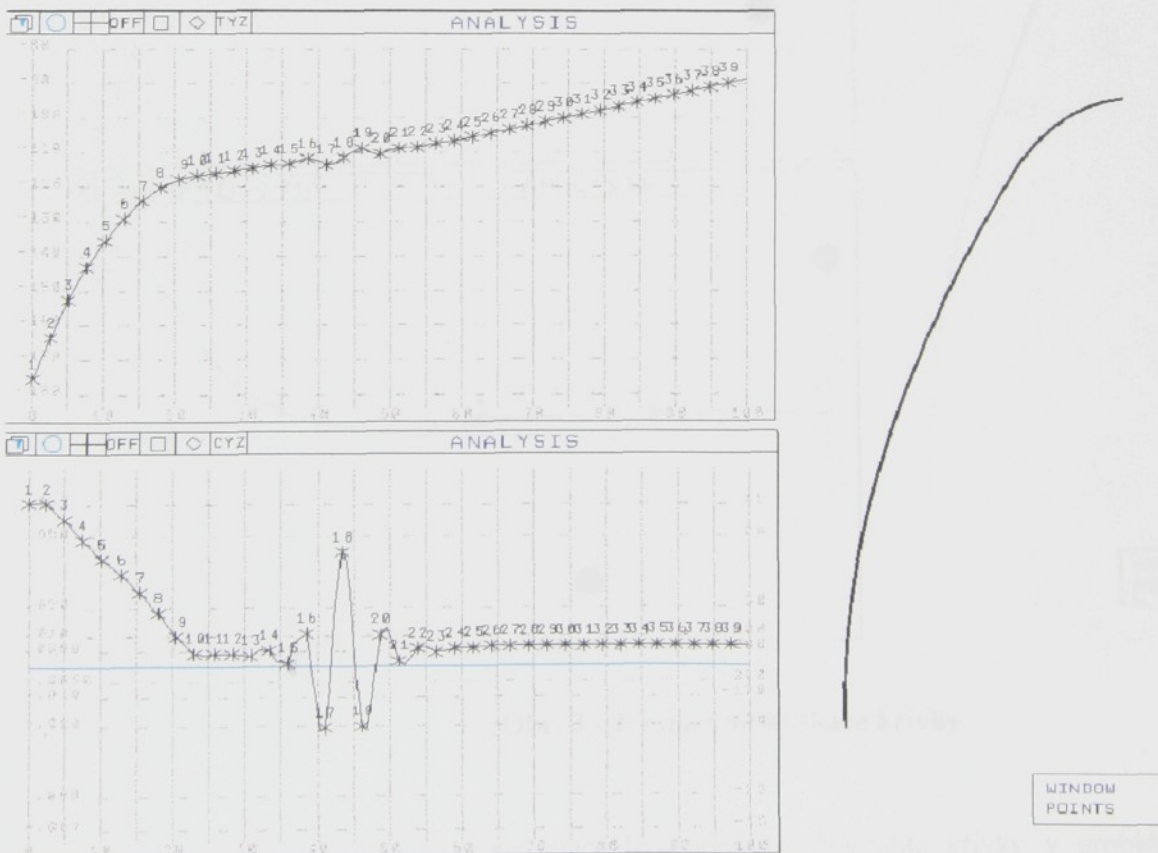
6.2 Členění ploch modelu

Před započítím modelovacích prací je potřeba rozmyslet, jak bude modelování probíhat. Není možné snažit se složitý model vymodelovat jako jednu plochu. I když taková plocha existuje, byla by příliš vysokého řádu a nebylo by možné udržet její kvalitu v požadovaných mezích. Proto si CAD pracovník musí předem model rozčlenit na logické celky, které jsou tvořeny jednou plochou, a tyto celky na sebe nějakým způsobem navazovat tak, aby byla na napojení udržena spojitost. V případě žehličky bylo rozhodnuto

rozčlenit model na čtyři základní celky. Vnější tvar bez uvažování prostoru držadla - obecná B-plocha, vnitřní prostor držadla - plocha vzniklá tažením kružnice o proměnlivém poloměru po obecné křivce, napojení vnějšího tvaru na vnitřní tvar držadla - obecná B-plocha, zadní část - opět proměnlivá kružnice tažená po křivce. Zadní nožičky jsou 'vystavěny' na celkovém tvaru, proto není předem potřeba uvažovat, který modelovací přístup se využije.

6.2.1 Tvorba a modifikace křivek

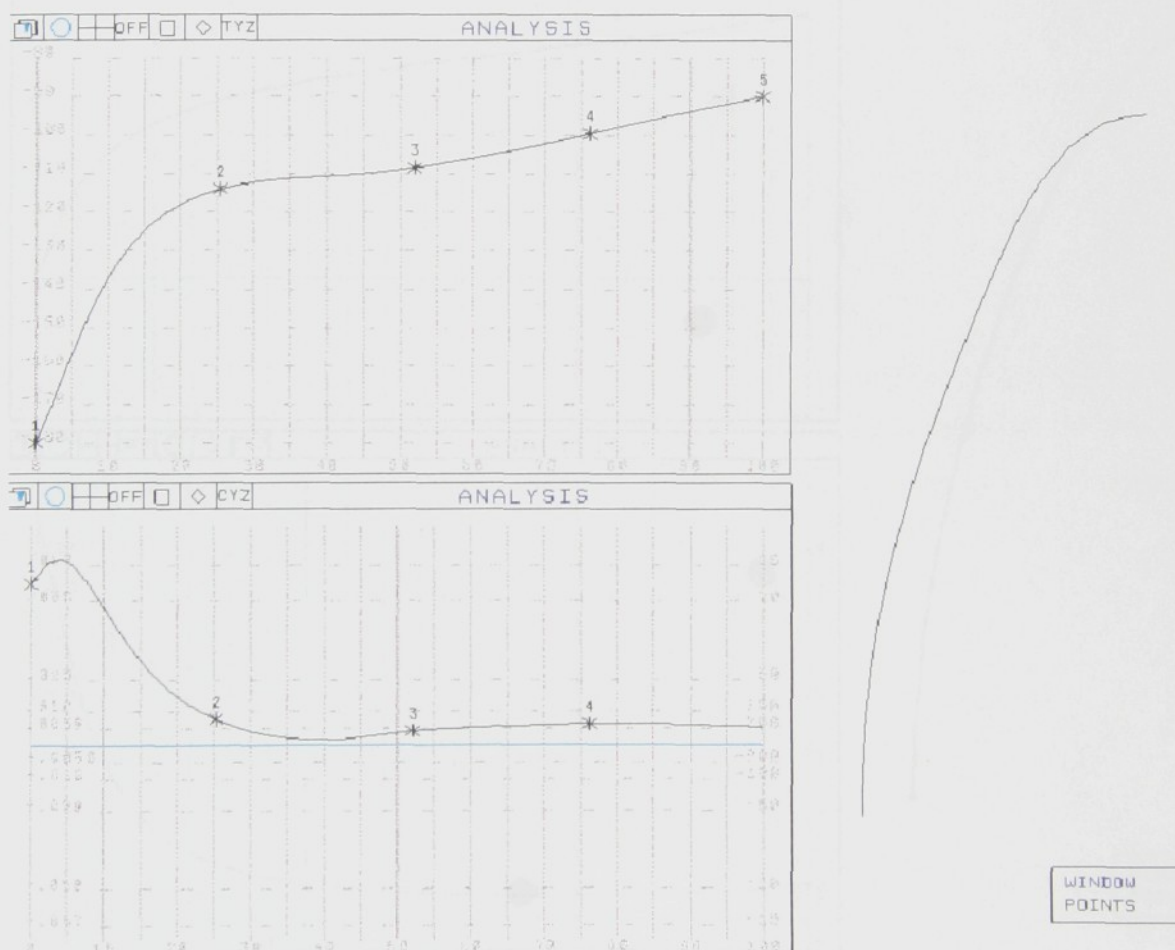
Prvním krokem při tvorbě křivek bylo proložení křivky typu spline změřenými body. Samozřejmě jak měření bodů, tak ruční modelování sádrového modelu je zatíženo chybou, proto jsou tyto křivky 'nekvalitní'. 'Nekvalitou' zde rozumíme jak špatné podmínky tečnosti na okrajích (dole u žehlicí plochy má mít křivka tečnu vertikální, na horní straně poloviny žehličky horizontální), tak její rozvlnění. Rozvlnění vzniklé na křivce vychází z matematického popisu křivky spline jako křivky se spojitou první i druhou derivací, procházející přesně danými body. Proto i malá odchylka jednoho bodu způsobí globální rozvlnění celého spline. Na obr2. je vidět spline proložený změřenými body spolu s analýzou průběhu tangent a křivosti. I když pouhým okem křivka vypadá v pořádku, z analýz je patrné, že není kvalitní. Horní diagram ukazuje směr tangenty, spodní křivost. Velké rozvlnění křivky způsobuje bod 18, který je z



Obr. 2 - Křivka proložená změřenými body

tvary křivky nepatrně vychýlen. Toto vychýlení pravděpodobně vzniklo při procesu scanování - na modelu mohla být nepatrná vzduchová bublinka.

