

Metody oprav plošných konstrukcí v systému CATIA V5

Bc. Martin Halaška

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Martin Halaška

Osobní číslo: T12675

Studijní program: N3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Konstrukce technologických zařízení

Forma studia: prezenční

Téma práce: Metody oprav plošných konstrukcí v systému CATIA V5

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování teoretické studie zaměřené na popis technologií a programů využitých v práci**
- 2. Provedení úprav zadaných dílů s využitím modulu Healing Assistant**
- 3. Návrh tvarových dutin formy s využitím modulu Core and Cavity Design**
- 4. Vytvoření postupů oprav povrchu na modelových příkladech**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Luboš Rokyta
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: HALÁŠKA MARTIN


Obor: KTZ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 5.5.2014


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výděлку jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výděлку dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá metodami oprav chyb plošných konstrukcí na základě nekompatibility modelů vytvořených v různých CAD softwarech, chybami při konstrukci, případně z jiných důvodů. Byly zadány tři chybné součásti, které byly pomocí modulu *Healing Assistant* opraveny. Pomocí opravených součástí byly dále vytvořeny tvarové dutiny v modulu *Core & Cavity Design*. Postup oprav společně s tvorbou dutin je zpracován jako manuál.

Klíčová slova: CAD systémy, CATIA V5, *Healing Assistant*, *Core & Cavity Design*, modelování

ABSTRACT

This thesis deals with methods of bug fixes of plate structures on the basis of incompatibility of models created in different CAD softwares, mistakes committed during the construction or for any other reason. There were given three faulty components which have been repaired using the *Healing Assistant* module. With the help of repaired components were then created shaped cavities in the module *Core & Cavity Design*. The repair procedure along with the creation of cavities is processed as manual.

Keywords: CAD systems, CATIA V5, *Healing Assistant*, *Core & Cavity Design*, modeling

Děkuji panu. Ing. Luboši Rokytovi, Ph.D. za jeho podněty a rady, které mi poskytl při zpracování diplomové práce a za čas, který mi během zpracování věnoval.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 OBECNĚ O MODELOVACÍCH SOFTWARECH	12
1.1 SYSTÉMY CAD	13
1.2 HISTORIE CAD.....	13
1.3 SOUČASNOST CAD	14
1.4 ROZDĚLENÍ CAD	15
1.4.1 Malé CAD systémy	16
1.4.2 Střední CAD systémy.....	16
1.4.3 Velké CAD systémy.....	16
1.5 CAD PROGRAMY.....	17
1.6 DALŠÍ CA SYSTÉMY	18
1.6.1 CAPP (Computer Aided Process Planning).....	18
1.6.2 CAM (Computer Aided Manufacturing)	18
1.6.3 CAQ (Computer Aided Quality).....	19
1.6.4 CAE (Computer Aided Engineering).....	20
1.6.5 PPS (Production Planning Systém).....	20
1.6.6 CIM (Computer Integrated Manufacturing).....	21
1.7 PROČ POUŽÍVAT 3D CAD.....	21
2 CATIA	23
2.1 HISTORIE.....	23
2.2 OBECNÉ INFORMACE	23
2.2.1 CATIA V5.....	24
2.2.2 CATIA V6.....	24
2.2.3 Kompabilita verzí CATIA V5 a V6	25
2.3 VYUŽITÍ PROGRAMU CATIA.....	26
2.3.1 Pracovní prostředí CATIA	26
2.3.2 Oblasti použití CATIA	28
3 VYBRANÉ MODULY CATIA	30
3.1 GENERATIVE SHAPE DESIGN	30
3.2 CORE AND CAVITY DESIGN	31
3.3 HEALING ASSISTANT.....	32
4 MOŽNOST TVORBY PLOCH V JINÝCH CAD PROGRAMECH	35
4.1 SOLIDWORKS	35
4.2 AUTODESK INVENTOR	36
4.3 NX	36
4.4 SOLID EDGE	37
4.5 CREO.....	38
4.6 VISI CAD.....	39
4.7 ZW3D.....	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	42

5	CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	43
6	ZOBRAZENÍ A POPIS MOŽNÝCH CHYB VZNIKAJÍCÍCH NA DÍLECH	44
6.1	PLOŠNÝ DÍL	44
6.2	CHYBY VZNIKAJÍCÍ NA DÍLECH	45
6.2.1	Hodnota Merging distance	46
6.2.2	Chyby typu self-intersection edges	47
6.2.3	Chyby vznikající v souvislosti s orientací ploch.....	48
6.3	ZOBRAZENÍ CHYB VZNIKAJÍCÍCH NA DÍLECH	49
6.3.1	Check Topology	50
6.3.2	Check Geometry.....	52
6.3.3	Geometrical Display.....	54
7	ZVOLENÉ DÍLY	55
7.1	ZVOLENÝ DÍL 1.....	55
7.2	ZVOLENÝ DÍL 2.....	56
7.3	ZVOLENÝ DÍL 3.....	56
8	ÚPRAVA CHYB A DEFEKTŮ PLOŠNÝCH PRVKŮ.....	58
8.1	OPRAVA CHYB - FACE CHECKER	58
8.2	OPRAVA CHYB - SURFACE CONNECTION CHECKER.....	60
8.2.1	Duplicate, Embedded – Oprava	61
8.2.2	Multiple Connection – Oprava.....	62
8.3	OPRAVA VOLNÝCH STRAN.....	64
8.3.1	Local Join	67
8.3.2	Healing Operator	68
8.4	METODOLOGIE OPRAVY PLOŠNÉ SOUČÁSTI	70
9	TVORBA TVÁRNÍKŮ A TVÁRNIC V CORE AND CAVITY DESIGN	71
9.1	TVAROVÁ DUTINA DÍLU 1	71
9.2	TVAROVÁ DUTINA DÍLU 2.....	72
9.3	TVAROVÁ DUTINA DÍLU 3	73
10	VYTVOŘENÍ PRACOVNÍCH POSTUPŮ ÚPRAV PLOŠNÝCH PRVKŮ	74
	ZÁVĚR	75
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	76
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	79
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM PŘÍLOH.....	83

ÚVOD

Dnešní doba se neobejde bez počítačové podpory návrhu výrobku a nejen výrobku. Tzv. PLM (*Product Lifecycle Management* – správa životního cyklu výrobku) je informační platforma, která v sobě zahrnuje technické, výrobní i marketingové údaje o daném výrobku. Neustále se zvyšující požadavky zákazníka a důraz, který je kladen na součásti z pohledu složitosti tvaru a designu vyžaduje nejmodernější CAD vybavení firem, aby byly konkurence schopné. Pro tvorbu složitých tvarů se v široké míře uplatňuje plošné modelování.

Teoretická část této práce se zabývá obecně CAD systémy od historie až po současnost. Je konkrétně popsán software CATIA V5, který je použit pro řešení praktické části. Závěr teoretické části se věnuje CAD systémům, které umožňují plošné modelování. Je zde vidět trend, že stále více a více softwarů má tendenci obsahovat plošný modelář. Spolupráce mezi firmami znamená i převody dat mezi nimi, což sebou může přinášet nežádoucí problémy. Migrací dat, zejména plošných, může docházet k poškození, které je třeba efektivně řešit.

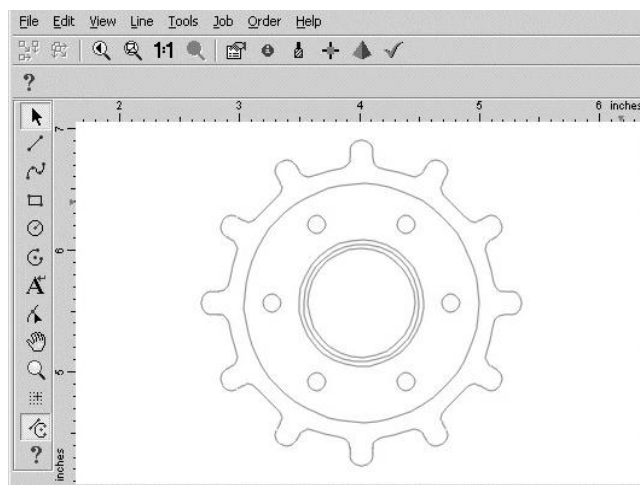
Praktická část popisuje, jaké chyby mohou na plošných součástech vznikat. Je popsáno jak pomocí modulu *Healing Assistant* systému CATIA V5 chyby analyzujeme a opravíme. Opravy jsou prakticky ukázány na třech poškozených součástech. Tyto součásti jsou opraveny a tvorbou tvarových dutin je pak názorně ukázáno jejich další použití. Tvarové dutiny byly vytvořeny v modulu *Core and Cavity Design* systému CATIA V5. Postup opravy a tvorby dutin je zpracován ve formě manuálu, který může sloužit jako podpora výuky softwaru CATIA.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBECNĚ O MODELOVACÍCH SOFTWARECH

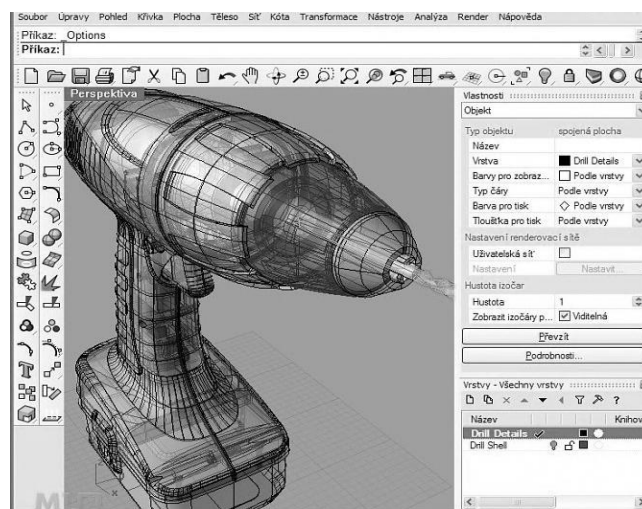
Bez konstrukčního modelování si dnešní svět nedovedeme představit. Modelování lze rozdělit na 2D a 3D modelování.

2D – tzv. dvojrozměrná grafika pracuje s dvojrozměrnými objekty (obrázky, text, geometrické 2D modely – čáry, křivky). Typickým využitím 2D modelování je zobrazení informací na počítačovém monitoru. 2D systémy odstraňují problémy, které vznikaly u ručního vypracování. Jedná se o umístění na výkresu a jednoduché odstranění případných chyb při tvorbě konečného návrhu.



Obr. 1. 2D CAD

3D – trojrozměrná grafika pracuje s trojrozměrnými objekty. 3D modelování začíná v počítačovém dříveku polygonového modelování a končí u současných nejmodernějších metod tvorby hladkých ploch organických tvarů.



Obr. 2. 3D CAD

1.1 Systémy CAD

CAD systémy (Computer Aided Design – počítačem podporovaná konstrukce) jsou programové nástroje určené pro použití v úvodních etapách výrobního procesu ve vývoji, konstrukci a technologické přípravě výroby. Oblast CAD je jen jednou součástí nasazení výpočetní techniky v průmyslu. Souhrnně je toto nasazení označeno CA technologie. Zkratka CAx znamená Computer Aided – počítačová podpora. CAx technologie znamenají účelné a maximální využití nasazení prostředků výpočetní techniky (technického i programového vybavení), které podporuje tvůrčí přístup uživatele (konstruktéra, technologa, výpočtáře a dalších profesí) při řešení úloh souvisejících s výrobním procesem.

Zkratka CAD – zahrnuje všechny programové nástroje určené pro proces konstruování. Znamená to, že slouží k návrhu a optimalizaci konstrukčního řešení.

CAD aplikace vždy obsahují grafické, geometrické, matematické a inženýrské nástroje pro kreslení plošných výkresů, modelování objektů a dějů reálného světa. Pokročilejší řeší výpočty, analýzy a řízení systémů (výroby, zařízení). [3], [6]

1.2 Historie CAD

Ještě před 40 lety byl téměř každý výrobní výkres na světě proveden tužkou nebo tuží na papíře. Drobné změny znamenaly vymazání a překreslování, zatímco velké změny často znamenaly obnovovat výkres od nuly. Pokud změna jednoho výkresu ovlivnila jiné dokumenty, které byly závislé na sobě, bylo třeba provést změny i u ostatních výkresů.

CAD zásadně změnil způsob, jakým se vytváří hotový design.



Obr. 3. Počítačová podpora návrhu integrovaných obvodů, 1967

V roce 1960, Ivan Sutherland použil TX-2 počítače vyrobené v MIT *Lincoln Laboratory* k produkci projektu s názvem SKETCHPAD (skicák), který je považován za první krok v CAD průmyslu. První CAD programy používají jednoduché algoritmy pro zobrazení vzorů čar nejprve ve 2D, a pak ve 3D.

První komerční aplikace CAD byly ve velkých společnostech v automobilovém a leteckém průmyslu. Pouze velké společnosti si mohly dovést počítače schopné provádět výpočty.

Jedna z nejvlivnějších událostí ve vývoji CAD bylo v roce 1971 založení MCS (výroba a poradenské služby). V roce 1971 Dr. PJ Hanratty napsal systém ADAM (automatické navrhování a ovládání). Jak se počítače postupem času stávaly cenově dostupnější, aplikační oblasti se postupně rozšiřovaly. Vývoj CAD softwaru pro osobní stolní počítače byl impulsem pro téměř univerzální použití ve všech oblastech konstrukce.

Klíčové produkty pro rok 1981 byly pevné modelovací balíčky – Romulus (ShapeData), Uni-Solid (Unigraphics) na základě PADL-2 a vydání modeláře CATIA (Dassault Systèmes). Autodesk založený v roce 1982 vedl ke 2D systému AutoCAD. Dalším mezníkem bylo vydání Pro/ENGINEER v roce 1988, který ohlašoval větší použití funkcí založených na metodě modelování a parametrickém propojení veličin funkcí. Začátkem roku 1990 byly vydány balíčky jako SolidWorks a TriSpective (později známý jako IronCAD). V roce 1996 Solid Edge a následně v roce 1999 Autodesk Inventor. [5], [6]

1.3 Současnost CAD

Na provoz CAD systému už dávno není potřeba speciální grafická pracovní stanice. V podstatě k výkonu dnes postačuje běžný kancelářský počítač s přiměřeně výkonnou grafickou kartou. Samozřejmě lepší monitor s uhlopříčkou nad 17 palců je pro takovou práci vhodnou investicí. Koupíme-li si počítač “jenom na hry“, tak výkonové požadavky budou určitě splněny. [4], [7]

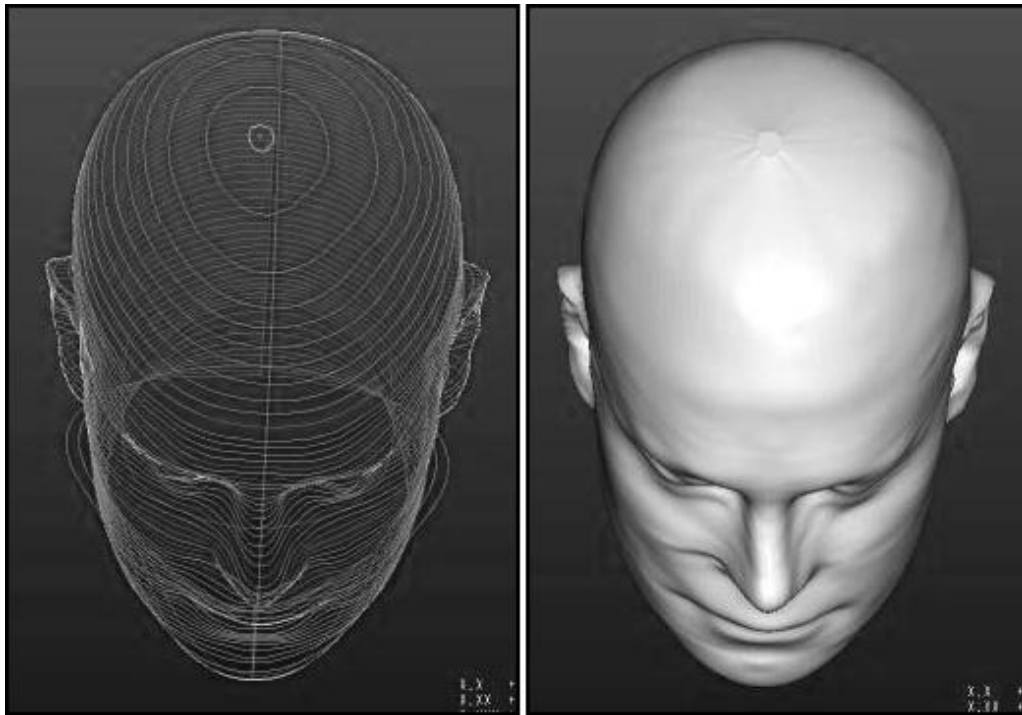
Současné CAD software se snaží svojí koncepcí nezatěžovat designera příliš speciálními znalostmi. Umožňuje tak tvůrčí síly soustředit především na samotný problém.

V dnešní době se v procesu konstruování plně využívá CAD systémů, což poskytuje tyto výhody:

- snadná spolupráce mezi zainteresovanými pracovníky
- snadná tvorba velkého počtu variant a modifikací návrhu
- využití optimalizačních metod

- dokonalý informační systém

Na obrázku 4. je model hlavy, který vznikl laserovým skenováním skutečné hlavy. Data v podobě křivek po proložení plochou rekonstruuji původní tvar. [4]



Obr. 4. Současnost CAD

1.4 Rozdělení CAD

Na trhu CAD systémů existuje poměrně široké zastoupení zahrnující jednoduché 2D CAD systémy až k rozsáhlým a komplexním 3D CAD systémům. Koupě konkrétního CAD systému musí předcházet důsledná analýza problémů, které mají být CAD systémem řešené. Do úvahy se musí brát případná integrace s existujícími CA systémy v podniku. Na otázku, jaký CAD systém je vhodný a který se nedoporučuje, není jednoduchá a rychlá odpověď.

Z hlediska přehledu jsou uvedené některé známé CAD systémy, s kterými je možné se střetnout ve strojařské oblasti. Podle rozsahu a účelu použití lze CAD systémy rozdělit do následujících skupin: [35]

- a) Malé CAD systémy
- b) Střední CAD systémy
- c) Velké CAD systémy

1.4.1 Malé CAD systémy

Malý CAD systém je relativně levný software řešící skicování a kreslení, tzv. tvorbu náčrtů. Jsou cenově nejpřípustnější a zpravidla nezacházejí za hranici 2D modelování. Představují spíše elektronické rýsování. Obsahují všechny editovací funkce potřebné pro tvorbu konstrukční výkresové 2D dokumentace. Často jsou na trhu dostupné různé nádstavby, které nejčastěji nabízí různé databáze normalizovaných součástek.

Ke známým CAD systému z této oblasti patří EasyCAD, DesignCAD, Autosketch, Corel Draw, AutoCAD LT a Technical Imager. Ceny těchto systému se pohybují řádově v desítkách tisíc korun. [35]

1.4.2 Střední CAD systémy

Do skupiny středních CAD systémů je možné zařadit také systémy, které podporují úplný 2D a částečný 3D design. Na vysoké úrovni jsou propracované 2D kreslicí nástroje (bod, úsečka, oblouk, kružnice, prsten, elipsa, mnohoúhelník, křivka, dvojité čára apod.), uchopovací režimy (střed, koncový bod, tangenta, kolmice, průsečík, kvadrant), editovací nástroje (pole, kopie, zrcadlení, zaoblení, zkosení, posun, ořezání, prodloužení, měřítko, natáhnutí, otočení), možnost práce v hladinách, velké množství typů čar, barev apod. Jsou doplněné o některé 3D nástroje jako např. vytvoření 3D modelu rotací anebo posunutím tvořící křivky, práci s B-spline křivkami a plochami, promítnutí křivky na určenou rovinu, modelování spirálové plochy apod. S možnostmi těchto systémů rostou nároky na výkon hardwaru a zvyšuje se stejně tak i jejich cena.

Mezi známé CAD systémy této třídy patří např. Microstation, FastCAD, Cadkey a AutoCAD. Ceny těchto systémů se pohybují řádově okolo sto tisíc korun. [35]

1.4.3 Velké CAD systémy

Velké CAD systémy jsou softwary umožňující modelovat ve 3D. Tyto systémy mají analogické modelování, kreslení, uchopovací nástroje a editační režimy jako předcházející střední CAD systémy. Rozdíl spočívá ale v tom, že práce se uskutečňuje v 3D prostoru. Příkladem známých systémů může být software Solidworks, SolidEdge a jiné. Velké CAD softwary disponují nejpropracovanějšími a nejvýkonnějšími modelovacími technikami, které dovolují skutečné počítačové 3D modelování. Mnohé výkonné CAD systémy jsou součástí velkých CAD/CAM systémů. Hlavním znakem velkých CAD systémů jsou následující charakteristiky:

- Modulární řešení CAD systému
- 3D parametrizace
- Asociativita

Přednost velkých CAD systémů spočívá v tom, že jsou pomocí celé řady modulů propojené tak, aby zabezpečovaly nejen návrhovou etapu, ale i etapu realizační – výrobní. Potom je potřeba hovořit o integrovaných CAD/CAM systémech. Mezi známé systémy této skupiny patří např. Creo a Catia. [35]

1.5 CAD programy

Všechny CAD systémy jsou nástroje. Tímto způsobem je k nim nutné přistupovat. Samotná znalost libovolného CAD systému v žádném případě nezaručí, že ten, kdo bude se systémem pracovat, bude dobrým konstruktérem. Nasazení CAD technologií přineslo kvalitativní posun v metodice konstruování. CAD systémy prošly několika vývojovými etapami. Všechny etapy byly dány vývojem výpočetní techniky: [3]

- sálové počítače dovozovaly vytvářet dvourozměrnou výkresovou dokumentaci
- pracovní stanice dokázaly vykreslit na vektorové obrazovce trojrozměrné objekty, jejichž tvary byly zadány souřadnicemi z klávesnice
- nástupem PC se zpřístupnila možnost vytváření výkresové dokumentace
- zvýšením výkonu PC bylo umožněno trojrozměrné modelování, převod modelů do výkresové dokumentace
- vizualizace a animace, připojení na internet

V následujícím seznamu jsou uvedeny nejrozšířenější CAD systémy, které jsou pro strojírenské účely na dnešním trhu k dispozici. [11]

- Autodesk – Autodesk Inventor
- Dassault Systemes – CATIA
- Dassault Systemes – SolidWorks
- Siemens PLM Software – NX
- Siemens PLM Software – Solid Edge
- Parametric Technology Corporation (PTC) – Creo

1.6 Další CA systémy

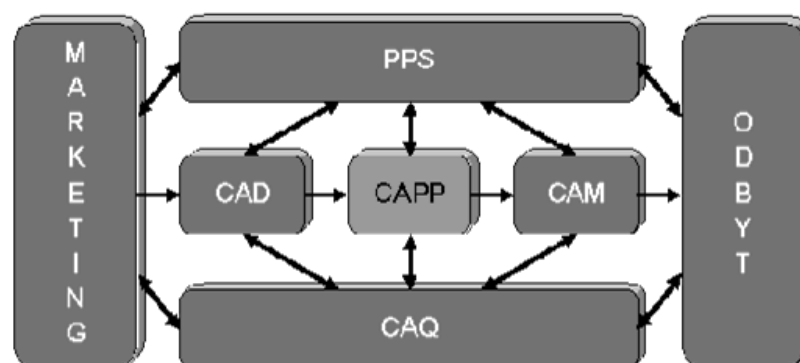
Jak bylo řečeno v kapitole o CAD, ve všeobecnosti se počítačem podporované systémy označují jako CAx nebo CA. Jde o programové systémy, které jsou aplikačně využity v konkrétní oblasti podniku.

I když existuje velké množství CA systémů, zmíněny budou jen ty nejznámější z nich, které převážnou mírou ovlivňují inženýrské činnosti, snižují náklady a zkracují časy potřebné na výrobu součástky. [35]

1.6.1 CAPP (Computer Aided Process Planning)

CAPP – reprezentuje počítačovou podporu při návrhu a tvorbě technické dokumentace. Na základě konstrukční dokumentace, respektive CAD dat, se navrhuje technologická dokumentace. V technologické dokumentaci jsou informace, které určují: CO se bude vyrábět, JAK (jaké výrobní metody), KDE (na jakém strojním zařízení), ČÍM (jakými nástroji, při jakém upnutí apod.) a za JAKÝCH podmínek (technologické podmínky). CAPP systému umožňují vytvářet různé formy technologické dokumentace (slovní, obrázkové technologické postupy, NC programy.

Výstupem CAPP systémů je technologická dokumentace, která slouží kromě potřeb samotné výroby i pro operativní plánování a řízení výroby. Většinou jsou CAPP systémy vytvářené v databázových systémech. CAPP systémy tvoří důležité propojení mezi CAD a CAM systémy – tj. mezi konstrukčním návrhem a samotnou výrobou. [35]



Obr. 5. Provázanost CAPP s ostatními CA systémy

1.6.2 CAM (Computer Aided Manufacturing)

CAM, česky počítačová podpora obrábění, je použití počítačů a počítačových technologií, které asistují při všech fázích výroby produktu.