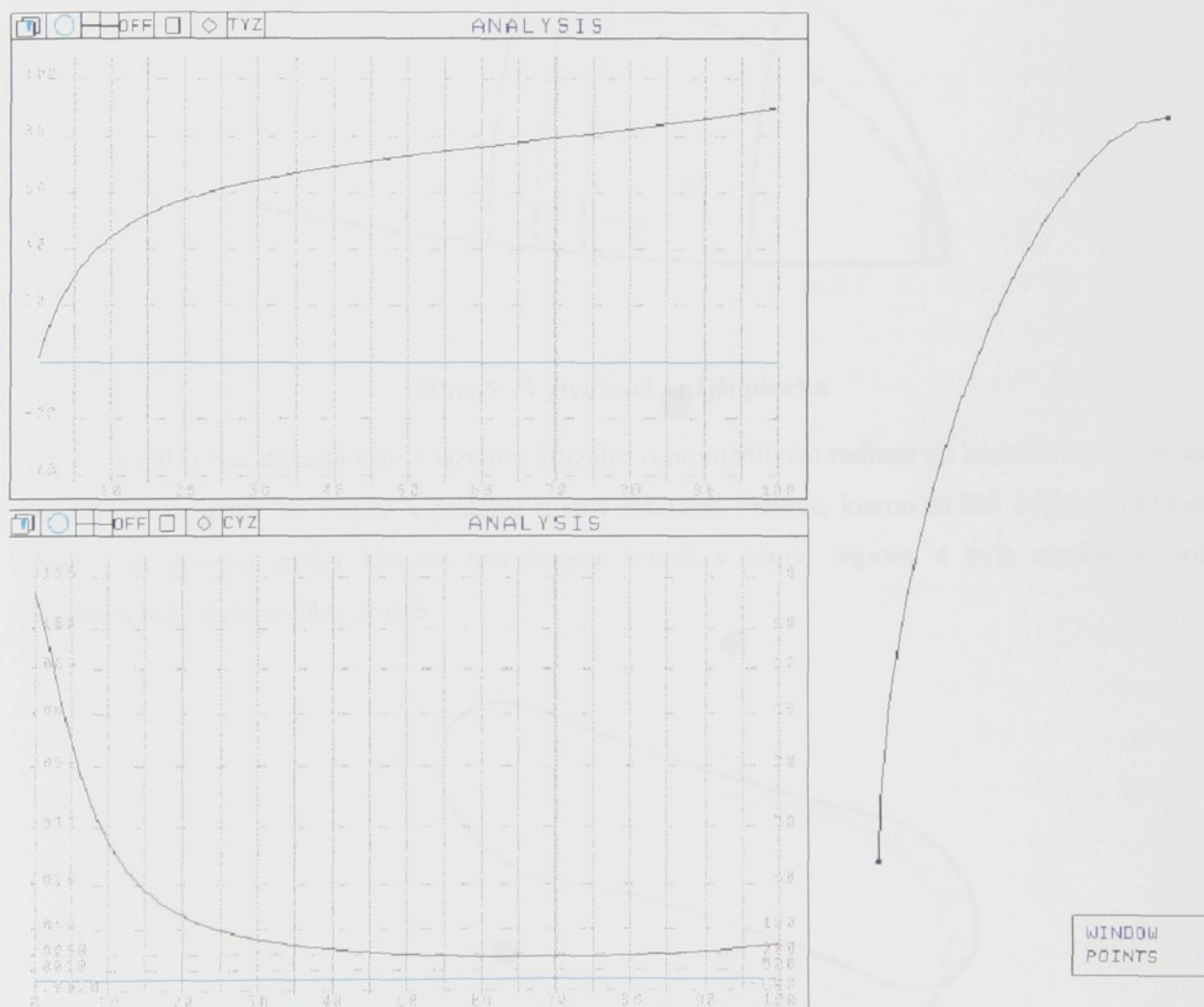
Vyhlažování křivky probíhá v několika etapách. Po analýze první aproximace je zřejmé, že je nutné z křivky odstranit bod 18. Samostatné odstranění tohoto bodu by ale vedlo k nerovnoměrnosti rozložení bodů, křivka by byla hůře ovladatelná. Proto volíme zároveň snížení počtu jednotlivých Bezierových křivek na spline. Pro jednodušší práci s křivkou v této fázi byly zvoleny čtyři křivky 5. stupně, které v dobré odchylce (0,1 mm) aproximují původní tvar. Na analýze druhé aproximace křivky (obr. 3) je vidět, že se podařilo odstranit velké rozvlnění křivky. Ale naopak je patrný další problém, a to optické propady. Např. na vrcholu se křivost do 5-ti procent délky dále zvyšuje a mezi body 2 a 3 má křivka inflexní bod vzhledem k tvaru.



Obr. 3 - 1. etapa modifikace křivky

Při posledním kroku aproximace byla zvýšena flexibilita křivky v problémových oblastech přidáním uzlů Bezierových křivek a následnou manuální modifikací řídicích bodů dosaženo žádaného tvaru. Poté se znovu snížil stupeň křivky, uvolnily se všechny kontrolní body kromě dvou na každém konci (zaručení pozice a směru tečny) v rozsahu 0,1 mm a provedlo se automatické dovyhlazení k

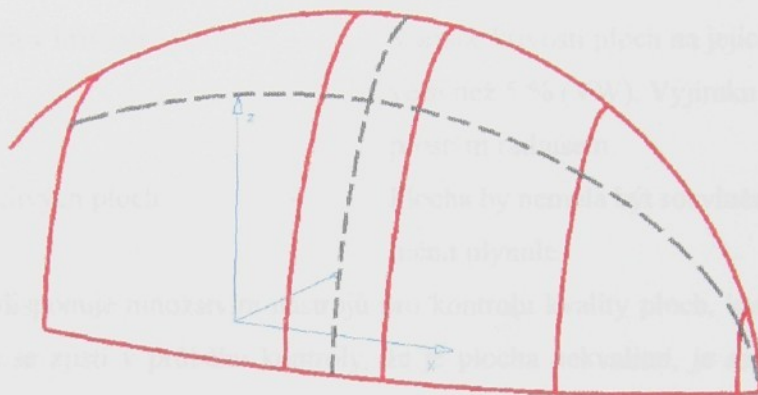
odstranění drobných manuálních chyb. Výsledná křivka má od původní největší odchylku 0,34 mm. Toto je velice slušný výsledek. Nedá se interpretovat tak, že CAD pracovník nedodržel tvar. Kdyby to bylo v lidských silách, designer by jistě křivku takto rád namodeloval. Na grafech je vidět razantní zlepšení průběhů tangent i křivosti bez jakýchkoli optických propadů.