Pomocí geometrie modelu, který byl vytvořen v CAD systému použitím CAM, umíme vygenerovat data pro jeho výrobu. V podstatě v CAM systému definujeme dráhu nástroje obráběcího stroje, který bude kopírovat tvar povrchu modelu vytvořeného v CAD. Na základě povrchového modelu se generují s pomocí CAM modulu systému data pro CNC stroj. Často jsou k dispozici analýzy a simulace pro vyvarování reálných budoucích kolizí nástroje ve stroji. Celý proces CAM programů je navrhován pro zkvalitnění výroby, především svými efektivními dráhami nástrojů s následnými kratšími strojními časy. Typickým představitelem CAM programu je např. Edgcam. [2], [11], [35]



Obr. 6. CAM (Computer Aided Manufacturing)

1.6.3 CAQ (Computer Aided Quality)

CAQ představuje počítačem podporovanou kvalitu, přičemž CAQ lépe vystihuje pojem počítačem řízená kvalita. Počítačové řízení kvality se prolíná se všemi CA systémy, protože řízení kvality se nechápe jen jako „výstupní kontrola“, ale jako neustálý proces ovlivňování a zlepšování kvality ve všech stupních realizace součástky. To znamená i v konstrukci a technologii, v samotné výrobě, během montáže a v jiných činnostech. Základem aplikování CAQ systémů jsou statistické metody. Jde o komplexní starostlivost kvality výrobku. V současnosti mají CAQ systémy velký význam obzvláště z hlediska dodržení norem třídy ISO 9000. [35]

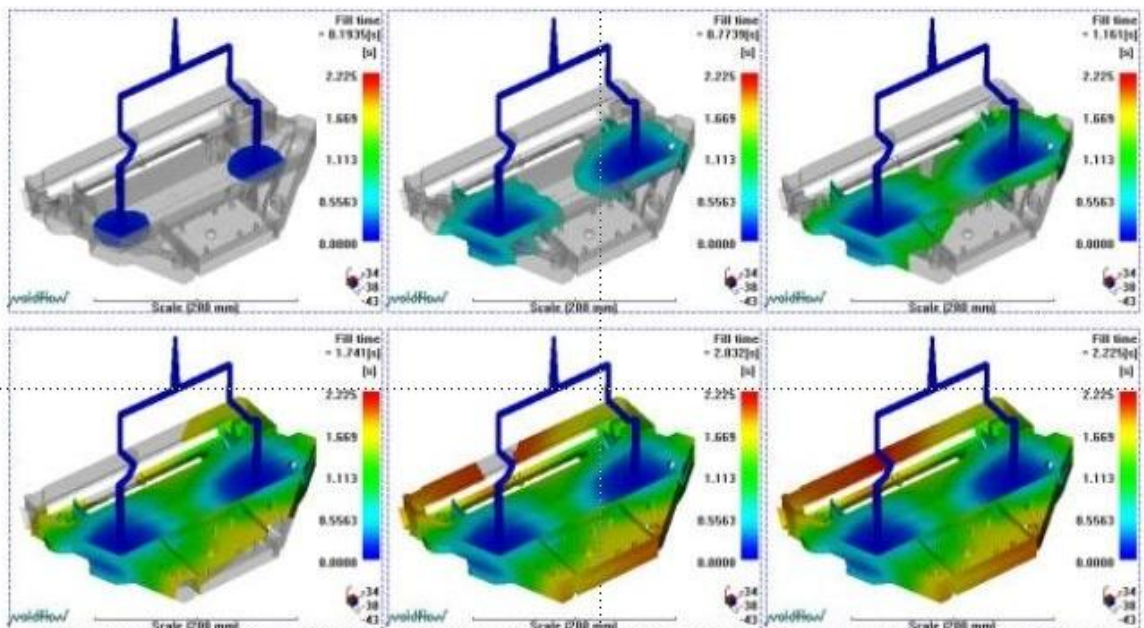
1.6.4 CAE (Computer Aided Engineering)

CAE česky počítačová analýza výrobku, nebo mechanismu. Obsahuje nástroje pro analýzy pevnostních výpočtů, kinematiky, simulací, ověřování a optimalizaci výrobku, popř. crash-testy pro automobilový průmysl nebo virtuální větrné tunely.

Ve spojitosti s názvem CAE je možné se setkat s různými kombinacemi pojmenování CA systémů jako CAD/CAE, CAD/CAM/CAE apod. Jde o vyjádření komplexnosti systému s důrazem na jeho možnost uskutečnit zmíněné výpočty a analýzy. [35]

Využití CAE:

- Analýzy proudění teploty a tekutiny
- Kinematika
- Mechanická simulace
- Analytické nástroje pro simulaci procesů jako je odlévání, lití a tváření
- Optimalizace výrobku nebo procesu



Obr. 7. CAE (Computer Aided Engineering) – ukázka programu MoldFlow pro optimalizaci vstřikování plastů

1.6.5 PPS (Production Planning Systém)

PPS systémy mají za úlohu plánování a řízení výroby tak, aby byla výroba optimální z kapacitního, ekonomického a časového hlediska. Jde o úlohy ekonomických kalkulací, vytváření optimální ročních, měsíčních a denních výrobních plánů s ohledem na výrobní kapaci-

ty výrobních zařízení apod. I když v názvu není přímo slovo computer, jsou v současnosti tyto systémy většinou podporované počítačem. Někdy se tyto systémy označují i jako CAPC (Computer Aided Production Control), nebo synonymem CAPM (Computer Aided Production Management). [35]

1.6.6 CIM (Computer Integrated Manufacturing)

CIM nepředstavuje systém, ale integraci systémů zúčastňujících se přímo anebo nepřímo na realizaci součástky. Je to pohled na integraci počítačem podporovaných systému ve všech etapách výroby. Jako základ pro širší integraci CA systémů v podniku se uvažují následující CA systémy: CAD, CAD/CAM, CAm, CAPP, CAQ a PPS systémy. [35]

1.7 Proč používat 3D CAD

Ten kdo chce být při vývoji výrobků v současnosti skutečně konkurenceschopný, neobejde se bez dostatečně vybaveného CAD systému. Pádých důvodů proč zvolit 3D software je spousta:

- Parametrizace – poskytuje navrhovaným prvkům rozměrovou a polohovou logiku. Úpravy geometrie se provádějí změnami zadaných parametrů a jsou zohledněny v kontextu celého návrhu.
- Asociativita – zajišťuje provázanost dat vztahujících se k návrhu mezi dokumenty v rámci různých modulů CAD systému, anebo mezi různými softwary, do kterých promítá provedené změny.
- Výpočty fyzikálních vlastností – automatické vyhodnocování rozměrových, objemových, hmotnostních a dalších parametrů, jež by bylo jinak obtížné vypočítat, zvláště u složitějších těles.
- Materiálové charakteristiky – možnost přiřadit dílčím částem návrhu vlastnosti reálných materiálů pomáhá při optimalizacích, např. z hlediska pevnosti, hmotnosti nebo dopadů na životní prostředí.
- Pevnostní analýzy – integrované nástroje pro pevnostní analýzy poskytují rychlou zpětnou vazbu, díky čemuž může konstruktér zdokonalit vlastnosti návrhu ještě před jeho předáním výpočtáři.
- Simulace provozních podmínek – okamžitá analýza zahrnující známé hodnoty deformací, zatížení, působících sil a omezení pomáhá předcházet nevhodným konstrukčním řešením už ve fázi návrhu.

- Navrhování plechových dílů – automatické počítání rozvinutých tvarů plechových prvků včetně simulace ohýbání znamenají výrazné urychlení práce a vyšší pracovní komfort než ve 2D.
- Analýzy kinematiky a kolizí – v reálním čase lze testovat kinematiku pohyblivých částí sestav a vyvarovat se nežádoucích kolizí dílů mezi sebou.
- Fotorealistické vizualizace – moderní 3D CADy zobrazují návrh vizuálně věrný skutečnému výrobku. Kromě jiného tak dovolují vyhodnotit působivost produktu na budoucího zákazníka.
- Automatická tvorba výkresů – výkresová dokumentace vzniká velmi rychle automatickým vygenerováním pohledů, řezů a tabulek, které vždy stoprocentně odpovídají stavu návrhu. [10]

2 CATIA

Program CATIA, vyvinutý firmou Dassault Systemes, je jedním z předních světových softwarových balíků CAD/CAM/CAE.

2.1 Historie

Vývoj softwaru CATIA začal v roce 1977. V té době výrobce letadel Avions Marcel Dassault vyvinul pro zákazníka CAD s názvem CATI (z francouzského Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive). Tento systém byl v roce 1981 přejmenován na CATIA, kdy společnost Dassault vytvořila dceřinou společnost s IBM, která se starala o vývoj a prodej softwaru.

V roce 1984 společnost Boeing Company vybrala CATIA V3 jako hlavní 3D CAD nástroj, což byl její největší zákazník té doby.

V roce 1988, CATIA V3 přešla ze sálových počítačů na systém UNIX.

V roce 1990 společnost General Dynamics Electric Boat Corp vybrala software CATIA jako hlavní 3D CAD nástroj pro návrh amerického námořnictva pro ponorku třídy Virginia. Také Boeing prodával od roku 1978 svůj Cadam CAD systém po celém světě prostřednictvím kanálu IBM.

V roce 1992 byl Cadam zakoupen společností IBM a příští rok byla zveřejněna CATIA V4.

V roce 1996 byl software portován na čtyři unixové operační systémy: IBM AIX, Silicon Graphics IRIX, Sun Microsystems SunOS a Hewlett – Packard HP – UX.

V roce 1998 byla spuštěna CATIA V5 s podporou UNIX, Windows NT a Windows XP (od roku 2001).

V roce 2008 byla spuštěna verze CATIA V6, která podporuje funkčnost na libovolném operačním systému.

V listopadu 2010 CATIA zahájila V6R20, nejnovější verzi platformy PLM2.0, přičemž software CATIA V5 je stále podporován a zlepšován. [9]

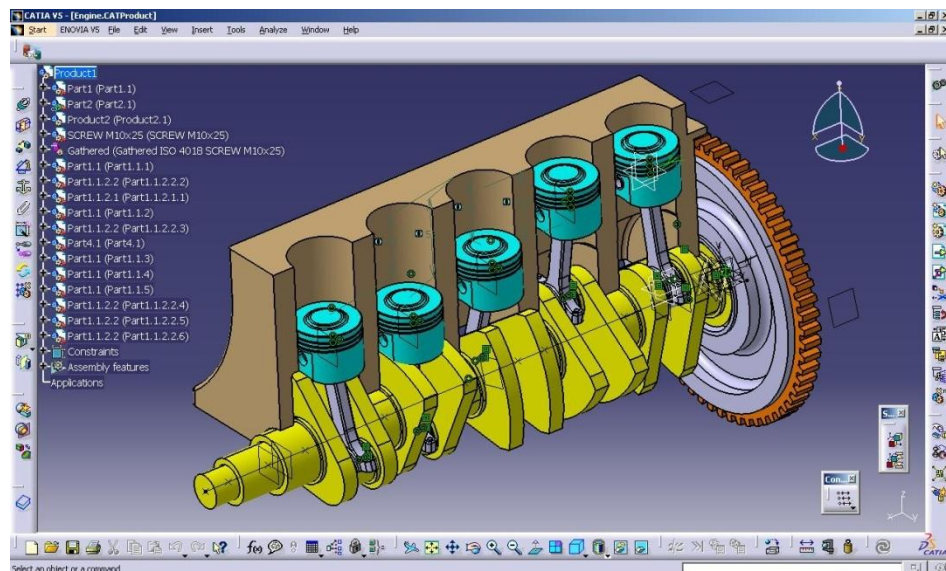
2.2 Obecné informace

Název CATIA vznikl spojením úvodních písmen Computer-Graphics Aided Three Dimensional Interactive Application, aneb počítačově podporovaná trojrozměrná interaktivní

aplikace. Na počátku osmdesátých let minulého století se z firmy Dassault Aviaton oddělila společnost Dassault Systemes, která od té doby stanovuje trendy v počítačové podpoře návrhu výrobku. [1]

2.2.1 CATIA V5

CATIA V5 nabízí tři základní platformy: P1, P2 a P3. P1 je pro malé a středně velké procesně orientované společnosti, které chtějí vybudovat rozsáhlé digitalizované definice výrobků. P2 je určena pro pokročilé inženýrské společnosti, které využívají produktové, procesní a zdrojové modelování. P3 je určena pro špičkové konstruktérské aplikace, a je v podstatě pro automobilový, letecký a kosmický průmysl, kde se používají vysoce kvalitní povrchové úpravy nebo úpravy třídy A. [1], [8]



Obr. 8. CATIA V5

2.2.2 CATIA V6

V současné době je CATIA V6 připravena pro okamžité použití při návrhu nových výrobků v automobilovém, leteckém, strojním a spotřebním průmyslu, kde přináší nástroje pro kompletní pokrytí celého životního cyklu výrobku, a to nejen v rámci konstrukce, ale díky nástrojům platformy PLM 2.0 umožňuje rozšířit spolupráci na výrobku pro celý podnikový ekosystém, včetně jednotlivých dodavatelů.

Pro snadné a rychlé nasazení CATIA V6 jsou připraveny konfigurace označované jako V6 PLM Express, které obsahují jednotlivé moduly platformy V6 poskládané do předpřipravených balíčků. Tento způsob konfigurace zpřehledňuje široké spektrum dostupných mo-

dulů a na základě jednotlivých uživatelských rolí lze poměrně jednoduše stanovit vhodnou konfiguraci, která bude splňovat specifické požadavky jednotlivých zákazníků. [8]






Obr. 9. CATIA V6

2.2.3 Kompabilita verzí CATIA V5 a V6

Podpora přechodu z CATIA V5 na V6 je prioritou Dassault Systemes od uvedení nové platformy na trh v roce 2008. Nedávno představená verze V6R2013x přináší novou úroveň spolupráce mezi jednotlivými verzemi CATIA a to na úrovni jednotlivých vlastností.

3D modely vytvořené v CATIA V6 mohou nyní být otevřené v CATIA V5 a to se zachováním jejich jednotlivých vlastností. Tyto vlastnosti mohou být přímo editovány ve V5, uloženy a následně opětovně otevřeny ve V6. Tato oboustranná kompatibilita je zaručena na úrovni jednotlivých dílů, skicářů a sestav. [8]

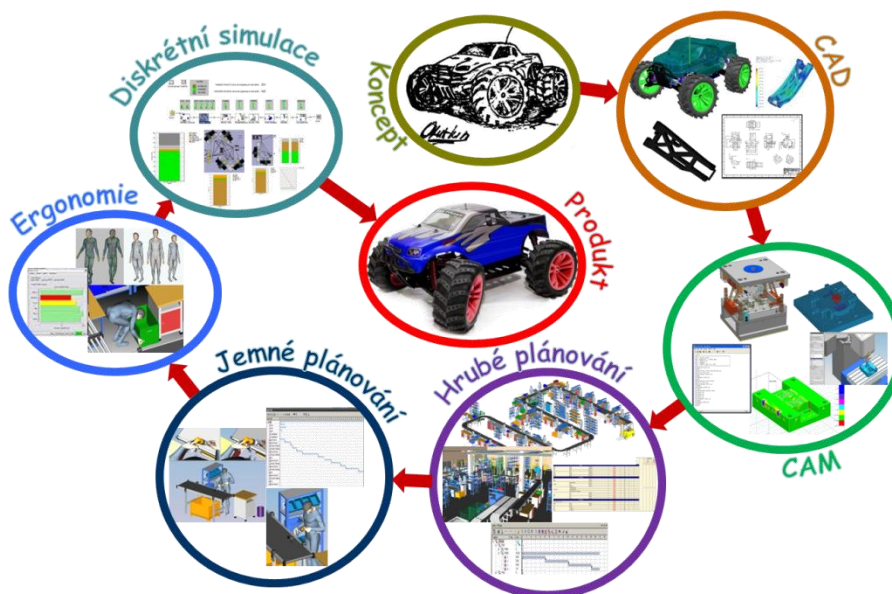
CATIA V6 je rozšíření CATIA V5

Typ objektu	V5	V6	Přechod V5/V6 Výhoda
Geometrický modelář 	Žádná změna	Žádná změna	Update není potřeba
Prvky (Features) 	Žádná změna	Žádná změna	Update není potřeba
Produktová struktura 	Dokumenty sestavy	Dokumenty jsou objekty	Lepší správa produktových dat
Vazby 	Vícenásobné vazby	Unifikovaný model vazeb	Zlepšení kvality/robustnosti a zjednodušení

Obr. 10. Porovnání verze CATIA V5 a V6

2.3 Využití programu CATIA

Jak bylo řečeno, CATIA je systém, který je schopen pokrýt kompletní životní cyklus výroby (tzv. PLM – Product Lifecycle Management), tzn. od koncepčního návrhu designu, přes vlastní konstrukci, různé analýzy, simulace a optimalizace až po tvorbu dokumentace a NC programů pro vlastní výrobu. [8]



Obr. 11. Znárodnění PLM

2.3.1 Pracovní prostředí CATIA

CATIA je koncipována jako modulární systém, který obsahuje celou řadu samostatných nástrojů pro řešení jednotlivých inženýrských problémů. Podle úrovně licence lze pak tyto nástroje využívat při práci. Výhodou je plná integrace těchto nástrojů v jednotném uživatelském prostředí a jejich snadná inicializace prostřednictvím roletové nabídky. Mezi jednotlivými pracovními prostředími (moduly) lze pak jednoduše v průběhu řešeného problému přecházet. [1]

Pracovní prostředí (anglicky workbench) se definuje jako určité prostředí skládající se ze sady nástrojů, které uživateli umožňuje provádět specifické konstrukční úkoly. Základní pracovní prostředí v CATIA jsou *Part Design*, *Wireframe and Surface Design*, *Assembly Design*, *Drafting*, *Generative Sheetmetal Design* a *DMU Kinematics*. [1]

Struktura aplikací:

- Mechanická konstrukce – skupina modulů pro vývoj CAD modelů obecných strojírenských konstrukcí na bázi hybridního modelování s cílem vytvořit plně editova-

telný parametrický model s řadou geometrických a technologických funkcí a plnou asociativitu. Technická výkresová dokumentace může vznikat jak projekcí modelů, tak i přímým kreslením.

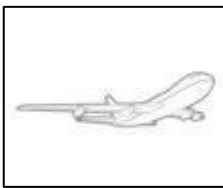
- Inženýrské analýzy – intuitivní, snadné ovládání, rychlé odezvy systému a řízená přesnost výsledků jsou základní charakteristiky aplikací pro analýzu a kontrolu namáhání součástí a sestav pomocí metody konečných prvků. Aplikace jsou určeny zejména pro předběžné posouzení správnosti navrženého dimenzování konstrukce konstruktérem a zajišťují rychle dostupnou informaci o stabilitě konstrukce přímo při jejím vzniku.
- Vnitřní zařízení a systémy – aplikace pro návrh, modifikaci a analýzu elektrických a kapalinových systémů s cílem řešit celkové uspořádání prostorových poměrů v rámci průmyslového výrobku.
- Syntéza produktu – softwarové aplikace určené pro virtuální analýzu a hodnocení funkčnosti komplexního průmyslového výrobku během celého jeho životního cyklu. Tento zahrnuje jeho finální montáž, simulace užitných funkcí, vlastností a servisních výkonů a také závěrečnou demontáž po uplynutí životnosti. Aplikace jsou uzpůsobeny pro práci s velmi rozsáhlými sestavami ve formě tzv. digitálních prototypů (Digital Mock-Up, nebo DMU) a obsahují prvky virtuální reality.
- NC obrábění – portfolio aplikací pokrývajících činnosti spojené s výrobou na NC strojích. Obsahuje prizmatické frézování, 3 až 5 osé frézování, soustružení a programování multiprofesních obráběcích center. CAD/CAM kombinace umožňuje těsnou spolupráci a sdílení znalostí konstruktérů a NC technologů. Použití knihoven technologických operací vede k vysoké míře automatizace a standardizace.
- Návrh průmyslového závodu – modelování prostorové dispozice výrobních celků od samostatných provozních souborů až po celé výrobní podniky zajišťuje specializovaná skupina aplikací, disponující funkcemi pro rozmístění jednotlivých technologických zařízení, konstrukcí a sítí do dispozice výrobních prostorů a budov.
- Infrastruktura systému – Skupina aplikací na bázi znalostního inženýrství umožňující nejvyšší úroveň sdílení a využívání know-how v rámci struktury podniku. Vědecko-technické poznatky a know-how vznikající a definované během vývojových procesů v organizaci lze implementovat do systému jako soubor závazných pravidel a standardizovaných postupů, které následně sdílejí všichni účastníci vývoje.

Pomocí těchto znalostí systému lze testovat vytvářené konstrukce, případně znalosti dědit a využívat přímo při vzniku nových konstrukcí.

- Tvarování a styling – Specializované aplikace pro nejvyšší požadavky v oblasti volného i parametrického designu na bázi povrchového modelování. Zahrnuje také specializované nástroje určené pro profesionální požadavky vývoje v oblasti automobilového karosářství. [8]

2.3.2 Oblasti použití CATIA

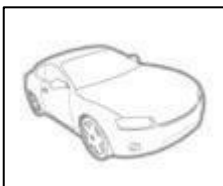
Letecký průmysl



PLM se používá a zahrnuje všechny segmenty světových leteckých, kosmických a obranných společností od civilního a vojenského letectví po satelity a vypouštění družic do kosmu. V průmyslovém odvětví kde není možno nic předem považovat za jisté, používá a spoléhá většina společností realizujících se v letectví na systém CATIA.

Boeing, Bombardier, Airbus, Piaggio Aero Industries, Cesna, Antonov, Suchoj, ...

Automobilový průmysl



Hlavní doménou CATIA a celého PLM řešení je právě automobilový průmysl, kde společnost Dassault Systemes působí jako hlavní dodavatel automobilových společností všech velikostí po celém světě, kterým přináší trhem ověřenou technologii a služby pro vývoj a konstrukci osobních automobilů a dodávkových vozů, nákladních vozů a autobusů, závodních vozů, motocyklů a speciálních dopravních prostředků.

Toyota, BMW, VW, Škoda, Daimler, Scania, Iveco, ...

Průmysl spotřebního zboží a elektronika



Digitální modelář, virtuální prototypy a správa výrobních dat ve společnosti - to jsou jen některé způsoby jak mohou výrobci spotřebního zboží těžit výhody z širokého spektra produktů, které řešení PLM nabízí.

Electrolux, Husqvarna, Black & Decker, Konica Minolta, Nikon, Adidas, Hansgrohe, ...

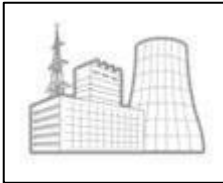
Strojírenský průmysl



PLM řešení se uplatňuje ve společnostech ze všech odvětví strojírenského průmyslu, včetně výrobců zcela nových zařízení pro těžké - robustní, stavební, textilní, zemědělské a papírenské stroje.

Sanyo machine Works, Metso Paper, Doosan Infracore

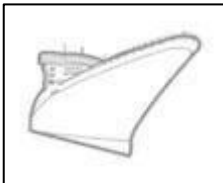
Energetika



Pro společnosti zaměřené na výrobu a dodávku elektrické energie má bezesporu také prospěch ze systému PLM, který je lídrem v oboru strojírenského CAD/CAM/CAE a správy výrobních dat a služeb.

ITER, Škoda Power

Lodní průmysl



PLM přináší prospěch výrobcům a provozovatelům výletních lodí, komerčních a specializovaných plavidel, bitevních lodí a ponorek díky usnadnění a automatizaci rozhodujících kroků vývoje produktu: koncept, povrchová úprava trupu a vyhlazování, vybavení, výroba a zprovoznění. [8]

Beneteau Group, Meyer Werft, Universal Shipbuilding Corporation

3 VYBRANÉ MODULY CATIA

V programu CATIA je možné v jednom modelu kombinovat jak plošné (surface) tak i objemové (solid) elementy. Právě tato volnost při výběru modelářských technik a možnost je kdykoliv kombinovat, činí CATIA tak silným systémem. Velkou výhodou je také možnost nepovinné parametrizace. Díky tomu se konstruktér může rozhodnout, jestli díl zparametrizuje a využije tím výhod parametrických modifikací, nebo bude provádět změny prostřednictvím modifikací jednotlivých elementů. Všechny moduly a modelářské techniky jsou integrovány, takže změny jednotlivých modelů i elementů se okamžitě projeví i na souvisejících dílech.

Produktoví a průmysloví návrháři kladou velký důraz na vzhled výrobku a jedinečný tvar jeho součástí. Obecným důvodem je snaha vytvořit atraktivní a reprezentativní zboží. Tvar výrobku se většinou určuje pomocí technik plošného modelování. Plošné modely jsou prostorové modely bez tloušťky, které nemají objemové vlastnosti hmoty. Program CATIA poskytuje řadu nástrojů pro modelování ploch a vytváření komplexních trojrozměrných plošných modelů. Nástroje na tvorbu ploch v programu CATIA jsou v různých pracovních prostředích: [1], [8]

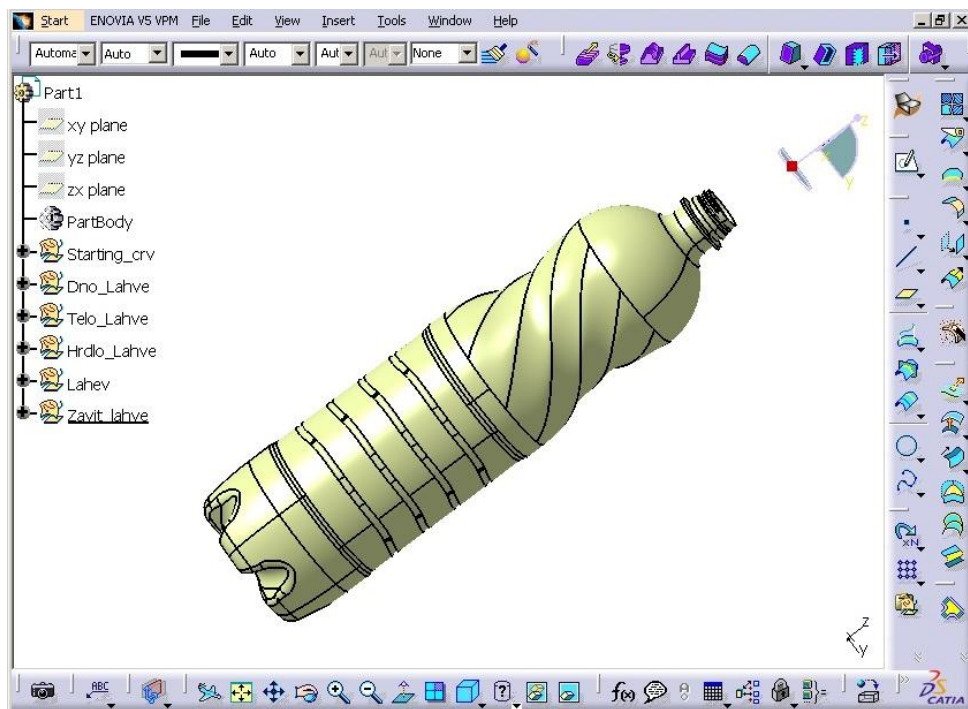
- Wireframe and Surface Design
- Generative Shape Design
- FreeStyle

3.1 Generative Shape Design

Modul *Generative Shape Design* umožňuje rychle modelovat jak jednoduché, tak složité tvary pomocí drátového modelu a povrchové vlastnosti. Poskytuje velkou sadu nástrojů pro vytváření a editaci tvaru konstrukce a to vše v kombinaci s jinými moduly, jako je např. *Part Design*.