Obr. 4 - Konečná verze vyhlazené křivky

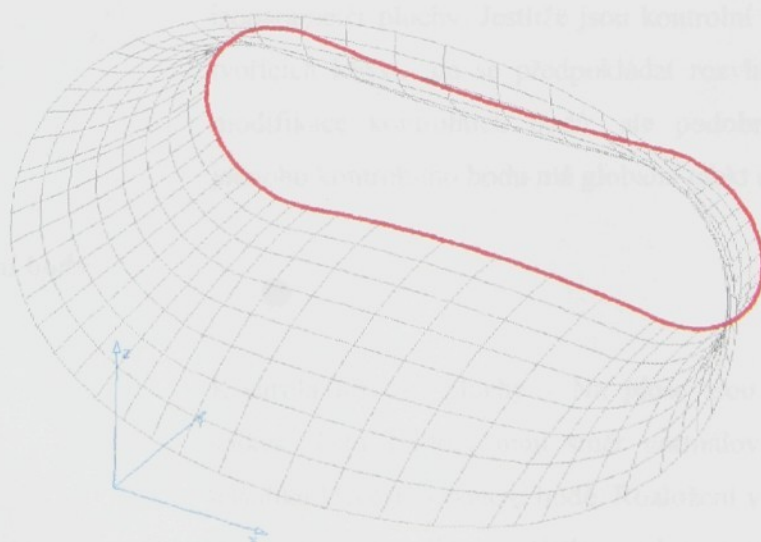
6.2.2 Tvorba základních ploch

Základní plochy tvaru žehličky byly tvořeny výše uvedeným způsobem z křivek vyhlazených postupem popsáním v předchozí kapitole. Obecná vnější B-plocha byla vytvořena na pěti křivkách proměnlivého tvaru a jednom bodě, se zadáním dvou hraničních křivek. Na obr. 5 je vytvořená plocha se svými tvořícími křivkami znázorněnými červenou barvou.



Obr. 5 - Vytvořená vnější plocha

Vnitřní tvar držadla vznikl tažením kružnice o proměnlivém radiusu po hraniční křivce se задanou podmínkou tangenty 90 stupňů k podélné rovině žehličky. Funkce, kterou se řídí hodnota radiusu, byla zjištěna za pomoci analýz křivosti naměřených křivek v tomto regionu a byla reprezentována jako polynomiální křivka 6-tého stupně.



Obr. 6 - Plocha vnitřního tvaru držadla

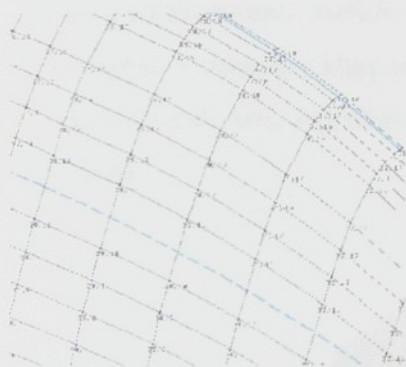
Ke tvoření dalších ploch žehličky bylo přistupováno podobně jako v popsanych případech.

6.3 Kontrola kvality ploch

Pro kvalitu celkového návrhu je rozhodující jak kvalita jednotlivých ploch, tak jejich napojení. Kvalitou plošného modelu se rozumí:

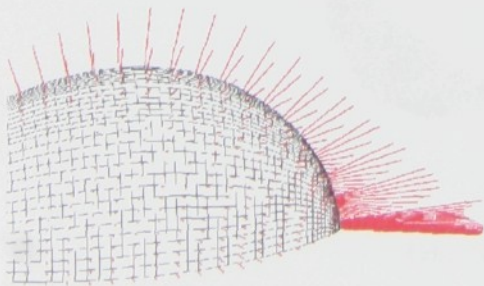
- Tangentní napojení ploch na sebe - Při modelování vnějších ploch (viditelných), by tam, kde nemá být ostrá hrana, měl být rozdíl v tangentě max. 5 úhlových minut (norma VW).
tečno - spojitě
- Napojení ploch v křivosti - Variace křivosti ploch na jejich společné hranici nemá být větší než 5 % (VW). Vyjimku tvoří nutnost zaoblení prostým radiusem.
- Kvalita jednotlivých ploch - Plocha by neměla být rozvlněná, křivost plochy se musí měnit plynule.

CATIA disponuje množstvím nástrojů pro kontrolu kvality ploch, které konstruktér při své práci využívá. Jestliže se zjistí v průběhu kontroly, že je plocha nekvalitní, je samozřejmě možná její přímá modifikace (např. posunem kontrolních bodů). Udržet kvalitu plochy je při přímé modifikaci velice obtížné, zvláště u ploch vysokého řádu, a zlepšení jednoho parametru často vede ke zhoršení jiných. Proto je často výhodnější vrátit se k vyhlazování a modifikaci tvořících křivek a plochu vytvořit znovu. Na následujících příkladech bude rozebráno několik možností kontroly kvality ploch.



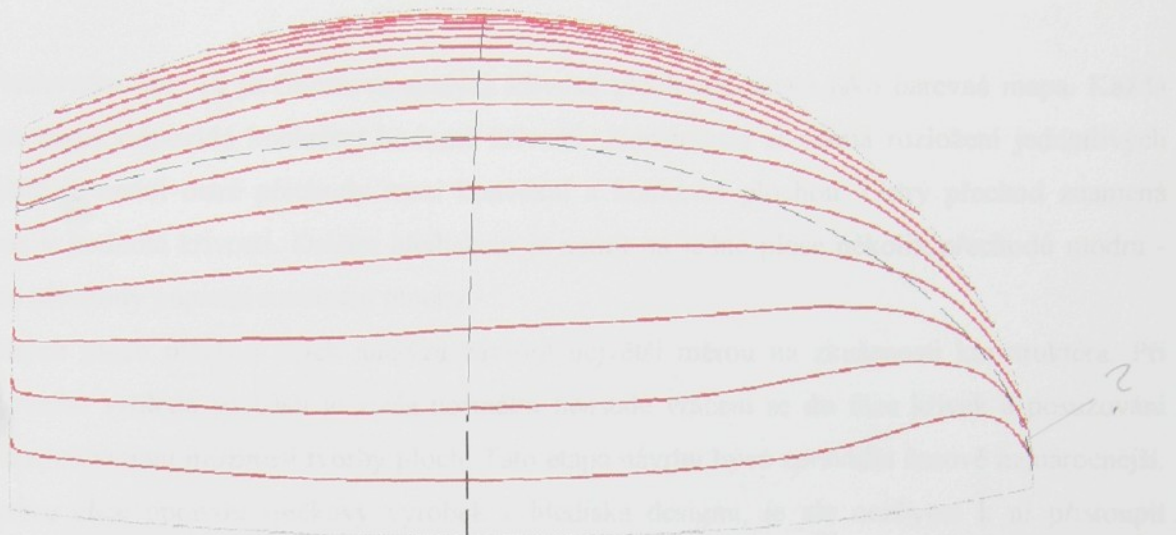
Obr. 7 - Kontrolní body

Vizualizace kontrolních bodů - Na kontrolní síti plochy se zkoumá jejich rozložení. Kontrolní body by měly tvořit ^{HLADKÉ} pěkné křivky ve směru isoparameter plochy. Jestliže jsou kontrolní body vychýleny z roviny tvořících křivek, dá se předpokládat rozvlnění. Je možná manuální modifikace kontrolních bodů, ale podobně jako u spline posun jednoho kontrolního bodu má globální efekt na deformaci plochy.



Obr. 8 - Kontrola křivosti

Kontrola křivosti plochy - Na ploše jsou zobrazeny vektory, tzv. spikes. Tyto vektory mají směr normálový k ploše a velikost x-násobku křivosti v daném bodě. Rozložení vektorů, tj. počet ve směru isoparameter, se dá v průběhu analýzy modifikovat. Při analýze se sleduje jak směr vektorů, tak variace v jejich délce. Na kvalitní ploše by se průběhy délek i směrnic vektorů měly měnit rovnoměrně. Posouzení kvality závisí do značné míry jako u všech těchto analýz na



Obr. 9 - Reflexní křivky

zkušenosti pracovníka. Z analyzované plochy je patrný problém v přední části, kde plocha degeneruje do jednoho bodu (častý problematický region ploch). Tato část plochy ale pro model není použita, povrch pláště žehličky začíná 6 mm nad žehlicí plochou. Proto může být konstruktér s kvalitou plochy spokojen.

Další z prováděných anylůz je zobrazení reflexních křivek na ploše. Tato analýza se provádí i na prototypch (hlavně karoserie automobilů), a to osvitem mřížkovým světlem. V místech skokové změny křivosti plochy se reflexní křivka láme, nemá dodrženu kontinuitu v tangentě. Proto se nedoporučuje na vnějším návrhu používat prosté zaoblení radiusem, vždy by měla být vytvořena napojující plocha která zachovává kontinuitu a plynulou variaci tangent i křivosti. Na reflexních křivkách se zkoumá jejich tvar a tangentní kontinuita. Jestliže je na reflexní křivce lokální změna směru (viz zadní část plochy), ukazuje to na změnu v tečnosti i křivosti plochy. V daném případě je zadní část plochy v úseku cca 3 mm prohnuta mírně dovnitř. Jako v předchozím případě žádný problém nevzniká, neboť tato část nebyla při modelování použita.