Generative Shape Design přináší uživateli nejlepší nástroj pro rychlejší tvoření složitých tvarů. Drátový model se vytváří pomocí bodů, přímek a různých typů křivek. Tyto profily jsou následně použity pro modelování ploch. Modelování s plochami je obecně složitější než se solidy. Není zde žádné uzavřené těleso (uzavřené těleso je až v konečné fázi), takže je za potřebí dobré představivosti konstruktéra. Pro získání uzavřeného tělesa se plochy musí správně ořezat a zaoblit. Po správném uzavření ploch je možné plošný model převést do objemového a pracovat s ním nadále jako se solidem. [12], [13], [14]

Jak bylo řečeno, tento modul je vhodný pro modelování tvarově složitých součástí jako je například počítačová myš, PET láhev, světlomet automobilu, atd..



Obr. 12. Modul Generative Shape Design

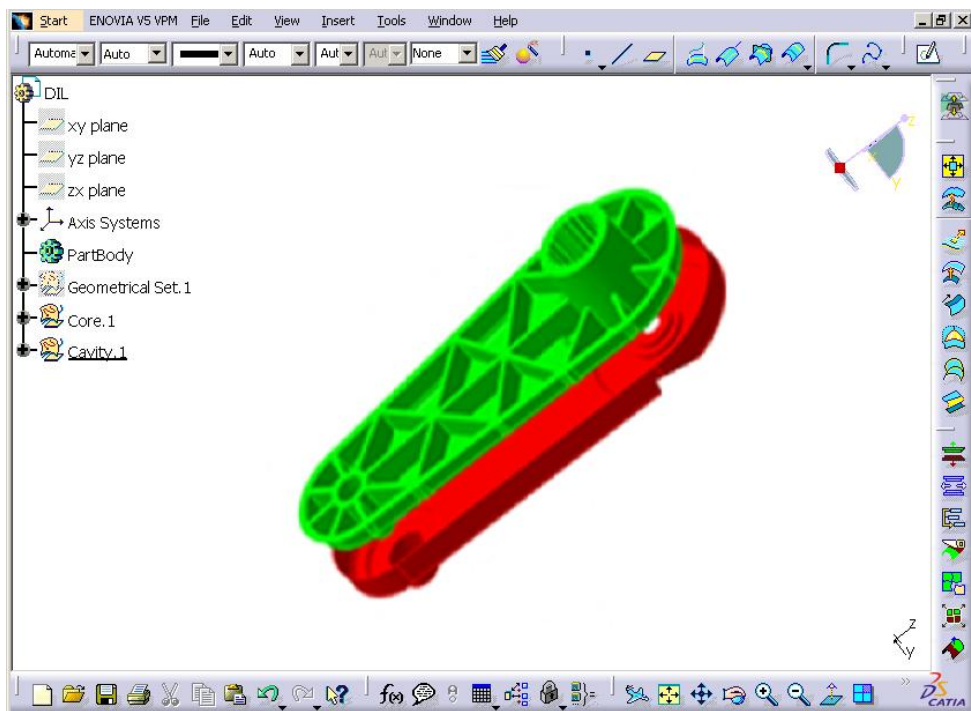
3.2 Core and Cavity Design

Modul *Core and Cavity Design* umožňuje projektantovi formy rychlé vytvoření, dutiny formy. *Core and Cavity Design* umožňuje rozdělit výrobek na tvárník, tvárnici a posuvové kostky. Tento výrobek může být jak plošný (vytvořen v *Generative Shape Design*), tak objemový (vytvořen v *Part Design*). Vytvoření dutiny formy je pomocí tohoto modulu rychlé a nákladově efektivní. Tento modul poskytuje sadu nástrojů pro určení dělicí roviny s ohledem na odformovatelnost a technologičnost výrobku.

Přednosti:

- Importování vymodelovaného dílu (určení hodnoty smrštění během importu dílu)
- Řízení směru (přidání hlavního směru vytahování, přidání směru vedlejších posuvových kostek)
- Extrahování dělicí roviny
- Určení velikosti formy v návaznosti s tímto modulem

Modul *Core and Cavity Design* obsahuje společné příkazy jako modul *Generative Shape Design*. Nicméně jak bylo řečeno v kapitole o programu CATIA, mezi jednotlivými moduly můžeme v průběhu práce přecházet. Pokud tedy potřebujeme vytvořené plochy nějak editovat, můžeme přejít do modulu pro vytváření ploch a doladit dutinu formy (např. zaslepení otvorů). Díky tomuto se produktivita práce velmi zvyšuje. [15], [16]



Obr. 13. Modul *Core and Cavity Design*

Pracovní prostředí *Core and Cavity Design* není určeno k opravě dílu, např. na částech importovaných z IGES. Tyto opravy musí být prováděny před navrhováním v *Core and Cavity* a to v modulu *Healing Assistant*.

3.3 Healing Assistant

Tento modul kontroluje platnost importované geometrie s ohledem na kritéria modelování v programu CATIA. *Healing Assistant* poskytuje sadu nástrojů pro práci na geometrii a topologii povrchu. Součásti, které nebyly vytvořeny v CATIA nemusí odpovídat standardům CATIA a musí být v případě potřeby opraveny před použitím. Ale také součásti, které byly vytvořeny v programu CATIA mohou obsahovat chyby, které pomocí modulu *Healing Assistant* jednoduše odhalíme.

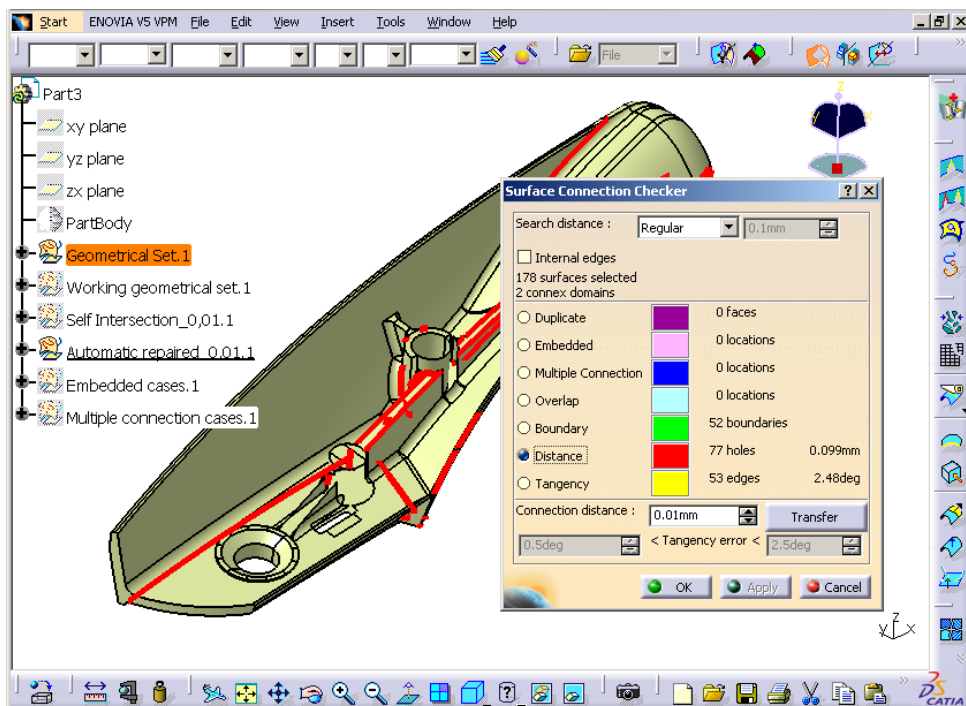
Healing Assistant pomáhá:

- Analyzovat problémy na povrchu součásti (nedostatků ve vzdálenosti, tečnosti, zakřivení)
- Opravit všechny problémy, které mohou být nalezeny

Healing Assistant je ideální pro návrháře, kteří se budou muset vypořádat se složitými částmi z různých CAD aplikací a formátů. Modul je ale také velmi užitečný pro migraci dat, tj. pro firmy, které potřebují migrovat data ze svého předchozího CAD (včetně CATIA V4) do svého nového prostředí CATIAV5, V6.

Přednosti:

- Kontrola platnosti importovaných dat s ohledem na kritéria modelování v programu CATIA
- Opravuje a vylepšuje topologii analyzovaných objektů příslušnými nástroji na připojení a léčení
- Poskytuje globální nebo lokální rozpoznání problému a nástroje na přesné a produktivní léčení

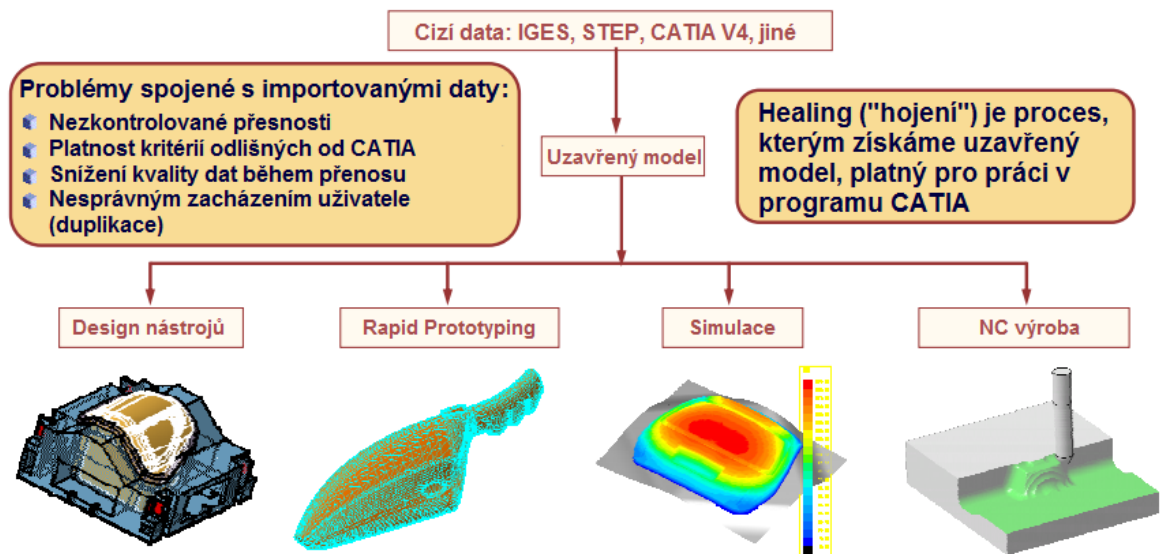


Obr. 14. Modul Healing Assistant

Healing Assistant kontroluje vnitřní platnost každého povrchu, odhaluje křížení ploch a jeho hranice. Povrchy, které mají být opraveny, jsou přesunuty do samostatných oddílů ve stromě pro snadnější manipulaci. *Healing Assistant* může také zkontrolovat spojení mezi

povrchy, najít otvory (mezery v 0,01 mm), ostré hrany a špatná zakřivení. Toto prostředí umožňuje analýzu povrchových hranic pro jejich čištění. Poté mohou uživatelé automaticky vyplnit všechny nespojitosti až na danou hodnotu. Je také možné, aby se automaticky odstranily velmi malé okraje (velmi krátké křivky). Změny jsou řízeny parametrem maximální deformace, při čemž, je možné zmrazit plochy (křivky), které mají být zachovány. [17], [18], [19]

Na Obr. 15. vidíme graficky znázorněné, proč používat modul *Healing Assistant*.



Obr. 15. Využití modulu *Healing Assistant*

4 MOŽNOST TVORBY PLOCH V JINÝCH CAD PROGRAMECH

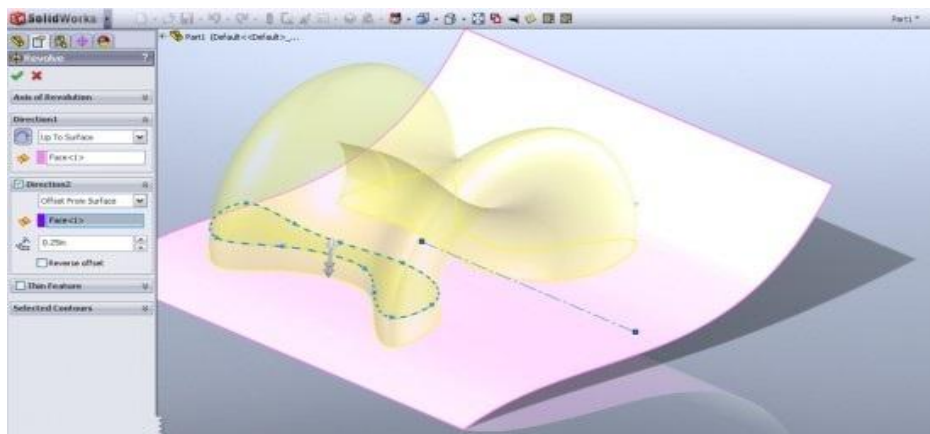
Porovnávat jednotlivé CAD programy mezi sebou je velmi složité. Obecně platí, že výkonnost daného programu není dána samotným softwarem, ale je dána tím, jak dobře uživatel zná a umí využívat funkce daného CADu. Také záleží na průmyslovém odvětví, kde se daný software uplatňuje nejvíce. V poslední řadě je nutné brát ohled na to, o jaký typ CAD se jedná: *Pro/E (Creo)*, *Catia* a *NX* jsou rozsáhlé – obsahují modelování, analýzu, tváření, obrábění atd. (tzv. CAD/CAM/CAE). *Inventor*, *Solid Works*, *Solid Edge* jsou „střední“ CAD (obsahují jak modelování, tak i jednodušší analýzu FEM).

V následujících podkapitolách jsou uvedeny nejpoužívanější CAD programy, které umožňují plošné modelování.

4.1 SolidWorks

SolidWorks je strojírenský 3D CAD software pro platformu Microsoft Windows, který byl vyvinut společností *SolidWorks Corporation* – nyní dceřiná společnost *Dassault Systemes*. Stejně jako *CATIA* i *SolidWorks* je hybridní návrhový systém. Uživatelé mohou pracovat jak s plochami, tak s tělesy v rámci stejného prostředí. *SolidWorks* obsahuje také nástroje pro tvorbu forem (jader/dutin).

SolidWorks nabízí výkonný plošný modelář pro vytváření komplexních tvarů a organických návrhů, které již nelze vymodelovat pomocí standardních nástrojů pro tvorbu objemů. Plošná a objemová těla můžete při modelování neomezeně kombinovat a převádět. Pomocí ploch je možné vzájemně nahrazovat nebo odstraňovat povrchové plochy objemů. Plochy mohou být ořezávány, prodlužovány, zaoblovány, sešívány, doplňovány atd. [20], [21]

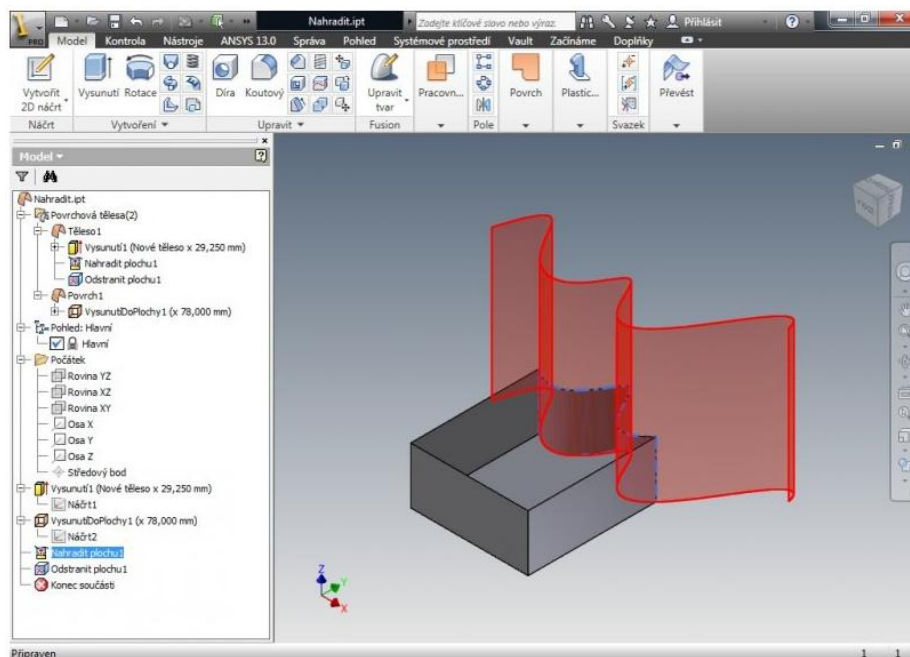


Obr. 16. Plošné modelování v programu SolidWorks

4.2 Autodesk Inventor

Autodesk Inventor je parametrický, adaptivní 3D modelář - softwarová CAD aplikace firmy *Autodesk*. Již více než 10 let je *Inventor* světově nejprodávanější strojírenskou 3D CAD aplikací. Podstatou modelování v *Inventoru* je sice objemové tváření, avšak v posledních letech přibýlo mnoho nástrojů pro plošné modelování (*Alias Design for Inventor* – volnoplošné 3D modelování v *Inventoru*). Uživatel využívá nástroje pro 3D náčrt, pro tvorbu přímkových, rotačních, šroubových a zborcených ploch. *Inventor* obsahuje analýzu ploch pro případné nahrazování, ořezávání, plátování a sešívání ploch.

Inventor obsahuje také nástroje pro tvorbu dutiny formy. Součást lze převést do prostředí forem, což umožňuje plynulý přechod mezi modelováním výlisku a modelování forem. [22], [23]



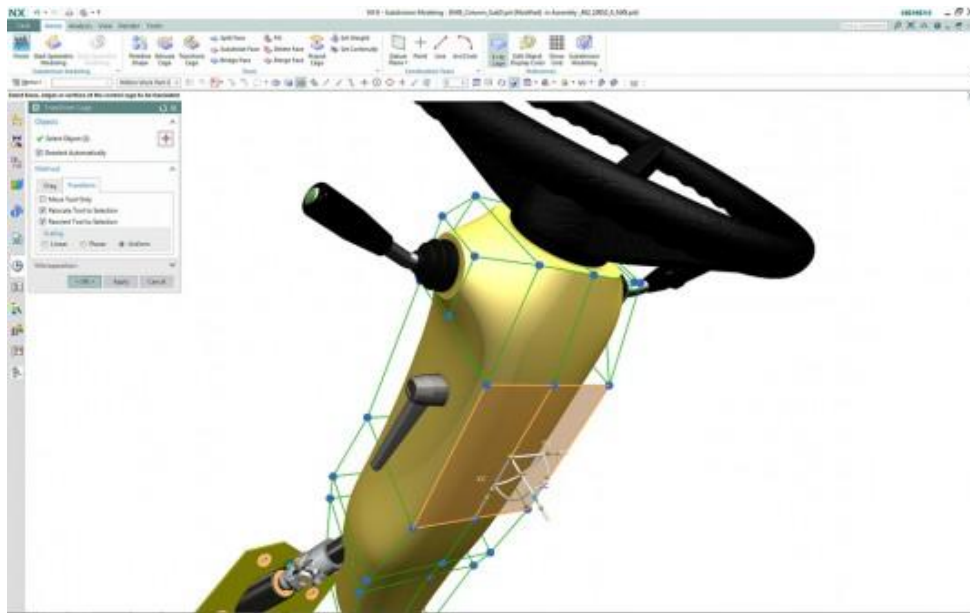
Obr. 17. Plošné modelování v programu Inventor

4.3 NX

NX (dříve *Unigraphics*) je komerční CAD/CAM/CAE program pro podporu činností v konstrukci a výrobě. Umožňuje provést ideový návrh, výpočty, simulace a analýzy, modelování jednotlivých dílů i celých sestav, tvorbu výkresové dokumentace, programování NC obráběcích a měřících strojů, simulaci obrábění, kontrolu kvality, správu dat a projektů a integraci do podnikového informačního systému.

Na konstrukci forem *NX* využívá modul *Moldwizard*.

NX obsahuje plošný modelář, který umožňuje tvorbu ploch od nejjednodušších přímkových ploch až po složité volně tvarované plochy. Původ systému NX v leteckém průmyslu jej předurčuje ke schopnosti vytvářet i velmi složité volně tvarované plochy. Obsaženy jsou i nástroje pro jejich editaci, vyhlazování, řešení přechodů a napojení sousedních ploch. Pro kontrolu tvaru a kvality ploch je možné použít analytické nástroje. Tvorba ploch v NX je využívána také v automobilovém a lodním průmyslu a při tvorbě spotřebního zboží a elektroniky. [24], [25]



Obr. 18. Plošné modelování v programu NX

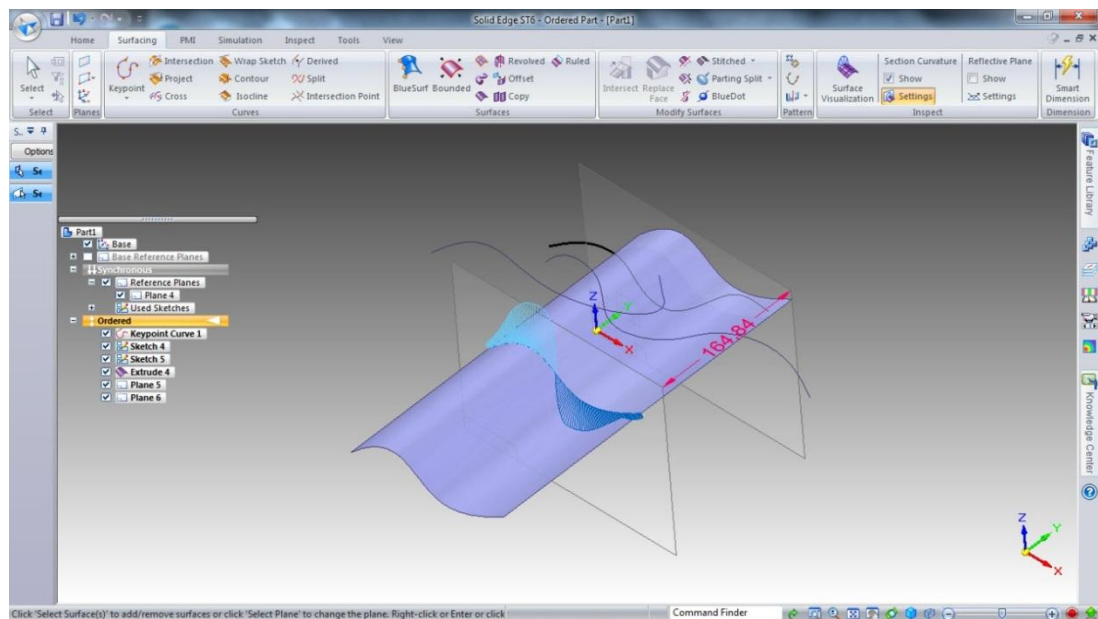
4.4 Solid Edge

Solid Edge je 3D CAD software primárně určený pro návrh strojírenských konstrukcí. Jeho funkce však umožňují vytvářet mnohem více. Od designu nábytku až po 3D modelování komplexních ploch.

Modul *Solid Edge Mold Tooling* poskytuje prostředí pro konstrukci forem plastových výlisků s využitím jedinečných technologií a postupů systému *Solid Edge*.

Solid Edge umožňuje pracovat také s konstrukčními plochami a křivkami. Při práci s importovanými modely od zákazníků je k dispozici kontrola importovaného modelu. *Geometry Inspector* prověří načtená data a zobrazí případná problémová místa. Na ty se poté aplikují příkazy, jako jsou sešívání, ořezání, protažení, nebo kopírování konstrukčních ploch. Důraz v modulu *Part* byl kladen zejména na práci s plochami. Unikátní technologie nazvaná *Rapid Blue* přináší nástroje pro komplexní plošné modelování při zachování jednodu-

chého a uživatelsky přívětivého ovládání, které je pro *Solid Edge* typické už od prvních verzí. [26], [27]



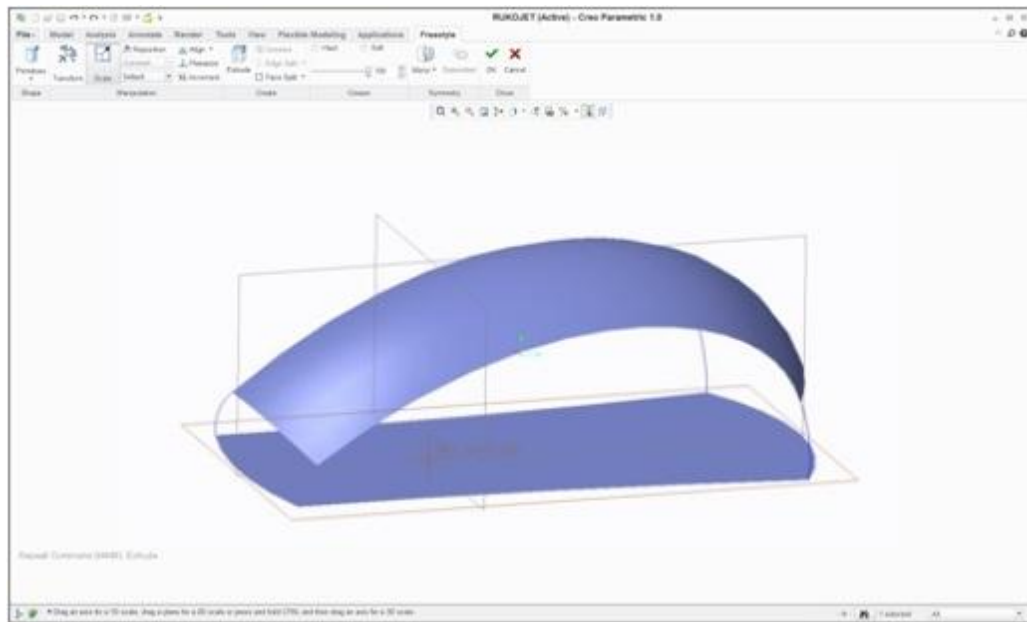
Obr. 19. Plošné modelování v programu Solid Edge

4.5 Creo

Creo, dříve známý jako *Pro/ENGINEER* (zkráceně *Pro/E*) je parametrický, integrovaný 3D CAD/CAM/CAE software vyvinutý společností PTC (*Parametric Technology Corporation*). *Creo Parametric* je jedinečný 3D CAD parametrický modelář poskytující široké spektrum výkonných funkcí pro konstrukci výrobku od koncepčního návrhu až po přípravu výroby. Při tom zaručuje vysokou produktivitu práce, kvalitu a flexibilitu v průběhu celého procesu.

Pro konstrukci forem využívá *Creo* modul *Mold Design Extension*, který kombinuje všechny nástroje pro vytvoření celé sestavy formy – jádra, dutiny a sestavy formy.