Obr. 10 - Kontrola křivosti barevnou mapou

Na barevném obr. 10 je Gaussova analýza křivostí ploch zobrazená jako barevná mapa. Každá barva na této mapě odpovídá konkrétní hodnotě křivosti. Konstruktor si všímá rozložení jednotlivých barev. Důležité je nemít ostré přechody mezi konvexní a konkávní plochou. Ostrý přechod znamená diskrétní skok v hodnotě křivosti. Dalším hlediskem je nemít na jedné ploše několik přechodů modrá - červená. Tyto přechody popisují rozvlnění plochy.

Tvorba složitých ploch ploch a jejich analýza závisí nejvíce na zkušenosti konstruktéra. Při tvorbě venkovního vzhledu součásti je zcela normální neustálé vracení se do fáze křivek a posuzování vhodnosti různých variant možností tvorby ploch. Tato etapa návrhu bývá zpravidla časově nejnáročnější. Jestliže výrobce chce opravdu špičkový výrobek z hlediska designu, je ale nezbytné k ní přistoupit zodpovědně. Šetření časem v této fázi není na místě.

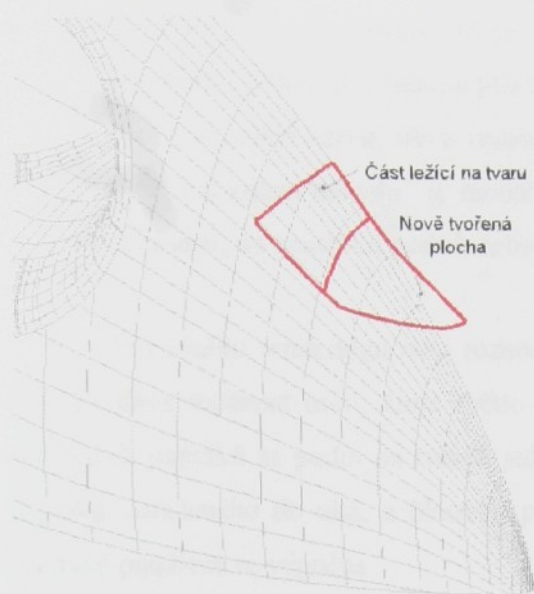
6.4 Kompletní model tvaru žehličky

Ze základních vytvořených ploch byl jejich ohraničením vytvořen návrh vnějšího tvaru bez zadních nožiček a nálitku pro ovládací kotouček. Schválení tohoto tvaru bylo jednou etapou schvalovacího procesu. Poté byly na modelu domodelovány nožičky a náledek již popisovanými technikami. Poslední fází, ve které hraje roli designer, je domodelování vnějších tvarů ovládacích prvků žehličky.

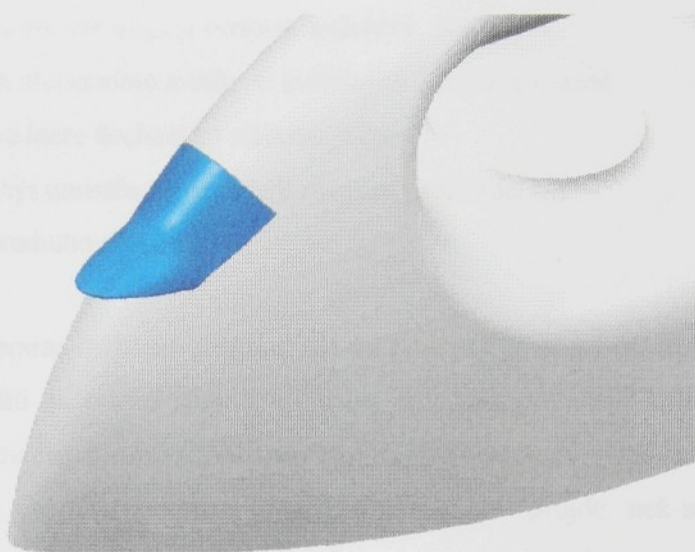


Obr. 11 - Kompletní model vnějšího tvaru žehličky

Při konstrukci těchto ovládacích prvků se vychází z povrchu. Každý prvek by měl zdůrazňovat tvar a dobře sedět v tělese žehličky. Na obr.12,13 je dobře vidět postup jejich modelování od tvořících křivek (zobrazeny na obr. 12 červeně) až po kompletní součást.



Obr. 12 - Tvořící křivky krytu (1/2)



Obr. 13 - Kryt nalévacího otvoru

7. Fotorealistické zobrazení modelu

Při modelování nového designu výrobku je fotorealistické zobrazení modelu velice důležitou pomůckou. Pomáhá kontrolovat kvalitu ploch a celkový dojem z výrobku. Ve fázi návrhu by mělo být provedeno po každé větší změně geometrie. Designér spolu s konstruktérem potom posuzují dopad změny na vzhled a případné korekce mohou okamžitě aplikovat, aniž by ztratili čas zbytečným modelováním na výrobku se špatným vzhledem.

Dnes existuje mnoho systémů pro realistické zobrazení součástí. Nejčastěji používané 'velké' CAE systémy mají produkt pro rendering již zabudovaný. V případě diplomové práce byl použit interní CATIA modul Rendering Studio. Tento produkt nabízí standardní funkce pro definování a práci s obrazem. Obsahuje cca 300 předefinovaných textur - kovy, dřeva, stavební materiály i vnější prostředí. Rendering ve vysoké kvalitě (600 DPI) je aplikací vysoce náročnou na interní i externí paměť a procesorový čas, proto se zpravidla spouští přes noc, kdy není počítač využit jinak.

Před započítím renderingu je zapotřebí definovat scénu. Scéna pro rendering sestává z následujících komponentů:

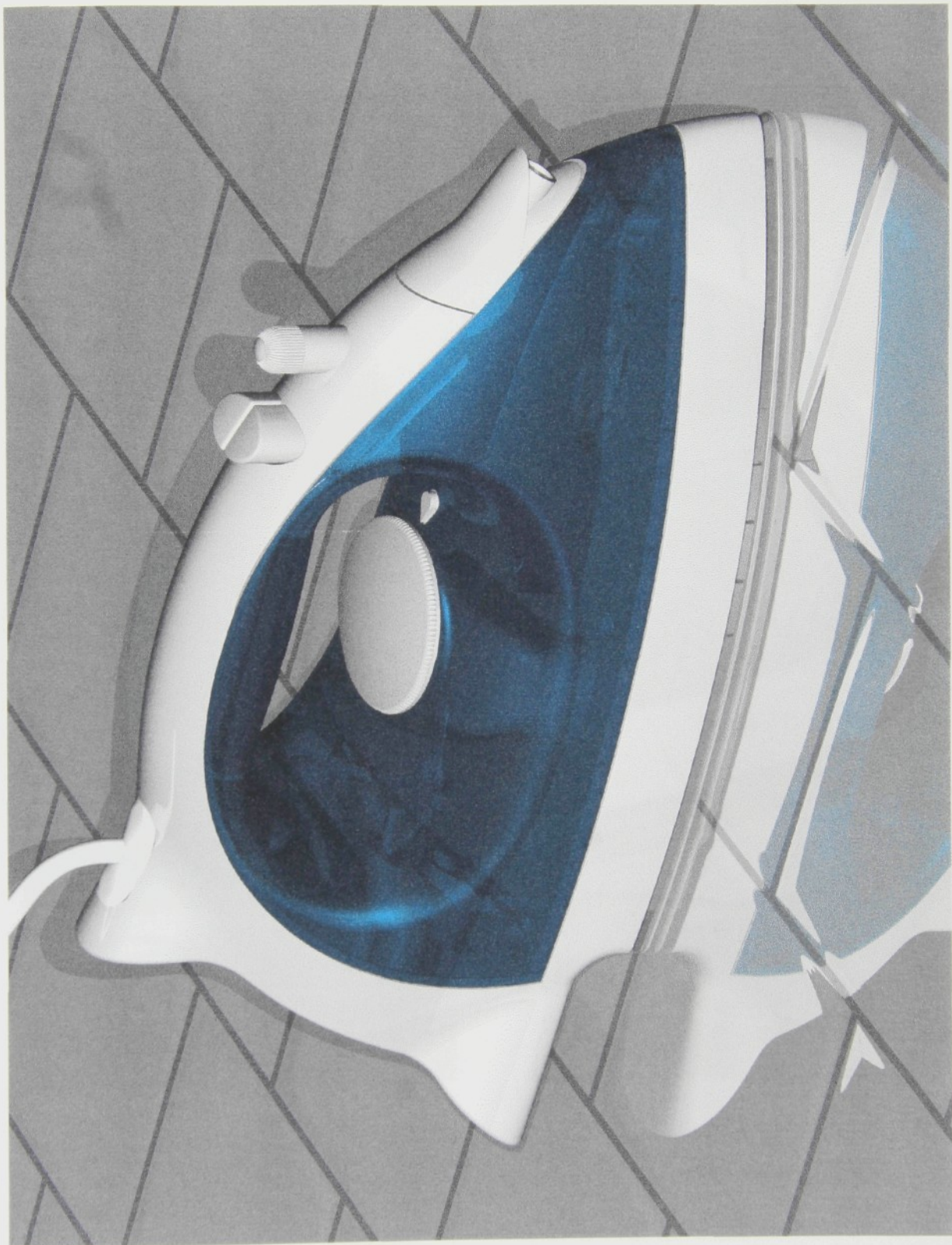
- Model s přiřazenými texturami, případně 2D textury namapované na model (náписы, loga ...)
- Jedna nebo více kamer - kamerou je definován směr pohledu na model, případně perspektiva. CATIA umožňuje použít i širokoúhlou kameru tzv. rybí oko.
- Jeden nebo více světelných zdrojů - standardní zdroje jsou bodový, kuželový, válcový a rozptýlené světlo ekvivalentní přirozenému slunečnímu světlu. U světelných zdrojů je možné definovat jejich barvu, sílu a vzdálenost, ve které dochází ke slábnutí světla.
- Prostředí kolem modelu - tj. model může být umístěn do prostředí různých předváděcích místností, na neutrální pozadí nebo do přírodního prostředí.

Pro kvalitu renderingu není rozhodující pouze rozlišení obrázku, ale také to, jak je nastaven styl. CATIA dává možnost určit, které světlo se podílí na tvorbě stínů a které ne, dále pak definovat kolik světelných paprsků se podílí na tvorbě jednoho pixelu, možnost aktivovat ray-tracing - metodu sledování paprsku odraženého do oka, a hloubku průniku paprsku tj. kolika průsvitnými vrstvami projde, než se přestane používat ve výpočtu.

Kromě statických obrázků se dají nadefinovat i animační obrazové série. Často používanou je animace na otočném stole. Kamera i světelné zdroje jsou staticky umístěny a model se otáčí kolem předdefinované osy. Kromě této animace se dá použít 'průletu' kamery po definované křivce, pohybu světla i modelu. Renderování takovýchto serií pro efektivní práci vyžaduje použití renderovacího serveru - výkonného počítače, na kterém výpočet probíhá, zatímco pracovník dále může bez omezení pracovat.

Na obr. 14,15 jsou ukázány výsledky renderingu v kvalitě 300 Dpi. Jeden obrázek TIF formátu A4 má velikost cca 22 Mb. Z důvodu nedostatku místa a nedostupnosti kvalitnější tiskárny nebyly počítány obrázky s větším rozlišením.

Další údaje - časová náročnost (doba)



Obr. 14 - Rendering s přiřazenými texturami



Obr. 15 - Rendering s přiřazenými texturami

8. Výroba prototypů

Ve výrobní sféře je vysoká produktivita dosahována rychlým a levným zavedením produktu od první myšlenky na trh. Technologie rapid prototyping tomuto procesu velice pomáhá. Automatizuje převod 3D počítačového modelu součásti do jeho fyzického modelu. Fyzický model součásti tak může existovat již dříve ve výrobním cyklu a potřebné změny se mohou aplikovat rychleji. Typický prototyp je vyroben metodou rapid prototyping v průběhu řádově dnů od rozhodnutí, zatímco jeho výroba za použití klasických technik by trvala týdny či měsíce.

Výrobní procesy se dají rozdělit do tří kategorií : ubírací, přidávací a kompresní. V ubíracím procesu je materiál oddělován z bloku, aby se získal konečný tvar. Přidávací proces spočívá v přidávání částic nebo vrstev materiálu, ze kterých se staví výsledný prototyp. Kompresní proces formuje plastický či tekutý objekt do konečného tvaru, ve kterém je vytvrzen. Většina konvenčních metod výroby prototypů spadá do kategorie ubírací. Jsou to procesy jako frézování, soustružení, broušení. Tyto obráběcí metody se velice těžko aplikují na součásti, které mají malé vnitřní kapsy nebo velice komplexní geometrii. Kompresní metody - také konvenční - zahrnují například odlévání nebo lisování.

8.1 Konvenční metody výroby prototypů

Obráběcí metody výroby prototypů by neměly být podceňovány. Pro jednodušší tvary stále zůstávají nejjednodušší a nejlevnější alternativou výroby prototypu. K jejich použití ve velké míře přispívá podpora výrobců obráběcích strojů. Někteří výrobci (Light machines corporation, Roland digital group) se věnují výrobě speciálních malých CNC frézek pro výrobu prototypů, které mohou být postaveny přímo v projekční kanceláři na stole. Jsou schopné obrábět např. ABS, kompozity, dřevo, hliník a mosaz. Dostupné jsou i soustruhy tohoto typu, ale jejich použití není příliš rozšířeno vzhledem k velké jednoduchosti výroby soustružených prototypů.

Z metod pro kompresní kategorii by měla být zmíněna metoda výroby nářadí nástřikem kovu. Tato metoda není nová, ale současné zlepšení ji řadí do popředí zájmu. Hlavní pole jejího využití leží ve výrobě prototypů forem pro vstřikování plastů. Na počátku je model součásti ze které bude tvořena forma. Model je připevněn na dělicí rovinu a nástřikán separačním přípravkem. To zajišťuje lepší přilnutí a vyjmutelnost kovové vrstvy po dokončení procesu. Na celou sestavu je potom nanesena vrstva zinkové slitiny metodou tavení v elektrickém oblouku. Tato vrstva je po dosažení potřebné tloušťky sejmuta z modelu a její zadní část vyplněna. Pro vakuové tváření a reakční vstřikování se používá výplň z epoxidové pryskyřice plněné hliníkem, pro vstřikování plastů nízkotavitelná slitina. Takto vyrobená forma má podle typu aplikace životnost řádově tisíce kusů. ✕

8.2 Rapid prototyping

Metody rapid prototyping velice úzce souvisí s CAD systémy, protože ke tvorbě prototypu se používají přímo CAD data modelu. Je tvořen fyzický duplikát elektronické formy modelu. Jakákoli nepřesnost geometrie modelu se projeví přímo na nepřesnosti nebo nevyrobitelnosti prototypu. Upřednostňuje se přitom model objemový před plošným. Plošné modely často nemají zachovanou geometrickou kontinuitu na hranicích jednotlivých ploch, což působí problémy. Dá se říci, že provozování stroje pro rapid prototyping je podmíněno současným užíváním dostatečně výkonného CAD systému pro přípravu dat. Toto jsou nejčastěji užívané systémy:

- CATIA
- I-DEAS
- Unigraphics
- Pro/Engineer
- Alias Designer
- Euklid

CAD data jsou pro stroj převedena do formátu STL souboru. Toto je standardní průmyslové rozhraní mezi CAD objemovým modelem a daty pro rapid prototype systémy. Formát .STL byl vyvinut firmou Albert Consulting Group pro první stereolitografický stroj od 3D Systems, Inc. Formát .stl sestává z x,y,z souřadnic bodů, které reprezentují vrcholy trojúhelníků. Vzniká tak plošná trojúhelníková síť stejná jako pro analýzy metodou FEM. Dokonce automatické generátory sítě na geometrii jsou převzaté z FEM pre-procesorů. Tvorba vhodné sítě má největší vliv na výrobu prototypu. Zatímco rovinné plochy jsou aproximovány trojúhelníky zcela přesně, problém nastává na zakřivených plochách a radiusech. Je proto potřeba najít rozumný kompromis mezi velikostí vytvořeného STL souboru a přesností modelu. Zpravidla se proto používá tvoření sítě v závislosti na odchylce jednotlivých trojúhelníků od tvaru. Na málo zakřivených a roviných plochách jsou generovány trojúhelníky velké, zatímco v kritických místech je síť patřičně zjemněna.

Ukázka struktury STL souboru pro stroj SLA-250 od 3D Systems:

SOLID OVLADACI KOTOUCEK

FACET NORMAL -2.544410E-04 9.999999E-01 -3.860074E-04

OUTER LOOP

VERTEX 3.366910E+01 1.663587E+01 4.729196E+00

VERTEX 3.343639E+01 1.663513E+01 2.966040E+00

VERTEX 3.179068E+01 1.663497E+01 3.634288E+00

ENDLOOP

ENDFACET

FACET NORMAL -2.544410E-04 9.999999E-01 -3.860074E-04

OUTER LOOP


```

VERTEX 3.366910E+01 1.663587E+01 4.729196E+00
VERTEX 3.179068E+01 1.663497E+01 3.634288E+00
VERTEX 2.908092E+01 1.663470E+01 4.729197E+00
ENDLOOP
ENDFACET

```

V závislosti na geometrii součásti a použité metodě rapid prototyping je někdy potřeba použít podpůrnou strukturu pro tvorbu součásti. tato struktura drží součást na daném místě a brání jejímu posunu či případnému zhroucení. Systémy založené na laserovém vytvrzování fotopolymeru tvoří tyto struktury nezávisle na součásti. Jsou to obvykle tenké stěny uspořádané v síti nebo mřížce. Pro generaci těchto podpůrných struktur existuje několik programů. Je to např. Bridgeworks od Fy. Solar Concepts, který přímo analyzuje STL data a vyhodnocuje potřebnost podpůrné struktury.

8.2.1 Klasická stereolitografie od fy. 3D Systems

Metod pro rapid prototyping, ať odvozených od stereolitografie, nebo na jiném základě, existuje dnes velké množství. Není v možnostech rozsahu této diplomové práce postihnout všechny, proto se blíže podíváme pouze na metodu a stroje průkopníka v této oblasti - firmy 3D Systems.

Stereolitografie je proces vyvinutý v roce 1984 Charlesem Hullem. Patent na tento systém byl vydán v roce 1986. První stereolitografický stroj byl představen v listopadu 1987.

Firma nyní nabízí tři základní typy strojů lišící se velikostí: SLA-190, SLA-250 a SLA-500 v ceně od cca 100 000 do 400 000 USD. Nejrozšířenější je prostřední z řady, který má pracovní prostor krychli o hraně asi 25 cm.

Princip stereolitografie: Základem je laser generující záření, které vytvrzuje tekutý fotopolymer ve vaně vrstvu po vrstvě, až je z jednotlivých vrstev sestavena celá součást. Pro menší stroje se používá laser helium - kadmium, pro větší výkonnější iontový argonový. Laserový paprsek je zaměřován soustavou zrcadel poháněných přesnými servomotory. Průměr zaměřeného laserového svazku je asi 0,1 mm. Proces začíná s vanou plnou fotopolymeru a stolem těsně pod hladinou. Software stroje analyzuje vložený .stl soubor a 'nařeže' elektronický model na jednotlivé plátky tlusté 0,1 až 0,5 mm. Přímou na pracovním stole se vytvrdí první plátek působením laseru, stůl se ponoří pod hladinu a opět vynoří. Stěrka setře přebytečný fotopolymer a zarovná vrstvu na konstantní tloušťku. Proces pokračuje, dokud není součást hotova. Po dokončení součásti a vyjmutí je nutné vytvrdit zbytky tekutého fotopolymeru zachyceného v součásti. Při vytáhnutí z vany je vytvrzeno 70 - 96% polymeru. Post-vytvrzení se provádí v tzv. ultrafialové peci, kde součást zůstane cca 30 minut, než je zcela hotova.

Cena součástí zhotovovaných stereolitografických prototypů závisí na jejich objemu. Čím je součást objemnější, tím laser potřebuje delší čas na vytvrzení každé vrstvy a zvyšuje se spotřeba fotopolymeru. Cena fotopolymeru se pohybuje v současné době okolo 130 USD za litr. Proto je

stereolitografie vhodný nástroj pro výrobu malých, tenkostěných nebo velice komplexních součástí. Pro výrobu masivních modelů, které je možné jednoduše obrobit na frézce na několik upnutí se pro svoji nákladnost zatím příliš nehodí.

8.3 Výroba prototypu na 3-osé vertikální NC frézce

Z předchozí charakteristiky vyplývá, že pro výrobu prototypu žehličky je nejvhodnější použít na tělo žehličky frézování a na ovládací prvky stereolitografii. Bohužel vzhledem k nedostupnosti kapacit stereolitografie v ČR byl původní záměr změněn a ovládací prvky byly domodelovány ručně. Jako vhodný materiál pro výrobu bylo vybráno tzv. 'umělé dřevo', což je polymer na bázi epoxidové pryskyřice. Je dodáván jak v hotových hranolech, tak i v tekutém stavu. Jeho cena je asi 200 Kč za litr. Použitý materiál má výbornou obrobitelnost, neštípe se ani se netaví a je leštitelný do vysokého lesku. Pro zrychlení výrobní fáze a minimalizaci potřebného strojního času byl předlit polotovár s dřevěným jádrem, aproximující tvar výrobku a o 10 až 30 mm větší. Pro vytvoření NC programů byl použit modul CATIA na obrábění, nazvaný Surface Machining Programmer. Použitý postprocesor pro řídicí systém ULTIMAX strojů HURCO byl nadefinován podle charakteristik řídicího systému v dalším modulu - Post Processor Builder.

8.3.1 Obráběcí strategie

Podle tvaru součásti bylo rozhodnuto ji obrobit jako jeden celek na tři upnutí. Toto rozhodnutí vycházelo z analýzy tvaru vzhledem k obrobitelnosti ploch v dané pozici. Při prvním upnutí se obrábí zadní čelo žehličky, při druhém pravý a při třetím levý bok. Tvar žehličky bude upnut za desku, přišroubovanou na spodní ploše. Po obrobení se tato dřevěná deska sejme.

Z nástrojů, které byly k dispozici v libereckém podniku Ferex nástrojárna, jsem vybral 3 nástroje vhodné pro obrobení modelu:

- | | |
|----|--|
| T1 | pro hrubování čtyřbřitá fréza průměr 32 mm, R5 |
| T2 | pro předčištění kulová fréza průměr 16 mm |
| T3 | pro dokončení kulová fréza průměr 10 mm |
| T4 | pro vytvoření dělicí drážky, naznačující do hloubky 0,3 mm změnu materiálu, tenká kulatina sbroušená do tvaru čtyřbokého jehlanu |

Jako hrubovací strategie byly vybrány průjezdy v postupných rovinách, vnější tvar nájezd v obráběné rovině, pro vnitřní kapsy plunge-in (zajetí do materiálu) spirálovým vjezdem. Vzdálenost rovin 2 mm, vzdálenost jednotlivých průjezdů 14 mm, 1 mm zbytkového materiálu. Pro předčištění bylo zvoleno konturování v postupných rovinách vzdálených 0,5 mm, zbytkového materiálu 0,3 mm. Vlastní čištění pak

bylo provedeno jako průjezdy tam-zpět se vzdáleností průjezdů 0,3 mm. Tyto strategie zaručují poměrně vysokou kvalitu povrchu modelu.