Creo kromě klasického objemového modelování obsahuje také špičkové funkce typu *Free-style* pro konstrukci tvarově složitých modelů. Modul *Freestyle* umožňuje tvorbu designových ploch bez tvorby a vzniku kót. Další modul *Interactive Surface Design* umožňuje návrháři modelovat volné tvary. Rychle a snadno získáme vysoce přesné a zřetelně estetické návrhy výrobků. Výsledkem je návrh dle představ bez omezení samotným softwarem. [28], [29]



Obr. 20. Plošné modelování v programu Creo

4.6 Visi CAD

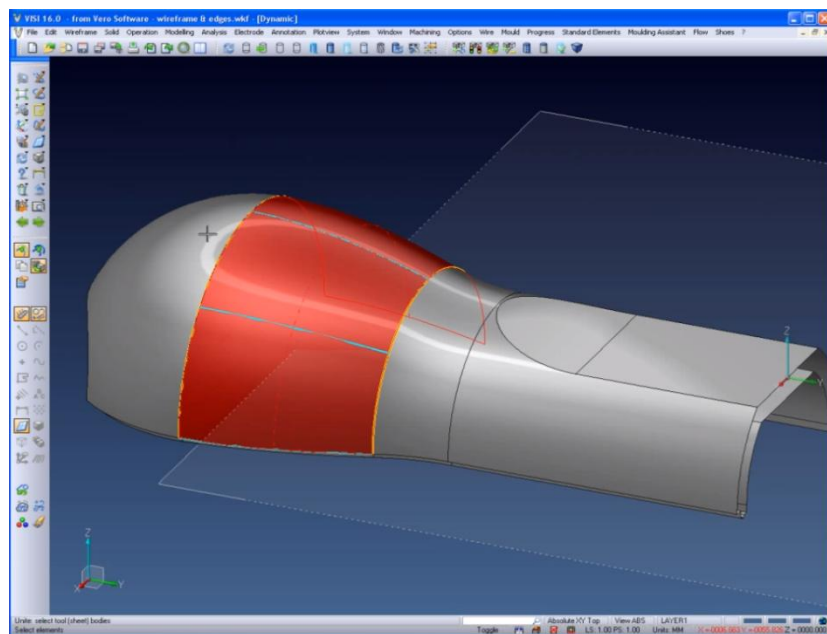
Jedná se o zástupce méně známých CADů. VISI je znám jako jeden z předních CAD/CAM/CAE softwarů od společnosti *Vero*. Nabízí jedinečnou kombinaci pro kompletní konstrukci forem, přes návrh tvarové dutiny, simulaci obrábění až po tokové analýzy. *Visi Modelling* je základem všech *Visi* modulů. Poskytuje silný, výkonný objemový a plošný modelovací systém, který je tvořen na základě matematického jádra *Parasolid*, který je průmyslovým standardem. V kombinaci s plošným modelářem vyvinutým ve *Vero*, analýzou modelů a 2D konstrukčním základem *Visi Modelling* dává plnou pružnost konstruování, editování anebo opravování nejsložitějších 3D dat.

Opravdové hybridní modelování *Visi* dává uživateli dynamickou strukturu, díky které může pracovat buď s tělesy, plochami, hranovými prvky nebo s kombinacemi všech tří bez jakýchkoliv omezení. Technologie plošného modelování dává odlišnou sadu nástrojů pro vytváření organičtější, obecné a volné geometrie. Tyto nástroje modelování společně s vyspělým editováním ploch usnadňují opravovat chyby v importované geometrii anebo vytvářet nejsložitější konstrukce 3D objektů.

Opravy ploch a editování:

Malé mezery mezi plochami importované geometrie modelů lze automaticky léčit a tak ušetřit čas, který by uživatel musel vynaložit na vytváření velmi malých plošných záplat. V místech zhroucených ploch anebo scházejících, *Visi* automaticky vytvoří hranové křiv-

ky, aby mohl uživatel snadno vytvořit nové stěny pomocí komplexních technik plošného modelování. Uživatel má k dispozici funkci porovnání nových a starých ploch, aby se ujistil, že nové plochy jsou v povolené toleranci. Možnost uzavření modelu do tělesa eliminuje konstrukční problémy, které by mohly vzniknout později s plošným modelem a tak dává systém uživateli výhody objemového modelování, ačkoli předtím prošel procesem plošného modelování. Možnost lehkého přechodu mezi objemovým a plošným modelováním dává uživateli neomezenou volnost a umožňuje mu pracovat s velmi komplikovanými CAD daty. [30], [31]



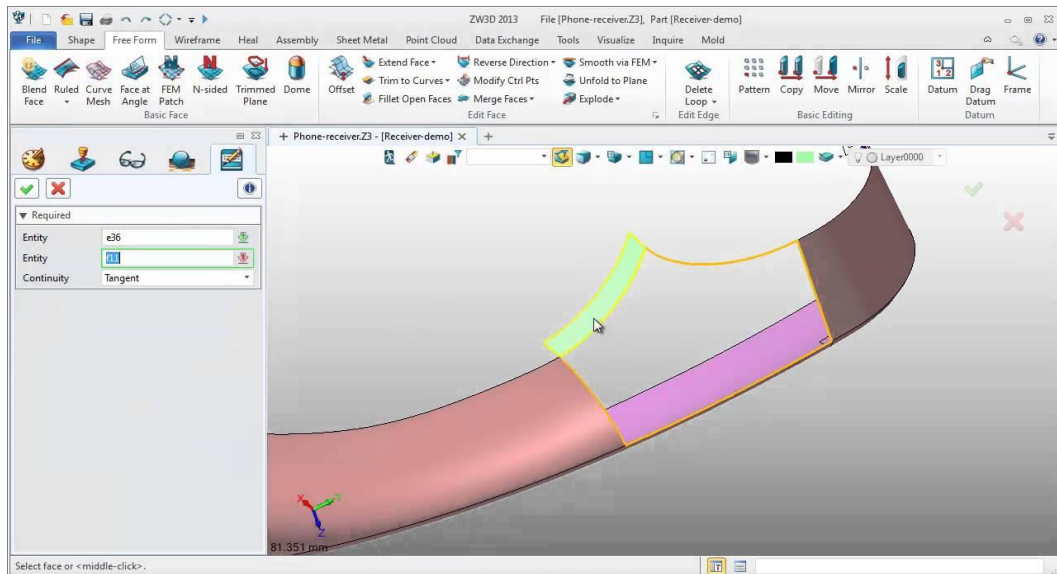
Obr. 21. Plošné modelování v programu Visi

4.7 ZW3D

ZW3D je produkt čínské společnosti *ZWCAD Software*, která rozvíjí svou činnost v oblasti CAD softwarových produktů pro 2D a 3D design.

ZW3D je integrovaný CAD/CAM software pro tvorbu návrhů až po finální obrábění. Zahnuje 3D modelování, konstrukci forem a obrábění. ZW3D se liší od tradičních softwarových nástrojů 3D CAD, neboť nabízí jedinečný modul založený na designování objemových i povrchových technologií – *Feature Hybrid Modeling* technologie. Software umožňuje Booleovské operace mezi objemovými i plošnými prvky. Poskytuje flexibilní modelovací nástroje pro vytváření hladkých modelů výrobků. Díky jedinečnému *Overdrive™* jádru, technologie hybridního modelování umožňuje logické operace mezi geometrií tělesa

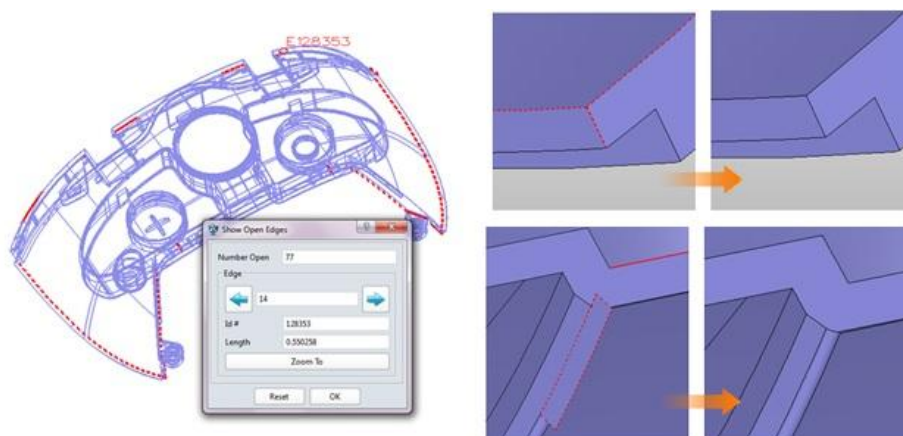
a geometrií plochy, což činí modelování mnohem pružnější jako při práci s tělesy. [31], [33], [34]



Obr. 22. Plošné modelování v programu ZW3D

O chyby, které vznikají při importu dat z jiných programů se stará *Prominent Healing Capacity*, který nabízí vynikající schopnost léčení:

- Analýza a léčení různých druhů topologických podmínek, včetně prasklin, mezer, neodpovídajících vrcholů a drobných hran.
- Zobrazení informací o otevřených hranách pomůže identifikovat i ty nejmenší defekty.
- Rychlé vyplnění mezer novými povrchy. [33]



Obr. 23. *Prominent Healing Capacity* v programu ZW3D

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je praktické seznámení uživatele s modulem *Healing Assistant* programu CATIA V5R18. Práce se zabývá metodami oprav chyb plošných konstrukcí vznikajících na základě nekompatibility modelů vytvořených v různých CAD softwarech, případně z jiných důvodů.

Praktická část práce obsahuje popis jednotlivých chyb, které mohou v praxi na dílech vznikat. Dále je popsána metodika odstranění (léčení) těchto chyb na požadované součásti.

V poslední řadě je modul *Healing Assistant* využit na opravu tří zadaných součástí, které obsahují chyby v plochách. Chyby vznikly na základě migrací dat mezi různými CADy. Názorně je zobrazen princip vyléčení těchto součástí. Poté je z vyléčených součástí vytvořena dutina formy. Pro tvorbu dutiny formy je využit specializovaný modul *Core and Cavity Design* programu CATIA V5R18.

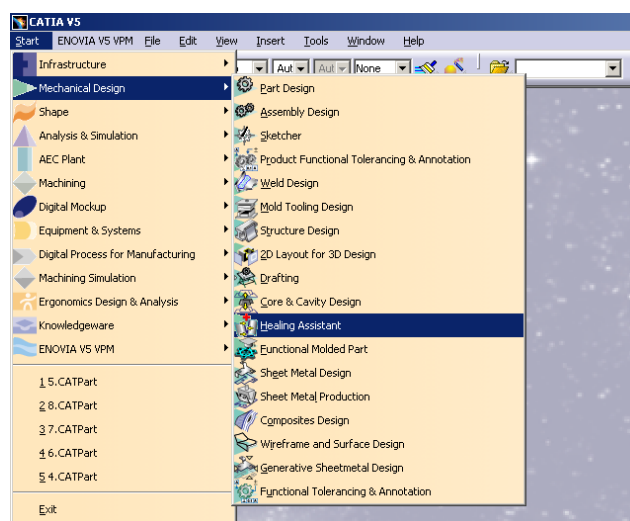
Oprava chybných součástí a následné vytvoření dutiny formy jsou zpracovány jako manuál, který je v příloze této práce a může sloužit jako podpůrný materiál pro výuku modulu *Healing Assistant*.

6 ZOBRAZENÍ A POPIS MOŽNÝCH CHYB VZNIKAJÍCÍCH NA DÍLECH

Jak bylo již řečeno, chyby na součástech mohou vznikat ze tří hlavních důvodů:

- Migrací dat mezi různými CADy (v praxi nejčastější)
- Změnou formátu souboru (úzce spojeno s předešlým bodem)
- Konstrukčními chybami (přímo během modelování)

Modul *Healing Assistant (HA)* nám pomáhá tyto chyby snadno najít, zobrazit a identifikovat o jaký druh chyby se jedná. Chyby tak s pomocí modulu *HA* efektivně opravíme.



Obr. 24 Spuštění modulu HA

6.1 Plošný díl

Objemový díl vzniká skládáním základních těles, které vytvoříme z 2D skici. Mezi základní objemová tělesa patří například kvádr, koule nebo jehlan. Tyto tělesa lze libovolně umístit v prostoru a navzájem je sčítat, odečítat nebo tvořit jejich průnik. Pomocí těchto operací lze vytvořit finální model.

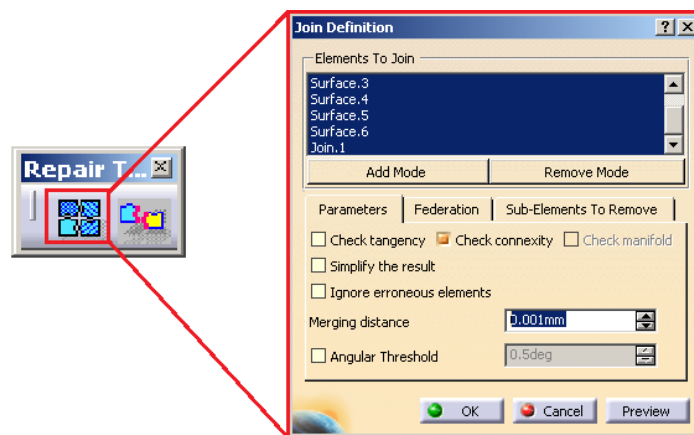
Plošný díl vytvoříme za pomoci řady rozšiřujících funkcí, které nám umožní modelovat tvarově velmi složitá tělesa. Modelování ploch vychází z podobného základu jako objemové modelování. Kromě klasické skici můžeme vytvářet drátovou geometrii. Z drátové geometrie pak tvoříme jednoduché i složité plochy, které spolu můžeme sčítat, odčítat, slučovat. Plochy mají nekonečně malou tloušťku. Všechny plochy součásti musí být ve finále spojeny. Spojováním ploch vzniká výsledný tvar součásti, proto je důležité dbát na správné připojení ploch mezi sebou.

Plošné součásti je možné převést na objem. Pokud je plošná součást uzavřena, převedením na objem vznikne stejné těleso objemového tvaru. Pokud je plošná součást otevřena, můžeme jí nadefinovat tloušťku, čímž vznikne objemové těleso skořepinového typu.

6.2 Chyby vznikající na dílech

Požadavkem konstruktéra je, aby plošný díl vytvořený v CADu byl celistvý. Tzn., že všechny elementární plochy, které součást tvoří, jsou spojeny v jeden celek. Tento celek je pak možné převést na objem, což je předpokladem pro další práci s dílem. Případně spojenou (celistvou) plochou je možné oříznout objem.

Pro toto spojení slouží v programu CATIA příkaz **Join**, který najdeme v panelu *Repair Topology* (modul *HA*). Příkaz *Join* najdeme také v modulu *Generative Shape Design* – panel *Operations*.



Obr. 25. Příkaz *Join* v panelu *Repair Topology*

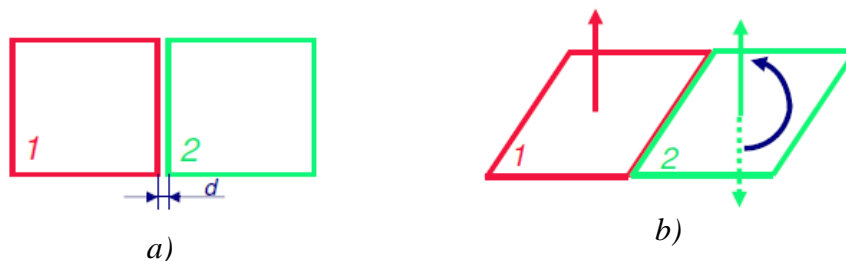
Join je hlavní operátor pro vytvoření topologie. Spojování se provádí ve dvou krocích:

KROK 1 se provádí s ohledem na toleranci parametru **Merging distance** (slučovací vzdálenost). Jsou spojeny všechny povrchové hranice, které jsou dost blízko na to, aby se staly sdílenými hranami. Podle velikosti hodnoty *Merging distance* mohou nastat tři situace:

- $d < 0,001 \text{ mm}$ (defaultně nastavená hodnota systému): hrana je sdílena (geometricky uzavřený díl)
- $0,001 \text{ mm} < d < \text{Merging distance}$: hrana je sdílena (pouze topologicky uzavřený díl)
- $d > \text{Merging distance}$: hrana není sdílena, na hranicích ploch zůstávají volné strany

KROK 2 spočívá v jednotné orientaci ploch, které mají společnou hranu.

Zde mohou nastat různé situace, kdy pomocí příkazu *Join* není možné získat jednotnou orientaci ploch (systém zobrazí chybové hlášení).



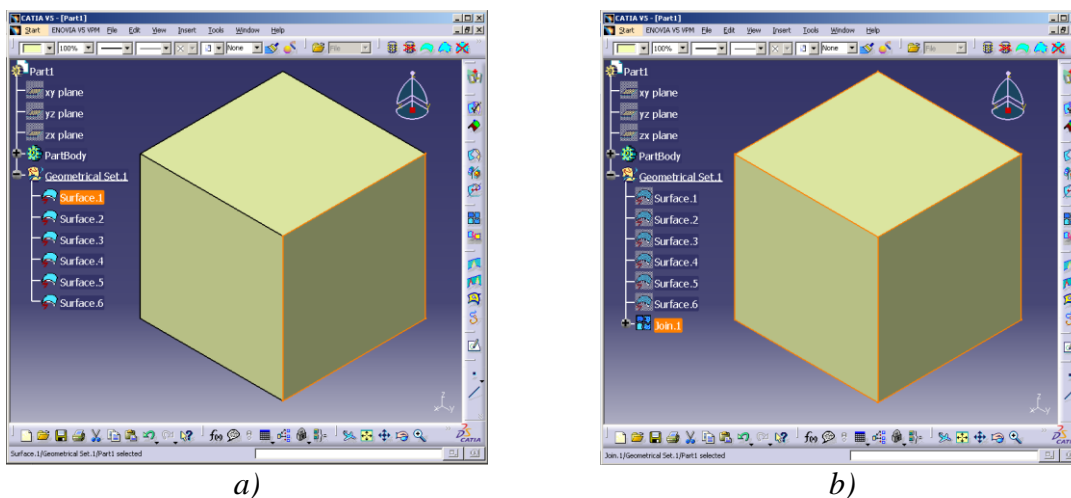
Obr. 26. *Join*: a) *Merging distance*, b) *orientace ploch*

6.2.1 Hodnota *Merging distance*

Při zadávání velikosti hodnoty *Merging distance* v příkazu *Join* musíme brát v potaz, že čím menší (přesnější) bude, tím vznikne více volných stran, které je potřeba opravit, což zabere více času. Někdy dokonce příkaz *Join* s velmi přesnou hodnotou *Merging distance* nepracuje, systém zobrazí chybové hlášení (*Join failure*).

Na druhou stranu, když se tolerance zvolí příliš velká, některé nedostatky zůstanou skryté, geometrie má stále mezery a taková součást může být pro pozdější zpracování nepoužitelná. Pokud je hodnota *Merging distance* velká, příkaz *Join* odstraní všechny hrany, které jsou menší než tato vzdálenost. Potlačení malých křivek mohou později vznikat neplatné plochy (křížící se hrany).

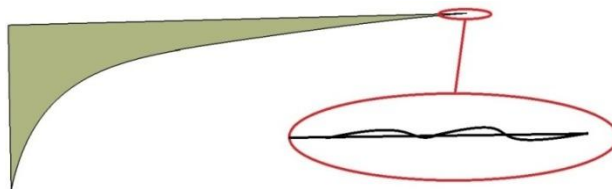
Na Obr. 27. je zobrazen jednoduchý příklad nespojeného a spojeného plošného dílu.



Obr. 27. *Join*: a) *Nespojený model*, b) *Spojený model*

6.2.2 Chyby typu *self-intersection edges*

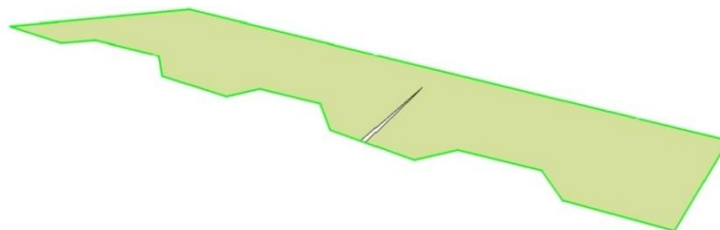
Chyba typu *self-intersection edges* – protínající se hrany. Nejčastějším případem jsou plochy s tenkou oblastí. Závisí na požadované vzdálenosti sloučení. Hrany v tenké oblasti jsou považovány za překrývající (nelze nalézt jediný společný vrchol).



Obr. 28. Chyba typu “*self-intersection edges*“

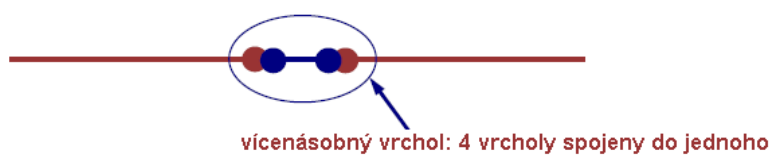
Další situace, které mohou existovat v importovaných datech:

- *Incorrect boundary (nesprávné hranice)* – na ploše je značně viditelný otvor, při vyznačení hranic však hrany otvoru nejsou brány v potaz = nesprávné hranice.



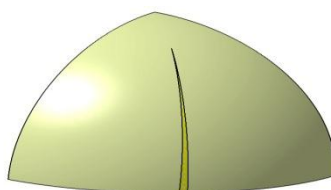
Obr. 29. Chyba typu *Incorrect boundary*

- *Very small curves (velmi krátké křivky)* – v místě vzniká více vrcholů



Obr. 30. Chyba typu *Very small curves*

- *Non supported topology (nepodporovaná topologie)* – velmi malé plochy leží na jiné uzavřené ploše

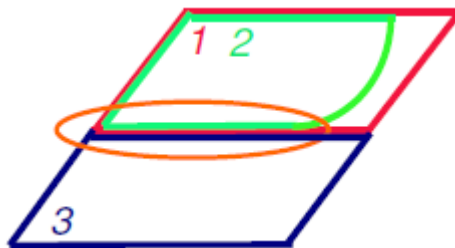


Obr. 31. Chyba typu *Non supported topology*

6.2.3 Chyby vznikající v souvislosti s orientací ploch

- *Case of duplicated or embedded surfaces (případ duplicitních nebo přesazených ploch)*

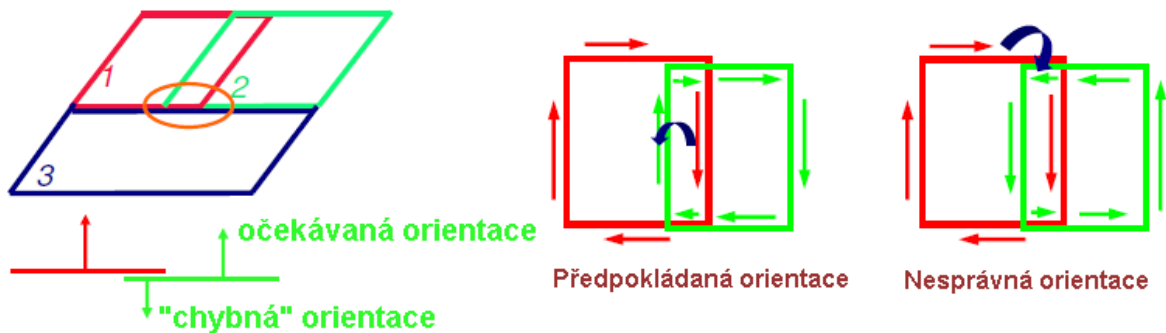
Jedná se o případ, kdy na sobě leží stejné, nebo různé plochy. Je nemožné najít konzistentní orientaci s výjimkou případů, kdy příkaz *Join* dokáže akceptovat některé hrany jako volné. V některých případech tak můžeme získat výsledek - příkaz *Join* je schopen překrývající se okraje brát jako volné hrany (hranice).



Obr. 32. Chyba typu *Duplicated or embedded surfaces*

- *Case of small overlap (případ s malým přesahem)*

Dvě možné orientace plochy 2, pokud je orientace “špatná“, nebude možné plochu 3 spojit se zbývajícími dvěma plochami (Obr. 33.).

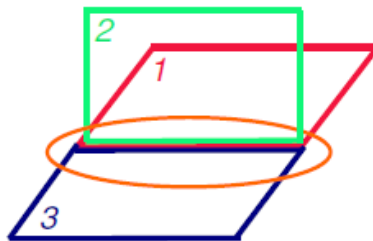


Obr. 33. Chyba typu *Small overlap*

Pokud je to možné, příkaz *Join* špatné umístění orientace převrátí; pokud to možné není, pouze pomocí modulu *Healing Assistant* defekt tohoto typu analyzujeme (obvykle se jedná o chybu typu *non manifold edges*).

- *Case of multiple connections (případ s vícenásobným spojením)*

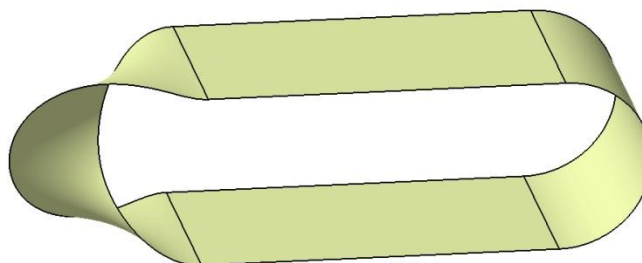
Nemožné najít jednotnou orientaci. Systém neví, jak spojit různé směry hran.



Obr. 34. Chyba typu *Multiple connections*

- *Moebius type situation (Situace typu Moebius)*

Chyba, která nese název podle matematika Moebiusa, který objevil *Moebiusův pásek*. Jedná se o neorientovanou plochu – není možné definovat jednotnou orientaci po celém povrchu (pokroucený profil).

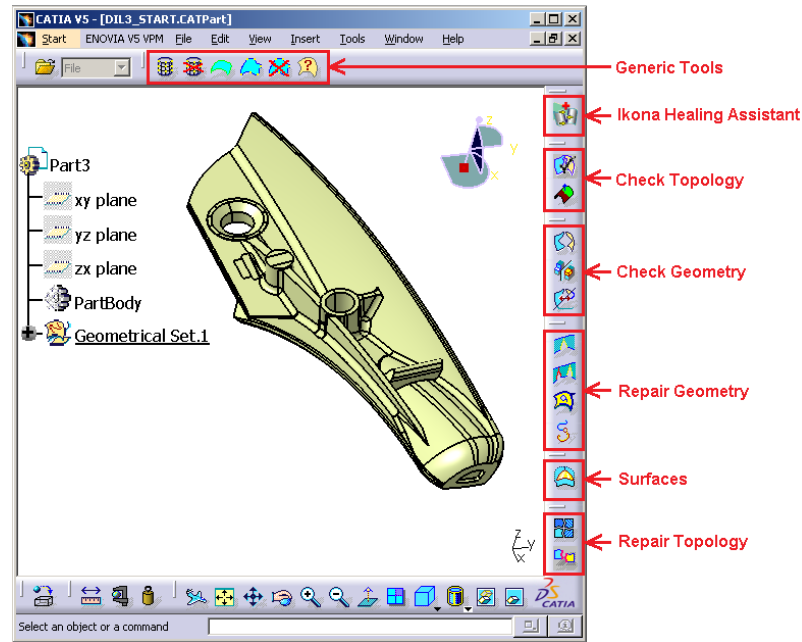


Obr. 35. Chyba - *Moebius type situation*

6.3 Zobrazení chyb vznikajících na dílech

Obdrží – li konstruktér importované data plošného typu, musí zkontrolovat, zda jsou tyto data správné. Také plošné součásti, které sám vytvoří, může podrobit kontrole. Součásti mohou obsahovat chyby, které většinou nejsou viditelné na první pohled. Většina chyb může být velmi malá a konstruktér by musel díl velmi pečlivě zkoumat, aby tyto nedostatky objevil. Čím, je díl tvarově složitější, tím by i hledání chyb bylo náročnější.

Výše popsany problém odstraňuje modul *Healing Assistant*, který umožní uživateli chyby rychle najít zobrazit a opravit.



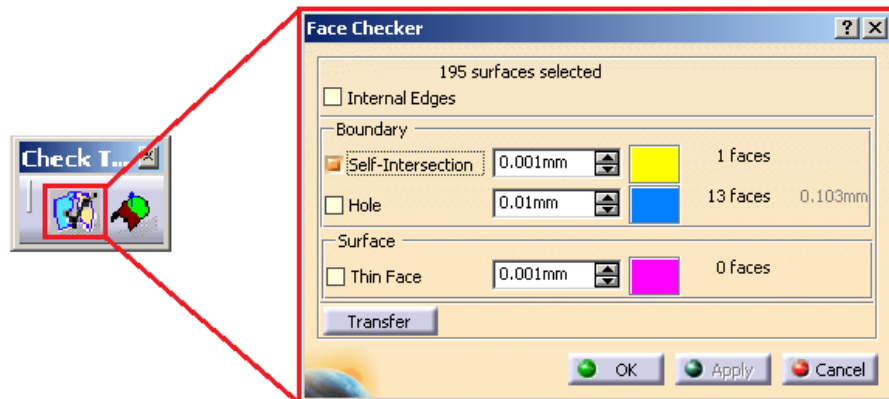
Obr. 36. Pracovní prostředí HA

Pro zobrazení chyb slouží panely *Check Topology* a *Check Geometry*.

6.3.1 Check Topology

První ikonou v panelu *Check Topology* je **Face Checker**. *Face Checker* slouží k nalezení ploch, které mají neplatné hranice a ploch, které obsahují otvory na jejich hranicích. Tyto plochy roztrídí podle druhu chyb, aby je bylo možné opravit. Po spuštění příkazu *Face Checker* se otevře okno (Obr. 37.), kde vidíme:

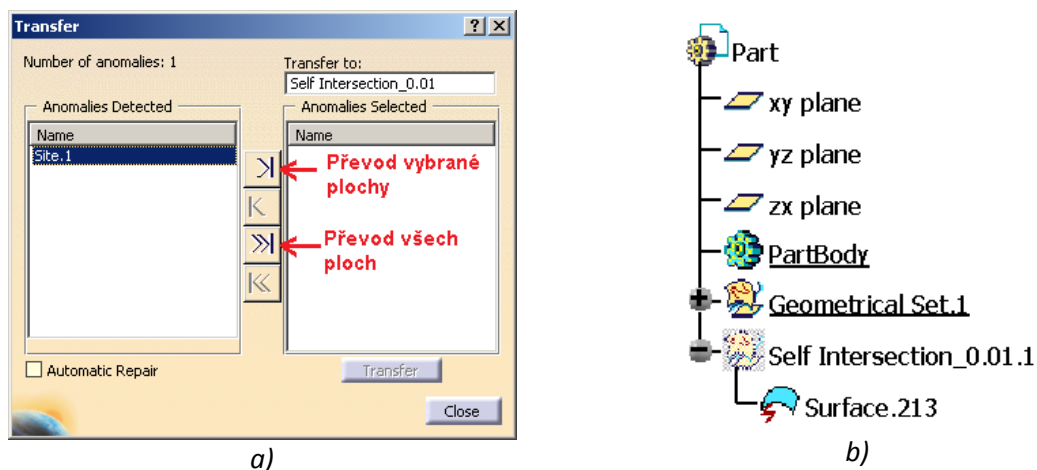
- Počet ploch, které jsou kontrolovány
- Zaškrtnutím políčka *Internal Edges* budou kontrolovány i vnitřní plochy, pokud možnost zaškrtnuta není, kontrolovány se pouze venkovní hranice
- Barevně jsou označeny chyby a počet ploch, kterých se chyba týká
- Tolerance *Self-Intersection* se zadává stejná, jako hodnota, kterou budeme uvádět v příkazu *Join* do pole *Merging distance*
- Tolerance pro detekci otvorů (*Hole*) – pouze plochy s otvory většími než je zadaná hodnota budou zviditelněny
- Tolerance *Thin Face* udává, jak se bude kontrolovat “tenkost“ ploch: plochy jsou považovány za tenké, když je jejich šířka menší než zadaná hodnota



Obr. 37. Face Checker

Po kliknutí na políčko *Transfer*, se zobrazí okno (Obr. 38. a)), v jehož levém sloupci vidíme plochy, které byly detekovány jako chybné. Pomocí šipek se převedou plochy do pravého sloupce. Vpravo nahoře se zadává název položky ve stromě, do které budou plochy přesunuty. Dole můžeme zaškrtnout možnost *Automatic repair* – pokud je volba zaškrtnuta, systém se pokusí automaticky chyby opravit. Tato možnost je k dispozici pouze pro chyby *Self-Intersection* a *Hole*, ne pro *Thin Face*.

Detekované plochy jsou převedeny z původního *Geometrical Setu* do nového, který nese název chyby (Obr. 38. b)). Jedná se vlastně o rozřídění ploch na dobré a špatné podle typu chyby.

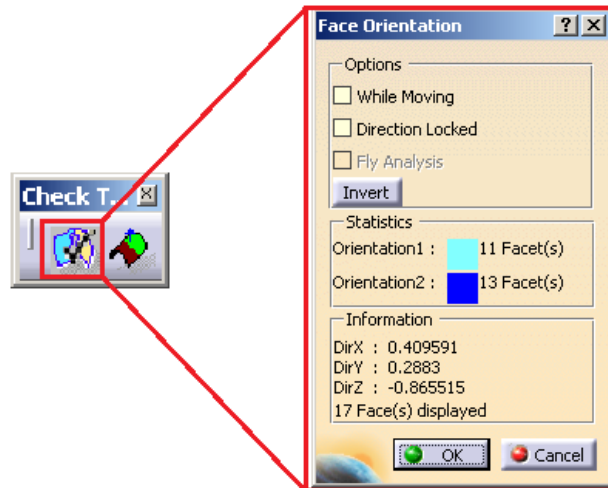


Obr. 38. Face Checker: a) Transfer, b) Objektový strom

Pozn.: *Geometrical Set* je v podstatě složka, kde jsou umístěny všechny 3D prvky kromě objemových těles. Slouží tedy pro ukládání drátové geometrie, tj. body, křivky, roviny a plochy. *Geometrical Set* můžeme pojmenovat dle našich požadavků, čímž zvyšujeme přehlednost vytvořeného modelu. Takto můžeme snadno a přehledně s plochami pracovat.

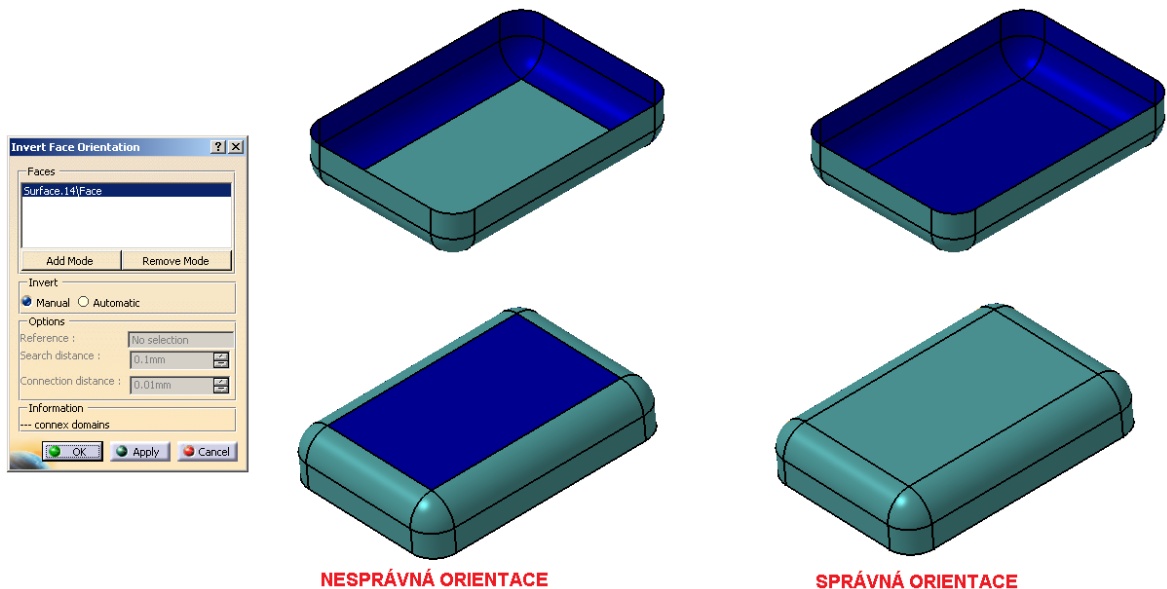
Kontrola ploch pomocí *Face Checker* a odstranění chyb pomocí něj ale nemusí zajistit, že příkaz *Join* bude úspěšný.

Druhou ikonou v panelu *Check Topology* je *Face Orientation*. Úkolem tohoto příkazu je kontrola jednotné povrchové orientace ploch.



Obr. 39. Face Orientation

Pokud je orientace ploch špatná, pomocí tlačítka *Invert* jednoduše orientaci změníme, jak můžeme vidět na Obr. 40.

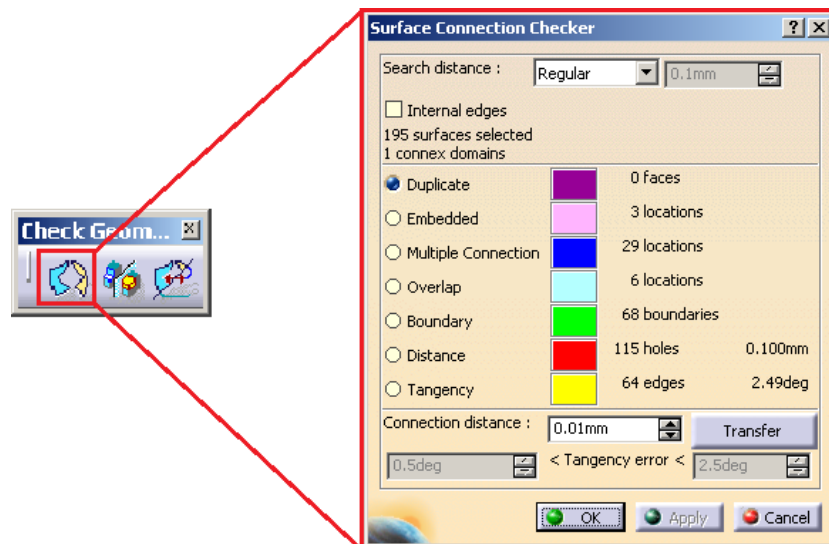


Obr. 40. Invert Face Orientation

6.3.2 Check Geometry

První ikonou v panelu *Check Geometry* je *Surface Connection Checker*. *Surface Connection Checker* je velmi důležitý příkaz pro kontrolu součástí, protože kontroluje veškeré

spojení mezi plochami jak uvnitř tak i vně součásti. Stejně jako příkaz *Face Checker* (panel *Check Topology*), tak i *Surface Connection Checker* zviditelní nespojitosti, které jsou větší než zadaná hodnota. Stejně tak je i zde tlačítko *Transfer* na “izolaci“ chybných ploch v objektovém stromě.



Obr. 41. *Surface Connection Checker*

Po spuštění příkazu *Surface Connection Checker* se otevře okno (Obr. 41.), které vypíše druh a počet chybných míst na součásti. Tyto chyby se na součásti označí příslušnou barvou.

Surface Connection Checker analyzuje tyto chyby, které mohou mezi plochami vznikat:

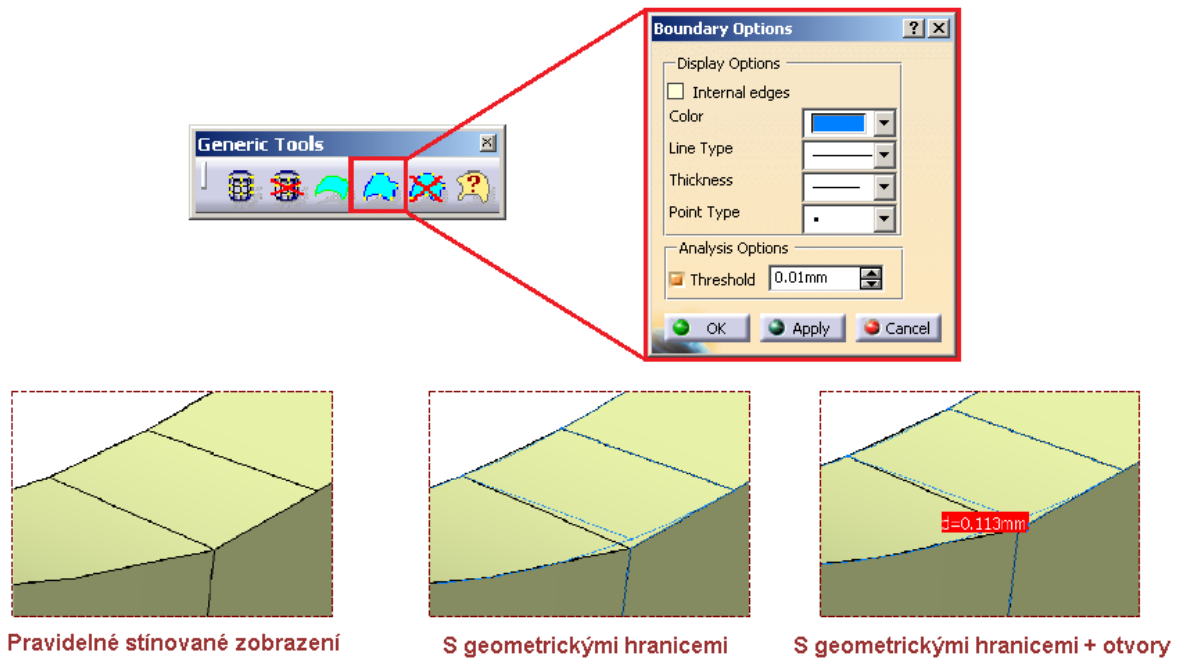
- *Duplicate* (duplicitní) – stejná plocha se stejnými hranami
- *Embedded* (vložené) – plocha je zcela zahrnuta do plochy jiné
- *Multiple Connection* (vícenásobné spojení) – více než dvě hrany mohou být sloučeny dohromady
- *Overlap* (přesah) – sloučení hran, kde není možná shodná orientace
- *Boundary* (hranice) – nelze sloučit dvě sousední hrany
- *Distance* (odstup) – geometrická mezera (mezi připojením a vyhledávací vzdáleností)
- *Tangency* (tečnost) – nespojitosti v oblasti slučování hran, chyba v tečnosti
- *Connection distance* (slučovací vzdálenost) – zadáním hodnoty umožní zjistit přesnou hodnotu nespojitostí na součásti
- *Tangency error* (chyba tečnosti) – zadáním minimální a maximální hodnoty určíme velikost chyby tečnosti

6.3.3 Geometrical Display

Účelem geometrického zobrazení je:

- Chceme-li vizuálně zkontrolovat geometrické hranice povrchu (na displeji vidíme jen hranice topologické)
- Pro detekci děr v povrchových hranicích

Geometrické hranice zobrazíme příkazem *Apply Boundary Options* v panelu *Generic Tools*. Příkazem *Remove Boundary Options* zobrazení vypneme. Po spuštění příkazu *Apply Boundary Options*, se zobrazí okno (Obr. 42.), ve kterém můžeme nastavit grafické zobrazení hranic a zaškrtnutím políčka *Threshold* určíme práh, pro zobrazení otvorů v mezích: pouze otvory širší než zadaná hodnota jsou zvýrazněny.



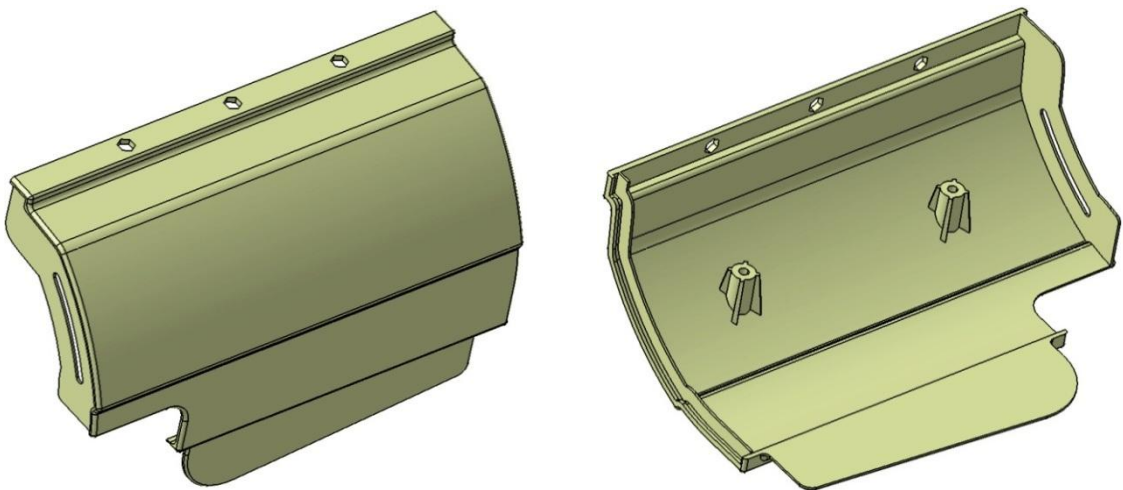
Obr. 42. Apply Boundary Options

7 ZVOLENÉ DÍLY

V praktické části diplomové práce byly zvoleny tři plošné součásti různých tvarů. Migrací mezi různými CADy došlo k poškození těchto součástí, čímž byla nasimulována situace, která se v běžné technické praxi objevuje. Pomocí modulu *Healing Assistant* byly chybné součásti analyzovány a kompletně opraveny. Postup celého léčení je přílohou této diplomové práce. Tento postup může sloužit jako praktický manuál pro opravu plošných součástí.

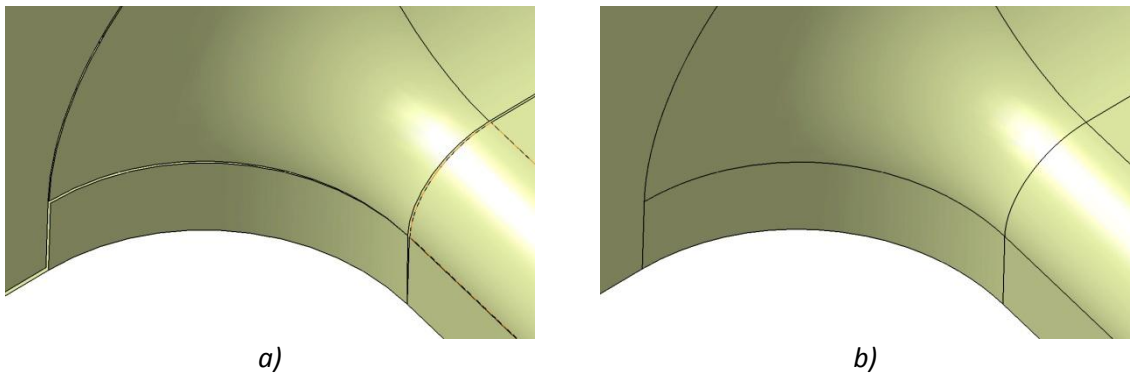
7.1 Zvolený díl 1

Jedná se o kryt obecnějšího tvaru. Vyskytuje se zde hodně malých zaoblení, které mezi sebou plynule přechází. V takovýchto místech vznikají chyby velmi často, proto je součást pro demonstraci chyb ideální.



Obr. 43. Díl 1

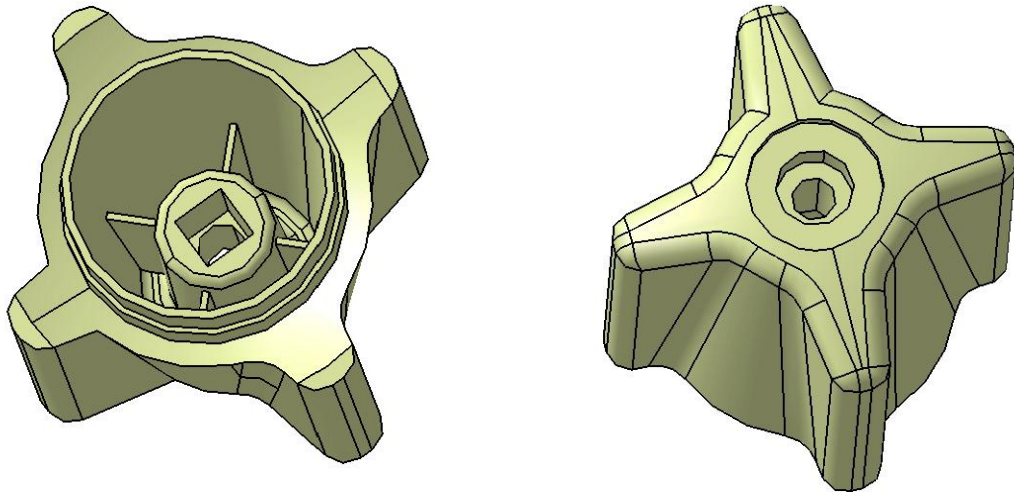
Přechody mezi jednotlivými plochami musí být celistvé. Na Obr. 44. je vidět detail součásti, kde vidíme opravenou a neopravenou topologii povrchu dílu.



Obr. 44. Detail dílu 1: a) Chybná topologie, b) Opravená topologie

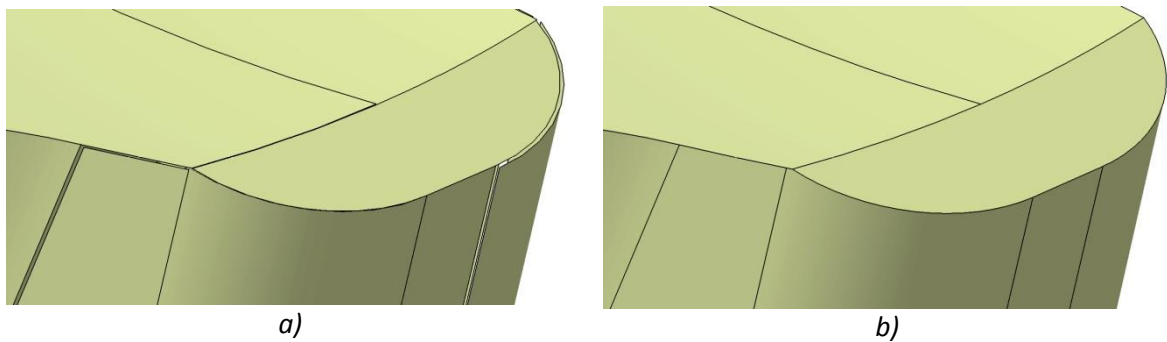
7.2 Zvolený díl 2

Jako druhý díl byl zvolen plastový kryt ovládání vodovodní baterie. Tato součást obsahuje mnoho rádií různé velikosti, které mezi sebou tečně přechází. Vyskytují se zde kulové plochy, které jsou typickým představitelem pro plošné modelování.



Obr. 45. Díl 2

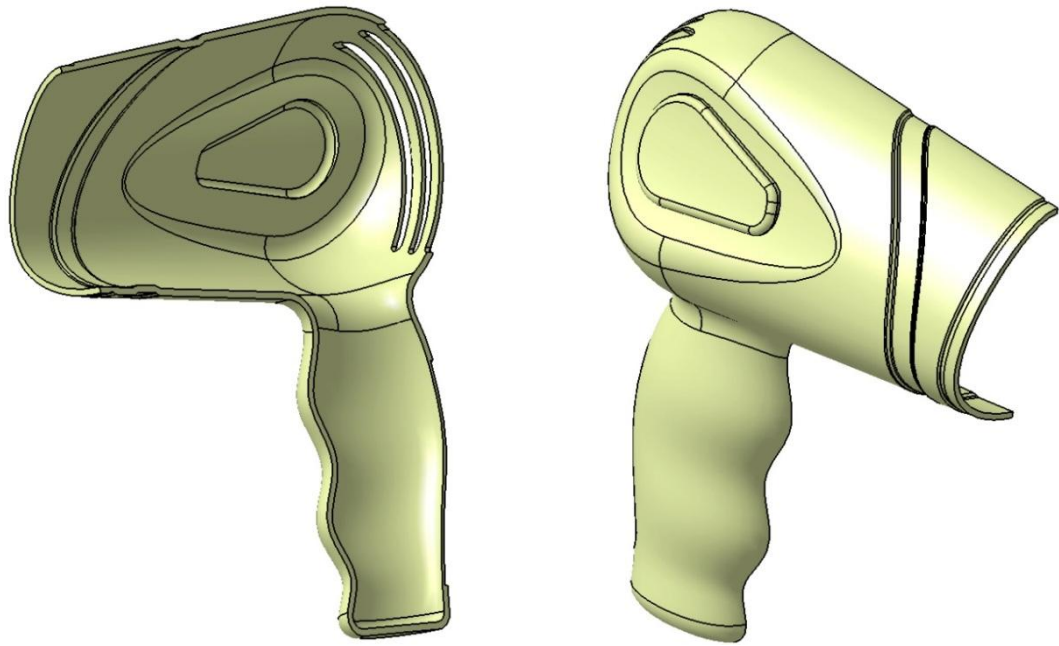
Po migraci součásti mezi různými CADy došlo ke značnému poškození dílu, jak můžeme vidět na Obr. 46.



Obr. 46. Detail dílu 2: a) Chybná topologie, b) Opravená topologie

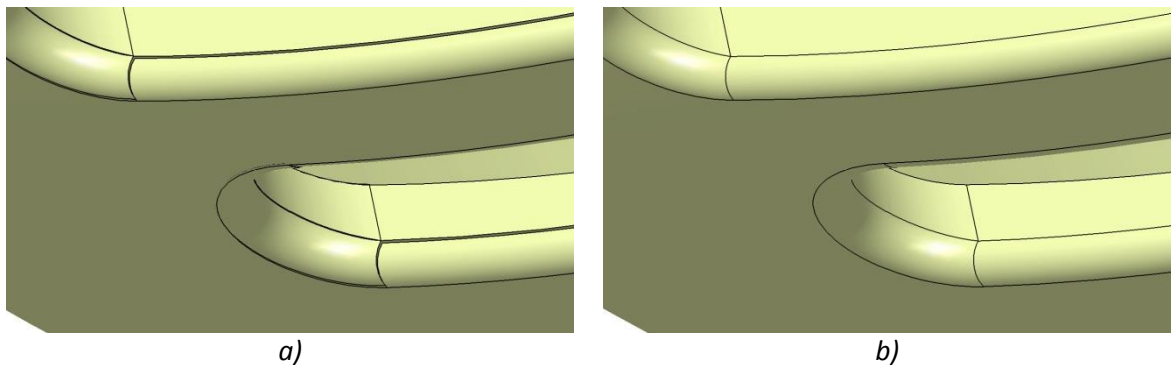
7.3 Zvolený díl 3

Jako poslední zvolený díl je kryt vysoušeče na vlasy. Tato součást obsahuje mnoho obecných ploch. Mezi plochami jsou přechody jak ostré tak tečné. I když je součást větších rozměrů, obsahuje mnoho malých ploch a rádií, což jsou místa, kde chyby často vznikají.



Obr. 47. Díl 3

Migrací dílu 3 mezi různými CADy došlo opět k poškození topologie. Opravený a neopravený detail této součásti můžeme vidět na Obr. 48.



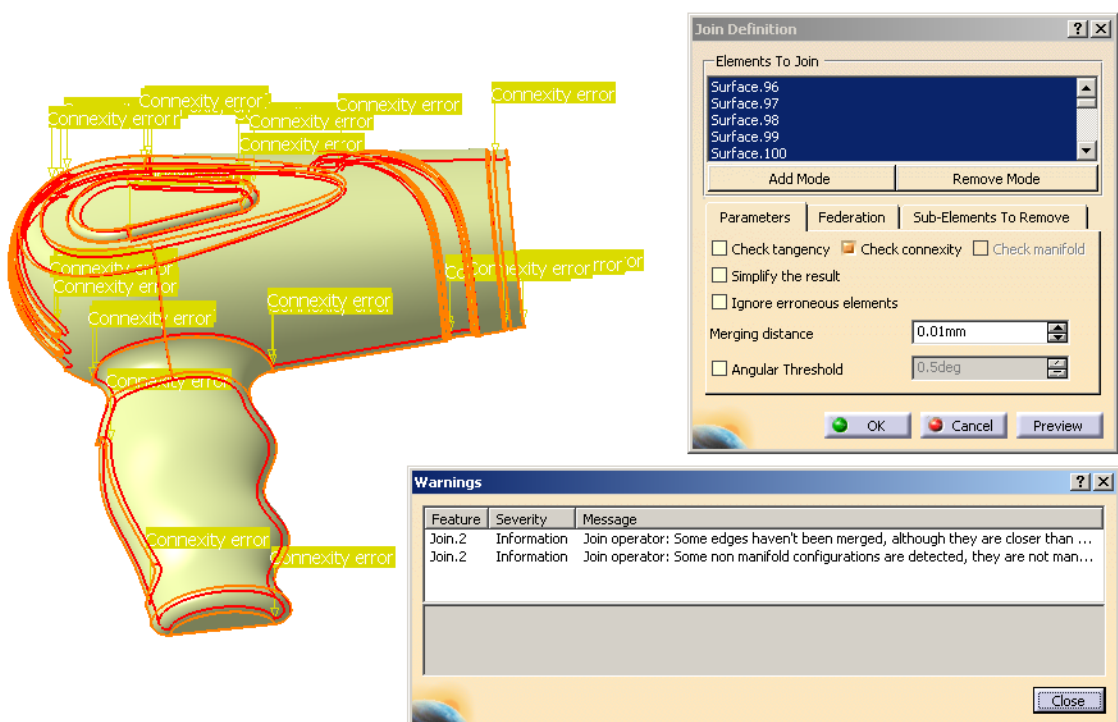
Obr. 48. Detail dílu 3: a) Chybná topologie, b) Opravená topologie

Popsané součásti jsou uloženy na CD, které je přiloženo k této diplomové práci. Díly, které jsou poškozeny, obsahují název “start“, opravené díly potom název “finish“. Kromě přiložených manuálů, i opravené díly pomocí hierarchického stromu modelu ukazují, jakým způsobem byly součásti opraveny.

8 ÚPRAVA CHYB A DEFEKTŮ PLOŠNÝCH PRVKŮ

V šesté kapitole bylo popsáno, jaké chyby mohou na plošných dílech vznikat a jak je pomocí modulu *Healing Assistant* zobrazíme a zároveň analyzujeme, o jaký druh chyby se jedná. Nyní bude popsáno, jak jednotlivé chyby opravit, tak aby bylo možné plošnou součást příkazem *Join* spojit a použít ji pro další konstrukční účely.

Pokud součást obsahuje chyby, příkaz *Join* vypíše chybné varování (*Obr. 49.*). Chybná místa jsou na součásti zobrazena. Je znám jejich počet, ale není známo, o jaký druh chyby se jedná. Součást nelze spojit a je nutno ji opravit.

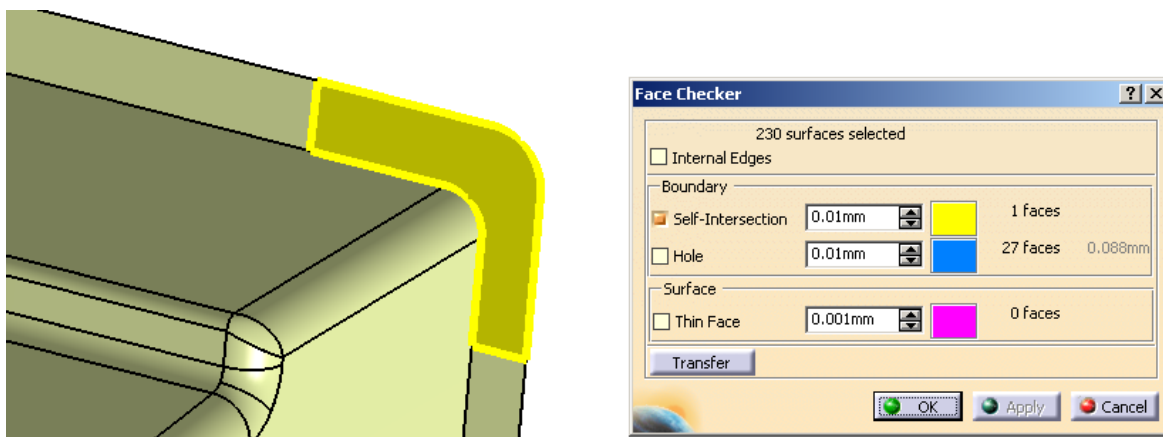


Obr. 49. Chybové hlášení příkazu *Join*

Ideální je začít kontrolu dílu příkazem *Face Checker* a *Surface Connection Checker*. Pomocí obou příkazů převedeme chybné plochy do nových *Geometrical setů* a můžeme tak jednotlivé chyby kontrolovat a postupně odstraňovat. *Geometrical sety* jsou pojmenovány jako chyba mezi plochami, které jsou v tomto setu.

8.1 Oprava chyb - Face Checker

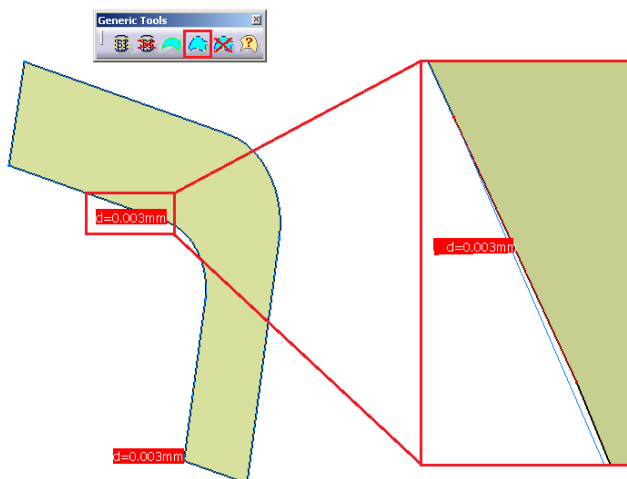
Obr. 50. znázorňuje součást kontrolovanou pomocí příkazu *Face Checker*. Je vidět, že se na součásti nachází jedna chyba typu *Self-Intersection*. Chybná plocha je tedy pomocí příkazu *Face Checker* převedena do nového *Geometrical setu*.



Obr. 50. Oprava chyby *Self-Intersection*

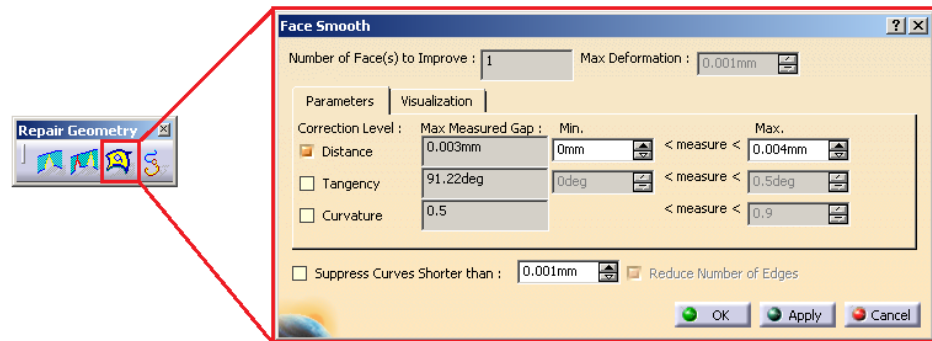
Chybná plocha může být opravena:

- Automaticky – zaškrtnutím příkazu *Automatic Repair*
- Manuálně – protože se jedná o plochu, která protíná sama sebe, při opravě postupujeme takto:
 - Pomocí příkazu *Apply Boundary Options* si zobrazíme geometrické hranice chybné plochy se zaškrtnutým políčkem *Threshold*



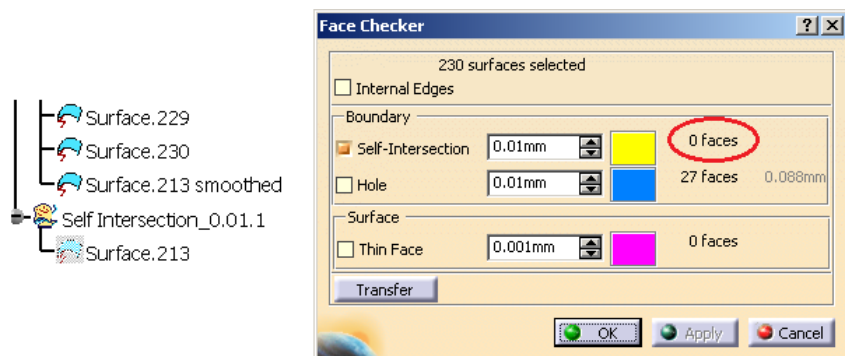
Obr. 51. Zobrazení geometrických hranic

- Pro opravu se použije příkaz **Face Smooth** v panelu *Repair Geometry*. Zaškrtně se možnost *Distance* a do políčka *Max.* se napíše o jednotku větší číslo, než jsme zjistili příkazem *Apply Boundary Options* (Obr. 51.). V našem případě hodnota *Threshold* je 0,003mm, v panelu *Face Smooth* zadáme tedy hodnotu 0,004mm.



Obr. 52. Face Smooth

Jakmile je příkaz potvrzen, chybná plocha je převedena zpět do původního *Geometrical setu* s přívlastkem *Smoothed*. Pokud je součást opětovně zkontrolována příkazem *Face Checker*, vidíme, že chyba byla opravena.



Obr. 53. Self-Intersection – opraveno

Příkaz *Face Smooth* upravuje okraje hranic v rámci námi zadané tolerance. Potlačuje velmi malé okraje tím, že je odstraní nebo dojde k jejich zřetězení.

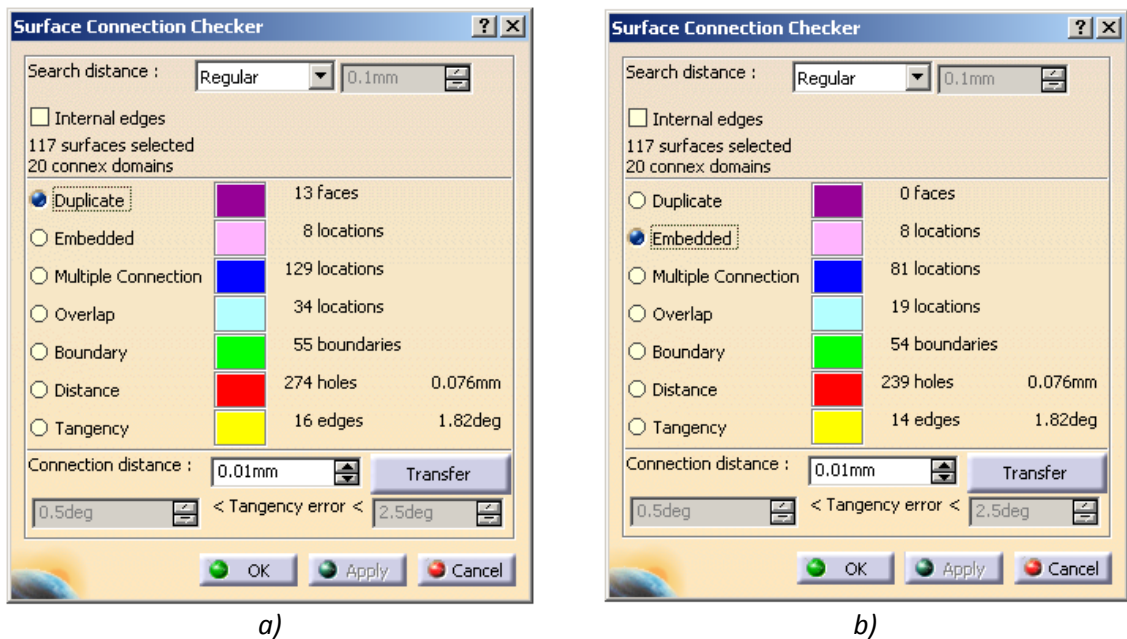
8.2 Oprava chyb - Surface Connection Checker

Surface Connection Checker zjistí veškerou špatnou topologii na součásti. Tyto špatné topologické situace mohou být obvykle opraveny:

- Vymazáním nepotřebných ploch
- Oříznutím ploch
- Opravou ploch, které způsobují nekonzistenci v orientaci

Obr. 54. a) zobrazuje analýzu chybné součásti pomocí příkazu *Surface Connection Checker*. Po převedení duplicitních ploch do nového *Geometrical setu*, je počet duplicitních ploch 0 a vidíme, že počet ostatních chyb se změnil (Obr. 54. b). Je to způsobeno tím, že jedna chyba zapříčiňuje chyby další. Např. duplicitní, nebo vložená chyba způsobuje, že se

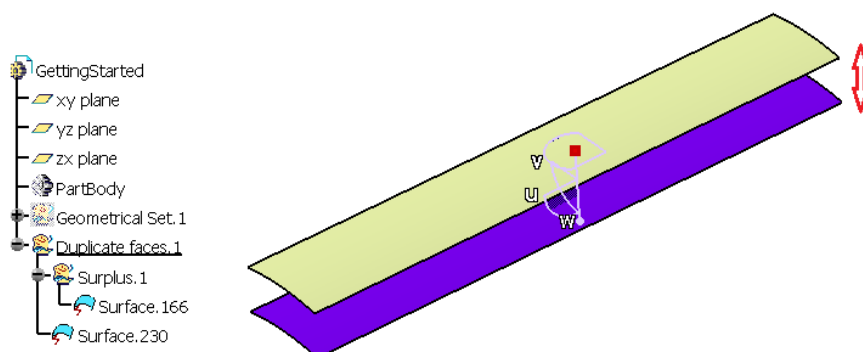
nabízí vícenásobné spojení. Odstraněním jedné chyby se tedy odstraní i chyby, které spolu nějakým způsobem souvisí.



Obr. 54. Oprava chyb – Surface Connection Checker: a) Před Transfer Duplicite, b) Po Transfer Duplicite

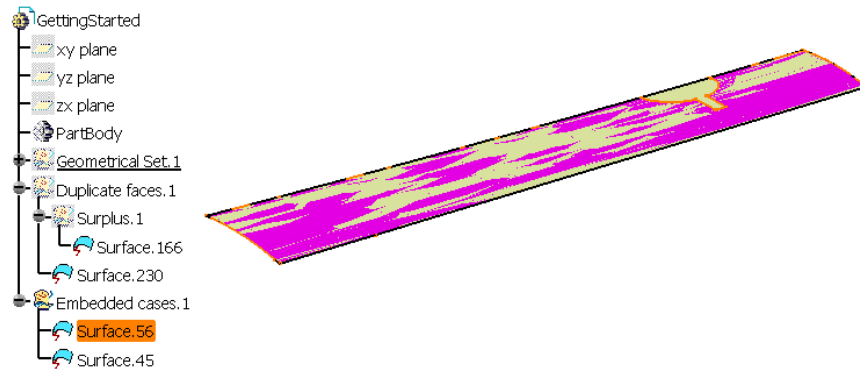
8.2.1 Duplicate, Embedded – Oprava

Pokud součást obsahuje duplicitní nebo vložené plochy, jejich oprava je zpravidla rychlá a jednoduchá. Jestliže na sobě leží dvě stejné plochy, stačí jednu z nich odstranit. Pokud je do jedné plochy vložena druhá, tak nepotřebnou plochu odstraníme. Po převedení do *Geometrical setů* je tato operace snadná a přehledná. U duplicitní chyby se v *Geometrical setu* vytvoří podsložka (*Surplus*), ve které jsou nadbytečné plochy.



Obr. 55. Duplicitní plocha

Na Obr. 56. je vyobrazená vložená plocha, která má růžovou barvu, aby bylo zřetelné, jak v sobě tyto dvě plochy leží.



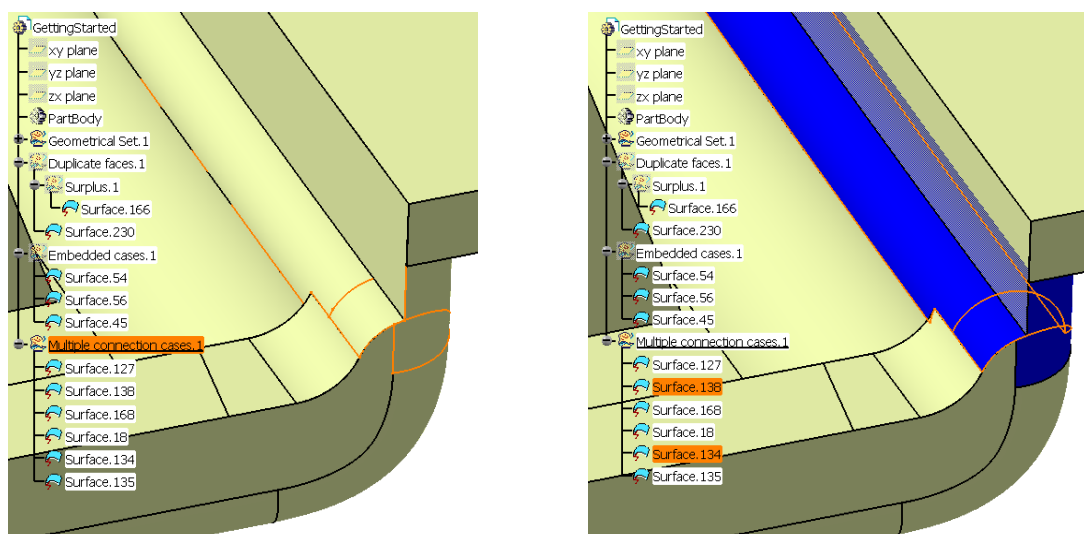
Obr. 56. Vložená plocha

8.2.2 Multiple Connection – Oprava

Oprava chyby *Multiple Connection* znamená, že je nutné odstranit plochu, která zapříčiňuje vícenásobné spojení. Tuto chybu opravíme jedním z těchto způsobů:

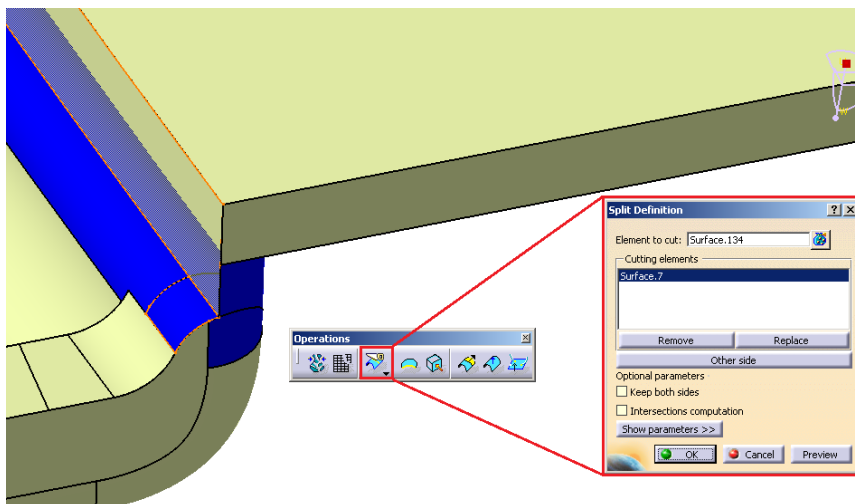
- Odstraněním nepotřebné plochy – v tomto případě se zde nachází nadbytečná plocha, která nebyla označena ani jako duplicitní nebo vložená. Plocha způsobuje vícenásobné spojení a jejím odstraněním bude problém vícenásobného spojení vyřešen.
- Ořezáním pomocí příkazu *Split* – migrací dat došlo k tomu, že nějaká plocha byla nevhodně prodloužena (protažena) a je nutné plochu oříznout tak, aby nevznikla možnost vícenásobného spojení.

Na *Obr. 57.* vidíme příklad chyby *Multiple Connection*. Vlevo jsou vybrány chybné plochy. Pro bližší analýzu problému jsou chybné plochy obarveny modře a je zprůhledněna plocha viz *Obr. 57.* vpravo.



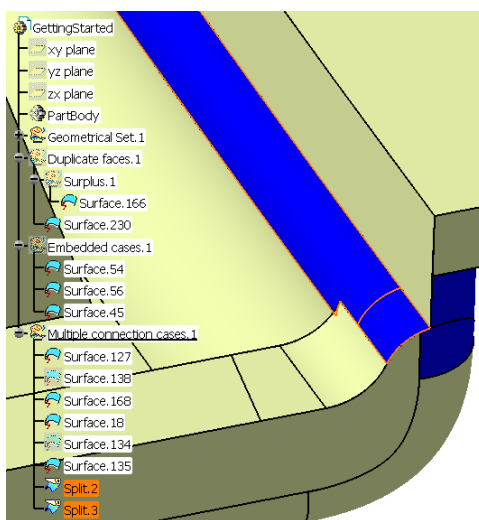
Obr. 57. Vícenásobné spojení

Zprůhledněnou plochou ořízneme chybné plochy, aby nepokračovaly dovnitř do součásti. Ořezání provedeme příkazem *Split* v panelu *Operations*. Do políčka *Element to cut* je vybrána modrá plocha, do políčka *Cutting elements* plocha zprůhledněná. Tento postup opakujeme i pro druhou modrou plochu.



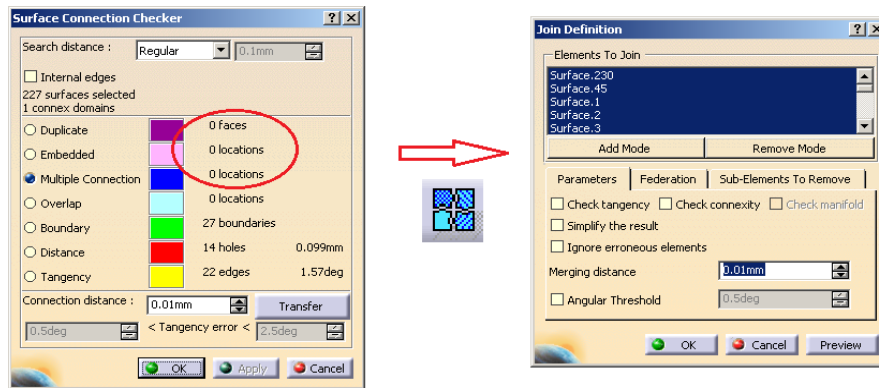
Obr. 58. Oprava *Multiple Connection* příkazem *Split*

Na Obr. 59. vidíme ořezané plochy, které už dál do tělesa nepokračují, a chyba vícenásobného spojení je odstraněna.



Obr. 59. Oprava *Multiple Connection*

Jakmile se na součásti nenachází vícenásobné spojení, duplicitní a vložené plochy, je možné součást spojit příkazem *Join*. Po spojení součásti je nutno odstranit volné strany ploch, čímž opravíme zbývající chyby *Overlap*, *Boundary*, *Distance* a *Tangency*.

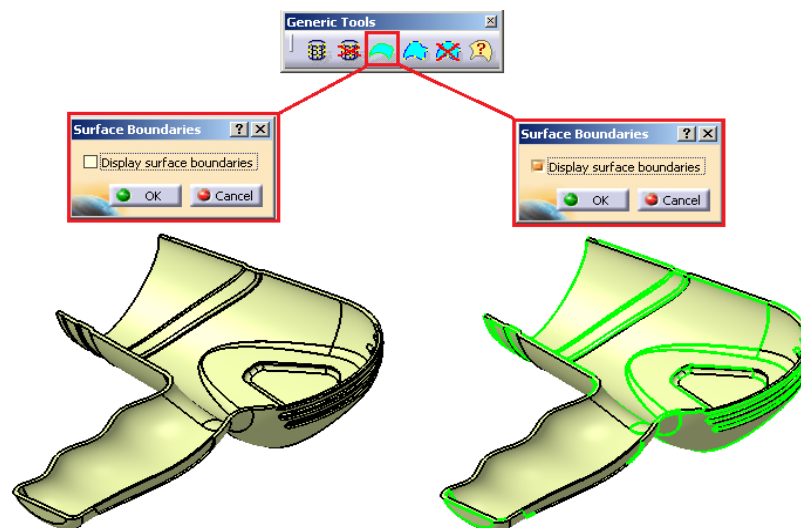


Obr. 60. Join částečně opravené součásti

8.3 Oprava volných stran

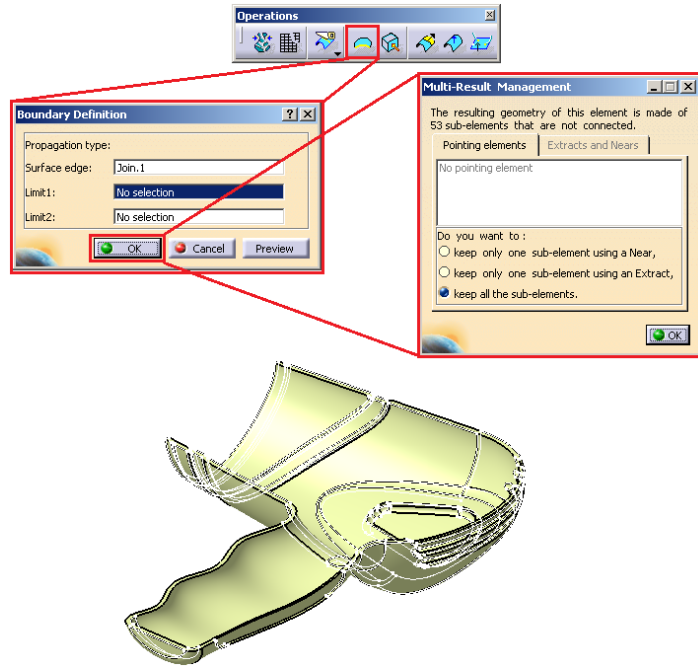
Volné strany znamenají, že na součásti se nacházejí plochy, které nejsou nijak připojeny k ploše sousední (proto volné strany). Okraje takové plochy značí neuzavřenost součásti.

Aby bylo možné převést plošnou součást na objem, nesmí obsahovat žádné volné strany. Součást musí být uzavřena (vodotěsná, bezešvá). Je potřeba analyzovat a potlačit všechny volné strany. Volné strany zobrazíme ikonou **Surface Boundaries** v panelu *Generic Tools*. Volné strany se na součásti vyznačí zeleně a víme, kde součást není uzavřena.



Obr. 61. Zobrazení volných stran pomocí Surface Boundaries

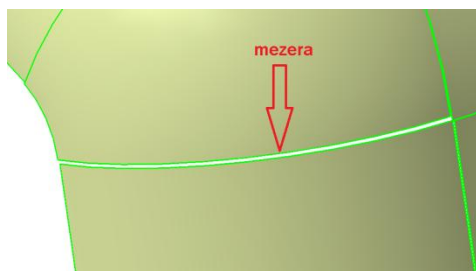
Pro zvýraznění volných stran je také možné použít příkaz **Boundary** v panelu *Operations*. Příkaz vypíše chybové hlášení, pokud se na součásti volné strany nenacházejí, takže tato funkce slouží i jako kontrola, zda je součást uzavřena. Jak je vidět na Obr. 62. volné strany je možné prosvítit a ponechat na výrobku. Zmíněná vlastnost této funkce se v praxi velmi často používá.



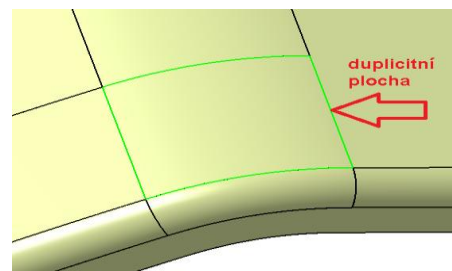
Obr. 62. Zobrazení a zvýraznění volných stran pomocí Boundary

Jsou možné čtyři různé případy volných stran:

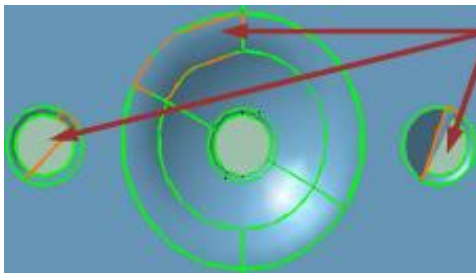
- a) Mezery (včetně přesahů) větší než *Merging Distance* v příkazu *Join*
- b) Duplicitní nebo vložené plochy, nesloučené příkazem *Join*
- c) Neplatný element (není detekován operátorem *Join*)
- d) Chybějící element



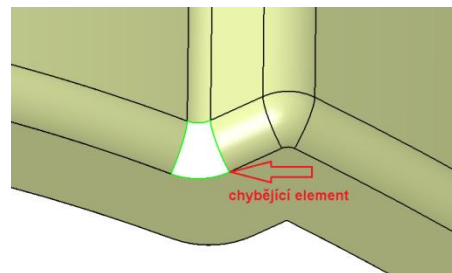
a)



b)



c)



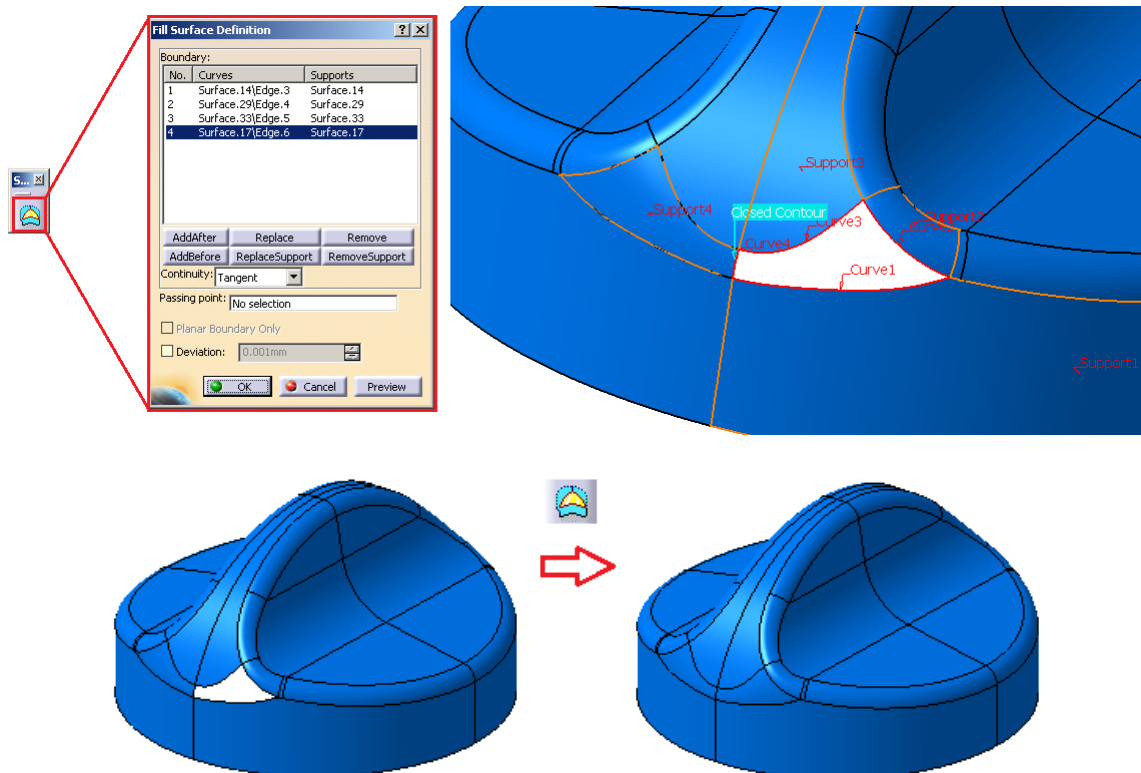
d)

Obr. 63. Případy volných stran

Duplicitní a vložené plochy se opraví pomocí funkce *Surface Connection Checker*, což bylo popsáno v kapitole 8.2.

Chybějící elementy vyplníme pomocí funkce *Fill*, případně jiným nástrojem pro vytváření ploch.

Neplatné elementy je nutné odstranit a následuje postup jako u chybějících elementů.



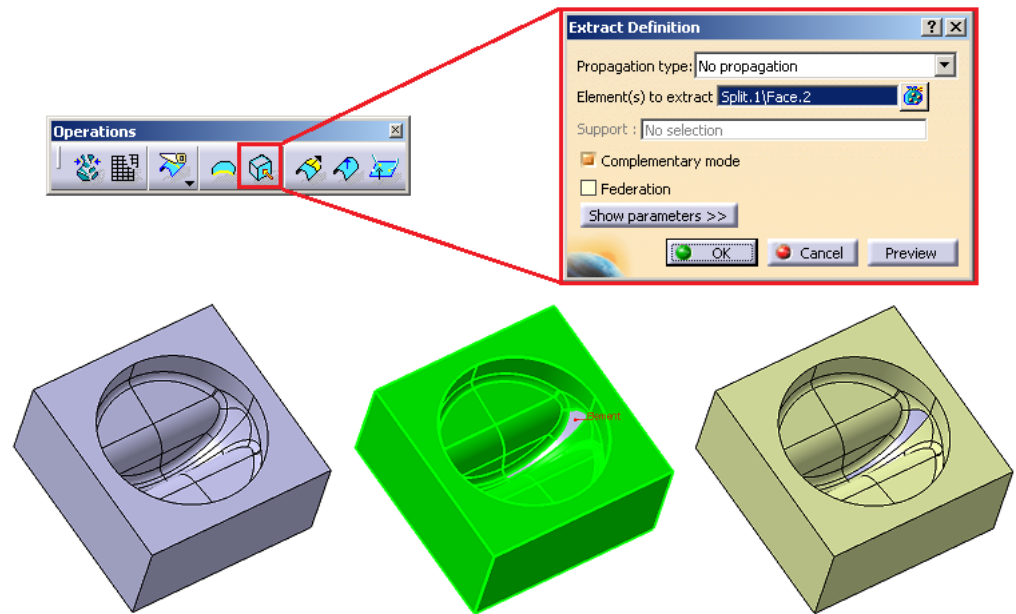
Obr. 64. Vyplnění chybějící plochy funkcí *Fill*

Po odstranění neplatných elementů, opravení duplicitních, vložených a chybějících ploch už zbývají jen mezery (volné strany). Mezery je možné měřit příkazem *Surface Connection Checker*.

Mezery mohou být opraveny:

- Pouze na topologické úrovni příkazem *Join* nebo *Local Join* – mezery stále existují, jsou pouze skryty.
- Na úrovni topologické i geometrické:
 - Příkazem *Healing* nebo *Local Healing*
 - Pokud je k dispozici objemový model, je možné odstranit plochu, která je špatně připojená k ostatním a nahradit ji novou plochou. K odstranění plochy z topologie může být použit příkaz *Extract* se zaškrtnutím možnosti

Complementary mode option. Výsledkem jsou všechny plochy tělesa, kromě plochy vybrané. Pro odstranění několika ploch najednou je možné použít příkaz *Multiple Extract* z modulu *Generative Shape Design* (příkaz není k dispozici v modulu *Healing Assistant*).



Obr. 65. Ukázka použití příkazu *Extract* na objemové těleso

8.3.1 Local Join

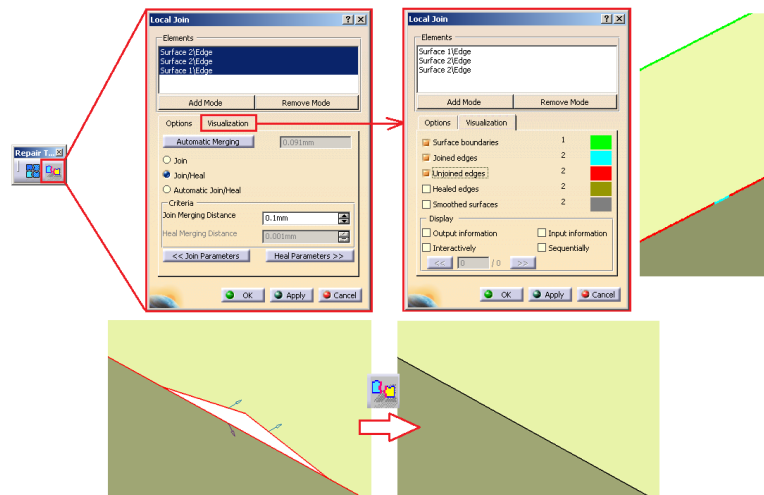
- Operátor *Local Join* může být použit k uzavření mezery v ploše, nebo mezi plochami
- Operátor zajišťuje lokální uvolnění tolerancí pouze pro vybrané hrany
- Je možné zvolit všechny hranice, které je možno spojit najednou
- Zacelit mezeru je možné na topologické i geometrické úrovni

Po spuštění příkazu *Local Join* se vyberou křivky, které určí hranici opravované mezery. Políčko *Automatic Merging* zobrazuje největší zjištěnou mezeru, kliknutím na něj automaticky zadá tuto vzdálenost jako *Join Merging Distance*. Dále se volí způsob opravy:

- *Join* – spojení na topologické úrovni
- *Join/Heal* – spojení na topologické a geometrické úrovni, po té následuje léčení
- *Automatic Join/Heal* – spojí dle zadané tolerance a vyléčí mezery větší než je tato tolerance

Hodnota *Healing Merging Distance* se zadává, pokud je rozdílná od *Join Merging Distance* (v případě *Automatic Join/Heal*).

V záložce *Visualization* jsou k dispozici parametry pro kontrolu výsledku opravy.



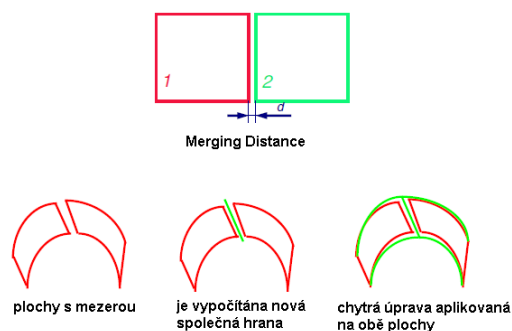
Obr. 66. Oprava pomocí operátoru *Local Join*

8.3.2 Healing Operator

Koncept operátoru *Healing* je zaměřen na spojení mezi plochami (stejně jako *Join*) a na úpravu ploch, pokud slučovací vzdálenost není v dané toleranci (*Merging distance*). Uživatel sníží vzdálenost na určitou míru (*Distance Objective*).

Healing = *Join* + úpravy povrchů uzavřením geometrie na společných hranách.

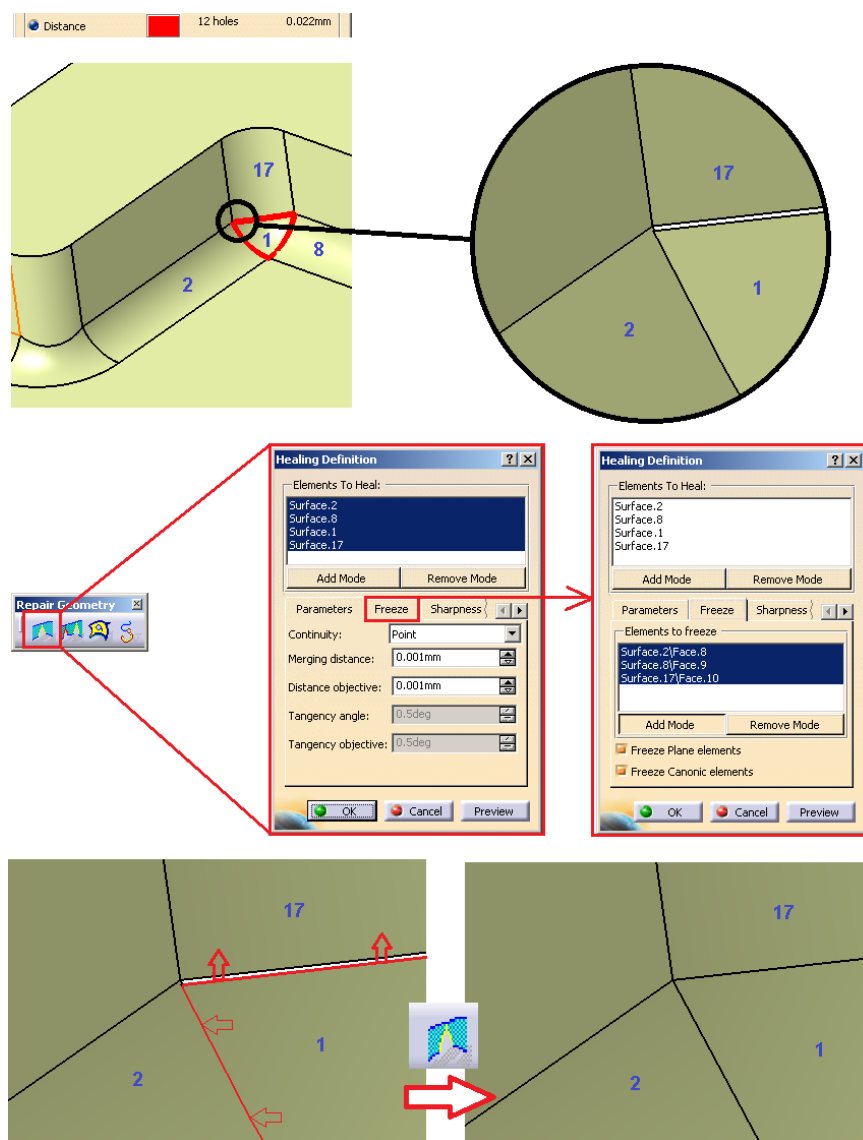
- $d < 0,001 \text{ mm}$ (systémová tolerance): geometrie i topologie je uzavřena
- $0,001 \text{ mm} < d < \textit{Merging distance}$: geometrie není uzavřena, ale topologie ano => operátor *Healing* modifikuje plochy a uzavře geometrii.
- $d > \textit{Merging distance}$: geometrie není uzavřena, operátor *Healing* plochy nevytlčí, protože ani topologie není uzavřena.



Obr. 67. Grafické znázornění funkce *Healing*

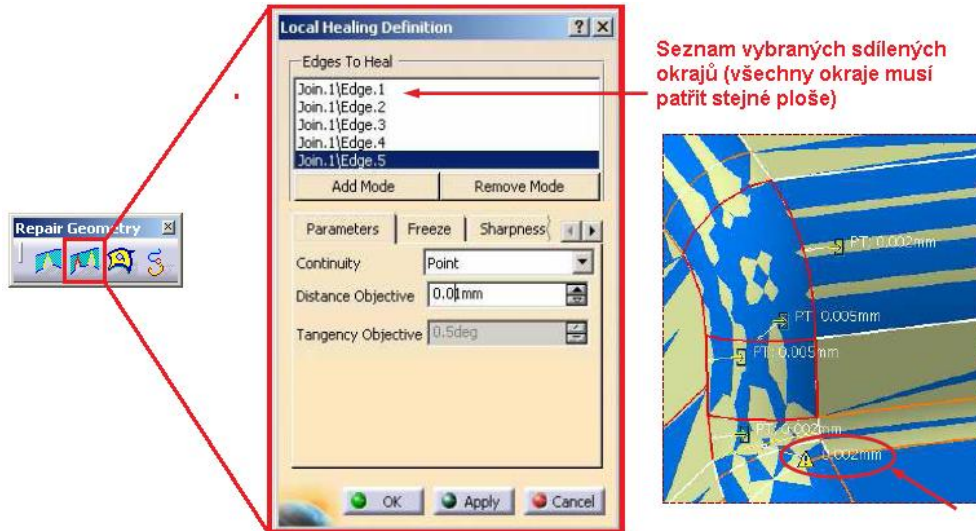
Tento proces je zcela automatický: celý povrch je zpracován. *Healing* vyplňuje mezery, ale také tečné plochy, což může být užitečné pro ofsetové povrchy. Deformace zachovává tendenci tvaru. Konkrétní plochy mohou být zmrazeny, takže nejsou deformovány (např. přesné funkční plochy).

Na Obr. 68. je ukázáno praktické využití funkce *Healing*. Pomocí *Surface Connection Checkeru* bylo zjištěno, že na ploše číslo 1 se nacházejí volné hrany. Za použití příkazu *Healing* je provedena oprava. Jako *Elements To Heal* jsou vybrány plochy 1, 2, 8 a 17. Řekněme, že plochy 2, 8 a 17 jsou funkční (vyžadujeme velkou přesnost), nesmí se tedy při opravě nijak deformovat. V záložce *Freeze* tyto plochy vybereme a příkaz dokončíme. Obr. 68. dole znázorňuje trend, jakým se plocha č. 1 připojí k sousedním plochám.



Obr. 68. Operátor *Healing*

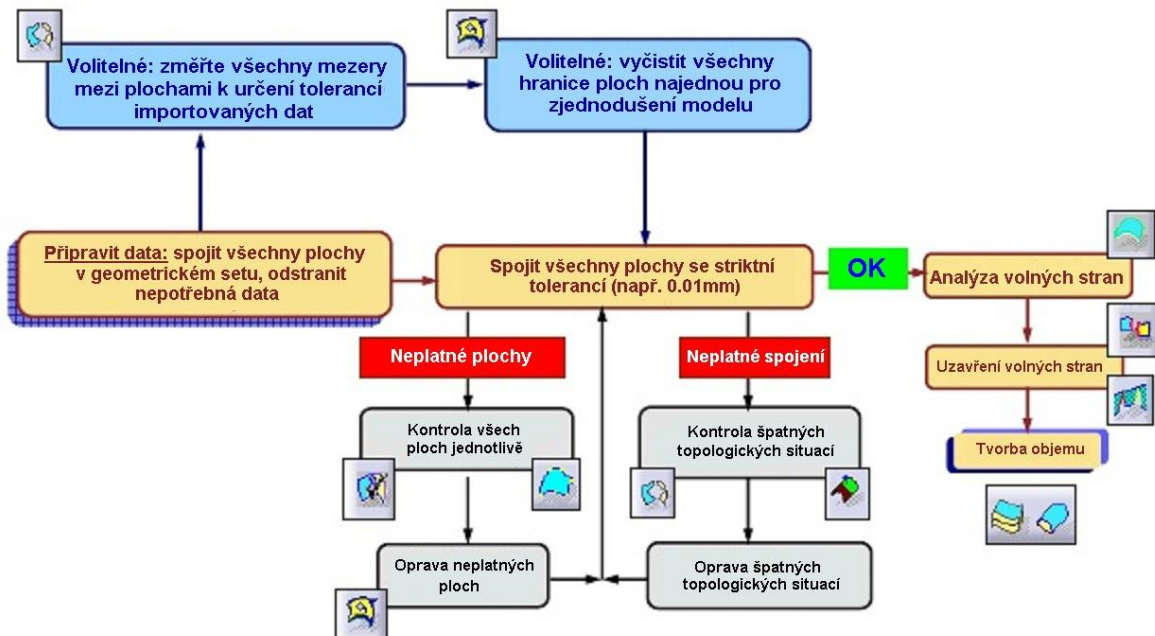
Local Healing umožňuje zvolit sdílené hrany povrchu, a všechny plochy, které sdílejí vybranou hranu, jsou geometricky korigovány. Operace nezahrnuje výpočet spojení. Vybrané hrany musí být spojeny – *Healing* nefunguje na volných stranách.



Obr. 69. Operátor *Local Healing*

8.4 Metodologie opravy plošné součásti

Všeobecný proces léčení poškozené součásti zobrazuje následující diagram.

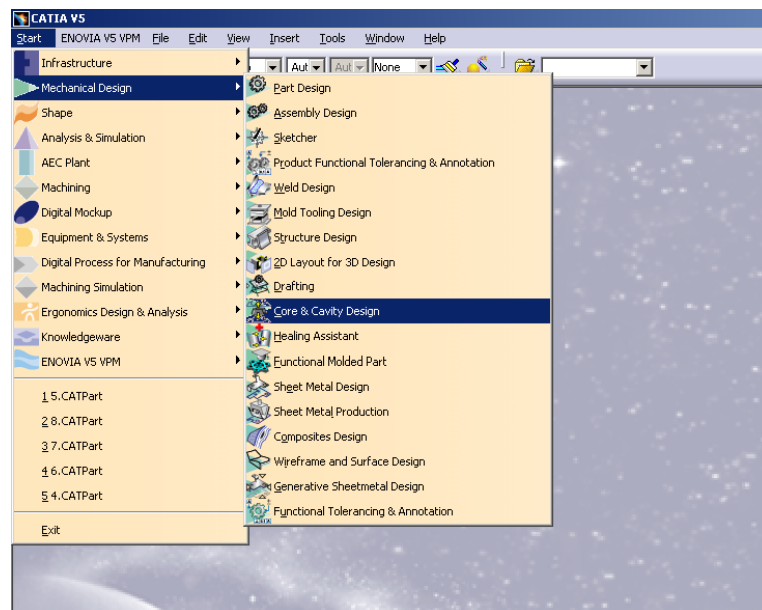


Obr. 70. Metodologie léčení

9 TVORBA TVÁRNÍKŮ A TVÁRNIC V CORE AND CAVITY DESIGN

Dalším úkolem diplomové práce je tvorba tvarové dutiny vstřikovací formy. Pro tvorbu dutiny byly použity opravené díly, což slouží jako demonstrace použití takové součásti v praxi. Dutiny byly vytvořeny v modulu *Core and Cavity Design*, který má řadu speciálních nástrojů usnadňující vytvoření dutiny.

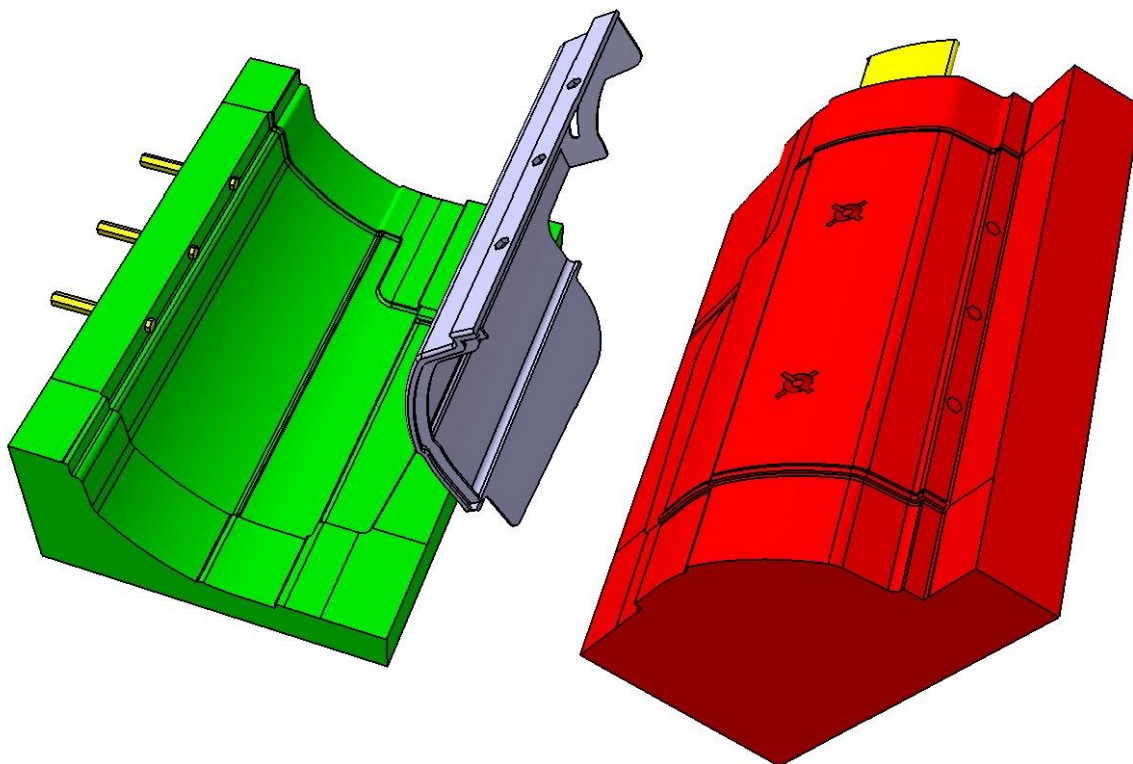
Postup vytváření dutin je obsažen v příloze této práce.



Obr. 71. Spuštění modulu *Core and Cavity Design*

9.1 Tvarová dutina dílu 1

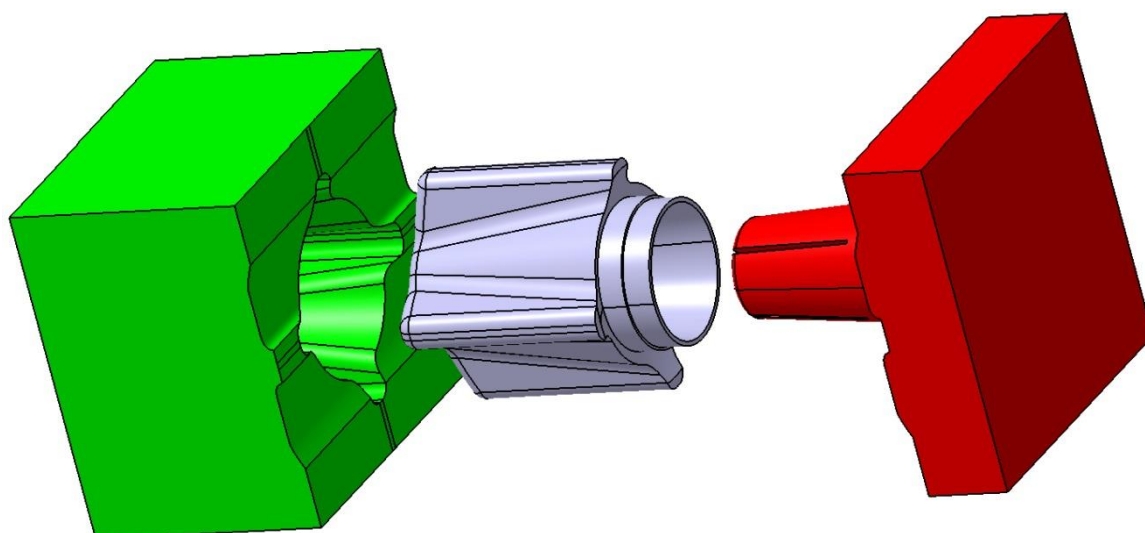
Tvarová dutina dílu 1 se skládá z tvárnice (zeleně), tvárníku (červeně) a dvou bočních posuvových kostek (žlutě), jak je vidět na *Obr. 72*. Jedná se o koncepční návrh, kdy jednotlivé části dutiny, zejména boční posuvové kostky nejsou dovedeny do finální úpravy, protože úkolem bylo ukázat použití vyléčeného dílu pro tvorbu dutiny. V praxi by se při otevírání formy nejdříve musely vytáhnout z dutiny boční posuvové kostky, až po té by se otvírala hlavní dělicí rovina.



Obr. 72. Tvarová dutina dílu 1

9.2 Tvarová dutina dílu 2

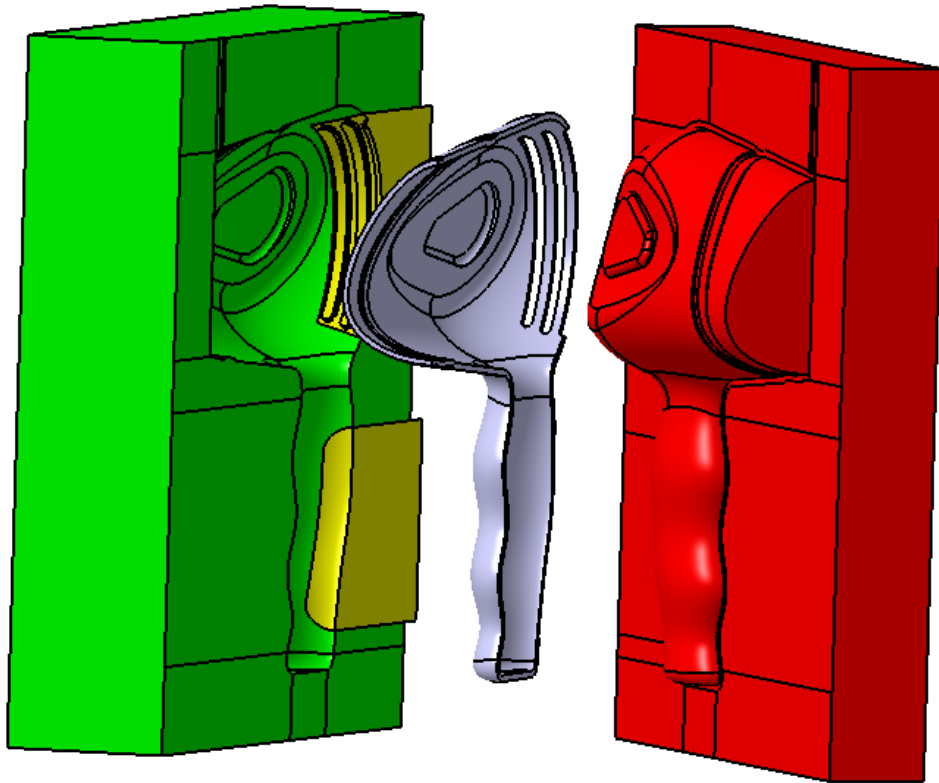
Tvarová dutina druhého dílu má jednu hlavní dělicí rovinu, která se skládá z tvárnice a tvárníku. K výrobě tohoto dílu není potřeba bočního odformování.



Obr. 73. Tvarová dutina dílu 2

9.3 Tvarová dutina dílu 3

Tvarová dutina dílu 3 se skládá z tvárnice, tvárníku a dvojice bočních posuvových kostek. Stejně jako u dutiny dílu 1, i zde se musí nejdříve z dutiny vytáhnout boční posuvové kostky, a až poté otevřít hlavní dělicí rovinu.



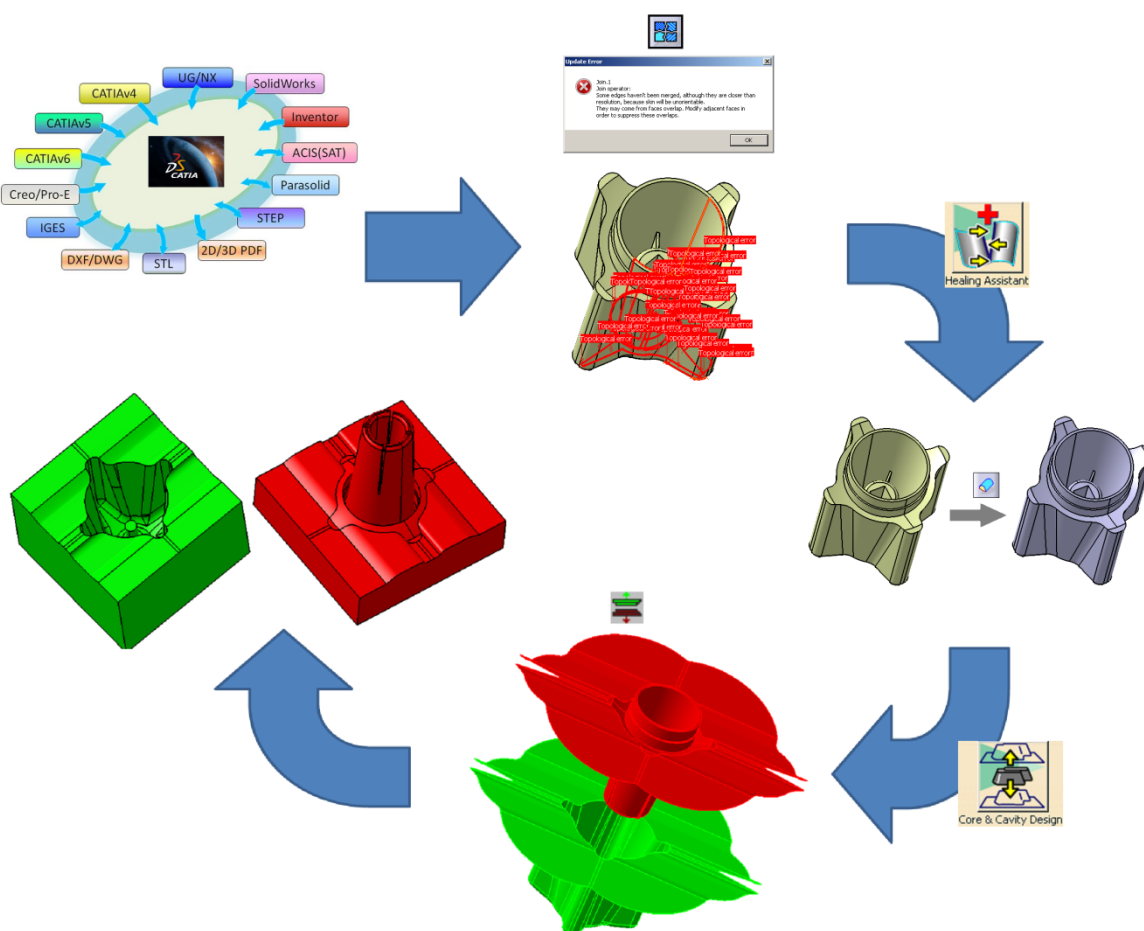
Obr. 74. Tvarová dutina dílu 3

Vytvořené tvarové dutiny jsou uloženy na CD, které je přílohou této práce. Jsou zde k dispozici soubory jednotlivých plošných dílů, kde je vidět v objektovém stromě postup tvorby jednotlivých ploch, kterými se pak ořezávaly objemové díly. Z objemových dílů je dutina vytvořena jako sestava, která je také uložena na CD.

10 VYTVOŘENÍ PRACOVNÍCH POSTUPŮ ÚPRAV PLOŠNÝCH PRVKŮ

Vytvoření pracovních postupů je výsledkem praktické části diplomové práce. Pracovní postupy jsou vytvořeny jako manuál opravy jednotlivých dílů a následné vytvoření tvarových dutin. Pro každý díl je vytvořen manuál nezávisle na sobě, proto se některé kroky v postupech opakují. Potencionální uživatel si pak může vybrat manuál, podle složitosti součásti.

Předpokládá se, že uživatel manuálu má základní znalosti softwaru CATIA a umí pracovat s moduly *Part Design*, *Generative Shape Design* a částečně také s *Core and Cavity*.



Obr. 75. Obecný proces tvorby manuálu

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala metodou oprav plošných konstrukcí v systému CATIA V5. Bylo obecně popsáno modelování se zaměřením na modelování plošné. Byly popsány vybrané softwary, které obsahují plošný modelář. Na plošných modelech mohou migrací mezi těmito softwary vznikat chyby. Chyby dále vznikají změnou formátu souboru a konstrukčními chybami.

Program CATIA obsahuje modul *Healing Assistant*, který slouží pro kontrolu plošných součástí. Bylo popsáno jak chyby s pomocí modulu *Healing Assistant* nalezneme a opravíme. Využití tohoto modulu je v praktické části předvedeno na poškozených plošných součástech. Chyby na součástech vznikly migrací mezi různými CADy. Jsou řešeny příčiny jednotlivých chyb a vždy je vysvětleno jak chybu opravit. Opravené součásti byly využity na tvorbu tvarových dutin vstříkovací formy. Tvorba dutin byla provedena v modulu *Core and Cavity Design* programu CATIA.

Speciální sada nástrojů, které obsahuje modul *Healing Assistant* poskytuje konstruktérovi rychlou a efektivní kontrolu plošného dílu. Pokud tedy konstruktér pracuje často s plošnými modely, které navíc pochází z jiného CAD systému, znalost modulu *Healing Assistant* je mu potom velmi užitečná.

Výsledkem této diplomové práce jsou soubory uložené na CD, které je přílohou této práce. V příloze se nachází tyto soubory:

- Manuály součástí
- Poškozené součásti
- Opravené součásti
- Tvarové dutiny součástí

Po otevření libovolného souboru v softwaru CATIA uživatel v objektovém stromě vidí jednotlivé kroky pracovního postupu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] TICKOO, S. *CATIA: kompletní průvodce. 1. vyd.* Brno: Computer Press, 2012, 696 s. ISBN 978-80-251-3527-3.
- [2] FABIAN, M., SPIŠÁK E. *Navrhování a výroba pomocí CA.. technologií. 1. vyd.* Brno: Vydavatelství CCB, 2009, 398 s. ISBN 978-80-85825-65-7.
- [3] PÍŠA, Z., POLZER, A. *VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. CAD: Systémy CAD.* Brno, 2006. Dostupné z: http://esf.fme.vutbr.cz/modul/3/systemy_cad.pdf.
- [4] *Stručná historie CAD/CAM až po současnost* [online]. 2002 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2002/xkubin2_CAD-CAM.htm.
- [5] *The History of CAD* [online]. 2003 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://www.mbdesign.net/mbinfo/CAD-History.htm>.
- [6] *Počítačová podpora konstruování* [online]. 2003 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z WWW: <http://www.mbdesign.net/mbinfo/CAD-History.htm>.
- [7] LATIT, K. *Computer aided design and manufacturing.* New Delhi: Prentice-Hall of India, 2008. ISBN 81-203-3342-X. Dostupné z: <http://books.google.cz/books?id=zXdivq93WIUC&lpg=PP1&hl=cs&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
- [8] CATIA – 3D CAD [online]. 2012 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://www.technodat.cz/catia>
- [9] CATIA. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/CATIA>
- [10] 11 důvodů, proč používat 3D CAD. CAX MIX. 2012, 1.3.
- [11] *CAD/CAM/CAE. CAD/CAM Fundamentals* [online]. 2013 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://cadcamfunda.com/home>
- [12] *Generative Shape Design* [online]. 1994 [cit. 2014-01-09]. Dostupné z: https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/files/22063/generative_shape_design.pdf?1370111422

- [13] *CATIA Portfolio* [online]. 2002 [cit. 2014-01-09]. Dostupné z: http://www.3ds.com/products-services/catia/portfolio/catia-v5/all-products/domain/Shape_Design_Styling/product/GSD/
- [14] *CATIA Fórum* [online]. 2010 [cit. 2014-01-09]. Dostupné z: <http://www.catia-forum.cz/manual-catia/shape/>
- [15] *Core and Cavity Design* [online]. 2009 [cit. 2014-01-09]. Dostupné z: http://yvonet.florent.free.fr/SERVEUR/COURS%20CATIA/CATIA%20Mechanica/CCV_F/Teacher/EDU_CAT_EN_CCV_FI_V5R19_toprint.pdf
- [16] *Core & Cavity Design* [online]. 2004 [cit. 2014-01-09]. Dostupné z: http://www.idxsolutions.com/software_solutions/catia/v5/ccv/
- [17] *Healing Assistant* [online]. 2005 [cit. 2014-01-09]. Dostupné z: http://www.mech.upatras.gr/~papado/CAD/catia/catpdfha1ug_C2/ha1ug.pdf
- [18] *Healing Assistant* [online]. 2005 [cit. 2014-01-09]. Dostupné z: http://yvonet.florent.free.fr/SERVEUR/COURS%20CATIA/CATIA%20Mechanica/HA1_F/Student/EDU_CAT_EN_HA1_FF_V5R19_toprint.pdf
- [19] *CATIA Portfolio - Healing Assistant* [online]. 2002 [cit. 2014-01-09]. Dostupné z: http://www.3ds.com/products-services/catia/portfolio/catia-v5/all-products/domain/Mechanical_Design/product/HA1/?cHash=c3bef4eebcb537981bfb35d46b006768
- [20] *SolidWorks Standard* [online]. 2010 [cit. 2014-01-11]. Dostupné z: <http://www.solidvision.cz/solidworks-standard/#U1>
- [21] *SolidWorks* [online]. 2008 [cit. 2014-01-11]. Dostupné z: <http://www.solidworks.com/>
- [22] *Autodesk* [online]. 2004 [cit. 2014-01-11]. Dostupné z: <http://www.autodesk.cz/products/autodesk-inventor-family/overview>
- [23] *Autodesk Inventor* [online]. 2005 [cit. 2014-01-11]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/inventor>
- [24] *Siemens: NX* [online]. 2010 [cit. 2014-01-11]. Dostupné z: http://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/nx/

- [25] *NX Cad* [online]. 2011 [cit. 2014-01-11]. Dostupné z: <http://www.axiomtech.cz/24790-cad-nx-a-solid-edge>
- [26] *Solid Edge* [online]. 2009 [cit. 2014-01-11]. Dostupné z: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/velocity/solidedge/index.shtml
- [27] *Solid Edge: AXIOM TECH* [online]. 2008 [cit. 2014-01-11]. Dostupné z: <http://www.axiomtech.cz/24791-cad-nx-a-solid-edge>
- [28] *PTC Creo* [online]. 2008 [cit. 2014-01-11]. Dostupné z: <http://creo.ptc.com/>
- [29] *Creo* [online]. 2009 [cit. 2014-01-11]. Dostupné z: <http://www.aveng.cz/technologie/creo.aspx>
- [30] *Vero* [online]. 2010 [cit. 2014-01-11]. Dostupné z: <http://www.veroftware.com/>
- [31] *VISI* [online]. 2010 [cit. 2014-01-11]. Dostupné z: <http://visi.cz/>
- [32] *ZWSOFT* [online]. 2013 [cit. 2014-01-13]. Dostupné z: <http://www.zwsoft.cz/>
- [33] *ZW3D* [online]. 2012 [cit. 2014-01-13]. Dostupné z: <http://www.techsoft.sk/cz/cad/zw3d>
- [34] *ZW3D* [online]. 2011 [cit. 2014-01-13]. Dostupné z: <http://www.zwsoft.com/zw3d/index.html>
- [35] *CAX systémy* [online]. 2013 [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://mircom.webnode.com/cax-systemy/>
- [36] *Healing Assistant - Free*. [online]. [cit. 2014-03-18]. Dostupné z: http://www.mech.upatras.gr/~papado/CAD/catia/catpdfha1ug_C2/ha1ug.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CA	Computer Aided (počítačová podpora)
CAD	Computer Aided Design (počítačem podporované navrhování)
CAE	Computer Aided Engineering (počítačem podporované konstruování)
CAM	Computer Aided Manufacturing (počítačem podporovaná výroba)
CAPC	Computer Aided Production Control (počítačem podporovaná kontrola výroby)
CAPM	Computer Aided Production Management (počítačem podporovaný management výroby)
CAPP	Computer Aided Process Planning (počítačem podporované plánování výroby)
CAQ	Computer Aided Quality (počítačem podporovaná kvalita)
CIM	Computer Integrated Manufacturing (počítačem podporované uspořádání výroby)
CNC	Computer Numerical Control (číslicové řízení pomocí počítače)
DMU	Digital Mock-Up
FEM	Finite Element Method (metoda konečných prvků)
HA	Healing Assistant (asistent léčení)
NC	Numeric Control (číslicové řízení)
PLM	Product Lifecycle Management (zpráva životního cyklu výrobku)
PPS	Production Planning Systém (plánování výroby)

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. 2D CAD</i>	12
<i>Obr. 2. 3D CAD</i>	12
<i>Obr. 3. Počítačová podpora návrhu integrovaných obvodů, 1967</i>	13
<i>Obr. 4. Současnost CAD</i>	15
<i>Obr. 5. Provázanost CAPP s ostatními CA systémy</i>	18
<i>Obr. 6. CAM (Computer Aided Manufacturing)</i>	19
<i>Obr. 7. CAE (Computer Aided Engineering) – ukázka programu MoldFlow pro optimalizaci vstřikování plastů</i>	20
<i>Obr. 8. CATIA V5</i>	24
<i>Obr. 9. CATIA V6</i>	25
<i>Obr. 10. Porovnání verze CATIA V5 a V6</i>	25
<i>Obr. 11. Znárodnění PLM</i>	26
<i>Obr. 12. Modul Generative Shape Design</i>	31
<i>Obr. 13. Modul Core and Cavity Design</i>	32
<i>Obr. 14. Modul Healing Assistant</i>	33
<i>Obr. 15. Využití modulu Healing Assistant</i>	34
<i>Obr. 16. Plošné modelování v programu SolidWorks</i>	35
<i>Obr. 17. Plošné modelování v programu Inventor</i>	36
<i>Obr. 18. Plošné modelování v programu NX</i>	37
<i>Obr. 19. Plošné modelování v programu Solid Edge</i>	38
<i>Obr. 20. Plošné modelování v programu Creo</i>	39
<i>Obr. 21. Plošné modelování v programu Visi</i>	40
<i>Obr. 22. Plošné modelování v programu ZW3D</i>	41
<i>Obr. 23. Prominent Healing Capacity v programu ZW3D</i>	41
<i>Obr. 24. Spuštění modulu HA</i>	44
<i>Obr. 25. Příkaz Join v panelu Repair Topology</i>	45
<i>Obr. 26. Join: a) Merging distance, b) orientace ploch</i>	46
<i>Obr. 27. Join: a) Nespojený model, b) Spojený model</i>	46
<i>Obr. 28. Chyba typu “self-intersection edges“</i>	47
<i>Obr. 29. Chyba typu Incorrect boundary</i>	47
<i>Obr. 30. Chyba typu Very small curves</i>	47
<i>Obr. 31. Chyba typu Non supported topology</i>	47

<i>Obr. 32. Chyba typu Duplicated or embbeded surfaces</i>	48
<i>Obr. 33. Chyba typu Small overlap</i>	48
<i>Obr. 34. Chyba typu Multiple connections</i>	49
<i>Obr. 35. Chyba - Moebius type situation</i>	49
<i>Obr. 36. Pracovní prostředí HA</i>	50
<i>Obr. 37. Face Checker</i>	51
<i>Obr. 38. Face Checker: a) Transfer, b) Objektový strom</i>	51
<i>Obr. 39. Face Orientation</i>	52
<i>Obr. 40. Invert Face Orientation</i>	52
<i>Obr. 41. Surface Connection Checker</i>	53
<i>Obr. 42. Apply Boundary Options</i>	54
<i>Obr. 43. Díl 1</i>	55
<i>Obr. 44. Detail dílu 1: a) Chybná topologie, b) Opravená topologie</i>	55
<i>Obr. 45. Díl 2</i>	56
<i>Obr. 46. Detail dílu 2: a) Chybná topologie, b) Opravená topologie</i>	56
<i>Obr. 47. Díl 3</i>	57
<i>Obr. 48. Detail dílu 3: a) Chybná topologie, b) Opravená topologie</i>	57
<i>Obr. 49. Chybové hlášení příkazu Join</i>	58
<i>Obr. 50. Oprava chyby Self-Intersection</i>	59
<i>Obr. 51. Zobrazení geometrických hranic</i>	59
<i>Obr. 52. Face Smooth</i>	60
<i>Obr. 53. Self-Intersection – opraveno</i>	60
<i>Obr. 54. Oprava chyb – Surface Connection Checker: a) Před Transfer Duplicite, b) Po Transfer Duplicite</i>	61
<i>Obr. 55. Duplicitní plocha</i>	61
<i>Obr. 56. Vložená plocha</i>	62
<i>Obr. 57. Vícenásobné spojení</i>	62
<i>Obr. 58. Oprava Multiple Connection příkazem Split</i>	63
<i>Obr. 59. Oprava Multiple Connection</i>	63
<i>Obr. 60. Join částečně opravené součásti</i>	64
<i>Obr. 61. Zobrazení volných stran pomocí Surface Boundaries</i>	64
<i>Obr. 62. Zobrazení a zvýraznění volných stran pomocí Boundary</i>	65
<i>Obr. 63. Případy volných stran</i>	65

<i>Obr. 64. Vyplnění chybějící plochy funkcí Fill</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 65. Ukázka použití příkazu Extract na objemové těleso.....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 66. Oprava pomocí operátoru Local Join</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 67. Grafické znázornění funkce Healing</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 68. Operátor Healing</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 69. Operátor Local Healing</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 70. Metodologie léčení</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 71. Spuštění modulu Core and Cavity Design.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 72. Tvarová dutina dílu 1</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 73. Tvarová dutina dílu 2</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 74. Tvarová dutina dílu 3</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 75. Obecný proces tvorby manuálu</i>	<i>74</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PI MANUÁLY

PII SOUBORY SOUČÁSTÍ A TVAROVÝCH DUTIN

PIII CD ROM