Po konzultaci byly pro jednotlivé nástroje zvoleny následující otáčky a posuvy:

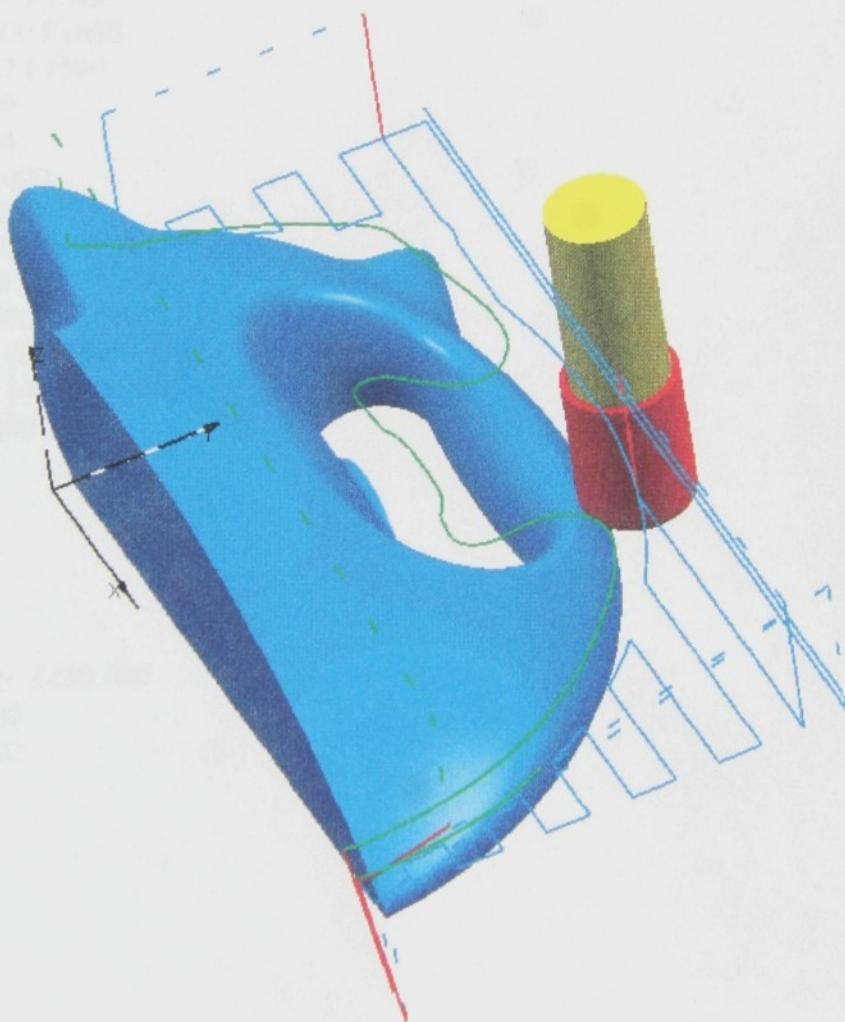
T1 S3500 F2200 (S [ot/min], F [mm/min])

T2 ... S5000 F3000

T3 ... S5000 F3000

T4 ... S6000 F2000

Podle zvolených obráběcích strategií CATIA generuje dráhy nástrojů a ukládá je do souboru s formátem APTSOURCE. Během generace se automaticky provádí kontrola možných kolizí se součásti i s upínkami. Dalším krokem je objemová vizualizace obráběcího procesu. Tato vizualizace byla provedena modulem VERICUT externě k systému CATIA dodávaným. Samozřejmostí je dnes již automatický výpočet čistého obráběcího času, tj doby po kterou nástroj obrábí + doby potřebné pro přejezdy.



Obr. 14 - Verifikace obráběcího kódu

Různé barvy drah nástruje na obrázku reprezentují různé hodnoty posuvů. Pro závěrečný konturovací průjezd u hrubování je je posuv zmenšen na 2/3 hodnoty. Přerušované čáry reprezentují přesuny rychloposunem.

Ukázka struktury NC programu pro řídicí systém Ultimac:

% OBRABENI LEVE STRANY

N1 G71 M25

N1 G90 G17 G40

N1 M06 T01

N1 S6000 M03

N2 G0 X30.000 Y5.000 Z90.000

N3 G1 X-71.000 Y-30.000 Z72.439 F1000

N4 G1 Z69.014

N5 X-80.000 F1500

N6 X-210.000 F1050

N7 Y-31.057 F1500

N8 X-80.000

N9 Y-32.114

N10 X-210.000

N11 G0 Z72.439

N12 G0 X-71.000 Y-30.000

N13 G1 Z68.028 F1000

N14 X-80.000 F1500

N15 X-210.000 F1050

N16 Y-32.114 F1500

N17 X-80.000

..

..

..

..

..

..

N56785 G91 Z150.000

N56786 M05

N56787 M02

E

Na obr. 17 je barevná fotografie obrobeného modelu žehličky po sejmutí z upínací desky. Po použití výše uvedených obráběcích strategií je vidět dobrá kvalita povrchu. Před barvením modelu stačilo jemné přebroušení brusným papírem zrnitosti 600 a vyleštění. Dílčí problém nastal pouze na horní straně držadla, kde došlo k odloupení nekvalitně přilepené vrstvy polymeru. V tomto místě bylo nutné vytmelení a následné dobroušení do tvaru. Na fotografii je dobře znatelná dělicí linka pro rozdělení míst s různým materiálem.



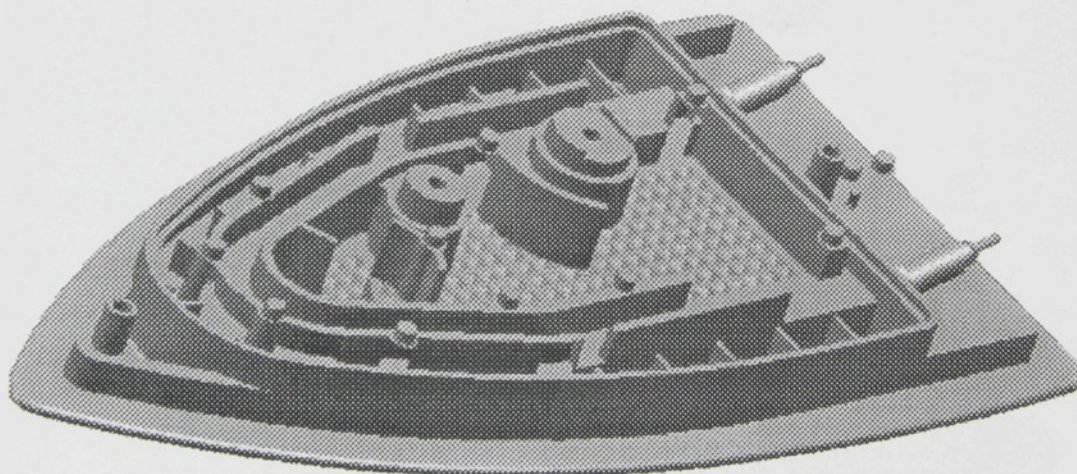
Obr. 17 - Fotografie obrobeného modelu

9. Výpočet rozložení teplot na žehlicí ploše

Další výhodou existence 3D počítačového modelu je přímá možnost provádět počítačové analýzy a simulace chování produktu. Dříve bylo provedení výpočtů - ať již mechanických nebo tepelných - na specialistovi-analytikovi, který měl dostatečné znalosti nutné k tvorbě sítě konečných prvků a zadání správných okrajových podmínek. Dnes jsou již automatické i poloautomatické generátory prostorových i plošných sítí nedílnou součástí moderních CAE systémů.

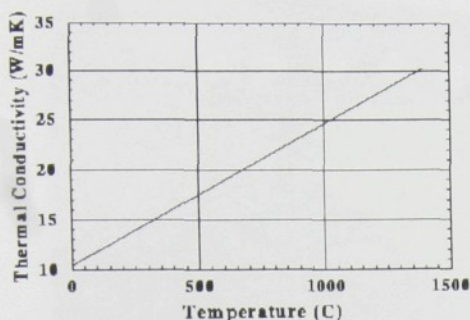
Jako ukázka komplexní provázanosti CAE byl v diplomové práci řešen také ohřev žehlicí plochy na danou teplotu to okamžiku vypnutí termostatu. Řešení bylo provedeno na žehlicí ploše z pochromované nerezové oceli, která je zobrazena na obrázku 18. Vzhledem k tomu, že celý výpočet je pouze ukázkou možností, byly učiněny zjednodušující předpoklady, které mohou mít velký vliv na kvalitu výsledků.

- tepelná vodivost nerezové oceli je brána jako konstanta pro region teplot 20 - 150 °C
- tepelný výkon topného tělesa je brán jako rovnoměrně rozložený po celé délce
- přestup tepla do okolního vzduchu je zanedbán
- chromová vrstva na povrchu plochy je zanedbána



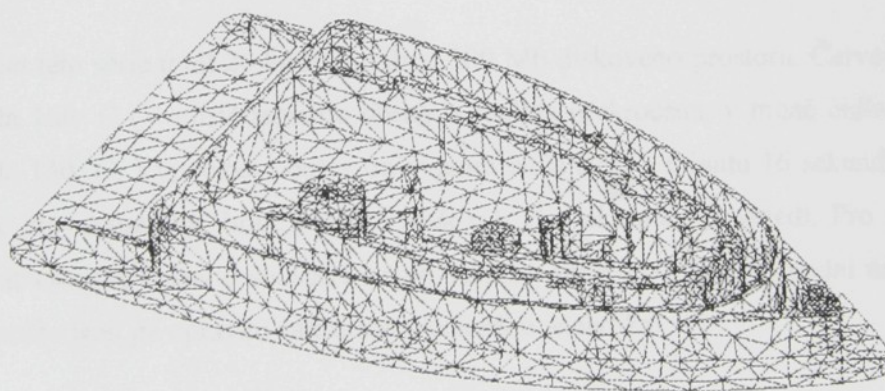
Obr. 18 - Model žehlicí plochy

Tepelná vodivost nerezové oceli závisí lineárně na teplotě podle vzorce : $k = 13,651 + 0,01434 T$,
T ve stupních Celsia, k ve W/m/K
Pro řešení ohřevu plochy na teplotu 150 °C byla použita hodnota 14,2 W/m/K
Topné těleso má příkon 1200 W.



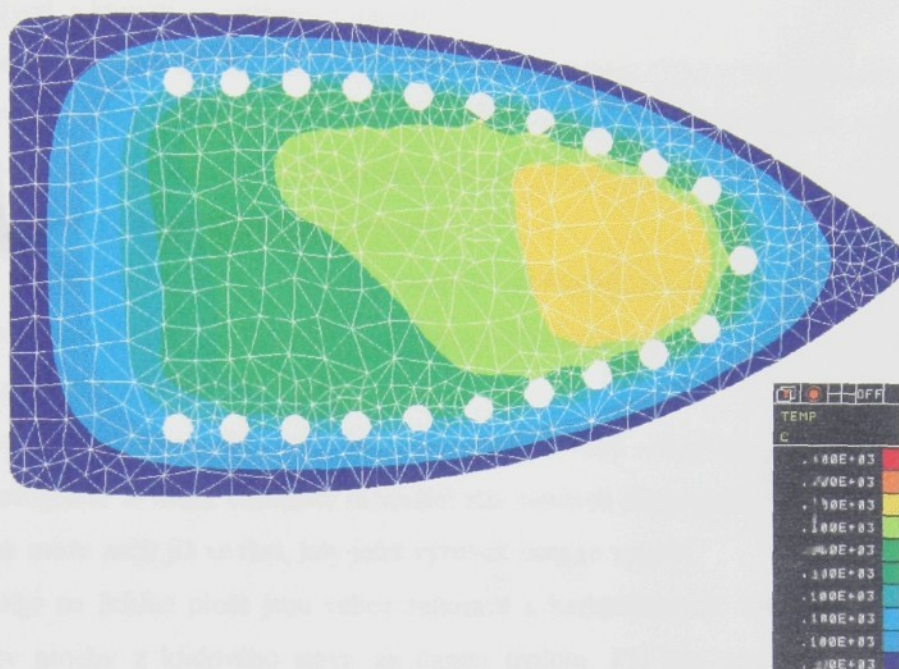
Obr. 19 - Graf závislosti tepelné vodivosti použité oceli na teplotě

Na modelu žehlicí plochy byla automatickým generátorem sítě vytvořena síť konečných prvků. Použité prvky byly typu TE-10 TH, objemový parabolický čtyřstěn pro tepelné analýzy. Síť byla tvořena podle následujících kritérií : maximální velikost prvku 5 mm, maximální přípustná geometrická odchylka prvku od tvaru 0,8 mm. Vznikla tak síť 15 225 konečných prvků s celkem 27 954 stupni tepelné volnosti v uzlech. Takto vygenerovaná síť je zobrazena na obrázku 20.



Obr. 20 - Síť konečných prvků na žehlicí ploše

Automatická generace zobrazené sítě trvala 26 sekund. Jednotlivé uzly sítě v místě topné spirály byly rovnoměrně zatíženy tepelným výkonem a na této síti byl počítán ohřev až do vypnutí termostatu, tj. dosažení teploty 150 stupňů Celsia v místě umístění čidla. Tento časový úsek byl rozdělen na 20 intervalů a vytvořena animační série ohřevu. Výsledky rozložení teploty na spodní části plochy jsou na obrázku 21.



Obr. 21 - Výsledné rozložení teplot při vypnutí termostatu

Výpočet této série trval 26 hodin a zabral 300 Mb diskového prostoru. Červená barva na barevné mapě odpovídá 160 °C (V místě topného tělesa je teplota překročena, v místě čidla je 150 °C). Modrá barva odpovídá 130 °C. Vypočítaný ohřev do vypnutí čidla trval 1 minutu 16 sekund. Po vypnutí ohřevu se teploty dále zrovnoměrnují, hraje zde ale větší roli vliv okolního prostředí. Pro přesnější analýzy je zapotřebí získat více informací o soustavě (např. vlhkost okolního vzduchu, vodní náplň v těle žehličky, atd.). Tyto výpočty jsou již opravdu záležitostí zkušeného analytika.

10. Zhodnocení výsledků

V diplomové práci byl úspěšně splněn úkol zadaný podnikem ETA, tj. tvorba CAD modelu vnějších ploch nového modelu žehličky podle návrhu designéra. Podařilo se ověřit vhodnost nasazení CAE systému CATIA do této etapy vývoje. Dalšího zkvalitnění a zrychlení práce by bylo možné dosáhnout dřívějším vstupem výpočetní techniky do procesu tvorby. Bylo možné změny uskutečňované na sádrovém modelu provádět přímo v prostředí CAD a ušetřit tak čas designéra, protože změny počítačového modelu se dají provádět rychleji. Jak vyplynulo v průběhu tvorby, stačí jeden designér i při velice úzké spolupráci pro vedení nejméně třech zkušených konstruktérů.

Důvodem pro modelování sádrových modelů až do konečného tvaru bylo přání managementu podniku ETA vidět a schválit model pře samotným započítáním konstrukčních prací. Toto je samozřejmě velice rozumný důvod, s kterým se nedá polemizovat.

Časová úspora získaná důsledným nasazením CAD je značná. Celý proces převodu návrhu k CAD modelu a jeho obrobění trval 10 dní. Další dva dny probíhaly práce na modelování ovládacích prvků. Cesta od první myšlenky do předání kompletní dokumentace a NC programů na formy do výroby trvala pouze 5 měsíců oproti 2-3 x delší době při klasickém postupu.

Obrobění modelu na NC frézce i použitý materiál se ukázaly vhodnou a levnou alternativou výroby makety. Po převodu návrhu do CAD prostředí je výroba fyzického modelu nezbytná vzhledem k nutnosti posouzení vzniklých změn a vhodné ergonomie výrobku.

Počítačový výpočet fotorealistického zobrazení dává do ruky velice mocnou zbraň marketingovému oddělení firmy. Fotografie se může okamžitě stát součástí propagačních materiálů. Marketingové reklamní tažení tak může začít již ve fázi, kdy ještě výrobek není ve výrobě.

Tepelné děje na žehlicí ploše jsou velice zajímavé a komplikované. Proto byl v diplomové práci řešen pouze ohřev plochy z klidového stavu na danou teplotu. Při této analýze byly učiněny značná zjednodušení - např. tepelná vodivost oceli brána jako konstanta pro určitý region teplot. Nicméně i přes učiněná zjednodušení výsledek ukázal dobrou korelaci s naměřenými hodnotami. Problém ohřevu plochy a teplotních dějů při napařování a žehlení je tématem pro samostatnou diplomovou práci, kterou navrhuji jako pokračování.

Poznámky: