

CAD/CAM **systemy**

Jozef Vaský
Eduard Nemlaha
Ladislav Masár

Slovenská technická univerzita v Bratislave
2003

© Doc. Ing. Jozef Vaský, CSc., Ing. Eduard Nemlaha, Ing. Ladislav Masár

Lektori: Prof. Ing. Oliver Moravčík, CSc.
Doc. Ing. Ľubomír Šooš, PhD.

Schválila Vedecká rada Materiálovotechnologickej fakulty STU dňa 29. 2. 2000 pre študijný odbor
Aplikovaná informatika a automatizácia v priemysle.

ISBN 80-227-1882-3

0 Predslov

Súčasný trh núti výrobné spoločnosti uvádzať svoje výrobky na trh rýchlejšie, za nižšiu cenu a vo vyššej kvalite ako kedykoľvek predtým. Cyklus inovácií výrobkov sa neustále skracuje. Tieto požiadavky je možné efektívne zabezpečiť len využívaním moderných informačných technológií, ktoré napomáhajú splňať stále prísnejšie nároky na produktivitu a kvalitu v oblasti návrhu a výroby produktov. V praxi sa používajú rôzne CA (Computer Aided) systémy pre vývoj výrobkov. Nie vždy musí byť výhodná orientácia na jeden systém počítačovej podpory.

Efektívne nasadzovanie a využívanie nových informačných technológií pri vývoji výrobkov vyžaduje okrem organizačných zmien aj zmeny v kvalifikácii konštruktérov a technológov. Poznatky o klasických metódach navrhovania výrobkov a technológií je potrebné rozšíriť o základné poznatky z oblasti výpočtovej techniky a programovania. Podobne vývojári CA systémov musia mať poznatky o technológiách a používaných princípoch a metódach vývoja výrobkov. Také zložité systémy, akými sú integrované CA systémy, sú vždy výsledkom spolupráce mnohých profesií. Vzhľadom k rôznorodosti riešených problémov v technickej praxi nie je možné očakávať, že riešenie všetkých špecifických otázok daného pracoviska bude obsiahnuté za „rozumnú cenu“ pomocou nejakého univerzálneho systému. Zaujímavejšou sa javí byť kombinácia všeobecne orientovaného systému s možnosťou jeho prispôbenia požiadavkám koncového používateľa. Preto sú moderné CAD/CAM systémy navrhované ako otvorené systémy, ponúkajúce nástroje pre jednoduché používateľské úpravy systému, ako aj pre návrh vlastných špeciálnych komplexných aplikácií, hostujúcich na pôvodnom systéme.

Vzniká požiadavka vzdelávania aplikačných programátorov, ktorí majú hlbšie poznatky o riešenom technickom probléme, o hostiteľskom systéme a sú schopní toto riešenie aj programovo implementovať s využitím aplikačného programového rozhrania daného hostiteľského systému. Zatiaľ čo pasívny používateľ vystačí len so štandardnými funkciami implementovanými v systéme, takýto „aktívny používateľ“ musí byť schopný implementovať vlastné špecifické funkcie.

Vysokoškolské skriptá CAD/CAM systémy sú napísané pre potreby vyučovania rovnomenného predmetu v piatom ročníku študijného odboru inžinierskeho štúdia

„Aplikovaná informatika a automatizácia v priemysle“ na Materiálovotechnologickej fakulte STU v Trnave. Cieľom tohto predmetu je poskytnúť základné informácie o súčasných CAD/CAM systémoch, oboznámiť sa s architektúrou a základnými funkciami týchto technických, grafických a návrhových systémov a overiť si praktickou činnosťou ich aplikačné možnosti. Cieľom nie je získať skúsenosti rutinného charakteru. Súčasťou obsahovej náplne je najmä orientácia na aktívneho používateľa s dôrazom na nástroje pre používateľské prispôsobenia a aplikačné programové rozhranie. Uvedené sú aj informácie o koncepcii výroby CIM, CA technológiách pre vývoj výrobkov nadväzujúcich priamo na CAD, využití virtuálnej reality pri vývoji výrobkov a o objemovom modelovaní.

Obsahovo skriptá nadväzujú na predmety Grafické spracovanie údajov a Grafické systémy. Autori si uvedomujú, že v rámci plánovaného rozsahu učebného textu nebolo možné uviesť celú šírku problematiky a opis všetkých najznámejších návrhových systémom a ich modulov. Nebolo ani cieľom tohto textu zahrnúť všetky problémy z oblasti CAD/CAM systémov, ale poskytnúť základný prehľad, na ktorom je možné budovať pri ďalšom štúdiu a samoštúdiu.

Ako referenčný CAD/CAM systém bol vybraný Pro/ENGINEER verzia 2000i2. Niektoré opisy sú platné aj pre verziu 2001. CAD/CAM systém Pro/ENGINEER sa používa na pracovisku už niekoľko rokov na cvičeniach v inžinierskom štúdiu a na doktorandskom štúdiu v rámci riešenia projektov.

Autori si uvedomujú, že mnohé oblasti CAD/CAM systémov sú v učebnom texte opomenuté, alebo spomenuté len okrajovo. Vzhľadom na charakter učebného textu, predpísaný rozsah, ale aj vzhľadom na neustály rozvoj v tejto oblasti nebolo možné postihnúť všetky problémy a venovať im väčší priestor. Záujemcom o prehĺbenie poznatkov z oblasti CAD/CAM systémov je k dispozícii ďalšia odborná literatúra a informačné zdroje z internetu, z ktorých niektoré sú uvedené v texte.

Trnava, august 2002

Autori

1 Počítačom integrovaná výroba (CIM)

Klasické podnikové štruktúry s vysokým stupňom del'by práce a špecializácie jednotlivých útvarov sa stávajú postupne brzdou v ďalšom rozvoji podniku. V procese del'by práce a špecializácie výroby, ktorá od čias F.W. Taylora prudko postúpila, sa ukázalo, že i tá má svoje hranice efektívnosti, ktoré sú určené schopnosťou riadiaceho systému v reálnom čase zvládnuť čoraz zložitejšie informačné a materiálové väzby vo výrobnom procese. Základný princíp Taylorizmu (J.W. Taylor 1911), založený na maximalizácii del'by práce pre minimalizáciu nákladov, vytvoril množstvo útvarov, ktoré musia medzi sebou komunikovať.

Dôsledkom del'by práce je i vyčlenenie tzv. technických predvýrobných útvarov (TPV) z výrobného procesu. Vznikli dva relatívne samostatné sekvenčné podsystemy, z ktorých prvý pripravuje prácu pre druhý. Vývoj produktivity práce v oboch je výrazne odlišný. Dokumentujú to štatistické údaje, podľa ktorých produktivita vo výrobe vzrástla od roku 1990 približne o 1000% (priemerne o 11% ročne), ale v predvýrobných etapách len o 20%. Predvýrobné etapy sa stali "úzkym profilom" v cykle životnosti výrobku.

Podľa údajov možno ale v predvýrobných etapách ovplyvniť až 80% vlastných nákladov a priebežný čas tvorí 50% až 70% z priebežného času výrobku. Ak k týmto informáciám uvedieme ešte, že podiel kusovej a malosériovej výroby je v priemyselne vyspelých krajinách stabilizovaný v rozsahu 60% až 70% z celkovej výroby, potom sa javí byť logický veľký záujem o automatizáciu predvýrobných etáp, s cieľom odstrániť "úzky profil" v cykle životnosti výrobku.

Schopnosť podniku obstať v domácej a medzinárodnej hospodárskej súťaži v trhovách podmienkach je z časového hľadiska determinovaná najmä jeho schopnosťou pružne reagovať na dynamický vývoj trhu. Flexibilita podniku je závislá od organizačnej a technickej štruktúry. Obe zložky sa vzájomne podmieňujú. S cieľom zvýšiť pružnosť podniku sa v oblasti informačných technológií do výroby implementujú tzv. CA (CAD, CAP, CAM, CAQ, CAT...) systémy, ktoré zahŕňajú určitú špecifickú oblasť činností podniku. V oblasti priemyselných technológií sa využívajú číslicovo riadené automatizačné prostriedky. Postupným implementovaním do výroby vznikajú tzv. "ostrovy automatizácie" a následné problémy so vzájomnou komunikáciou medzi nimi ako i podnikovým "neautomatizovaným"

okolím. Preto ďalším logicky nadväzujúcim stupňom racionalizácie je koncepcia počítačom integrovanej výroby CIM.

Odhliadnuc od súčasných modelových štruktúr CIM a ich spôsobov zobrazovania, je jadrom CIM koncepcie integrácia informačných a materiálových tokov v podniku pomocou výpočtovej techniky. Základným predpokladom uskutočnenia tejto myšlienky je návrh informačno-technického integrovaného modelu. Tento model musí obsahovať všetky podnikové informácie, ktoré sú potrebné pre spracovanie objednávok. Integrovaný model zahŕňa parciálne modely výrobkov, procesov a informačný model podniku. Ťažiskom je model výrobku, ktorého časťou je model súčiastky.

Model výrobku (súčiastky) obsahuje všetky informácie požadované od vstupu objednávky po expedíciu, resp. predaj výrobku. Je to počítačová reprezentácia relevantných údajov, ktoré tvoria logický celok.

1.1 Historický prehľad a základné pojmy

História počítačom podporovaných (CA) systémov sa začína od 50-tych rokov, kedy bola navrhnutá koncepcia číslicovo riadených strojov. Bol to jeden z prvých signálov pre využitie výpočtovej techniky pre podporu výroby výrobkov.

V roku 1948 začal John Parsons prvé vývojové práce v oblasti riadenia obrábacích strojov pomocou počítača. Navrhol využiť pri riadení stroja diernu pásku so zakódovanými údajmi súradníc bodov určujúcich polohu nástroja. Ďalej uvádzame najvýznamnejšie míľniky po dekádach.

50-te roky: Prvé NC stroje pre obrábanie.

- 1952 Predvedenie prvého NC stroja (frézovačka) na MIT (Massachusetts Institute of Technology).
- 1953 Douglass T. Ross použil prvýkrát skratku CAD na konferencii American Federation of Information Processing Societies (AFIPS) v súvislosti s opisom tvaru súčiastky.
- 1959 Na MIT bol predvedený systém pre automatizované programovanie NC strojov APT (Automatically Programmed Tool). Zavedenie prvého NC stroja v bývalej ČSSR s vlastným riadiacim systémom (Škoda Plzeň).

60-te roky: Rozšírenie NC techniky na ďalšie technológie a vznik prvých CAD systémov.

1963 NC stroje pre zváranie.

Ivan E. Sutherland predstavuje CAD systém SKETCHPAD, ktorý využíva grafický displej a svetelné pero.

1967 Steven A. Coons navrhuje matematický aparát pre opis komplexných 3D plôch (Coons-Patches).

1968 Predstavenie DNC koncepcie riadenia strojov.

Do konca 60-tych rokov bol koncentrovaný vývoj a nasadenie CAD systémov u veľkých výrobcov ako Lockheed (CADAM), McDonnell Douglas (UNIGRAPHICS), Matra (Euclid), Dassault (CATIA). V USA vznikajú prvé špecializované firmy pre vývoj a predaj CAD/CAM systémov pre všeobecné určenie (Applicon, Gerber, Computervision, Calma).

70-te roky: Vznik a rozvoj špecializovaných firiem pre vývoj a predaj CAD/CAM systémov (tzv. Turnkey systémy). Vznik pružných výrobných systémov (FMS).

1973 Harrington zaviedol v USA pojem CIM.

1976 Predstavenie CNC koncepcie riadenia strojov. Prijatie CLDATA ako normy ISO 3592 (programovanie NC strojov).

V prvej polovici 70-tych rokov bol inštalovaný prvý FMS v leteckom priemysle. Koncom 70-tych rokov bol zaznamenaný prudký nárast používateľov CAD/CAM systémov v dôsledku redukcie ceny hardvéru. Prudký rozvoj bol aj v oblasti vývoja a používania systémov pre automatizované programovanie NC strojov, ako napr. EXAPT, PROREN, DICAD, DETAIL (SRN), JAPO, AUTOPROG, ASEPO (bývala ČSSR) a pod.

80-te roky: Štandardizácia v oblasti grafických systémov a výmeny údajov medzi CAD systémami. Vznik prvých koncepcií CIM.

1981 Prijatie IGES ako normy ANSI Y 14.26M (výmena údajov).

1981 Uvedenie na trh PC-CAD systému AutoCAD.

1984 Začatie prác v rámci ISO na štandarde STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data).

1985 Prijatie GKS ako normy ISO 7942 (základný grafický systém).

1988 Prijatie GKS-3D ako normy ISO 8805 (3D rozšírenie pre GKS).

Vznikol celý rad priemyselných štandardov, ako napr. X-WINDOW a MOTIF (GUI), IGES (výmena údajov). Začali sa presadzovať decentralizované CAD/CAM pracoviská prepojené v sieti.

90-te roky: Integrované CAD/CAM systémy a štandardy pre výmenu údajov o výrobku.

1993 Prijatie základného materiálu STEP ako normy ISO 10303-1 (Product Data Exchange).

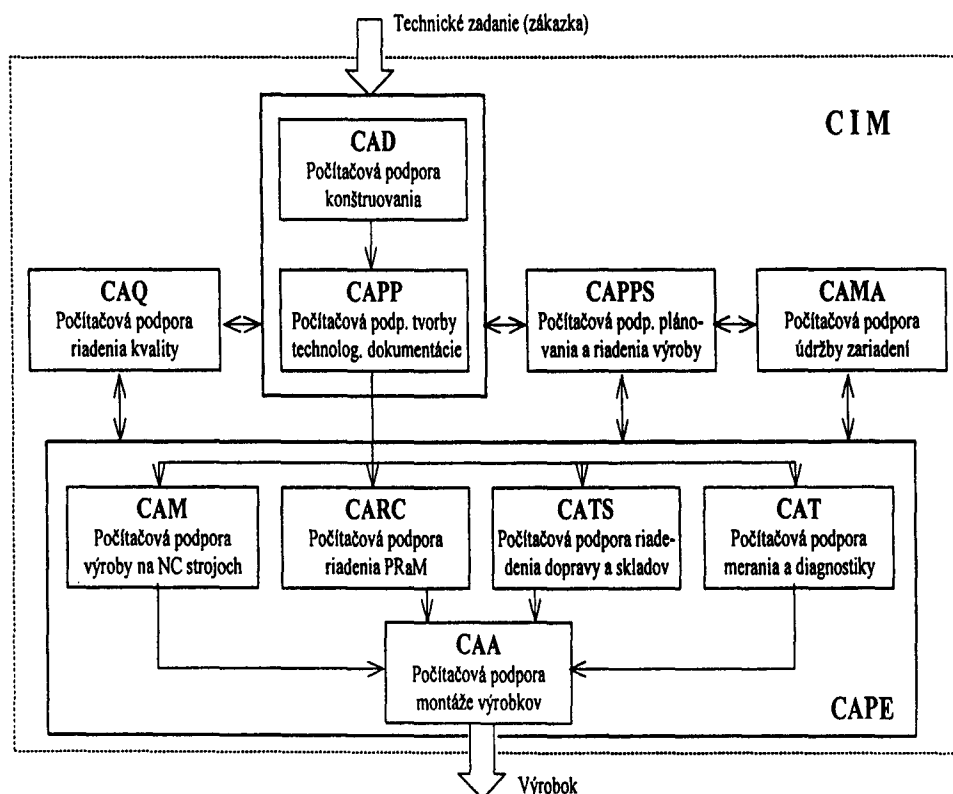
Vznikli nové koncepcie pre počítačovú podporu (Concurrent a Simultaneous Engineering, Reverse Engineering, Rapid Prototyping a pod.). Túto dekádu možno charakterizovať ako snahu po systémovej integrácii.

1.2 Systémové modely CIM

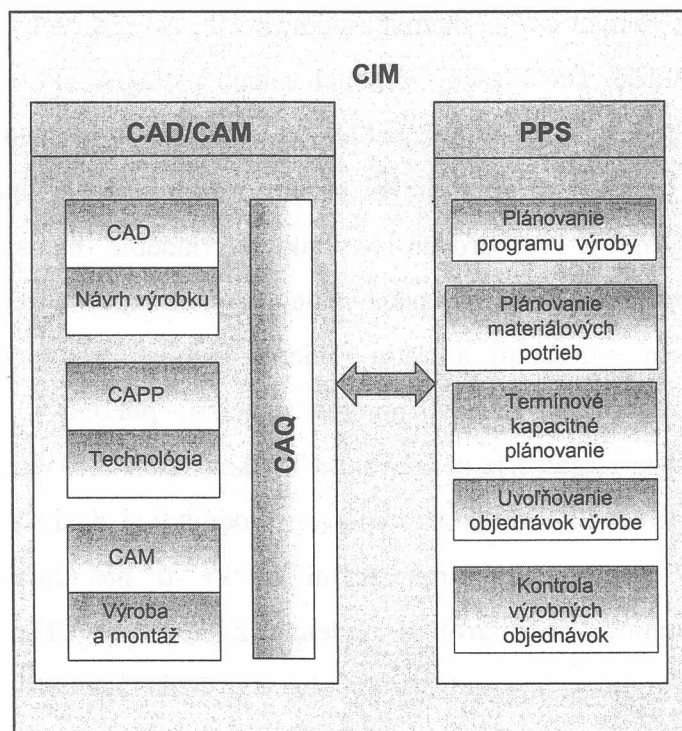
CIM (Computer Integrated Manufacturing) - počítačom integrovaná výroba reprezentuje integráciu inžinierskych a výrobných činností a technológií s počítačovou technológiou, ktorá umožňuje automatizáciu týchto činností od návrhu výrobku až po jeho expedíciu s cieľom znížiť materiálovú a energetickú náročnosť, zvýšiť produktivitu práce, znížiť zásoby, skrátiť priebežnú dobu vývoja a výroby, zvýšiť časové a výkonové využitie výrobných zariadení a zvýšiť kvalitu výrobkov a zisk. Koncepcia komplexnej počítačovej integrácie výroby je strategickým cieľom. Znižovanie cien komponentov výpočtovej techniky a nárast výkonnosti počítačov v spojení s modernými softvérovými technológiami, nové spôsoby organizácie firiem, nové metódy a technológie podmienili v mnohých firmách orientáciu na moderné informačné a komunikačné technológie. Systémy CIM vo väčšine prípadov nie sú reprezentované komplexnými celkami, ale sú zostavované integráciou parciálnych automatizovaných systémov, tzv. CA systémov (systémov počítačovej podpory).

Neexistuje štandardná definícia CIM. Je to skôr „filozofia“ (koncepcia) výroby ako nástroj. CIM koncepcia vznikla ako odpoveď na prudký rozvoj priemyselných a počítačových technológií. Neexistuje ani všeobecný model CIM. Na obr. 1.2, 1.3, a 1.5 uvádzame tri vybrané modely CIM v grafickom vyjadrení. Model podľa Scheera má tvar písmena Y a rozdeľuje funkcie CIM podľa horizontálnej roviny na prípravné a realizačné a podľa vertikálnej roviny na technické a ekonomicko-plánovacie. Model podľa európskeho výskumného programu pre informačné technológie ESPRIT (European Strategic Programme

for Research & Development in Information Technology) dekomponuje CIM z hľadiska úrovni riadenia. Má tú výhodu oproti známym modelom, že zahŕňa väzby podniku na okolie (marketing, nákup, predaj), ako i väzby v rámci celého plánovacieho a výrobného cyklu životnosti výrobku. Model zreteľne zobrazuje hierarchickú štruktúru riadenia od podnikového taktického riadenia až po riadenie jednotlivých strojov a zariadení v reálnom čase. Model je definovaný ako trojúrovňový. Prvú úroveň tvorí taktické riadenie (management, marketing, konštrukcia), druhú operačné riadenie (plánovanie ekonomických a technických činností súvisiacich s výrobným procesom) a tretiu riadenie činností v reálnom čase (riadenie výrobného procesu, pracovísk, strojov, poradia operácií, pohonov). V kontexte takto dekomponovaných úrovni riadenia je definovaná CIM koncepcia ako integrácia plánovacích a výrobo-technologických činností prostredníctvom podnikovej databázy a siete. ESPRIT referenčný model je svojou štruktúrou veľmi blízky u nás historicky zavedeným organizačným štruktúram a podnikovému riadeniu. Začlenením CIM a CAD/CAM do systému riadenia podniku poskytuje reálnejšiu predstavu o funkciách CIM.



Obr. 1.1 Komponenty CIM

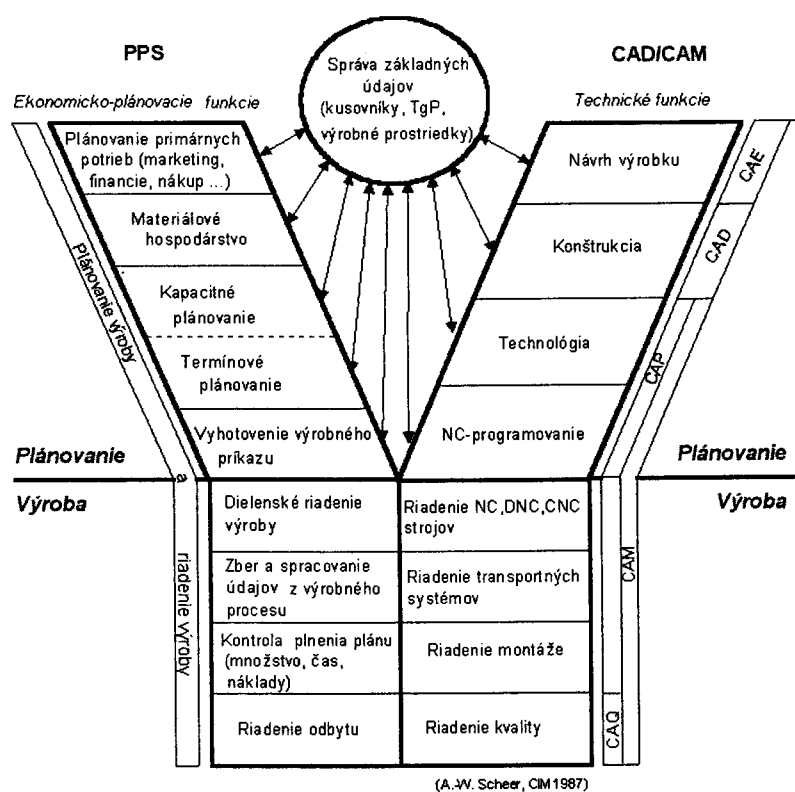


Obr. 1.2 Model CIM podľa AWF (Ausschuß für Wirtschaftliche Fertigung)

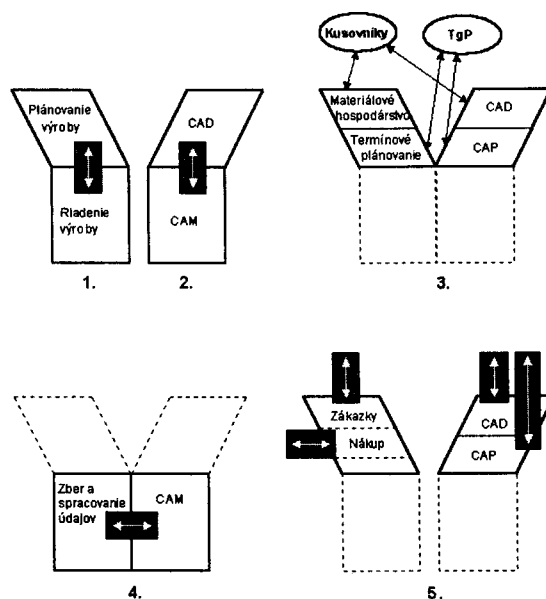
Medzi základne komponenty (podsystemy) CIM patria tieto (pozri obr. 1.1):

CAE	- Computer Aided Engineering,
CAD	- Computer Aided Design,
CAP resp. CAPP	- Computer Aided Process Planning,
CAM	- Computer Aided Manufacturing,
CAA	- Computer Aided Assembly,
CAQ	- Computer Aided Quality Assurance,
PPC resp. PPS	- Production Planning and Control.

CIM môže integrovať množstvo takýchto čiastkových CA systémov.



Obr. 1.3 Y-model CIM (A.-W. Scheer)



Obr. 1.4 Základné integračné reťazce v CIM

CIM nie je monolitný homogénny systém, ale skôr súbor rôznych, tzv. CA systémov (podsystemov alebo komponentov), špeciálne vyvinutých pre plnenie určitých funkcií.

Kľúčovým prvkom v CIM je integrácia, ktorá môže byť:

- *vertikálna - integrácia rôznych funkcií,*
- *horizontálna - integrácia častí tej istej funkcie.*

Základné integračné reťazce v CIM podľa modelu Scheera sú zobrazené na obr. 1.4.

CIM je komplexný a zložitý problém po stránke organizačnej, ekonomickej i technickej, vyžadujúci etapovitosť a postupnú implementáciu do existujúceho podnikového prostredia. Vývoj a implementácia CIM je v súčasnosti len na začiatku a zatiaľ neexistuje úplný CIM systém v konkrétnej aplikácii.

1.3 Funkcie a postavenie technických podsystemov v CIM (CAD, CAP, CAM)

Medzi technické podsystemy CIM sa najčastejšie zaraďujú CAD, CAP a CAM prípadne CAQ. Ich hlavnou úlohou je podpora technických činností pri vývoji a výrobe výrobku.

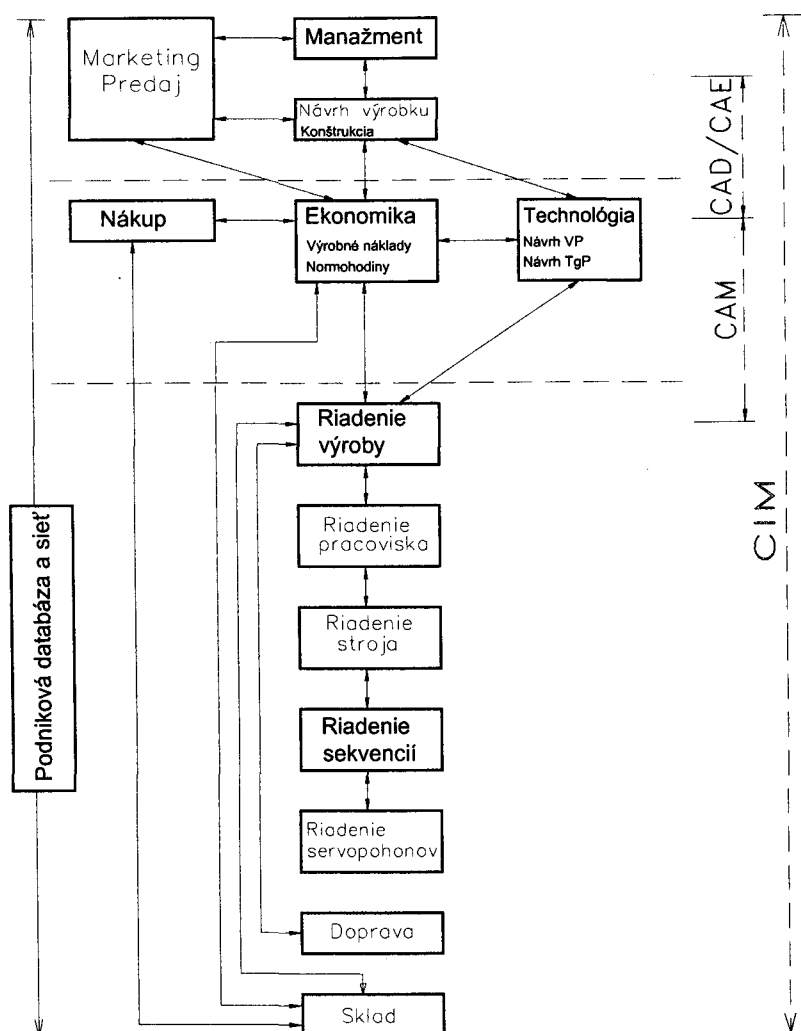
CAD je akronym pre počítačom podporované konštruovanie. CAD systém je systém spracovania informácií a zabezpečuje najmä interaktívnu manipuláciu s objektmi, dvojdimenzionálne zobrazenie a generovanie výkresov a trojdimenzionálne modelovanie.

Vzhľadom k neustálemu vývoju v oblasti CA technológií neexistuje štandardná definícia pojmu CAD. V ďalšom uvedené definície aj pre ďalšie podsystemy treba chápať ako príklady.

Definícia CAD

CAD (Computer Aided Design) je súhrnný termín (akronym) pre všetky aktivity, pri ktorých je výpočtová technika používaná priamo alebo nepriamo pri vývoji a konštruovaní výrobku (zdroj: Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung, SRN).

V užšom zmysle sa vzťahuje na tvorbu číslícového modelu výrobku a manipuláciu s ním. V širšom zmysle označuje CAD všeobecné technické aktivity a výpočty s alebo bez grafického výstupu v oblasti vývoja, technických výpočtov, konštruovania a zhotovovania výkresov.



Obr. 1.5 Model CIM (ESPRIT)

Teoretickým základom CAD systémov je počítačová grafika a geometrické modelovanie. Metodologickým základom je formalizácia konštrukčného procesu a jeho modelovanie.

CAP je akronym pre počítačom podporované navrhovanie výroby a pokrýva tieto základné činnosti:

- tvorba technologických postupov,
- tvorba kontrolných postupov,
- tvorba montážnych postupov,
- návrh náradia a prípravkov,
- programovanie NC strojov a robotov.

Definícia CAP

CAP (Computer Aided Planing) alebo aj **CAPP** (Computer Aided Process Planing) označuje počítačovú podporu pri návrhu technológie výroby.

Patrí sem generovanie technologických postupov, výber strojov a zariadení pre výrobu ako aj príprava údajov pre riadenie NC techniky.

Definícia CAM

CAM (Computer Aided Manufacturing) označuje podporu pri technickom riadení a kontrole výrobných prostriedkov vo výrobnom procese, ako napr. priame riadenie strojov, manipulačných a dopravných zariadení.

CAM je akronym pre počítačovú podporu činností vo výrobnom procese. Zahŕňa výrobu, montáž, skladovanie aj dopravu. S CAM súvisia aj tieto komponenty:

- *CAA (Computer Aided Assembly) počítačová podpora montáže výrobkov,*
- *CARC (Computer Aided Robot Control) počítačová podpora riadenia a programovania robotov a manipulátorov (off-line programovanie),*
- *CATS (Computer Aided Transport and Store) počítačová podpora riadenia medzioperačnej dopravy a skladovania.*

Definícia CAD/CAM

CAD/CAM označuje integrovaný technický systém spracovania informácií pre výrobu výrobkov a zahŕňa komponenty CAD, CAP, CAM a CAQ. CAD/CAM je v užšom zmysle chápané ako prepojenie CAD systému a systému pre automatizované programovanie NC strojov.

Definícia CIM

CIM (Computer Integrated Manufacturing) označuje integrované využívanie výpočtovej techniky vo všetkých oblastiach, ktoré súvisia s výrobou výrobkov. Hlavným cieľom CIM je:

1. Integrovať čiastkové činnosti v podniku na báze výpočtovej techniky pre zlepšenie koordinácie činností.
2. Zvýšiť flexibilitu podniku a znížiť priebežné časy činností.

1.4 Životný cyklus výrobku

Životný cyklus výrobku je fázovo orientovaný model, ktorý zobrazuje všetky aktivity súvisiace so vznikom a využívaním výrobku, až po jeho deponovanie. Môžeme ho dekomponovať na tieto časti: rámcová štúdia systému, vývoj systému, zhotovenie systému, uvedenie systému do prevádzky, prevádzkovanie systému, zmena systému a likvidácia systému.

Životný cyklus výrobku umožňuje okrem iného aj pozorovať postavenie a nadväznosť jednotlivých etáp výrobku ako návrh, konštruovanie, výroba, montáž a kontrola. Z hľadiska spracovania informácií poskytuje základ pre modelovanie výrobku.

1.5 Model výrobku (Product Model)

Informácie pre výrobu výrobku sú uvedené vo výrobnej dokumentácii, ktorá predstavuje informačný zdroj vo formalizovanej alebo aj štandardizovanej podobe. V klasickej neautomatizovanej výrobe má podobu papierovej dokumentácie a jej rozsah a obsah závisí od typu výroby a vnútro podnikových noratívov. Výrobná dokumentácia má deskriptívny charakter a je zavřením čiastkového procesu. Môžeme ju rozdeliť na konštrukčnú a technologickú dokumentáciu. Medzi konštrukčnú dokumentáciu patria, napr. technické výkresy, kusovníky a pod. Technický výkres je štandardný formálny dokument, ktorý je zavřením procesu konštruovania a slúži ako komunikačný prostriedok. Medzi technologickú dokumentáciu patria technologické postupy, riadiace programy pre NC stroje, návodky, zoradovacie listy a pod.

Údaje o výrobku môžeme z informačného hľadiska klasifikovať takto:

- *geometrické a topologické údaje (tvar a rozmery),*
- *grafické údaje (zobrazenie),*
- *technologické údaje,*
- *štruktúrne údaje (vytváranie podskupín a skupín),*
- *funkcionálne údaje (funkcia výrobku),*
- *organizačné údaje (usporiadanie prvkov),*
- *parametrické údaje (variantnosť),*
- *komunikačné údaje,*
- *procedurálne údaje (metódy a pravidlá pre tvorbu variantov).*

V CIM nahradí klasickú dokumentáciu údajová štruktúra, ktorú voláme model výrobku. Model výrobku je jednotný údajový model, ktorý obsahuje relevantné informácie o výrobku, požadované vo všetkých fázach životného cyklu výrobku. Potom hovoríme aj o integrovanom modeli výrobku.

Model výrobku sa stáva svojím významom integrujúcou časťou CAD/CAM, resp. CIM systému. Generovaný je priebežne počas celého životného cyklu výrobku. Názory na obsah a štruktúru modelu výrobku nie sú v súčasnosti jednotné, aj keď bola v tejto oblasti prijatá ISO norma s pracovným názvom STEP. Ako základné vlastnosti, ktoré by mal model výrobku spĺňať, môžeme uviesť tieto:

1. Model výrobku musí pozostávať z relatívne samostatných homogénnych čiastkových modelov (princíp modulárnosti).
2. Väzby medzi čiastkovými modelmi musia byť obsahovo jednoznačné (disjunktná množina informácií).
3. Potrebné je umožniť postupné „zjemňovanie modelu“ v jednotlivých fázach životného cyklu výrobku, ktoré by malo prebiehať bez transformácií spojených so stratou informácií (princíp koherentnosti).
4. Dôležité informácie, ktoré nemožno priamo odvodiť z údajov, musia byť definované explicitne (princíp akumulácie údajov).
5. Odvodenie implicitne definovaných informácií musí byť zabezpečené použitím jednoznačných pravidiel (princíp asociatívnosti).

Hlavným cieľom modelu výrobku je vytvoriť spoločnú sémantickú štruktúru, ktorá by pokryla všetky požiadavky softvérových systémov participujúcich v procese spracovania informácií o výrobku v rámci celého životného cyklu výrobku.

2 Integrácia CA systémov

CAD/CAM systémy sú výsledkom integračných tendencií vo výrobe. Integrujú fázy výrobného procesu od vývoja výrobku až po jeho výrobu. CAD/CAM systém zapadá do CIM koncepcie automatizácie výroby a zahŕňa oblasti technických činností. Interpretácia rozsahu funkcií CAD/CAM systému nie je v súčasnej etape jednotná. Tak ako existuje množstvo modelových štruktúr CIM a ich spôsobov zobrazovania, existujú i rôzne interpretácie pojmu CAD/CAM. Miesto a funkcie CAD/CAM podsystému v systéme CIM je možné explicitne identifikovať v tzv. Y-modeli CIM podľa Scheera. Podľa tohto modelu zahŕňa konštruovanie, technologickú prípravu výroby, programovanie NC strojov, riadenie NC, CNC strojov a robotov a DNC riadenie, riadenie medzioperačnej dopravy a riadenie kvality a ich počítačovú podporu.

Integrácia jednotlivých CA systémov je nutnou podmienkou uskutočnenia CIM koncepcie. Prvým krokom bolo prepojenie CAD systémov a systémov pre programovanie NC strojov prostredníctvom rozhraní. V ďalšom dochádza k prepojeniu CAD a CAP systémov a CAD/FEM (Finite Element Method), CAD/RPD (Rapid Prototyping Development). V súčasnosti sa riešenia zameriavajú na návrh integrovaných CAD/CAM systémov.

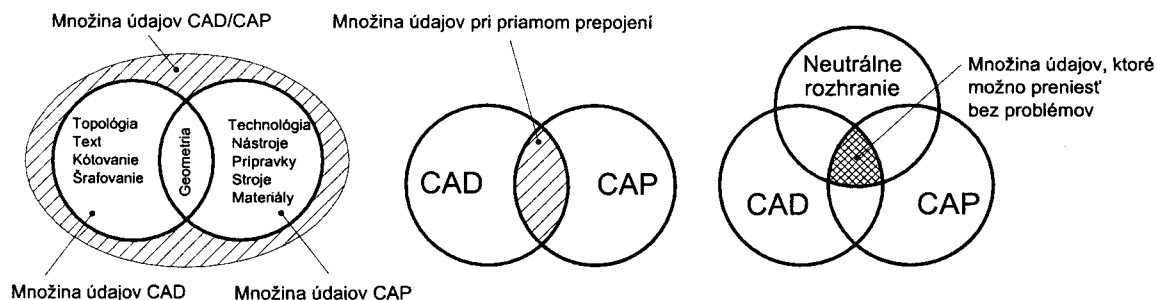
Existujú dva základné prístupy integrácie funkčných vlastností izolovaných CA systémov:

1. Integrácia funkčných vlastností dvoch alebo viacerých izolovaných systémov do jedného celku (systémová integrácia).
2. Integrácia funkčných vlastností dvoch alebo viacerých izolovaných systémov prepojením prostredníctvom rozhraní (konvertor, databáza).

Hlavný rozdiel oboch prístupov je v spôsobe komunikácie s údajmi. Pri integrácii funkčných vlastností do jedného celku dochádza v podstate k rozšíreniu pôvodných funkčných vlastností. Aplikácie používajú spoločnú údajovú základňu (model), cez ktorú komunikujú. Množina údajov takýmto spôsobom integrovaného modelu výrobku je daná zjednotením množín údajov pôvodných čiastkových oblastí, ktoré boli integrované. Príkladom sú tzv. "Turnkey CAD/CAM systémy", t.j. uzavreté systémy na kľúč, ktoré integrovali funkcie grafického systému a programovania NC strojov. Tento prístup nemožno považovať za koncepciu CIM,

ktorá predpokladá integrované počítačové spracovanie údajov vo všetkých oblastiach výroby a použitie spoločnej databázy.

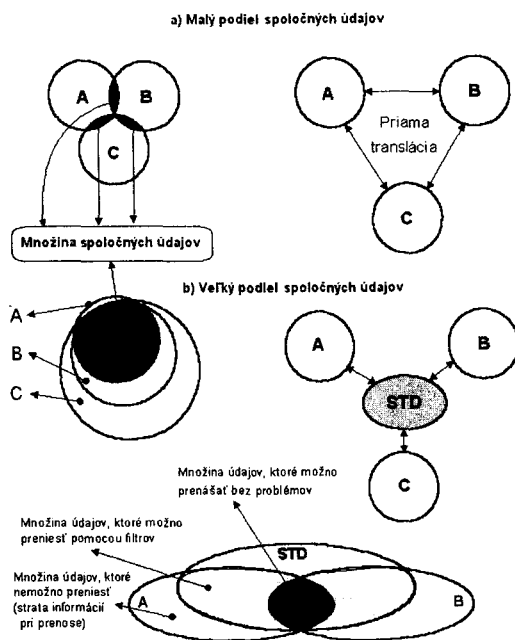
Integrácia čiastkových systémov prostredníctvom rozhraní je založená na transformácii modelu výrobku zdrojového systému (napr. CAD) do modelu cieľového systému (napr. CAP). Definovaná podmnožina údajov, ktorá je k dispozícii v systéme 1, je priamo transformovaná do súborového formátu údajov systému 2. Komunikácia čiastkových systémov je realizovaná cez údajový súbor (neutrálne rozhranie), a preto sa takéto rozhranie nazýva aj súborové. Množina údajov, s ktorou môžu takto prepojené systémy komunikovať, je daná prienikom množín údajov čiastkových systémov.



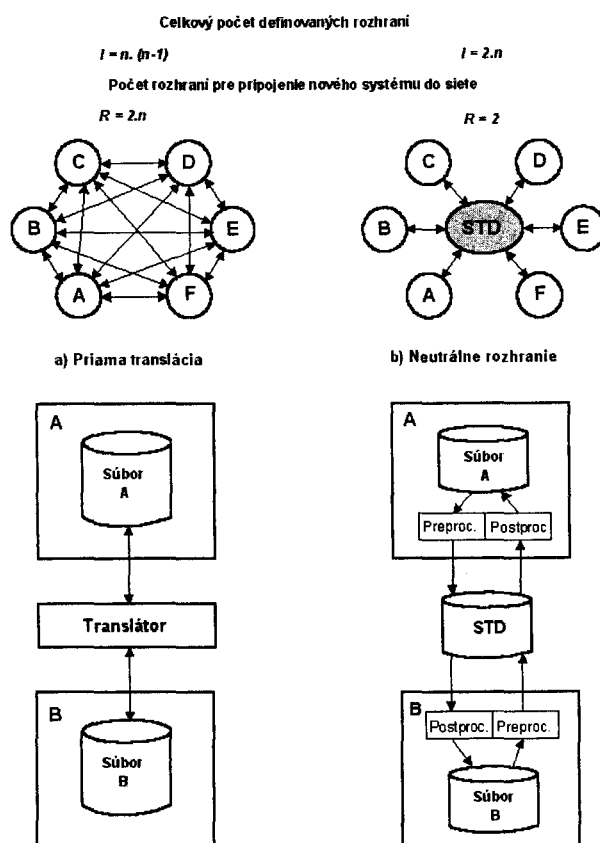
Obr. 2.1 Množina údajov pri rôznych spôsoboch integrácie CA systémov

Ak tieto množiny údajov nie sú totožné, dochádza k strate informácií. Ako súborové rozhranie možno použiť i tzv. neutrálny súbor, ktorý používa dohodnuté definície. Potom je množina údajov, ktoré možno bez problémov prenášať, určená prienikom množín údajov CAD súboru, CAP súboru a neutrálneho súboru.

Problém straty informácií možno čiastočne vyriešiť prepojením systémov pomocou programového rozhrania alebo kombináciou programové a údajové rozhranie, pričom za rozhranie považujeme systém pravidiel a deklarácií, ktoré definujú výmenu informácií medzi dvoma komunikujúcimi systémami alebo časťami systému. Takto definované komunikačné rozhranie pozostáva z časti údajovej a funkčnej. Údajová časť je reprezentovaná vlastnou údajovou štruktúrou pre komunikáciu a funkčná časť algoritmom pre generovanie a manipuláciu s údajovou štruktúrou. Funkčná časť je systémovo závislá a údajová nezávislá. Tento prístup k integrácii izolovaných CA systémov zodpovedá predstavám koncepcie CIM a budovaniu otvorených systémov.



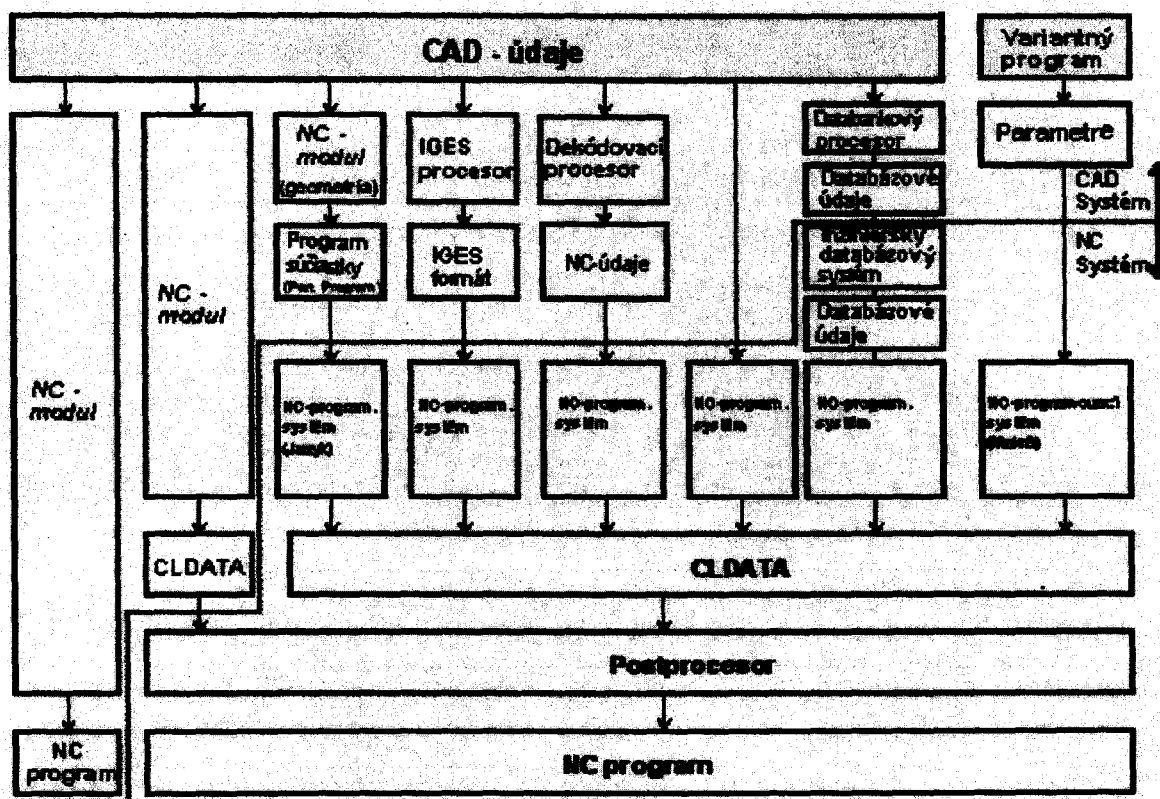
Obr. 2.2 Integrácia v závislosti od podielu spoločných údajov



Obr. 2.3 Počet rozhraní pri rôznych spôsoboch integrácie

2.1 Integrácia CAD/NC

Prvé riešenia v oblasti integrácie procesného reťazca boli zamerané na CAD/NC prepojenie, ako napr. systém CADIS-NCS, ktorý vznikol prepojením CAD systému CADIS a NC procesora SIEAPT (Siemens). Vo všeobecnosti sa realizovali rozhrania pre rôzne CAD systémy a tzv. APT-like NC procesory. Geometrické informácie z CAD systému sa využívali v NC systéme, bez nutnosti ich opakovaného zadávania. Z hľadiska spôsobu údajového prepojenia CAD/NC je známych 8 prístupov (pozri obr. 2.4). Prvý prístup predpokladá zahrnutie NC podsystemu a postprocesory priamo do CAD systému (integrácia v pravom slova zmysle). Výhodou je možnosť priamo využívať údaje geometrického modelu. Nevýhodou je nízka flexibilita. Postprocesory môžu byť zhotovené len tvorcom CAD systému. Druhý prístup negeneruje priamo riadiaci program pre NC stroj, ale štandardný formát údajov tzv. CLDATA. Tieto údaje sú potom ďalej spracované zodpovedajúcim postprocesorom.



Obr. 2.4 Možnosti CAD/NC integrácie

CLDATA tvoria rozhranie medzi CAD systémom a NC systémom. Ďalšie prístupy vychádzajú z generovania informácií pre určitý NC systém v jeho prípustnom vstupnom formáte. Rozhraním môže byť formát programu súčiastky (part program), štandardný formát údajov, ako napr. IGES, NC údaje, databanka alebo parametricky definované prvky. Posledný spôsob je vhodný len pre variantné riadiace programy. Ako univerzálne riešenie sa javí byť použitie databázy vo funkcii CAD/NC rozhrania.

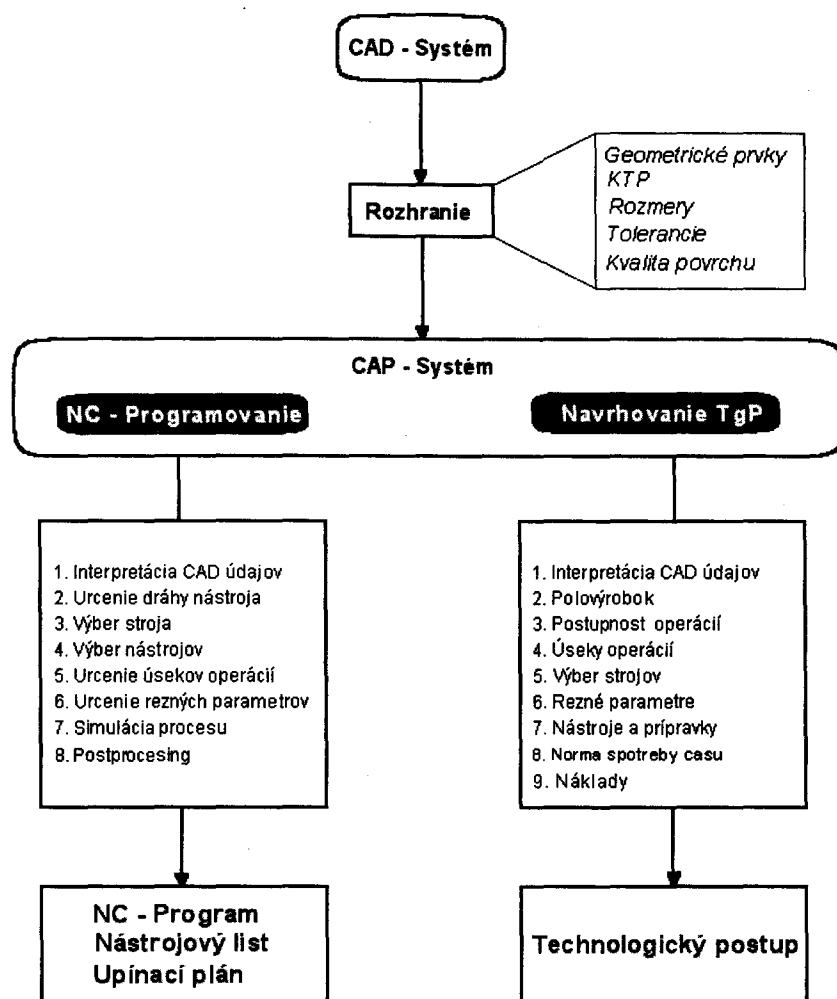
2.2 Integrácia CAD/CAP

Vyšším stupňom integrácie je CAD/CAP integrácia. Údaje sú prenášané cez technologicky orientovaný model výrobku. Jeden z možných prístupov k CAD/CAP integrácii je založený na používaní spoločného jazyka v oboch fázach. Pomocou tohto jazyka je možné definovať tzv. tvarové resp. konštrukčné prvky, ktoré sú opísané pomocou geometrického tvaru a technologických údajov. Ide vlastne o moduly, ktorých kombináciou možno opísať súčiastku. Interne sú tieto opisy uložené v tvare zodpovedajúcich údajových štruktúr (entít). Geometrické informácie sú uložené v tvare objemových prvkov. Výsledný tvar súčiastky vznikne aplikáciou boolovských operácií. Tento prístup je podobný geometrickému modelovaniu a najmä metóde CSG. Výhodou tohto prístupu je kompaktný vstupný tvar, ako i jednoduchá manipulácia v spojení s technologickými informáciami, ako tolerancie a drsnosť povrchu, ktoré sú definované ako súčasť konštrukčného prvku. Prvky môžu byť definované na rôznej úrovni komplexnosti od drážok, zrazení až po komplexné prvky ako ukončenia hriadeľov.

Ďalší prístup je založený na rozpoznávaní technologických informácií. Opis súčiastky z CAD systému neposkytuje konzistentné údaje pre spracovanie technológie jej výroby, a preto pokiaľ sú tieto údaje v implicitnom tvare definované, je možné ich vhodnou metódou reinterpretovať pre technologické potreby. Známe sú dve metódy: manuálna identifikácia a automatické rozpoznávanie.

Prvá metóda využíva ponukovo orientované grafické používateľské rozhranie. Najprv sa ručne vyberie geometrický prvok a potom sa reinterpretuje pre technologické účely. Súčasťou procesu rozpoznania môžu byť i také technologické informácie, ako drsnosť povrchu a tolerancie. Metóda je flexibilnejšia ako predchádzajúca, nevýhodou je ale zdĺhavý dialóg a nemožnosť jednoznačne rozpoznať tie prvky 3D modelu, ktoré nie sú zobrazené.

Automatické rozpoznávanie je založené na možnosti formalizovať geometrické štruktúry technologických prvkov, resp. ich modelovať. Využívajú sa rôzne metódy. Pre rotačno-symetrické súčiastky a prizmatické, opísané ich obrysom, je využívaná metóda syntaktického rozpoznávania vzorov. Súvislosti medzi nízko-úrovňovými geometrickými prvkami sú rozpoznávané pomocou pravidiel.



Obr. 2.5 CAD/CAP integrácia

Pre rozpoznávanie tvarových prvkov z BREP modelu bolo navrhnutých niekoľko metód. Základnou štruktúrou, ktorá sa používa pre rozpoznanie tvarových prvkov, je zovšeobecnený hranovo-stenový graf, označovaný skratkou GEFG (Generalized Edge-Face Graph). GEFG je definovaný ako štvorica $H = (F, L, FL, LL)$, kde F je množina uzlov typu stena (Face), L je množina uzlov typu cyklus (Loop), FL je množina spojení face-loop a LL je množina spojení loop-loop. GEFG explicitne reprezentuje štyri základné entity (steny, hrany, vrcholy a cykly)

a päť relácií (stena-cyklus, cyklus-hrana, cyklus-stena, hrana-cyklus a hrana-vrchol). GEFG je reprezentovaný údajovou štruktúrou. Algoritmus na extrakciu tvarových prvkov je založený na dekompozícii GEFG na subgrafy, ktoré korešpondujú so spojenými dvojicami a trojicami komponentov v grafe edge-face, ktorý je pridružený k GEFG. Ďalšia z metód, vychádzajúca z aplikácie grafov, využíva tzv. "*Attributed Adjacency Graph*" (AAG). Metóda je vhodná pre polyedrické prvky, ako vybrania, odstupňovania a drážky. Založená je na tzv. "*Graph Match*" procese. Uzly grafu definujú základné prvky (steny) a hrany relácie medzi priľahlými stenami. Hrany sú ohodnotené buď nulou, ak medzi prvkami existuje konkávna hrana, alebo jednotkou, ak prvky vytvárajú konvexnú hranu. Nedostatkom metódy je obmedzená množina použiteľných základných prvkov, a preto sa nehodí pre komplexné súčiastky. Iná skupina metód bola navrhnutá pre CSG model.

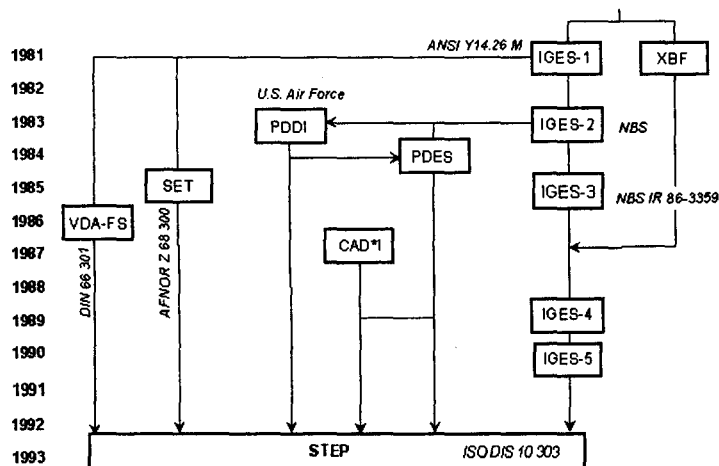
Ďalší prístup k integrácii CAD/CAP je založený na prepojení prostredníctvom štandardných údajových rozhraní. V súčasnosti existuje niekoľko štandardov pre oblasť výmeny údajov medzi izolovanými systémami (IGES, VDA FS, SET, atď.), ale ani jeden z nich úplne nevyhovuje požiadavkám technologickej prípravy výroby, lebo technologické informácie nie sú definované v explicitnom tvare. Obvykle sa používa ich automatická, resp. automatizovaná extrakcia programom.

Riešením problému integrácie CA systémov prostredníctvom štandardných rozhraní sa javí byť spracovanie a všeobecné akceptovanie štandardného rozhrania modelu výrobku. Riešenie tohto problému je realizované prostredníctvom medzinárodného projektu STEP (Standard for Exchange of Product Model Data). Prvá verzia tohto štandardu bola publikovaná v roku 1992. STEP bol v rámci Európskej komisie pre normalizáciu prijatý ako európska norma ISO 10303. STEP má eliminovať nedostatky formátu IGES, najmä v oblasti nejednoznačnosti špecifikácií entít. V súčasnosti zahŕňa úplný informačný model výrobku (Complete Product Information Model) počas jeho cyklu životnosti pre rôzne aplikácie. Pre každú aplikačnú oblasť je štandardizovaný formát modelu výrobku, tzv. referenčný model. Pre modelovanie výrobku je definovaný informačný modelovací jazyk IDEF1X a NIAM, ktoré umožňujú používať grafické symboly pre reprezentáciu koncepčných schém databáz. Model výrobku má trojvrstvovú architektúru. Aplikačná vrstva (Application Layer) obsahuje špecifické údaje pre model a jednu aplikačnú oblasť. Z praxe je známe, že niektoré modelované charakteristiky sú spoločné pre viac aplikácií. Pre pokrytie takejto oblasti sú navrhnuté špecifické modely (Specific Topical Models). Logická vrstva obsahuje definície entít na logickej úrovni.

Informačný obsah každej entity v logickej vrstve je opísaný pomocou formálneho modelovacieho jazyka EXPRESS (ISO 1990). Fyzická vrstva obsahuje definíciu fyzického súboru. Používa sa jednoznačná bezkontextová formálna gramatika, tzv. Wirth Syntax Notation (WSN) pre definovanie súboru. Problémom, ktorý je nutné ďalej riešiť, je integrácia jednotlivých vrstiev. Ukázalo sa, že nebude vhodné pre CAD tvorcov implementovať všetky entity štandardu, a že nekontrolovateľné podmnožiny nie sú žiadúce. STEP zabezpečuje uchovávanie informácií bez straty kompletnosti a integrity. Okrem geometrických informácií podporuje aj technologické informácie, ako sú tolerancie rozmerov, tvaru, polohy, drsnosť povrchu, vlastnosti materiálu a pod. V rámci štandardu STEP sú podporované dve koncepcie objemového modelovania - CSG (Constructive Solid Geometry) a BREP (Boundary Representation). Cieľom štandardu STEP je vývoj medzinárodne akceptovaného referenčného modelu produktu (výrobok, služba), ktorý obsahuje relevantné informácie o životnom cykle. Dôraz je kladený na archivovanie a na výmenu informácií o produkte (Product Data Exchange). Jadro modelu výrobku je opísané v ISO 10303-41 Fundamentals of Product Description and Support. Určuje koncepciu pre výstavbu údajového modelu z parciálnych modelov (Generic Product Description Resources).

Za výhody štandardu STEP sú považované tieto:

- *okrem geometrie definuje i ďalšie informácie o výrobku,*
- *umožňuje definovať štruktúru výrobku (ver.2),*
- *podporuje rôzne úrovne implementácie (fyzický súbor, databáza),*
- *rešpektuje mnoho národných špecifik.*



Obr. 2.6 Vývoj štandardov pre výmenu údajov

3 CA technológie pre vývoj výrobkov

3.1 Rapid Prototyping

Anglickým termínom Rapid Prototyping označujeme proces rýchleho zhotovovania prototypu alebo fyzického modelu výrobku priamo z počítačových údajov. Technológia Rapid Prototyping (RP) sa začala objavovať v súvislosti s rozširovaním algoritmov, súvisiacich s rozvojom CAD. RP umožňuje vyrobiť požadovaný fyzický model v relatívne krátkom čase v porovnaní s klasickými postupmi, ako napr. NC obrábaním. Doba potrebná pre prípravu výroby prototypu sa skraca z týždňa na hodiny, maximálne na dni. S rastúcou tvarovou zložitou výrobku sú tieto technológie výhodnejšie. Ich nevýhodou voči technológii obrábania je menšia presnosť, pričom väčšina materiálov používaných v technickej praxi nie je zatiaľ vhodná pre technológie RP.

Technológia RP sa vyvíja od osemdesiatych rokov, kedy vznikla metóda stereolitografie. V súčasnosti tvorba modelov a prototypov (prezentačných i funkčných) smeruje najviac do oblasti výroby foriem a nástrojov. Významnou sa stáva tiež oblasť koncepčného konštruovania, kde sa overujú definované vlastnosti budúceho výrobku. V špecifických prípadoch sa modely, vytvorené pomocou RP, využívajú k simulácii alebo k rôznym typom skúšok (obtekanie, namáhanie a pod.).

Princíp výroby prototypu, na ktorom je založená väčšina RP metód, vychádza z predstavy, že ľubovoľné 3D teleso možno zložiť z tenkých vrstiev, ktoré môžeme považovať za dvojrozmerné. RP zariadenie teda materiál neodoberá, ako je tomu pri klasickom obrábaní, ale naopak, kladie tenké vrstvy na seba, a tak sa postupne vytvára teleso generatívnym procesom. Možnosti použitia prototypov vyrobených RP technológiami sú dané presnosťou výroby, t.j. hrúbkou vrstiev a presnosťou dodržania ich 2D tvaru s použitým materiálom.

Ukazuje sa, že potreba pracovať aj s modelom fyzickým, pri ktorom sa dajú ľahšie konzultovať funkčné a tvarové charakteristiky budúceho výroku a odstraňovať prípadné chyby, kontrolovať zmontovateľnosť, opraviteľnosť, ergonómiu, alebo vykonávať funkčné skúšky, je aktuálnou aj v ére digitálnych modelov a výkonných CAD/CAM systémov. Výroba modelov a prototypov klasickými technológiami je ale veľmi náročná a zdĺhavá. Ako najvhodnejšia cesta, vyhovujúca väčšine požiadaviek, sa dnes javí RP, čo je technológia

rýchla a umožňuje priamu väzbu na vývojové prostredie. Najlepšie výsledky v úspore času vývoja dosahujú metódy RP pri aplikáciách pre vývoj celých montážnych skupín. Nevýhodou tejto technológie sú vysoké začiatkové investície, ktoré sa však po správnom zavedení RP do vývojového procesu rýchlo vrátia. RP je použiteľná aj v marketingu, keď je potrebné ukázať obchodnému partnerovi produkt, ktorý je preňho vyvíjaný.

RP technológia slúži ako súčasť procesu vývoja nového výrobku. Návrh výrobku, výpočtová analýza a príprava výroby sa realizujú pomocou CAD/CAM/CAE. Vďaka počítačovému spracovaniu môže byť tvar súčiastok priestorovo zložitý, preto sú modely, zhotovené RP technológiami, používané ako reálne zobrazenia. Modely ďalej slúžia pre kontrolu tvaru, testovanie, montáž a tvarovú funkčnosť zostáv.

Pre malé série je zaujímavá aplikácia RP modelov, napr. v technológii odlievania metódou spáľiteľného modelu. Použitie sa javí byť ekonomicky výhodnejšie, než príprava kovovej formy na voskové modely.

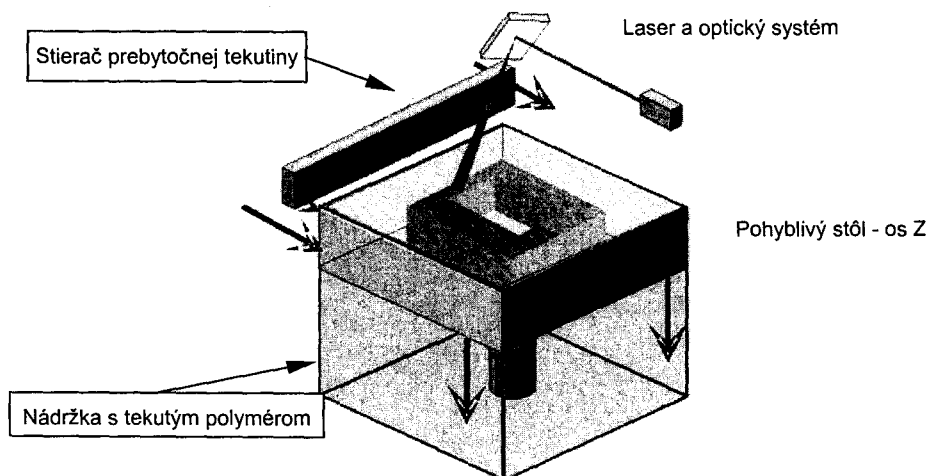
3.1.1 Princíp technológie RP

Aby mohol byť fyzický model zhotovený, musia vstupné údaje obsahovať úplné informácie o geometrii telesa. Ideálnym prípadom je opis telesa pomocou objemových entít. Použitím špeciálnych softvérových nástrojov je možné transformovať aj údaje z 2D CAD systémov. V ďalšej fáze sú údaje o výrobku aproximované pomocou trojuholníkov (triangulácia). Parametre triangulácie ovplyvňujú výslednú presnosť modelu a môžeme ich nastaviť.

V ďalšom kroku sa transformujú údaje do formátu STL (štandardný formát pre RP). Väčšina moderných CAD/CAM systémov ponúka uloženie údajov do tohoto formátu. Údaje sú potom spracovávané špeciálnym softvérom dodávaným zo systémom pre RP, ktorý výpočtovým postupom rozloží 3D geometriu na jednotlivé priečne rezy definovanej výšky (SLI formát). Zvyčajná výška vrstiev je 0,1 až 0,2 mm. S takýmto softvérom je možné vykonávať ešte celú škálu pomocných operácií, ako napr. určenie mierky súčiastky, skúšanie a oprava chybných STL údajov, alebo navrhovanie podpornej konštrukcie (vyžaduje napr. stereolitografia z dôvodu neskoršieho oddelenia súčiastky od nosnej dosky, alebo podoprenie a fixáciu súčiastky počas procesu vytvárania modelu). Údaje o takto vytvorených rezoch sú priamo posielané do výrobného zariadenia pre RP.

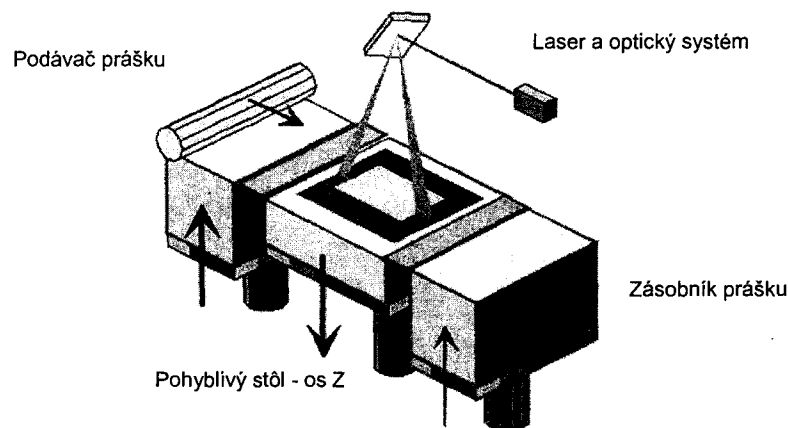
Podľa používaných materiálov môžeme technológiu RP rozdeliť na:

1. Stereolitografia (SLA) - tekuté materiály, tzv. fotopolyméry sú vytvrdzované UV laserovým lúčom, (3D Systems Inc., USA). Rozlíšenie je okolo 0,15 mm.
2. Selective Laser Sintering (SLS) - práškové materiály sú spekané pomocou CO₂ lasera (DTM). Výhodou je najmä široká paleta materiálov a možnosť tvorby funkčných prototypov. Rozlíšenie je okolo 0,15 mm.
3. 3D Printing (PolyJet, Multi-Jet) – technológia bola zverejnená v roku 2001 firmou Objet Geometries. Prototyp je zhotovený pomocou *ink-jet* procesu. Namiesto atramentu sa ale používa fotopolymér vytvrdzovaný UV lampou. Hrúbka vrstvy je 20 mikrometrov a rozlíšenie 0,038 mm.
4. Laminated Object Manufacturing (LOM) - je to metóda zhotovenia prototypu, založená na laminovaní, pri ktorej sa model zostavuje z plastových fólií alebo z vrstiev papiera napusteného spevňujúcou hmotou, ktoré sú orezané do správneho tvaru laserom. (Helisys Inc. – firma v súčasnosti už neexistuje).
5. Fused Deposition Modeling (FDM) - model sa vytvára nanášaním jednotlivých vrstiev z rôznych netoxických termoplastov alebo voskov systémom krok za krokom (Stratasys Inc.).
6. Solid Ground Curing (SGC) - z jednotlivých vrstiev modelu sa vytvorí tzv. “masky”, cez ktoré sa ultrafialovým svetlom vytvrdzuje fotocitlivý polymér.



Obr. 3.1 Princíp stereolitografie

Pri stereolitografii sa model tvorí postupným vytvrdzovaním fotopolyméru (plastická hmota citlivá na svetlo) pomocou UV laseru, ktorý je na základe údajov z počítača zameriavaný zložitou optickou sústavou. Na základe informácií o rozmeroch prierezov jednotlivých vrstiev sú vypočítané riadiace údaje, ktoré vedú lúč laseru pomocou skenovania nad hornou plochou nádoby s polymérom. Súčiastka je vytváraná na nosnej doske (pohyblivý stôl), ktorá sa na začiatku nachádza priamo pod hladinou polyméru. Vytvrdzovaním tekutého polyméru po vrstvách vzniká trojrozmerné teleso (model). Stereolitografia je najstaršou z technológií RP a okrem presnosti vyniká tiež pomerne veľkým množstvom použiteľných materiálov. Oproti iným technológiám je možné stereolitografiou vytvárať modely s milimetrovými otvormi a miniatúrnymi prvkami. Rovnako ako u väčšiny ostatných technológií, je možné modely vyrobené stereolitografiou použiť pre vizuálnu kontrolu návrhu výrobku, v niektorých prípadoch aj pre funkčné skúšky a vďaka širokej palete materiálov aj pre zhotovenie foriem pre vstrekovanie a odlievanie. Nevýhodou stereolitografie je predovšetkým pomalý proces tvrdnutia polyméru a pri niektorých materiáloch tiež malá teplotná odolnosť vzniknutého modelu.



Obr. 3.2 Princíp SLS

Na rozdiel od stereolitografie sú modely vyrobené novšou metódou Selective Laser Sintering veľmi pevné. SLS je metóda, pri ktorej je laserovým lúčom spekaný do požadovaného tvaru zlievárenský piesok, plastový alebo kovový prášok. Prídavný materiál je nanášaný na nosnú dosku (pohyblivý stôl) v inertnej atmosfére po vrstvách. Podľa vypočítaných súradníc bodov rovín prierezov je riadená skenovacia hlava, ktorá vedie laserový lúč nad povrchom prášku.

V mieste pôsobenia lasera sa prídavný materiál buď spečie, alebo roztaví. Okolité neosvetlený materiál slúži ako nosná konštrukcia. Zhotovenie fyzického modelu prebieha po vrstvách. Po vytvorení jednej vrstvy sa nosná doska zníži o hodnotu zodpovedajúcu hĺbke vrstvy. Na rozdiel od iných metód, môžeme využívať široké spektrum materiálov. Principiálne je možné použiť akýkoľvek prášok, ktorý sa pôsobením tepla taví alebo mäkne. V súčasnosti sa v komerčných oblastiach používajú, napr. termoplastické materiály ako sú polyamid, polyamid plnený sklenými vláknami, polykarbonát, polystyrén, ďalej špeciálne nízkotavitel'né zliatiny z niklových bronzov alebo polymérom povlakovaný oceľový prášok. Väčšinou ale nie je možné prechádzať na rovnakom zariadení od jedného materiálu k druhému, pretože ich vytvrdzovanie si vyžaduje výrazne rozdielne technologické podmienky. Podľa druhu použitého materiálu je možné SLS rozdeliť na:

- a) *Laser Sintering – Plastic,*
- b) *Laser Sintering – Metal,*
- c) *Laser Sintering - Foundry Sand,*
- d) *Laser Sintering - Ceramic (Direct Shelt Production Casting).*

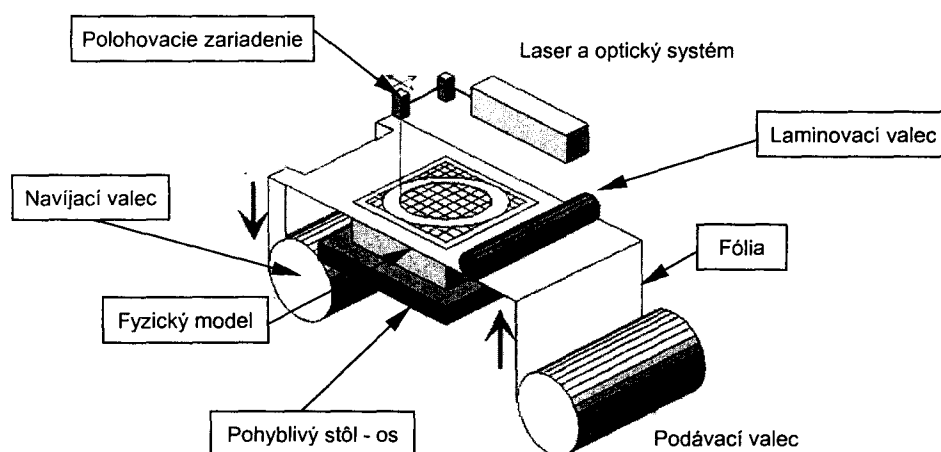
Laser Sintering-Plastic umožňuje zvoliť si z niekoľkých druhov materiálov, ktoré svojimi vlastnosťami určujú aj spôsob využitia zhotoveného modelu. Pri aplikácii polystyrénu je možné použiť výsledný model pre odlievanie do strateného vosku, pričom je možné modelovať aj komplikované tvarové časti. Pri použití nylonu dosahujú výsledné modely vynikajúce mechanické vlastnosti, ako tvrdosť, húževnatosť, tepelnú odolnosť atď. Tieto modely sú preto vhodné pre funkčné skúšky alebo testy lícovania. Štandardným využitím všetkých modelov je priestorová vizualizácia navrhovaného výrobku.

Modely zhotovené metódou Laser Sintering-Metal dosahujú dobrú pevnosť a mechanickú odolnosť, takže ich je možné využiť najmä ako formy pre výrobu plastových súčiastok vstrekováním alebo lisovaním.

Jednou z najnovších metód RP je Laser Sintering-Foundry Sand. Táto metóda používa upravený zlievarenský piesok, ktorého vytvrdzovaním je možné vytvoriť na prototypovacom zariadení klasickú pieskovú formu pre odlievanie.

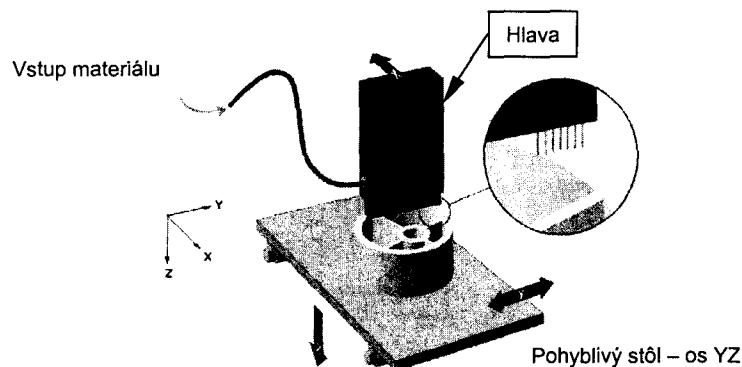
Základným materiálom pri metóde Laser Sintering-Ceramic je prášok lepený pomocou tekutého spojiva. Nanášanie spojiva je zaistené pomocou *ink-jet* tryskovej hlavy, ktorá sa

pohybuje v rovine XY. Pomocou tejto metódy sa dajú vyrábať rôzne súčiastky z keramického prášku alebo formy a jadrá pre technológiu presného odlievania.



Obr. 3.3 Princíp LOM

Pre rýchle zhotovenie prototypu je vhodná metóda LOM, pri ktorej sa model vytvára z plastových fólií, alebo z viacerých vrstiev papiera napusteného spevňujúcou látkou, ktoré sú orezané do požadovaného tvaru laserom. Model je zhotovený na zvisle sa pohybujúcom stole. Na nanesenú a vyrezanú vrstvu sa natiahne papierová fólia, na ktorej je vrstva polyetylénu, ktorá sa potom pritlačí sústavou vyhrievaných valcov, čím dôjde k zlepeniu oboch vrstiev. Lúčom lasera je vyrezaný požadovaný obrys zhotovovanej vrstvy. Prebytočná fólia je laserom rozdelená na štvoruholníky a neskôr odstránená. Po vytvorení vrstvy sa podložka zníži o hrúbku fólie a postup sa opakuje. Modely majú podobné vlastnosti, ako keby boli vyrobené z dreva. K dosiahnutiu hladkého povrchu je potrebné model ručne opracovať. Metóda je vhodná na zhotovenie veľkých modelov. Nevýhodou je veľké množstvo odpadu.



Obr. 3.4 Princíp metódy 3D Printing

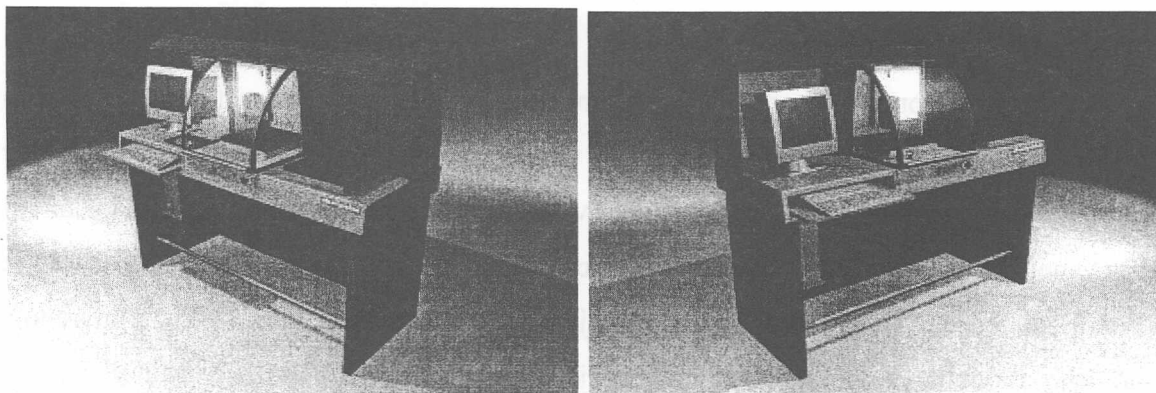
Metóda 3D Printing je založená na princípe atramentových tlačiarňí. Model sa zhotovuje tak, že jednotlivé malé kvapky materiálu (termoplastu) sú vystreľované z tlakovej hlavy na pracovnú plochu a tam bezprostredne po dopade vytvrdené. Cieľovým nanášaním ďalších kvapiek na už nanesený materiál môžeme vyrobiť trojrozmernú súčiastku. V súčasnosti sa používajú dve rôzne riešenia. Metóda *Model Maker 3D Plotting* pracuje s dvoma tlačovými hlavami, pričom prvá nanáša materiál a druhá ho tvaruje. Metóda *Ballistic Particle Manufacturing* pracuje iba s jednou tlačovou hlavou, ktorá má 5 stupňov voľnosti. Táto metóda umožňuje vytvárať modely bez podpornej konštrukcie. Princíp metódy *Multi-Jet* je v nanášaní jednotlivých vrstiev termopolyméru postupne na seba pomocou špeciálnej tlačovej pracovnej hlavy. Hlava má 96 trysiek usporiadaných rovnobežne vedľa seba. Prietok nanášaného materiálu je pre každú trysku samostatne riadený programom. Model sa vytvára na nosnej doske, podobne ako pri stereolitografii. Pracovná hlava sa pohybuje nad nosnou doskou v smere osi X. Ak je model širší ako pracovná hlava, potom sa tento posúva v smere osi Y tak, aby sa celý vytvoril. Veľký počet trysiek zaručuje rýchle a rovnomerné nanášanie materiálu. Nanášaný termoplastický materiál stuhne pri styku s už naneseným materiálom takmer okamžite.

Veľmi zaujímavým kompromisom odolnosti modelu, rýchlosti a presnosti tvorby je metóda FDM. Model sa tvorí nanášaním jednotlivých vrstiev z rôznych netoxických termoplastov alebo voskov, systémom krok za krokom. Materiál v tvare tenkého vlákna vychádza z vyhrievanej trysky, ktorá sa pohybuje v rovine XY nad pracovným priestorom. V tryske je ohrievaný na teplotu o 1°C vyššiu, ako je jeho teplota tavenia. Pri styku s povrchom vytváraného modelu sa vlákna vzájomne spájajú a vytvárajú tak požadovanú ultratenkú vrstvu, ktorá ihneď stuhne. Model sa vytvára na nosnej doske, ktorá sa vždy po nanosení jednej vrstvy zníži o hĺbku tejto vrstvy. Na podoprenie presahujúcich častí je potrebné vytvoriť podpornú konštrukciu z lepenky alebo polystyrénu. Pri modelovaní metódou FDM sú objekty vytvorené v CAD aplikáciách "rozrezané" na vrstvy pomocou špeciálneho tzv. slice-software. Zariadenia pracujúce s metódou FDM môžu byť využívané tiež v bežnom kancelárskom prostredí, pretože nepracujú s toxickými materiálmi a s citlivými zariadeniami pre laserové snímanie. Touto metódou môžeme vytvárať modely, napr. z polyamidu, polyetylénu alebo z vosku. Vytvorený model už nevyžaduje žiadne doplnkové úpravy obrábaním. Na princípe technológie FDM pracuje väčšina tzv. 3D tlačiarňí.

SGC je metóda vytvárajúca z jednotlivých vrstiev modelu masky, cez ktoré sa ultrafialovým svetlom vytvrdzuje fotocitlivý polymér. Masky je najčastejšie tvorená sklenenou doštičkou, na ktorej je vyznačený tvar tvorenej vrstvy. Celá vrstva sa v tomto prípade vytvára naraz. Vytvorenie modelu teda prebieha v dvoch oddelených, súčasne prebiehajúcich cykloch. Najskôr je vytvorená negatívna maska a potom dôjde k osvetleniu fotopolyméru. Osvietený fotopolymér stvrdne, neosvetlený tekutý fotopolymér je odsatý a vzniknutý medzipriestor sa vyplní voskom. V ďalšom kroku je povrch vytvorenej vrstvy opracovaný na požadovanú výšku vrstvy a tým je pripravený na naniesenie ďalšej tenkej vrstvy tekutého fotopolyméru. Vosková výplň zostane vo vytváranom telese až do konca procesu, potom je chemickou cestou (pomocou kyseliny citrónovej) odstránená.

3.1.2 Hardvér a softvér pre RP

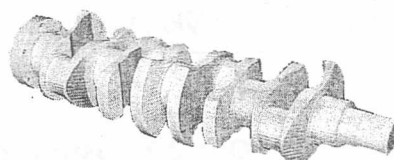
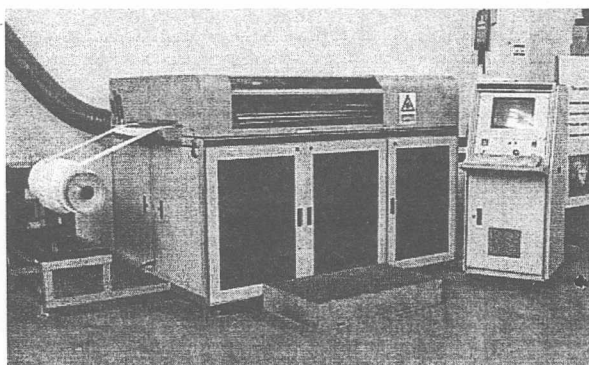
Zariadenia pre jednotlivé metódy RP vyrába celý rad výrobcov, ako napr. firmy 3D Systems, Stratasys, Objet Geometries, Charlyrobot, Objet, Aaroflex, Z Corporation, SoliDimention, Optomec a ďalšie.



Obr. 3.5 RP zariadenie STR 200 (Stratos)

3.1.3 Hlavné oblasti využitia technológie RP

Technológia RP sa začleňuje do procesu vývoja výrobku. Nadväznosť RP technológie na počítačové modelovanie telies a rýchlosť zhotovenia prototypu dovoľuje konštruovať individuálne výrobky. Niektoré metódy sú použiteľné i pre zhotovenie funkčných prototypov (Fused Deposition Modeling) a vyvíjajú sa i metódy vhodné, napr. pre priamu výrobu individuálnych implantátov (3D Printing).



Obr. 3.6 RP zariadenie Helisys LOM 2030 E a fyzický model

Internetové adresy k téme

www.3dsystems.com	3D Systems
www.stratasys.com	Stratasys Inc.
www.mcae.cz	MCAE Systems
www.3dtech.cz	3D Tech
home.att.net/~castleisland/	CASTLE ISLAND Co.
http://www.charlyrobot.com/	Charlyrobot SA, France
http://www.warwick.ac.uk/atc/rpt/	The Rapid Prototyping & Tooling Centre (European Centre of Excellence)
http://www.2objet.com/index.asp	Objet Geometries
http://www.cc.utah.edu/~asn8200/rapid.html	RAPID PROTOTYPING HOME PAGE
http://www.rdmcentre.org.uk/eduhome.htm	Rapid Design & Manufacture

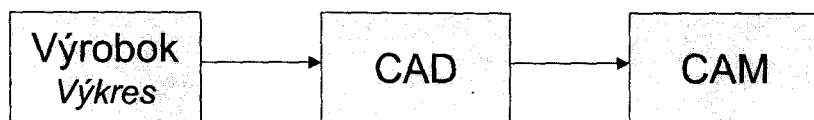
3.2 Reverse Engineering

Klasický cyklus vývoja výrobku začína návrhom v podobe 2D výkresov alebo 3D CAD modelu a končí vyrobením reálnych výrobkov. Reverse Engineering (RE) je proces opačný. Vstupnými údajmi sú reálne výrobky transformované do digitálnej podoby pomocou 3D skenerov, ktoré sa ďalej spracovávajú a modifikujú v niektorom z CAD programov.

3.2.1 Princíp technológie RE

Prvotným predpokladom pre použitie technológie je existencia reálnej súčiastky, či už sa jedná o prototyp alebo náhodne vybranú súčiastku z veľkej výrobnéj série, ktorú potrebujeme

transformovať do CAD systému. Táto súčiastka sa musí digitalizovať pomocou vhodnej skenovacej technológie.



Obr. 3.7 Postup spracovania informácií pri technológii RE

Na digitalizáciu sa používajú 3D skenery. 3D nedeštruktívne skenery súčiastku pri skenovaní nezničia. Najčastejšie používanými typmi skenerov sú optické, laserové, mechanické alebo magneticko-rezonančné, ktoré nasnímajú aj vnútorné tvary. Voľba typu skenera závisí väčšinou od požiadaviek, ktoré sú kladené na presnosť zhody medzi reálnym a zdigitalizovaným modelom. Hlavným kritériom je presnosť skenera. Pri strojárenských súčiastkach je požadovaná pomerne vysoká presnosť (väčšinou v stotinách až tisícinách milimetra), pri ostatných aplikáciách je táto požiadavka nižšia. Najväčšiu presnosť dosahujú laserové a optické prístroje, najnižšiu mechanické. Ďalším dôležitým faktorom pri rozhodovaní medzi vhodnými skenermi je doba, akú skener potrebuje k nasnímaniu objektu. Z uvedených princípov skenovania je najrýchlejší skener, založený na princípe merania laserového lúča. Dôležitým faktorom je tiež veľkosť skenovanej súčiastky, resp. jej prenosnosť. Väčšina skenerov je obmedzená práve veľkosťou priestoru, v ktorom je možno skenovať. Bežne sa 3D skenery konštruujú tak, aby bez problémov naskenovali objekty do veľkosti 50 cm. Pre rozmernejšie objekty sa vyrábajú väčšie skenovacie zariadenia, ktoré sú ale oveľa drahšie. V tomto prípade sa ako vhodnejšie riešenie javí použitie, napr. optického skenera Atos s kombináciou zariadenia TriTop, ktoré spoločne umožní skenovanie objektov veľkosti až 10 m. Výhody a nevýhody každého skenera je nutné pred použitím zvážiť.

Ďalšou fázou je spracovanie naskenovaných dát. K tomu slúžia špeciálne programy pre modifikáciu všeobecných plôch. Ako vstupný formát dát sa používa buď textový súbor s oddelenými priestorovými súradnicami jednotlivých bodov, alebo štandardizované formáty VDA a ASCII. Programy môžu s bodmi pracovať ako s úsečkami, lomenými čiarami alebo krivkami n -tého rádu. Tieto 2-rozmerné entity väčšinou slúžia na definovanie hraničných a tvoriacich kriviek. Pokiaľ sú hraničné krivky uzavreté, je možné bodmi preložiť plochu. Softvér umožňuje zvoliť vhodný rád (stupeň) plochy tak, aby aproximácia bodov bola čo

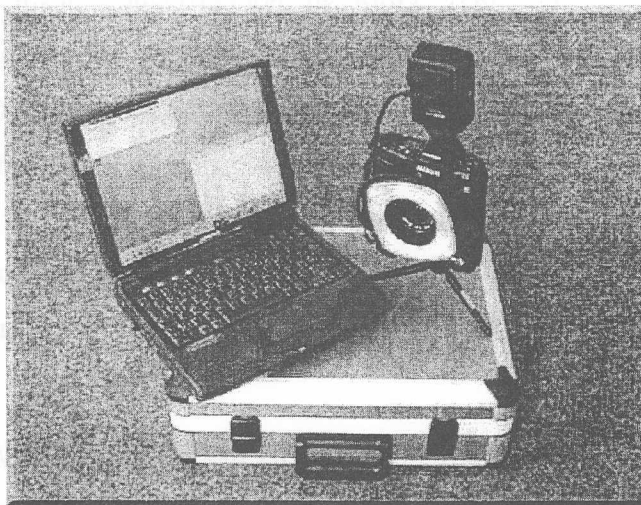
najpresnejšia a najrealistickejšia. Pri vysokých rádoch plochy sa musí brať do úvahy, že plocha je síce pekne vyhladená, ale na úkor straty rôznych kontúr a prelisov, ktoré môžu byť funkčne dôležité. Po vykonaní všetkých operácií, týkajúcich sa vytvorenia plôch z naskenovaného mračna bodov, nasleduje export dát do jedného z formátov (IGES, ASCII, STL, DXF, Stratasys, ISO G-Code), ktoré sú podporované väčšinou CAD aplikácií. Príkladom kvalitného softvéru pre spracovanie mračna bodov (point cloud) je Imageware Surfacar od firmy Imageware Corp. (1991) akvizovanej firmou SDRC (1998), ktorá je od roku 2001 súčasťou korporácie EDS (Electronic Data Systems). Imageware sa skladá z troch hlavných produktov: SURFACER - modelár plôch, ktorý sa používa pre návrh nových výrobkov, ako aj pre prenesenie už hotových do CAD systému použitím metódy RE, VERDICT - meranie a analýza výrobku, BUILDIT - špeciálna aplikácia určená pre výrobcov komplexných nástrojov.

Súčiastka sa môže načítať do CAD programu ako 3D model. Môže sa vytvoriť aj chýbajúca výkresová dokumentácia, modifikovať rozmery alebo tvar, realizovať pevnostné, dynamické alebo kinematické analýzy, začleniť súčiastku do existujúcej zostavy, môže sa z nej vytvoriť virtuálny model prístupný na internete, alebo sa môže pripraviť pre výrobu na CNC strojoch. Poslednou fázou technológie RE nemusí byť len vyrobenie novej súčiastky, ale tiež kontrola rozmerov. K tomuto účelu slúžia aj iné špecializované softvérové produkty, ktoré väčšinou neriešia časť, kde sú dáta načítané a upravované v CAD systéme. Pracujú s dátami, ktoré sú výstupom z programu pre modifikáciu všeobecných plôch. Pri porovnávaní majú načítaný teoretický model, na ktorý priložia model, tvorený naskenovanými plochami. Dokážu tiež zohľadniť rozmerové alebo geometrické tolerancie, predpísané na teoretickom modeli. Rozdiely sa zobrazia graficky na monitore pomocou farebnej palety. V automatickom režime je tento softvér schopný určiť, či je daná súčiastka vadná a má sa zo série odstrániť. Príkladom tohoto typu softvéru je Verdict od firmy Imageware.

3.2.2 Hardvér a softvér pre RE

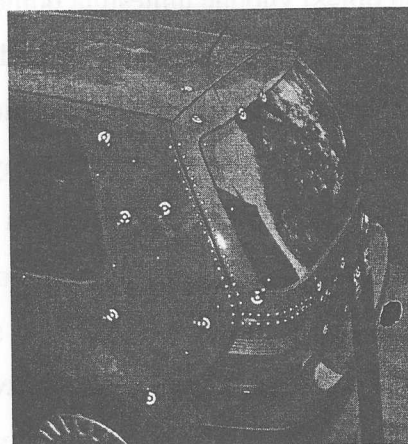
TriTop je systém (GOM mbH), ktorý je určený na súradnicové meranie. Prevádzka tohto fotogrametrického zariadenia je lacnejšia, rýchlejšia a presnejšia ako mechanických meracích zariadení. Systém sa skladá z prenosného počítača (Notebook), digitálnej reflexnej kamery s pevným diskom PCMCIA, lepiacich retro-štítkov, adaptéra a kalibračných tyčí. Výhodou oproti mechanickým zariadeniam je bezkontaktné snímanie dát (možno merať telesá zahriate

na vysokú teplotu bez skreslenia výsledkov vplyvom dilatácie meradla). Dáta získané pri meraní sa dajú použiť na vytvorenie digitálneho modelu s presnou geometriou a k následnému porovnaniu s teoretickým CAD modelom.



Obr. 3.8 Merací systém TriTop

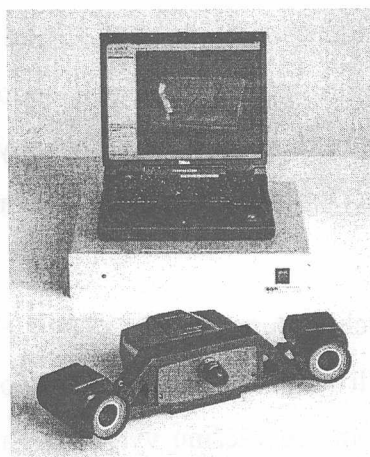
Pred vlastným skenovaním sa meraný objekt na vhodných miestach opatrí špeciálnymi kruhovými značkami, ktorých môže byť aj niekoľko tisíc (podľa veľkosti objektu). Potom sa urobí ľubovoľný počet snímok z rôznych strán tak, aby sa na snímkach vyskytli všetky body minimálne 3 krát. Súčasťou niekoľkých snímok bodov musí byť aj kalibračná tyč položená vedľa meraného predmetu. Takto získané fotografie sa prenású z fotoaparátu do počítača a spracujú sa špeciálnym programom, ktorý dokáže z viac snímok vyhodnotiť priestorové súradnice bodov a podľa kalibračnej tyče priradiť správne číselné údaje vzdialeností. Výsledkom je mračno bodov, medzi ktorými sa dajú presne merať vzdialenosti. Systém nie je vhodný pre sériové merania, lebo proces je relatívne zdĺhavý.



Obr. 3.9 Použitie systému TriTop

Systém TriTop sa môže použiť aj ako doplňujúce zariadenie na definovanie značiek, umiestnených na objekte pred skenovaním 3D digitalizačným zariadením Atos. V takom prípade systém Atos bude môcť snímať objekty veľké až 10m. Presnosť systému TriTop sa pohybuje v rozmedzí od 0,02 až 0,1mm podľa rozmeru telesa. Namerané dáta sú uložené do štandardných dátových formátov VDA a ASCII.

ATOS (Advanced Topometric Sensor) je mobilným optickým 3D súradnicovým zariadením. S výhodou ho možno použiť tam, kde sa požaduje vysoká hustota dát (1 snímka obsahuje až do 1,3 mil. pixelov). Uplatnenie nájde v technológiách CAD, CAM alebo FEM. Meranie je založené na princípe triangulačnej metódy a digitálneho spracovania obrazov (Image Processing).



Obr. 3.10 Systém ATOS II FireWire

Pred vlastným skenovaním sa na objekt vhodne umiestnia pomocné značky, pomocou ktorých systém vypočíta polohu meracích senzorov a namerané hodnoty transformuje priamo do súradnicového systému objektu. Na povrch objektu sú premietnuté prúžky svetla, ktoré sú pomocou dvoch kamier snímané z rôznych uhlov. Digitálnym spracovaním obrazu sa s vysokou presnosťou vypočítajú 3D súradnice každého pixelu na snímke pre každú kameru zvlášť. Pretože triangulácia je založená na CCD geometrii a projektor je pri meraní súčasne aj kalibrovaný, nedochádza pri zmenách osvetlenia okolia k skresleniu súradníc. Presnosť merania sa pohybuje v rozmedzí $\pm 50\mu\text{m}$. Presnosť sa dá zvýšiť, ak sa pred skenovaním použije prístroj TriTop, ktorého namerané dáta sa použijú pri vyhodnocovaní a spresnení dát z prístroja ATOS.

Túto metódu 3D digitalizácie možno aplikovať pre ľubovoľné objekty (obrobky, modely, formy, časti ľudského tela a pod.) o rozmeroch 10 až 500mm bez toho, aby došlo k ich poškodeniu. V CAD systéme sa dáta dajú použiť, napr. pre vytvorenie počítačového modelu z fyzického objektu (RE), pre spätnú kontrolu rozmerov výrobku, alebo pre prenos zmien vykonaných na vyrobenej súčiastke do CAD systému. Dáta sú vhodné aj pre vytvorenie riadiacich programov pre výrobu na CNC frézках a systémoch RP.

Program Imageware Surfacer je od začiatku vývoja tohto systému orientovaný na oblasť Reverse Engineering. Tvorí štandardné softvérové vybavenie mnohých skenerov. Pretože ide o program špeciálne vyvinutý pre spracovanie dát získaných priestorovou digitalizáciou, nie je problém pracovať s veľkým množstvom dát (obmedzením je len výkon počítača). V programe sa pracuje so všeobecnými plochami. Jednou z najprepracovanejších oblastí programu je Point Processing, ktorý obsahuje funkcie pre spracovanie nasnímaných dát. Medzi základné funkcie patrí filtrovanie nežiadúcich bodov a automatické vyrovnávanie bodov. Zaujímavá je procedúra pre prerozdelenie nasnímaných bodov do nových oblastí na základe kritéria krivosti. Tak možno získať miesta, ktorými sa dá ľahko preložiť hladká plocha.

Vedľa najpoužívanějších dátových rozhraní IGES, VDA alebo DXF má Surfacer aj priame dátové rozhranie pre jednotlivých výrobcov skenerov. Mimo vstupných rozhraní je Surfacer vybavený aj výstupným rozhraním pre väčšinu výrobcov zariadení pre Rapid Prototyping. Pre obojstrannú výmenu dát s CAD systémami sú k dispozícii rozhrania k systémom CATIA, Pro/ENGINEER, I-DEAS, CADDSS a Unigraphics.

3.2.3 Hlavné oblasti využitia technológie RE

Reverse Engineering má uplatnenie napr. v prípade, že potrebujeme transformovať do 3D prostredia CAD systému súčiastku, ktorá bola už skôr navrhnutá v podobe 2D výkresov, jej výroba je stále aktuálna a ak je potreba, ju buď modifikovať, alebo prejsť na výrobu CAD/CAM technológiou. Model súčiastky možno potom analyzovať špeciálnymi softvérovými produktmi, ako napr. FEM.

Pokiaľ je potreba opraviť staré zariadenie, ako napr. poľnohospodársky stroj, alebo pokiaľ sa má sprevádzkovať nejaký nefunkčný mechanizmus exponátu, je možné využiť možnosti technológie Reverse Engineering. Pre väčšinu takýchto starých zariadení sa totiž nedochovajú technické podklady, podľa ktorých by bolo možné chýbajúcu alebo poškodenú súčiastku vyrobiť.

V modernom priemyslovom odvetví, ako je automobilový priemysel, sa Reverse Engineering využíva pri kontrole konštrukčného návrhu karosérie automobilu. V prvej fáze sa navrhnu tvary, ktoré sa modelujú na fyzickom hlinenom modeli. Tento model, ktorý je väčšinou v merítku 1:1, sa pomocou 3D skenera transformuje do CAD prostredia. K dispozícii je potom digitálny 3D model karosérie, ktorý sa môže pomocou špeciálneho CAD/CAM softvéru pretransformovať na výrobné údaje, ktoré sa odošlú na výrobné zariadenie. Tu sa vyrobí skúšobná séria plechov, ktorá sa digitalizuje opäť pomocou 3D skenera. V poslednej fáze sa porovnáva zhoda medzi návrhom konštruktéra a vyrobenou vzorkou. Prípadné nezhody sa upravujú na úrovni transformácie údajov do CAD/CAM systému.

Pri kontrole dizajnu sa jedná o porovnávanie zložitých priestorových kriviek, čo by bolo prakticky nemožné bez použitia moderných technológií Reverse Engineering. Tieto technológie sa dajú využiť i v prípade, že kontrola výrobku nie je zložitá, ale časovo náročná. Ide napr. o kontrolu rozmerov výrobku pri hromadnej alebo veľkosériovej výrobe, kde by manuálne meranie i každej, napr. desiatej súčiastky, znamenalo veľké časové a finančné straty. S využitím 3D skenerov, ktoré pracujú omnoho rýchlejšie ako obsluha stroja, sa môže každá vyrobená súčiastka nasnímať, porovnať s teoretickým 3D modelom a v prípade nezhody zo série vyradiť. Keďže sa celý proces môže uskutočňovať automaticky, časová strata závisí len na rýchlosti, s akou je hardvér schopný porovnať vstupné a teoretické údaje. Moderné systémy dokážu vyhodnotiť, napr. správnosť hlavných rozmerov, súradnice stredu dier, geometrické tolerancie ako kruhovitosť, rovnobežnosť, kolmosť a v neposlednom rade

tiež aj normálové odchýlky pri všeobecných tvaroch. Nevýhoda takej kontroly spočíva v tom, že môžeme kontrolovať len to, čo sa dá naskenovať pomocou nedeštruktívnych 3D skenerov (väčšinou optických alebo laserových), teda len vonkajšie viditeľné tvary. Podľa typu použitého skenera sa mení presnosť snímania objektu, preto je nutné zvážiť požiadavky na presnosť skenera pre daný typ súčiastky.

Možnosti technológie Reverse Engineering sa využívajú aj vo filmovom priemysle, resp. reklame. V tomto prípade sa jedná o tzv. voľné modelovanie. Často sa skenujú, napr. línie rysov tváre pre rôzne trikové zábery. Tieto krivky sa prenesú do softvéru, ktorý väčšinou pracuje na báze polygonálnych sietí. Takto reprezentovaný matematický model je pomerne jednoduchý a ľahko modifikovateľný (booleovské operácie). V prípade tváre sa často využíva morfovanie modelov, čo je v podstate plynulý prechod (deformácia) medzi dvoma rôznymi objektmi. Na presnosť zhody získaných a reálnych údajov sa na rozdiel od strojárenských aplikácií nekladie veľký dôraz (postačujúca je presnosť 0,1 až 1 mm). Ako najviac viditeľný príklad použitia Reverse Engineering vo filmovom priemysle je vytvorenie pohybujúcich sa 3D modelov prehistorických zvierat vo filme Jurský park, kde zvieratá boli najprv vymodelované ako skutočné makety a potom naskenované a animované pomocou špeciálneho softvéru.

Internetové adresy k téme

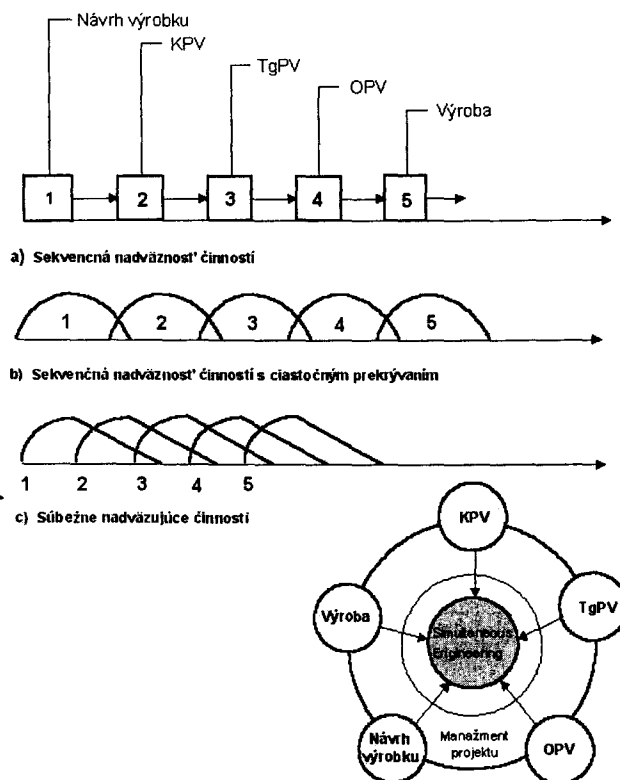
http://www.comp.lancs.ac.uk/projects/RenaissanceWeb/index.html	The Renaissance Web
http://www.impactengsol.com/Services/Inhouse/ReverseEngineering/Rengineering.htm	Impact on Reverse Engineering
http://www.cad-based.com/	CAD-Based Solutions
http://www.3dscanners.com/	3D Scanners
http://www.cc.gatech.edu/reverse/repos.html	RE Technical Report
http://robo.hyperlink.cz/	3D skenery, RE, RP

3.3 Concurrent Engineering

Concurrent Engineering (CE) označované aj ako simultánne inžinierstvo (Simultaneous Engineering) je organizačná koncepcia uplatňovaná pri vývoji výrobkov, založená na informačných technológiách (IT) a CA technológiách, s cieľom skrátiť priebežnú dobu vývoja

výrobku, znížiť náklady, zvýšiť kvalitu a zlepšiť komunikáciu medzi útvarmi. Na rozdiel od klasickej fázovej (sekvenčnej, sériovej) organizácie s funkčným usporiadaním útvarov ide o paralelnú (súbežnú) organizáciu s predmetným usporiadaním útvarov. Paralelný vývoj výrobku predpokladá využívanie špeciálnych CAD/CAM produktov, podporujúcich tento spôsob práce, a počítačových sietí. Súčasne s návrhom výrobku sa realizuje aj technológia výroby. Koncepcia CE je úzko zviazaná s pojmami spoločná práca (Collaborative Work), resp. spoločný vývoj výrobkov (Collaborative Product Commerce), navrhovanie výrobkov z hľadiska vyrobiteľnosti (Design for Manufacturability) a životný cyklus výrobku (Product Life Cycle). Koncepcia CE umožňuje súbežné zdieľanie poznatkov v hlavných podnikových procesoch a činnostiach. Prioritným cieľom simultánneho inžinierstva je maximálne skrátiť čas vývoja výrobku a to aplikovaním paralelného vykonávania činností. Koncepcia CE sa používa aj v oblasti softvérového inžinierstva.

Najnovšia koncepcia v oblasti vývoja výrobkov sa nazýva Digital Mock-Up (DMU), pri ktorej sa pracuje s virtuálnymi stavebnicovými modelmi vo virtuálnom prostredí a integrovaný vývoj výrobku (Integrated Product Development), metóda virtuálneho prototypovania, zameraná na návrh výrobku ako celku.



Obr. 3.11 Fázový a súbežný model vývoja výrobku

Charakteristika súčasnej etapy v oblasti vývoja výrobkov z hľadiska implementácie CA technológií a informačných technológií je nasledovná:

- *Využívanie CAD/CAM technológie umožňujúcej:*
 - *3D objemové modelovanie založené na tvarových prvkoch (Feature based), parametrickom modelovaní a geometrických väzbách (Constraints based)*
 - *Fotorealistické zobrazenie modelu výrobku*
 - *Úplnú asociativitu medzi jednotlivými modulmi CAD/CAM systému*
 - *Tímovú spoluprácu (Concurrent engineering)*
 - *Priamo z prostredia CAD/CAM systému využívať internetové služby*
 - *Generovanie výkresovej dokumentácie, štandardných formátov pre výmenu údajov a technologických informácií pre výrobu výrobku*
- *Nástup využívania systémov manažovania životného cyklu výrobku (PLM), výrobných informácií (EDM/PDM) a virtuálnych digitálnych zostáv (Digital Mock-up).*
- *Nástup využívania internetových technológií pre spoluprácu na vývoji výrobkov (CPC – Collaborative Process Commerce)*
- *Nástup využívania technológie Rapid Prototyping (SLA, SLS, 3D Printing, LOM, FDM,....)*

Vývoj CAD systémov v 80-tych rokoch nadväzoval na zaužívaný spôsob vývoja výrobkov (sekvenčné inžinierstvo). Hlavné nároky boli kladené na samostatnú prácu jednotlivca. Tento spôsob práce vedie ale k častým chybám, lebo jednotlivec nemôže postrehnúť všetky potrebné väzby. Chyby vývoja sa tak objavili už pri prototypoch. V 90-tych rokoch sa začala rozvíjať požiadavka paralelného inžinierstva (Concurrent Engineering). Tento spôsob práce kladie dôraz na prácu v skupinách, kde jednotlivci spolu intenzívne komunikujú. Pri tomto spôsobe práce vznikajú ale problémy pri komunikácii medzi jednotlivými skupinami. Ďalšou etapou by malo byť tzv. zdieľané inžinierstvo (Shared Engineering), ktoré rieši spoluprácu na vývoji výrobku medzi skupinami na celom svete. Základom je tzv. konferencia. Klienti môžu byť na rôznych častiach sveta a v reálnom čase konzultujú problematiku a modifikujú model výrobku. Takýto spôsob práce znižuje náklady na vývoj a to hlavne náklady súvisiace s cestovaním na iné pracoviská.

Internetové adresy k téme

http://www.soce.org/	Society of Concurrent Product Development
http://www.cerc.wvu.edu/	Concurrent Engineering Research Center West Virginia University
http://www.ceraj.com/	Concurrent Engineering: Research and Applications
http://www.cc.gatech.edu/computing/SW_Eng/people/Phd/ce.html	Concurrent Engineering Resources on the Web (Software Engineering)
http://cic.vtt.fi/cib_tg33/	Concurrent Engineering in Construction
http://www.virginiadot.org/projects/concureng-default.asp	CE: Virginia Department of Transportation

3.4 Virtuálna realita a virtuálny vývoj výrobkov

Základom virtuálnej reality (VR) sú postupy, ktoré sú súčasťou počítačovej grafiky. Jedná sa o tvorbu priestorových modelov a scén, manipuláciu s nimi, pohyb v trojrozmernom priestore a zobrazovanie v reálnom čase. Tieto metódy bývajú umocnené použitím špeciálnych periférnych zariadení, ako helmy, okuliare a rukavice. Periférie zaisťujú obrazovú, zvukovú a hmatovú interakciu s virtuálnym prostredím. VR však možno realizovať aj bez týchto špeciálnych a stále pomerne drahých periférnych zariadení, napr. obrazovka monitора nám môže slúžiť ako jednoduchý prostriedok na zobrazovanie virtuálnych scén, pohybovať sa môžeme pomocou klávesnice alebo myši, samozrejme v pocitovo menej intenzívnej podobe.

Model z pohľadu virtuálnej reality má mať tieto základné vlastnosti:

- *všetky činnosti sa vykonávajú v reálnom čase, pokiaľ možno s okamžitou odozvou na vstupnú aktivitu používateľa (interaktívna scéna),*
- *scény a objekty majú trojrozmerný charakter, alebo aspoň vytvárajú jeho ilúziu,*
- *používateľ nepozoruje scénu iba zvonku, ale vstupuje do nej a prechádza sa v nej,*
- *scéna nie je statická, používateľ s jej objektmi v reálnom čase manipuluje, virtuálne telesá sú vo vzájomnej interakcii s používateľom ako aj s inými telesami vo virtuálnom priestore,*
- *virtuálne prostredie kombinuje multimediálne prvky - zvuk, video, obrázky a grafiku.*

3.4.1 Princíp a klasifikácia virtuálnej reality

Virtuálnu realitu môžeme charakterizovať ako prostredie, ktoré umožňuje prácu v trojrozmernom priestore, vymodelovanom v pamäti počítača. V tejto súvislosti sa používa aj pojem „Cyberspace“. Základom VR sú postupy známe z počítačovej grafiky. Ide hlavne o tvorbu priestorových modelov a scén, manipuláciu s nimi, pohyb v trojrozmernom priestore a zobrazovanie v reálnom čase. VR umožňuje človeku vizuálne sprostredkovať komplexné a rozsiahle dáta, manipulovať s nimi a integrovať ich pomocou počítača. Komunikácia človek-počítač sa uskutočňuje cez rozhranie. VR predstavuje v súčasnosti najmodernejšie rozhranie v oblasti integrácie človek-počítač. Pomocou VR technológie je možné pohybovať sa v n-rozmerných svetoch. Štandardné metódy sú v aplikáciách virtuálnej reality rozšírené použitím špeciálneho hardvérového vybavenia (periférií), ktoré zaisťuje obrazovú, zvukovú a hmatovú interakciu. Ide hlavne o špeciálne prilby so zabudovaným displejom, snímače polohy v priestore, dotykové zariadenia, simulačné kabíny a pod. Klávesnica je nahradená dátovými rukavicami, klasická myš 3D polohovacími zariadeniami a monitor sa pozoruje cez špeciálne okuliare. V súčasnosti existuje celý rad definícií pojmu virtuálna realita. Kvôli zachovaniu pôvodného obsahu uvádzame jednu z nich v pôvodnom znení:

Virtual Reality (VR) is a 3-D computer generated world that can be entered with the aid of goggle-mounted monitors and data-sensing clothing. A computer is programmed with an environment that is fed to the user via the goggles. As the person in VR turns their head, the computer generates the view, such that the illusion of actually being in a Tron-like world is created. Fiber-optic sensors fitted into gloves and even a full-body jump suit provide the computer with enough information to create a simulation of the user. If you hold up your hand, you see a computer rendered hand. If you look down at your body, you see a computerized version of it.

(Gareth Branwyn)

Prvý materiál o VR bol publikovaný už v roku 1965 a autorom bol Ivan Sutherland.

V súčasnosti rozlišujeme niekoľko typov aplikácií, ktoré používajú spoločný názov virtuálna realita (VR).

Jednoduchá virtuálna realita (Low-end Virtual Reality)

Pojem VR bez ďalšieho označenia opisuje celý rad aplikácií od počítačových hier až po simulácie pohybu vo vesmíre. K vytvoreniu pocitu práce v inom prostredí sa používa obyčajná obrazovka. Pre zvýraznenie 3D zvuku sa používajú rôzne zvukové karty

s reproduktormi, ktoré sú schopné reprodukovat' zvuk s priestorovým efektom a na pohyb a uchopovanie predmetov slúži obyčajná myš. Tento druh virtuálnej reality sa používa aj na internete, kde treba zabezpečiť rýchly prenos dát, prístupný čo najväčšiemu počtu používateľov.

Rozširujúca virtuálna realita (Augmented Virtual Reality)

Informácie z okolitého sveta sú doplňované o prvky virtuálnej reality. Príkladom sú rôzne simulátory. Vonkajší obraz je snímaný kamerou a prenášaný na obrazovku v kabíne, napríklad leteckého simulátora. Tento spôsob sa používa, napr. aj pri inštalácii elektrických rozvodov v lietadlách Boeing. Technici majú okuliare, cez ktoré normálne vidia, ale zároveň sú im do nich premietané doplňujúce značky, ktoré jednoznačne určujú miesta prepojenia káblov podľa toho, kam sa pracovník pozerá.

Premietaná, resp. projektívna virtuálna realita (Projected Virtual Reality)

Dáta sú vopred nasnímané a potom premietané do priestoru okolo používateľa. Ideálne je, ak sú obrazy premietané na všetky steny miestnosti vrátane stropu, kde sa používateľ nachádza. V najjednoduchšom prípade je obraz premietaný len na obrazovku monitora. Obrazy sú veľmi často prebraté z reality. Technológia prípravy panoramatických obrázkov umožňuje približovanie a zmenšovanie, čím vzniká, napr. ilúzia chôdze v krajine. Napriek tomu je interakcia s prostredím obmedzená.

Pohlčujúca, resp. imerzívna virtuálna realita (Immersive Virtual Reality)

Je vždy spojená s technickými zariadeniami, ktorých cieľom je v čo najväčšej miere odtrhnúť používateľa od vonkajších vnemov a čo najviac ho ponoriť do zdanía, že sa nachádza len vo virtuálnom, umelom svete. Medzi tieto periférne, špeciálne zariadenia patrí najmä prilba so stereoskopickými okuliarmi a slúchadlami, snímače detekujúce priestorovú polohu používateľa a tzv. dátové rukavice. Často býva používateľ umiestnený v simulátore; napr. v kabíne, ktorá sa nakláňa a simuluje pohyby priestoru, v ktorom sa užívateľ nachádza. Dotykové zariadenia sú schopné meniť odpor alebo tlak vyvíjaný proti ruke používateľa, takže je možné, napr. cítiť mechanické vlastnosti virtuálneho materiálu.

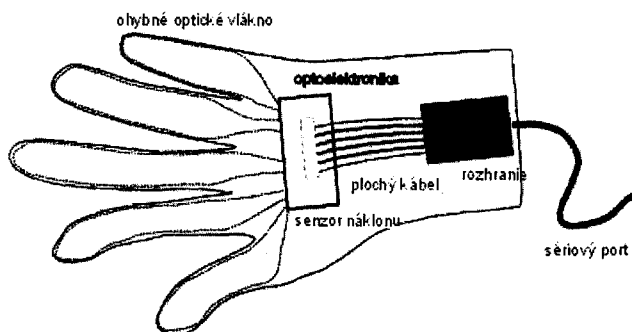
3.4.2 Hardvér a softvér pre virtuálnu realitu

3.4.2.1 Dátové rukavice

Používajú sa na prepojenie s počítačom. Možno ich rozdeliť do niekoľkých skupín v závislosti od poskytovaných informácií. Najjednoduchšími sú rukavice, ktoré poskytujú informácie, len ak sa používateľ dotkne nejakého predmetu (taktilné). Zložitejšie sú polohové rukavice, ktoré zaznamenávajú pohyby ruky od zápästia až po prsty. Súčasťou týchto rukavíc je zložitejšia elektronika a väčší počet snímačov, ako pri predchádzajúcich. Najzložitejšie rukavice poskytujú informácie o priestorovom pohybe, ako aj spätnú väzbu do prstov a celej ruky.

DataGlove

Táto rukavica vyvinutá VPL Research poskytuje 5 nezávislých kanálov pre meranie pohybu prstov a snímanie gestikulácie. V rukavici z tkaniny sa nachádza pružné optické vlákno, ktoré podľa miery ohybu menia svoju optickú priepustnosť. Na chrbtovej strane rukavice sa nachádza snímač náklonu a otočenia. Z týchto údajov sa dajú odvodiť niektoré gestá, ako napríklad zovretie päste (uchopenie objektu) alebo roztvorená dlaň (pustenie predmetu). Rukavice sa k počítaču pripájajú pomocou sériového portu.



Obr. 3.12 Dátová rukavica DataGlove

CyberGlove

Tieto rukavice obsahujú patentovaný veľmi tenký a dobre ohybný odporový snímač polohy. Snímač generuje pri pohybe signál, ktorý je vyhodnocovaný. Rukavice majú použitie v medicíne, telerobotike, CAD systémoch a pod. Nevýhodou týchto rukavíc je potreba úpravy

kalibrácie približne po každom mesiaci používania. Rukavice sa pripájajú k počítaču cez sériový port.

3.4.2.2 Stereoskopické okuliare a prilby

Stereoskopické okuliare a prilby sa používajú pre umocnenie vizuálneho vnímania virtuálneho sveta.

Okuliare

Okuliare na stereo videnie pracujú na princípe prepínania clony pre ľavé a pravé oko. V mieste so zaručenou priamou viditeľnosťou je umiestnený vysielateľ infračerveného prepínacieho signálu, ktorý je zachytený detektorom umiestneným v ráme okuliarov. Vysielač sa obvyčajne umiestňuje na alebo nad monitor. V tomto monitore je generovaná dvojica obrázkov pre ľavé a pravé oko. Obráz je rozdelený horizontálne. V novších typoch okuliarov je umiestnená trojica ultrazvukových mikrofónov, pomocou ktorých je možné snímať aj natočenie hlavy pozorovateľa a dynamicky meniť príslušné parametre premietania v aplikácii. Subsystem ultrazvukového snímání potrebuje, na rozdiel od okuliarov, pripojenie k riadiacej jednotke.

Prilby

Projekčné prilby sa v súčasnosti vyrábajú v rôznych prevedeniach. Jednoduché a podstatne lacnejšie sa používajú najmä v zábavnom priemysle. Zložitejšie a omnoho kvalitnejšie prilby sa používajú hlavne vo výcvikových tréningoch a v priemyselných aplikáciách. Líšia sa viacerými parametrami, no najdôležitejším z nich je projekčný systém.. Väčšina prilb nižšej a strednej triedy poskytuje nerušený pohľad do virtuálneho sveta, sú opticky uzavreté a veľakrát sú k nim pridružené aj slúchadlá. Obrazový systém kvalitných systémov je riešený pomocou priehľadných displejov, napr. LCD, na ktoré sa dá zároveň generovať požadovaný obraz.



Obr. 3.13 Projekčná prilba (Sim Eye XL 100A)

3.4.2.3 Zariadenia na sledovanie polohy a priestorovej orientácie

Ak chceme dosiahnuť vierohodnosť virtuálnej reality, nestačí, aby počítač bol informovaný len o polohe ruky, ale je potrebné, aby mal informácie o polohe a pohybe celého tela.

Dátový oblek

Dátové obleky sú zatiaľ veľmi zložité zariadenia. Jediným komerčne vyrábaným oblekom v súčasnosti je dátový oblek VPL DataSuit. Toto zariadenie od firmy VPL Research, ktorú založil v roku 1984 v Alto Palo jeden z priekopníkov VR Jaron Lanier, a patenty ktorej odkúpila firma Sun, využíva pre snímanie pohybov ten istý princíp ako rukavice DataGlove. Rozdiel je ale v tom, že pri tomto dátovom obleku sa nesleduje len 5 prstov, ale až 50 bodov na horných končatinách.

Polhemus Ultratrak Pro

Je to systém s viacnásobným sledovaním polohy a orientácie v priestore. Snímané veličiny sú merané pomocou elektromagnetických vln, vysielaných v 3 smeroch polarizovanými anténami. Používateľ si pripevní snímače do jednotlivých miest na tele a anténny systém po prefiltrovaní vysiela potrebné signály do riadiacej jednotky. Toto zariadenie sa používa najmä pri animáciách, hlavne tam, kde treba čo najlepšiu vierohodnosť pohybov.



Obr. 3.14 Dátový oblek DataSuit

Ultrazvukové snímanie polohy

Príkladom tohoto typu snímania je zariadenie Logitech/Fakespace 3D Mouse & Head Tracker. Pre meranie je použitý trojitý ultrazvukový systém. Vysielač je v tvare väčšieho trojuholníka a obsahuje 3 ultrazvukové reproduktory, ktoré pokrývajú približný priestorový výsek 100° vo vzdialenosti 1,2-1,5m. Menšie trojuholníky (prijímače) sú opatrené trojicou mikrofónov, ktoré prijímajú ultrazvukový signál.

3.4.2.4 Integrované systémy

RB2 (Reality Built for Two) Virtual Reality System od firmy VPL Research je prvý systém VR, ktorý umožňuje involvovať do virtuálneho sveta súčasne viac ako jednu osobu. Predstavený bol v roku 1989. Hardvér pozostáva z dátovej rukavice DataGlove, vstupného zariadenia pre snímanie pohybov ruky, stereoskopického zobrazovača so slúchadlami, upevneného na hlave (EyePhone) a dvoch počítačov Silicon Graphics IRIS.

3.4.3 Hlavné oblasti využitia VR

Virtuálnu realitu možno využiť aj pri vývoji výrobkov. Napr. virtuálne prototypovanie (Virtual Prototyping) je metóda vývoja výrobkov ako celku a nie len ako súhrn komponentov (súčiastok). Táto metóda využíva pre definovanie vzájomných vlastností komponentov zostavy rôzne väzby (Constraints). Niektoré súčasné CA systémy sa snažia rozšíriť virtuálny vývoj výrobkov (Virtual Product Development) aj o zobrazenie modelov pomocou VR. V súčasných CAD/CAM systémoch reprezentujú objemové modely komplexný virtuálny výrobok s jeho rozmermi, tvarom, toleranciami, materiálom, úpravou povrchu a pod. V CAD systéme je možné použiť VR pre zostavenie výrobku z jeho komponentov. VR možno použiť aj na prepojenie medzi CAD a CAM systémami a vyhodnotenie technologickosti návrhu. Komplexnosť výrobkov vyžaduje nepracovať len s izolovanými súčiastkami, ale používateľovi treba poskytnúť aj vizuálne informácie na širšie okolie, aby mohol výrobok navrhnuť z hľadiska vhodnosti pre montáž. Zmontovateľnosť je potrebné vedieť aj testovať. Virtuálny vývoj výrobkov sa v súčasnosti využíva najmä v leteckom a automobilovom priemysle, kde sa už využívajú pre vývoj výrobkov databázy modelov súčiastok.

Aplikácie VR v technickej praxi sa, aj keď pomaly, ale predsa len postupne presadzujú. Firma Division vyvinula softvér dVISE, ktorý umožňuje interaktívny návrh a implementáciu aplikácie virtuálnej reality bez poznatkov o programovaní. Ide o akýsi prázdny VR systém. Produkt odkúpila firma PTC.

Softvér dVISE umožňuje interaktívny návrh a implementáciu aplikácie virtuálnej reality bez poznatkov o programovaní. Ide o interaktívny nástroj pre návrh a implementáciu aplikácie virtuálnej reality. Systém používa 3D rozhranie a umožňuje používateľovi vytvárať 3D svety, animovať ich pomocou inteligentných vlastností a skúmať ich. Nástroj má distribuovanú architektúru a umožňuje multiprocessing. Umožňuje aj využívanie zariadení VR. Súčasťou nástroja je aj API s knižnicou v jazyku C. Softvér dVise vie spracovať údaje z viacerých formátov a systémov, ako napr. AutoCAD, 3D Studio, MicroStation, Wavefront, ComputerVision CADDs 4/5x, Dassault CATIA, IGES, Pro/Engineer, STEP, EUCLID, Ford PDGS, STL, EDS, MultiGen Creator, Inventor.

Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung v SRN vyvinul systém VR na plánovanie a navrhovanie výrobných jednotiek Mowib. Systém umožňuje počas procesu virtuálneho navrhovania manipulovať s jednotlivými zariadeniami a sledovať, aké zmeny to bude mať na výrobný proces.

Inštitút vyvinul aj virtuálny systém určený na plánovanie technológie montáže. Je určený pre automobilový priemysel a dá sa pomocou neho overiť optimálna štruktúra zostavovaných komponentov, reálnosť ručnej montáže a ergonomické hľadiská montáže (napr. či bude pre montáž dostatok priestoru).

V súčasných podmienkach technickej praxe sa v oblasti využívania virtuálnej reality najviac využívajú možnosti CAD/CAM systémov generovať model do formátu jazyka VRML (Virtual Reality Modeling Language). Súbor formátu VRML je možné posilať prostredníctvom internetu tímu spolupracujúcemu na projekte.

Internetové adresy k téme

http://www.streettech.com/bcp/BCPgraf/StreetTech/VPL.html	VPL Research
http://www.cyberedge.com/3d1.html	Glossary Of VR Terms
http://www.vrs.org.uk/VR/reference/history.html	History of VR
http://www.vrs.org.uk/fred.ste	Virtual Reality Society
http://www.web3d.org/	WEB3D Consortium
http://ovrt.nist.gov/	Visualization and VR for Manufacturing
www.nist.gov/itl/div878/ovrt/hotvr.html	Hot Virtual Reality Sites

4 CAD systémy

Pôvodný obsah skratky CAD súvisí s opisom tvaru súčiastky pre systém automatizovaného programovania NC strojov APT. Začiatkom 60-tych rokov bolo navrhnuté, v súvislosti s NC programovaním, neopisovať dráhu nástroja, ale tvar súčiastky. Tvar súčiastky bol opísaný ohraničujúcimi analytickými plochami (rovinná, valcová, guľová, kužeľová), ktoré sú matematicky definované všeobecnou rovnicou kvadratickej plochy

$$F(x,y,z) = c_1x^2 + c_2y^2 + c_3z^2 + c_4xy + c_5yz + c_6zx + c_7x + c_8y + c_9z + c_{10} = 0$$

kde c_i sú reálne koeficienty,

x, y, z - súradnice bodov.

Plochy vyššieho stupňa sa aproximovali. Reálna súčiastka bola reprezentovaná v počítači pomocou koeficientov c_i . Takto koncipovaný systém bolo možné používať pre technické kreslenie, generovanie NC riadiacich programov a výpočet fyzikálnych charakteristík objektu.

Éra CAD systémov začala systémom SKETCHPAD, ktorý navrhol *I.E. Sutherland* v roku 1963. Rozoznávame tri fázy v doterajšej histórii vývoja CAD systémov :

1. 60-te roky, charakteristické vývojom experimentálnych systémov.
2. 70-te roky, charakteristické vývojom 2D systémov "na kľúč" (Turn-Key) a ich nasadzovaním v priemysle.
3. 80-te roky, charakteristické komerčným využívaním 3D CAD systémov a aplikáciou výsledkov poznatkového inžinierstva do automatizácie konštruovania.

Teoretickým základom pre CAD systémy je počítačová grafika a modelovanie technických objektov, metodologickým základom je formalizácia konštrukčného procesu. CAD systém je v podstate grafický systém, určený pre technické aplikácie. Na výsledky činnosti CAD systému nadväzujú ďalšie komponenty CIM systému a tým je daný i jeho význam, keďže slúži ako zdroj údajov.

CAD je súhrnným termínom pre aktivity, pri ktorých je v rámci vývojových a konštrukčných činností využívaný počítač. Vzťahuje sa to v užšom zmysle na interaktívne grafické vytváranie číslicovej reprezentácie objektu a manipuláciu s ním (zhotovenie technického výkresu, vytvorenie 3D modelu objektu atď.). Objektom je, napr. súčiastka, zariadenie, stavba

a pod. Číslíková reprezentácia objektu je uložená v databáze, ktorá je k dispozícii i ďalším oddeleniam. V širšom zmysle označuje CAD všeobecné technické výpočty pomocou počítača s grafickým výstupom pre oblasť vývojových a konštrukčných činností alebo zhotovovanie výkresov.

CAD systém je charakterizovaný používaním počítačov pre podporu návrhu, modifikácie, analýzy alebo optimalizáciu pri konštruovaní. Funkčné požiadavky CAD systémov sú odvodzované z potrieb konštruovania a technického kreslenia. Zahrňujú okrem kreslenia, editovania, zobrazovania a modelovania i ďalšie funkcie, ako dimenzovanie a kótovanie, šrafovanie, simuláciu dynamických vlastností modelu, možnosť využívať databázu normalizovaných a opakujúcich sa objektov a uchovávať riešenia v databáze, kontrolu dodržiavania noriem a definovanie normalizovaného prostredia, kontrolu technologickosti návrhu, generovanie štandardných výstupných formátov pre výmenu údajov, hierarchickú štrukturalizáciu technického objektu, výstup návrhu na rôzne grafické periférne zariadenia, viac užívateľskú prácu v sieti a tie najdokonalejšie modelujú i konštrukčný proces. Postupným rozširovaním funkčných vlastností vznikajú monolitické integrované systémy, ktoré môžu pokrývať niekoľko etáp cyklu životnosti výrobku.

Základom každého CAD systému je tzv. geometrický modelár. CAD systémy však obsahujú okrem grafických modulov aj moduly, ktoré umožňujú riadiť návrhový proces, vrátane simulácie a analýzy vlastností navrhovaného objektu. Výsledkom činnosti CAD systému nie je len zobrazenie navrhnutého produktu (technická dokumentácia). Generované údaje uložené v databáze sú východiskom pre zhotovenie technologického postupu výroby. CAD systémy v súčasnosti pracujú v úzkej nadväznosti aj na informačné systémy o výrobkoch. Táto integrácia sa označuje ako PDM (Product Data Management).

4.1 Klasifikácia CAD systémov

CAD systémy môžeme klasifikovať podľa viacerých hľadísk. Žiadna klasifikácia však nemôže vystihnúť celú zložitosť daného problému a to platí dvojnásobne najmä pre dynamicky sa vyvíjajúce oblasti, akou sú i CAD systémy.

Z hľadiska rozmernosti objektov, ktoré je schopný CAD systém modelovať, rozoznávame 2D, 2.5D a 3D systémy. 2D systémy sú svojím charakterom predurčené pre kreslenie. Model objektu je reprezentovaný prostriedkami rovinnej geometrie. Návrh objektu pomocou 2D

systému je podobný kreslení výkresu. Najčastejšie používané geometrické entity sú úsečka (line), oblúk (arc) a kružnica (circle). Niektoré 2D systémy umožňujú kresliť i všeobecné krivky pomocou aproximačných alebo interpolačných metód (Bézierove, Coonsove a spline krivky). 2D systémy sú relatívne jednoduché a geometrické interakcie, zodpovedajú zaužívaným postupom, preto sa často používajú i ako základňa pre vyššie systémy. Jednoduchosť je vyjadrená i v nízkej cene týchto systémov a nižších požiadavkách na technické prostriedky. 2D systémy sú z chronologického hľadiska najstaršie. Súčasné kvalitnejšie 2D systémy umožňujú modelovať i rovinné plošné objekty.

2.5D systémy sú medzistupňom medzi 2D a 3D systémami. Základom je 2D model a tretí rozmer je definovaný pomocou translácie alebo rotácie 2D oblasti. Pomocou nich je možné reprezentovať, napr. rotačné symetrické súčiastky alebo prizmatické koplanárne objekty. 3D systémy modelujú reálny priestorový tvar objektu. Potreba existencie 3D systémov bola vyvolaná najmä požiadavkou frézovania zložitých priestorových plôch na NC frézovačkách, riadených v troch až piatich osiach. 3D model vytvára reálnejší obraz fyzického objektu a má prioritný význam najmä tam, kde je rozhodujúca vizuálna informácia pre výber riešenia a pre projektové a prezentačné účely. Je podstatne náročnejší na technické prostriedky ako 2D model.

Z hľadiska metódy geometrického modelovania a informačného obsahu modelu rozoznávame CAD systémy pracujúce s bodovým, hranovým (Wire Frame), plošným (Surface) a objemovým (Solid) modelom reálneho objektu. Každá z týchto metód reprezentácie geometrických informácií má svoje výhody i nedostatky.

Ďalšími kritériami môžu byť princíp konštruovania, ktorý podporujú, stupeň automatizácie, možnosť prispôbenia požiadavkám používateľa (Customization), prenositeľnosť, cena atď. Súčasné CAD systémy riešia uspokojivo problém automatizácie kreslenia, ale v zásade podporujú len čiastočne iteračný charakter konštrukčného procesu. Prekonanie tohto obmedzenia je prvoradou úlohou pre zvýšenie efektívnosti CAD systémov.

4.2 Konštruovanie

Hlavným cieľom konštruovania je navrhnuť výrobok, ktorý spĺňa funkčné, ekonomické, estetické, úžitkové a ďalšie kritériá a vypracovať konštrukčnú dokumentáciu. Konštruovanie je proces, ktorý zahŕňa všetky činnosti spojené so spracovaním technických informácií, ktoré

sú potrebné pre návrh výrobku od definovania požiadaviek, cez ideový a rámcový návrh, technické výpočty až po vypracovanie požadovanej konštrukčnej dokumentácie. Konštruovanie je intelektuálna tvorivá inžinierska činnosť, pozostávajúca z postupnosti intuitívnych a rutinných krokov. Je založené na poznatkoch a skúsenostiach a vyžaduje optimálne riešenie výrobku a definovanie jeho funkčnej a štruktúrnej výstavby. Konštruovanie nemožno stotožňovať so zhotovovaním výkresovej dokumentácie, ktoré je len jednou z fáz (finálnou) konštrukčného procesu.

Interpretácia pojmu konštruovanie nie je jednotná. Niektorí autori používajú, napr. pojmy konštruovanie a projektovanie, ako synonymá. Pojem projektovanie je niekedy interpretovaný ako súhrn činností zameraných na hľadanie riešenia nových technických objektov, ale aj rekonštrukciu alebo modernizáciu objektov.

Pod projektovaním sa bežne rozumie materializácia a formalizácia procesu riešenia problému a projekt je materializovaným formálnym a obvykle i štandardizovaným výstupom. Niektorí autori uvádzajú v odbornej literatúre, že procesy projektovania a konštruovania sú rôzne, ale sú vzájomne tesne previazané. Informačným vstupom pre projektovanie je opis potrieb, definovanie oblastí a podmienok používania, technický návrh atď. Výstupom je reálny funkčný model technického objektu. Výstup projektovej činnosti slúži ako vstup pre proces konštruovania, ktorého výstupom je konštrukcia a táto je zas vstupom pre návrh technológie výroby.

Iní autori rozlišujú zase funkcionálne resp. funkčné projektovanie (návrh funkčnej principiálnej schémy), konštrukčné projektovanie (realizácia principiálnej schémy, návrh topológie a geometrie) a technologické projektovanie (návrh technologického postupu).

Vo všeobecnosti možno povedať, že pojem projektovanie je širší ako konštruovanie a rozumieme pod ním komplex činností zameraných na riešenie určitého problému.

Konštruovanie je definované, napr. v smernici VDI 2223 (Verein Deutscher Ingenieure), ako prevažne tvorivá činnosť, založená na poznatkoch a skúsenostiach a požadujúca optimálne riešenie technických výrobkov, určenie ich funkčnej a štruktúrnej výstavby a vytvorenie podkladov pre ich výrobu.

4.2.1 Klasifikácia konštrukčných úloh

V závislosti od rozsahu intuitívnych a rutinných činností v riešení konštrukčnej úlohy rozoznávame úlohy:

- *typové,*
- *variantné,*
- *individuálne.*

Typové konštrukčné úlohy sú charakterizované tým, že pri konštruovaní sa vychádza zo známych predchodcov (typový predstaviteľ). Funkcie a tvar výrobku sú vopred dané. Modifikujú sa len tie vlastnosti, o ktorých môže konštruktér rozhodnúť rutinne a vopred. Takýto typ úlohy je možné riešiť v dávkovom režime. Konštruktér zadá vstupné údaje pre zvolený program, ktorý realizuje výsledok.

Variantné úlohy sú charakterizované tým, že pri konštruovaní sa vychádza tiež zo známych predchodcov. Riešenie pozostáva ale z niekoľkých variantov typového charakteru. Výrobok sa rozčlení na niekoľko typových skupín a v každej sa vytvorí niekoľko variantov riešenia. Konštruktér musí rozhodovať o ďalších krokoch riešenia sám tým, že do neho v určitých okamihoch vstupuje (interakčný režim práce).

Pri individuálnych úlohách neexistuje predchodca. Každá konštrukcia je iná, vytvára ju konštruktér podľa individuálnych predstáv a zákonitostí. Podiel intuitívnych krokov je najväčší z uvedených úloh. Takúto úlohu je možné na súčasných počítačoch riešiť len v interaktívnom dialógovom režime.

Prvé dve kategórie konštrukčných úloh sú dobre formalizovateľné a tretia ťažko.

Podľa nemeckých autorov (*Vajna a kol.*) je možné konštrukčné úlohy klasifikovať na:

4. Konštruovanie nového výrobku (Neukonstruktion). Nie je rozhodujúce, či nové riešenie vznikne kombináciou známych princípov, alebo sa použije nový princíp. Pri týchto úlohách nie je známy predchodca (24 %).
5. Konštruovanie prispôbovaním (Anpassungskonstruktion). Riešenie vychádza síce zo známych predchodcov, ale je potrebné kvalitatívne aj kvantitatívne nové riešenie (55 %).

6. Variantné konštruovanie (Variantenkonstruktion). Predchodcovia sú známi a výsledok vzniká ako variácia ich parametrov. Princíp je teda známy, možno meniť tvar, rozmery atď. (21 %).

4.2.2 Modely konštrukčného procesu

Výskumy v oblasti konštruovania ukázali, že pre všetky technické objekty a ich navrhovanie, vrátane počítačovej podpory, platí rad podobných poznatkov a zákonitostí, tak ako v technických, prírodných a ďalších vedách. Je preto neefektívne zaťažovať pamäť a využívať tvorivosť konštruktéra pre osvojovanie a pracné objavovanie špecifických a pritom obtiažne prenositeľných poznatkov a skúseností, pokiaľ platia všeobecne.

Optimálnou spoločnou základňou pre efektívne spracovanie všetkých poznatkov, ich využívanie a ďalší rozvoj sa v posledných rokoch stáva rozvíjajúca sa konštrukčná veda (anglicky Design Science, nemecky Konstruktionswissenschaft).

Implementácia vedeckých prístupov do navrhovania výrobkov nie je samoučelná. Poznatky a skúsenosti, ku ktorým prichádzajú odborníci až po mnoho rokoch štúdia a praxe, sú bez uplatnenia všeobecne platného, teoreticky podloženého systému ďalej len veľmi ťažko interpretovateľné, pričom nie je istá ani ich konzistentnosť, ani úplnosť. Je to dané tým, že boli získané prevažne len v určitej vymedzenej oblasti, danej konkrétnou profesijnou kariérou jednotlivca. Ich typickým znakom je preto špecifické podanie pre každý konkrétny prípad, najčastejšie vo forme individuálne usporiadaných poznatkov.

Limitujúcim faktorom ďalšieho rozvoja CAD systémov je najmä vyriešenie modelu konštrukčného procesu, vhodného pre počítačové spracovanie. Východiskom pre modelovanie konštrukčného procesu je analýza činností konštruovania výrobku. Konštruovanie je základnou etapou návrhu technického objektu. Po konštrukčnej príprave výrobku nasleduje technologická príprava výroby, výroba súčiastok a ich montáž do celku. Konštruovanie je procesom hľadania riešenia, a teda intelektuálna inžinierska činnosť pozostávajúca z postupnosti intuitívnych (diskurzívnych, kreatívnych) a rutinných krokov. Vstupom do konštrukčnej prípravy výrobku je požiadavka na nový alebo inovovaný výrobok. Výstupom je konštrukčná dokumentácia výrobku. Hlavnou úlohou je navrhnúť výrobok, ktorý spĺňa funkčné, ekonomické, estetické, úžitkové a prípadne ďalšie kritériá a vypracovať konštrukčnú dokumentáciu.

Klasickú **konštrukčnú dokumentáciu** tvoria technické výkresy (zostavné a detailné), konštrukčné kusovníky (zoznamy komponentov výrobku), rozpisky (kusovník, ktorý je súčasťou výkresu výrobku) a ďalšie. Časť papierovej dokumentácie je postupne nahradzovaná elektronickou dokumentáciou, pričom cieľovým stavom je bezdokladová výroba.

Proces konštruovania ako proces spracovania informácií možno dekomponovať na niekoľko etáp (fáz):

7. Plánovanie výrobku (Planen, Product Planning).
8. Koncepčný návrh (Konzipieren, Conceptual Design).
9. Konkretizácia (Entwerfen, Preliminary Design).
10. Detailizácia (Ausarbeiten, Detail Design).

Uvedené členenie nie je vyčerpávajúce. Najvyšší stupeň neurčitosti informácií je v prvej etape, čo vyvoláva potrebu používania veľkého podielu intuitívnych metód.

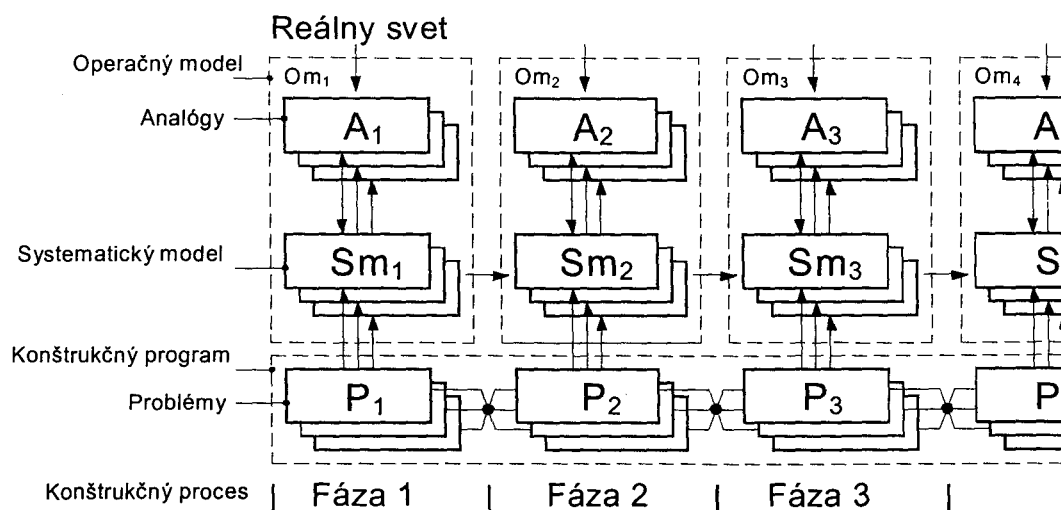
Súčasťou fázy plánovania výrobku je definovanie požiadaviek na výrobok a odhad základných ukazovateľov ekonomickej efektívnosti. Výsledkom z tejto fázy je rozhodnutie, či sa daný výrobok bude vyrábať. Vo fáze konceptného návrhu sa vypracujú ideové návrhy pre dané technické zadanie z prvej fázy a vyhodnotia sa. Výsledkom je rozhodnutie o princípe riešenia. V ďalších fázach sa postupne riešenie konkretizuje. Výstupom z poslednej fázy je konštrukčná dokumentácia. Takýto zjednodušený sekvenčný opis činností nazývame fázový model a ak ide o opis konštrukčného procesu, potom hovoríme o fázovom modeli konštrukčného procesu.

Fázový model je opísaný, napr. aj v smernici VDI 2221. Tento model bol navrhnutý pre strojárske aplikácie a člení konštrukčný proces na 4 na seba nadväzujúce fázy. Každá fáza je charakterizovaná svojím obsahom informácií a je iteratívna. Iterácia končí v bode rozhodovania, od ktorého potom postupujú výsledky do nasledujúcej fázy. Z hľadiska výmeny údajov sú dôležité práve tieto body. Informácie sú postupne konkretizované a kompletizované alebo aj modifikované. Plánovanie nových výrobkov nesúvisí bezprostredne s vlastným procesom konštruovania, ale je zamerané na prieskum trhu, stanovenie kapacitných možností, uzavretie kontraktu a ďalšie činnosti, ktoré súvisia s vyhľadávaním a prijatím zákazky. Vo fáze konceptného návrhu sa definuje požadovaná celková funkcia vyvíjaného systému a táto sa rozčlení na čiastkové funkcie. Potom sa kombinujú rôzne

princípy riešenia a ohodnotia výsledné varianty. Vo fáze konkretizácie návrhu je koncepcia riešenia transformovaná z funkčného opisu na opis tvaru a optimalizované sú tvarové časti. Vo fáze detailizácie sa spracovávajú podklady pre technologickú prípravu výroby. Reálne konštruovanie začína fázou koncepčného návrhu, v ktorej prebiehajú iterácie, až pokiaľ nie je prijaté rozhodnutie. Riešenie automatizácie tejto fázy konštrukčného procesu je v súčasnosti len v začiatkoch. Existujú pokusy pre definovanie formálneho jazyka pre vyjadrenie funkcií výrobku.

Z kvantitatívnych analýz konštrukčného procesu vyplýva, že 30 % až 50 % činností v oblasti konštruovania má rutinný charakter. Z analýz ďalej vyplýva, že etapa koncepčného návrhu zaberá okolo 23 % času z celkového času konštruovania a ostatné činnosti majú veľký podiel rutinných zložiek.

Poznanie obsahu konštruovania umožňuje definovať hranice medzi tvorivou činnosťou človeka a rutinnou činnosťou stroja. Rutinná zložka je jednoducho algoritmizovateľná, lebo má deterministický charakter. Intuitívnu zložku nevieme exaktne formálne opísať a navrhnúť jednoznačný postup riešenia. Využívajú sa heuristické metódy, ktoré nemusia viesť vždy k správne výsledku. Pokrok v automatizácii konštruovania je v súčasnosti podmienený najmä existenciou adekvátnych modelov, podporujúcich intuitívne myslenie.



Obr. 4.1 Logický model konštrukčného procesu (Archer)

Logický model konštrukčného procesu, ktorý bol navrhnutý Archerom v roku 1968, vychádza z dvojkritériálnej dekompozície konštrukčného procesu. Konštrukčné činnosti sú dekomponované na analýzu, syntézu a vyhodnotenie výsledkov. Komplexný konštrukčný problém je dekomponovaný na jednoduchšie podproblémy, ktoré je možné riešiť vhodnými nástrojmi a metódami. Táto dekompozícia je založená na predpoklade existencie formálnych metód pre riešenie v jednotlivých etapách. Iné metódy sú využívané v etape syntézy a iné v etape vyhodnotenia koncepcie a jej realizácie. Dekompozícia konštrukčného problému na podproblémy a elementárne čiastkové úlohy je predpokladom využívania týchto metód.

Logický model konštrukčného procesu pozostáva z troch komponentov:

- *konštrukčný program (design program)*,
- *systematický model (systematic model)*,
- *operačný model (operational model)*.

Konštrukčný program opisuje konštrukčný proces a činnosti prostredníctvom sekvenčných fáz ako analýza, zhotovenie náčrtu, rámcový návrh, návrh a výroba prototypu, výroba. Systematický alebo disciplinárny (disciplinary) model modeluje funkčné vlastnosti návrhu pri zohľadnení nákladov, pevnosti, estetiky, výroby atď. Predstavuje parametrizovanú formuláciu podproblému, resp. systém pre generovanie riešení. Operačný model využíva systematický model v kombinácii s analógmi pre ohodnotenie a optimalizáciu výsledku konštruovania pri zohľadnení špecifických funkcií. Analóg je alfanumerická, matematická, grafická alebo 3D reprezentácia výsledku konštruovania.

V každej fáze konštrukčného procesu je konštrukčný problém dekomponovaný na podproblémy a riešený vhodným operačným modelom.

Operačný model, ktorý môže byť chápaný ako vyhodnocovací proces, používa systematický model v kombinácii s vhodným analógom pre vyhodnotenie systematického modelu a nájdenie lokálneho optimálneho riešenia. Ako konštrukčný proces napreduje, tak je systematický model postupne "zjemňovaný" a narastá komplexnosť riešenia.

Z analógov majú pre konštruktéra najväčší význam výkresy a 3D modely. Vo fáze syntézy sú náčrty a výkresy konceptuálne a vizualizované myšlienky a konštrukčné návrhy. Vo fáze vývoja je používaná prezentácia pre získanie realistických predstáv o výrobku a technické výkresy pre jeho dokumentovanie pre potreby výroby a montáže. Navyše náčrty a výkresy sú záznamom o konštrukčnom procese. Archerov logický model konštrukčného procesu

umožňuje schematizovať konštrukčné činnosti, neposkytuje ale žiadne konkrétne nástroje a metódy pre praktickú aplikáciu. Jeho cieľom je podporovať tvorivé myslenie konštruktéra a môže slúžiť ako metodologický základ pre CAD systémy.

Mnohé prístupy pre formálny opis funkcií výrobku sú založené na aplikácii metódy Top-Down tak, ako je možné i výrobok hierarchicky rozčleniť na komponenty. Konštruktér začína abstraktným konceptom a rekurzívne ho rozkladá do logických podsystémov a montážnych skupín. Každá montážna skupina sa môže rozpadnúť do komponentov a subkomponentov, ktoré tvoria hierarchickú štruktúru. Aby bolo možné prepojiť dva komponenty, je definované a medzi ne na rôznych úrovniach hierarchie umiestnené spojenie. Tieto spojenia môžu byť aktívne alebo pasívne, čo znamená, že spĺňajú, alebo nespĺňajú požadovanú funkciu. Ďalšia zavedená abstrakcia sa nazýva "hľadisko skúmania" (Viewpoint). Hľadisko skúmania znamená opis zostáv podľa špecifických funkcií, ako sú elektrické, kinematické, tepelné alebo štruktúrne. Hierarchické rozčlenenie výrobku je odlišné pre rôzne hľadiská skúmania. Komponenty, viditeľné z jedného hľadiska, nemusia existovať z iného, alebo sa môžu prekrývať. Tento prístup je zaujímavý tým, že na jednej strane konštruktér hľadá riešenie od požadovanej funkcie k technickej realizácii a k návrhu tvaru výrobku a na druhej strane používa požadovanú funkciu pre rozčlenenie výrobku na podzostavy a súčiastky, s cieľom použiť toto rozčlenenie neskôršie pre testovanie a kontrolu, či je požadovaná funkcia výrobku splnená.

Súčasný CAD systémy neumožňujú používať rôzne schémy pre rozčlenenie modelu výrobku z rôznych hľadísk skúmania a taktiež nie sú schopné transformovať funkčné riešenie na technické riešenie a návrh tvaru výrobku. Z činností vo fáze koncepčného návrhu je CAD systémami podporované najmä kreslenie náčrtov a schém.

Tretia fáza VDI modelu je zameraná na "zjemňovanie" koncepčného riešenia až po zhotovenie konečných schém. Z hľadiska počítačovej podpory platia podobné závery, ako pre predchádzajúcu fázu.

Vo štvrtej fáze sa zhotovujú technické výkresy, kusovníky a realizuje sa ekonomické vyhodnotenie.

V technickom výkrese sú opísané tri skupiny prvkov:

- *geometrické prvky,*

- *grafické prvky,*
- *štruktúrne prvky.*

Tieto prvky sú k dispozícii vo väčšine súčasných CAD systémov. Geometrické prvky sú typu bod, čiara, plocha a objem. Tieto prvky definujú tvar výrobku. Grafické prvky sa vyskytujú ako atribúty typu farba a textúra a slúžia pre vizualizáciu tvaru výrobku. V klasickej konštrukcii štruktúra determinuje priestorové usporiadanie prvkov výrobku. V CAD systémoch sa pojem štruktúra rozpadá do dvoch subpojmov:

- *topológia,*
- *relácie.*

Topológia určuje vzťahy medzi geometrickými prvkami a relácie vzťahy medzi súčiastkami, podzostavou a zostavou.

Určenie materiálu výrobku je obvykle realizované v súčasných CAD systémoch nepriamo cez textové súbory obsahujúce parametre konštrukčných materiálov. Priamy výber materiálov z vhodných databáz a možnosť jeho priradenia súčiastke a zobrazenia v ľubovoľnom čase je požiadavka, ktorú treba prioritne riešiť pre zlepšenie podpory tejto fázy. Priame spojenie materiálov s výrobkom vo výkrese umožní zlepšiť testovanie návrhu. Databáza materiálov zabezpečí i odstránenie redundantných definícií. Tento problém je v súčasnosti riešený obvykle prepojením CAD a databázového systému, ale zatiaľ neexistuje uspokojivé integrované riešenie. Dôležitým parametrom pre priradenie technologickej metódy sú tolerancie rozmerov a tvaru. Tolerancie môžu byť priradené jednej ploche, viacerým plochám, alebo umiestneniu súčiastok pri montáži. Problém vhodnej reprezentácie tolerancií nie je uspokojivo riešený v súčasných CAD systémoch.

Testovanie návrhu je ďalšou činnosťou vo fáze detailizácie. Niektoré CAD systémy umožňujú používať analytickú simuláciu metódou konečných prvkov. To vyžaduje najprv definovať matematický model súčiastky. Väčšina súčasných systémov pre metódu konečných prvkov sú ale riešené ako autonómne programy. Spojenie CAD a FEM systémov je nutné i z toho hľadiska, že výsledky z analýzy je nutné spätne interpretovať v CAD systéme. To predpokladá vyriešiť najprv problém integrácie informácií o materiáloch do CAD systému.

Súčasný CAD systémy už podporujú aj iteratívny charakter konštrukčného procesu. Najviac je podporovaná posledná fáza VDI modelu konštrukčného procesu. Metóda konštruovania má významný vplyv pre počítačovú podporu konštruovania.

Z hľadiska spôsobu navrhovania výrobku môžeme klasifikovať metódy konštruovania na:

1. Zvonka-dovnútra (Outside-to-Inside).
2. Zvnútra-von (Inside-to-Outside).
3. Priamo s vyhľadávaním riešení pre podproblémy.

Pri metóde zvonka-dovnútra sa najprv definuje základný vonkajší tvar výrobku a potom tvary jednotlivých komponentov. Často sa využíva pri návrhu koncepcie. Pri metóde zvnútra-von sa najprv navrhnu dôležité súčiastky výrobku a až následne celkový vonkajší tvar. Táto metóda je využívaná najmä pri konštruovaní strojov. Pri priamej metóde sú formulované riešenia pre každý podproblém a konfliktné požiadavky. Následne je vybraté jedno riešenie pre každý podproblém a ich kombináciou je vytvorený výrobok tak, aby návrh spĺňal najviac požiadaviek a bol vyrobiteľný. Existujú i ďalšie metódy a metodiky konštruovania, ktorých opis je možné nájsť v odbornej literatúre.

Súčasná informačná technológia nepostačuje úplne pre realizáciu CAD systémov a formalizáciu konštruovania. CAD musia byť inteligentné, čo značí schopné využívať poznatky dynamicky podľa hierarchie cieľov používateľa. Formulovať môžeme v tejto súvislosti osem požiadaviek, ktoré je nutné splniť:

- *komplexná reprezentácia modelu výrobku,*
- *jednoduché pridávanie a rušenie informácií,*
- *dynamické vytváranie modelu a manipulácia s ním,*
- *kompletná deduktívna inferencia,*
- *manipulácia s veľkým množstvom údajov,*
- *automatická kontrola konzistencie,*
- *konverzia do interného formátu,*
- *konverzia do externého formátu.*

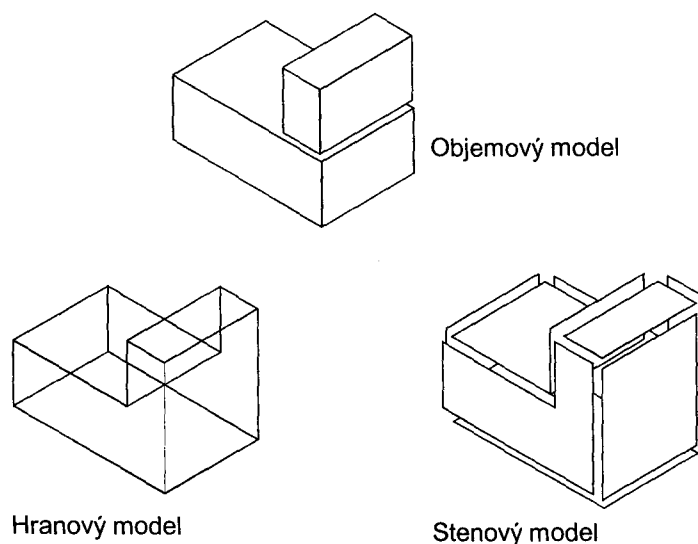
Tieto požiadavky možno považovať za maximalistické, lebo nikdy sa nevyvíja kompletný výrobok na jednom CAD systéme, ani vtedy, ak by podporoval všetky fázy konštrukčného procesu, lebo existuje delba práce a vzájomná kooperácia.

V súčasnosti najviac CAD systémov podporuje len finálnu fázu konštruovania. Niektoré podporujú i fázu konkretizácie návrhu a len malá časť fáz koncepčného návrhu. Prevažná väčšina CAD systémov však neumožňuje podporovať ani finálnu fázu konštrukčného procesu

úplne, lebo nemajú integrované prostriedky pre testovanie, simuláciu alebo tvorbu aplikačných programov. To vyvoláva nutnosť prenosu údajov medzi CAD systémami, resp. CAD systémom a programom pre testovanie a späť.

4.3 Modelovanie telies

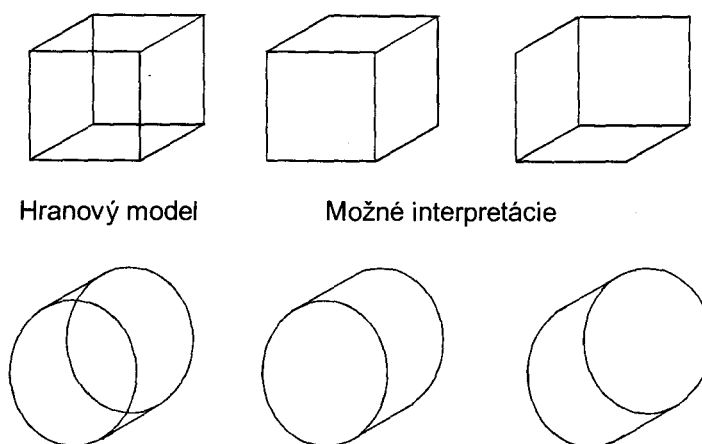
Pod geometrickým modelovaním rozumieme opis geometrických a topologických vlastností objektov. Geometrický modelovací podsystém (modelár) je základnou časťou každého CAD systému. Pre výber vhodného CAD systému má forma vnútornej reprezentácie reálneho objektu veľký význam.



Obr. 4.2 Modely telies

Bodový model opisuje objekt ako množinu bodov so súradnicami x, y, z . Vzhľadom k tomu, že takáto reprezentácia je náročná na pamäť počítača, nepoužíva sa pre 3D modely. Najjednoduchší 3D model je **hranový model**. Zároveň obsahuje ale i najmenej informácií o reálnom objekte. Objekt je opísaný svojimi obrysovými hranami a ich ohraničujúcimi bodmi. Tento model nemá veľké pamäťové nároky, a preto je najrozšírenejší v nižšej a strednej výkonnej kategórii CAD systémov. Možnosti automatickej manipulácie s týmto modelom sú obmedzené. Operácie, ako vytváranie rezov a odstránenie neviditeľných hrán, nie sú jednoducho realizovateľné, lebo vyžadujú odvodenie rovníc plôch z čiarových prvkov modelu. CAD systémy založené na hranovom modeli majú i ďalšie nevýhody a to **nejednoznačnosť zobrazenia**, zložitú kontrolu konzistencie údajov a nutnosť dodať veľký

objem informácií na vstupe i pre nakreslenie jednoduchých objektov. Výhodou je však možnosť vytvoriť veľké množstvo tvarových variantov objektov kombináciou základných geometrických entít.



Obr. 4.3 Nejednoznačnosť hranového modelu

Výkonnejší z tohto hľadiska je stenový model, ktorý opisuje objekt ako súhrn plošných elementov. Stenový model môže zahŕňať analytické, ale i neanalytické (interpolačné, aproximačné) plochy, pomocou ktorých môžu byť opísané komplexnejšie objekty. Automatické manipulácie ako určenie rezov a odstránenie neviditeľných častí, sú realizovateľné. Plošné modely sú rozšírené najmä v CAD systémoch špecializovaných pre oblasť tvárnenia a ohýbania plechov. Hlavnou nevýhodou tejto metódy modelovania je nemožnosť určiť z matematickej reprezentácie, či daný bod leží vo vnútri alebo mimo objektu. Dokonalejšie CAD systémy riešia tento problém pomocou normálových vektorov priradených plochám a určením orientácie vektora. Stenový model vyžaduje vo všeobecnosti zadať tiež relatívne veľa vstupných údajov a tým, že reálny objekt je definovaný spojením plôch, môže často dôjsť k porušeniu konzistencie modelu nenapojením alebo prienikom plôch. Najväčšiu vypovedaciu schopnosť a informačný obsah má objemový model. Existuje niekoľko desiatok metód objemového modelovania, ako napr. šablonovanie (Sweeping, Lofting), objemové šablonovanie (Volume Sweeping), konštruktívna geometria telies (Konstruktive Solid Geometry), určenie pomocou hraníc telesa (Boundary Representation), metódy založené na vymenovaní objemových elementov, z ktorých sa teleso skladá (Spatial

Occupancy Enumeration), reprezentácia pomocou polpriestorov (Halfspace Representation) atď.

Parametrické prototypy opisujú triedu tvarovo podobných súčiastok. Použitý termín zodpovedá anglickému "primitive instancing". Trieda (prototyp) je opísaná množinou parametrov. Každý vzor triedy je určený pomocou aktuálnych hodnôt parametrov. Využitie tejto metódy je najmä pri tvorbe katalógov normalizovaných súčiastok. Ďalšie využitie je v oblasti tvorby používateľských rozhraní CAD systémov. Používateľ zadáva len technické parametre súčiastky a o geometrické detaily sa nemusí starať. Existujú i ďalšie metódy geometrického modelovania, využívajúce najmä výhody uvedených metód, ktoré sa potom zaraďujú medzi tzv. hybridné metódy.

4.3.1 Objemové modelovanie

Pod termínom objemové modelovanie (Solid Modeling) chápeme metódy a techniky pre modelovanie tuhých telies. Ako kritérium pre klasifikáciu metód objemového modelovania možno použiť, napr. hľadisko sémantickej integrity. Podmienky sémantickej integrity sú tvrdenia o programoch alebo ich stave, ktoré umožňujú ich verifikáciu. Z hľadiska objemového modelovania podmienky sémantickej integrity definujú také vlastnosti tuhého telesa, ktoré určite existujú v modeli. Overenie existencie týchto podmienok môže byť potom uskutočnené manuálnymi alebo automatickými verifikačnými metódami. Definovať môžeme 5 podmienok integrity (unique set membership, finiteness, homogeneous continuity, connectedness, rigidity) a potom môžeme klasifikovať metódy objemového modelovania do dvoch základných prístupov. Prvý prístup je založený na definovaní ohraničenej množiny jednoduchých základných objektov (primitive objects), ktorých kompozíciou je možné vytvárať komplexnejšie objekty. Tento prístup umožňuje definovať vnútorné prvky objektu pomocou základných objektov (primitives) a nazýva sa Spatial Enumeration (SE), resp. Spatial Occupancy Enumeration (SOE) - vymenovanie objemových prvkov, z ktorých sa teleso skladá. Zahrňuje množstvo schém, ktoré definujú len obmedzenú množinu geometrických relácií, ale aj metódu, ktorá nekladie žiadne obmedzenia na geometrické relácie medzi základnými objektmi nazývanú Constructive Solid Geometry (CSG) - konštruktívna geometria telies. Aby bolo zaručené, že komponované teleso reprezentuje realizovateľný (platný) objekt, obe metódy musia zaručovať podmienky integrity pri reprezentácii základných telies a vykonávaní procedúr pre vytváranie komplexnejších telies.

Druhý prístup nereprezentuje množinu vnútorných bodov telesa explicitne, ale charakterizuje ho pomocou podmnožiny bodov, ktoré bezprostredne susedia s vonkajšími bodmi objektu, t.j. pomocou určenia hraníc. Táto metóda sa nazýva Boundary Representation (BREP resp. B-Rep).

Zatiaľ čo prvý prístup umožňuje vytvoriť komplexný objekt z jednoduchých základných objektov, druhý prístup reprezentuje explicitne jednoduchý objekt určením hraníc definovaných v takých termínoch, ako stena, hrana, vrchol (face, edge, vertice).

Metódy objemového modelovania môžeme ďalej klasifikovať podľa hľadiska schopnosti reprezentovať topológiu telesa na:

- *systémy založené na reprezentácii pomocou plôch ohraničujúcich teleso (BREP) a*
- *systémy založené na procedurálnom opise pomocou základných telies (CSG).*

Obe metódy sa môžu ďalej deliť na dve skupiny, v závislosti od spôsobu reprezentácie geometrie:

- *presná reprezentácia a*
- *aproximatívna reprezentácia.*

Pre klasifikáciu metód objemového modelovania môžeme použiť aj kritérium "informačný obsah" modelu. Z tohto hľadiska sú metódy modelovania tvaru telies klasifikované do troch skupín:

- *explicitné,*
- *idealizované,*
- *implicitné.*

Pod explicitnou reprezentáciou tvaru rozumieme jednoznačné zobrazenie opisu tvaru v euklidovskom modelovacom priestore E3. Všetky metódy objemového modelovania podporujú explicitnú reprezentáciu tvaru.

Idealizovaná reprezentácia abstrahuje z hľadiska aplikácie od irelevantných informácií. Sú tu viditeľné dve možnosti:

- *zníženie rozmernosti modelu,*
- *zjednodušenie detailov.*

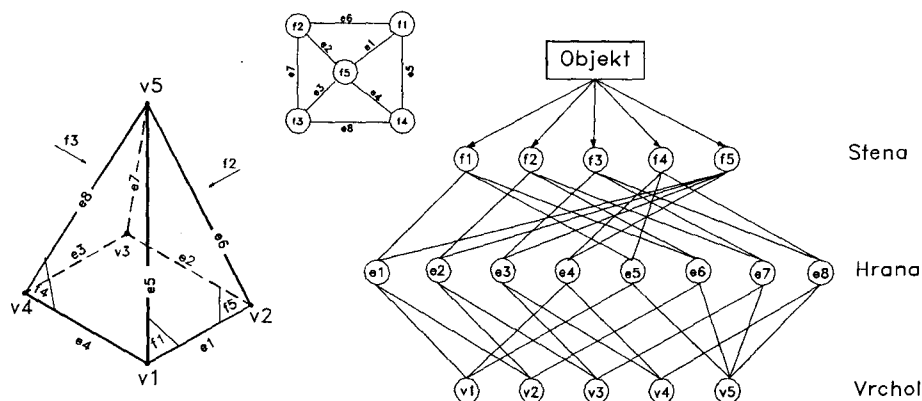
Implicitná reprezentácia tvaru je určená parametrickým opisom objektov. Typickou oblasťou použitia je opis normalizovaných súčiastok a tvarových prvkov.

Ďalším kritériom klasifikácie metód modelovania telies je kritérium jednoznačnosti, resp. nejednoznačnosti zobrazovacej schémy. Medzi nejednoznačné schémy patrí napr. hranový model. Medzi jednoznačné patria tzv. parametrické prototypy, SOE a CSG schéma, zobrazenie pomocou ohraničujúcich plôch (BREP), zobrazenie pomocou rotácie alebo translácie tvarových prvkov (Sweeping). Parametrické prototypy opisujú triedu tvarovo podobných súčiastok. Použitý termín zodpovedá anglickému "primitive instancing". Trieda (prototyp) je opísaná množinou parametrov. Každý vzor triedy je určený pomocou aktuálnych hodnôt parametrov. Využitie tejto metódy je najmä pri tvorbe katalógov normalizovaných súčiastok. Ďalšie využitie je v oblasti tvorby používateľských rozhraní CAD systémov. Používateľ zadáva len technické parametre súčiastky a o geometrické detaily sa nemusí starať. Kvôli veľkým pamäťovým nárokom je SOE metóda prakticky využívaná len v súvislosti s hierarchickou dekompozíciou priestoru. Oblasť priestoru objektu je rozdelená na 8 rovnakých častí a tieto ďalej tiež na 8 častí atď. Tento proces končí dosiahnutím požadovanej rozlišovacej schopnosti (presnosti zobrazenia) alebo vtedy, ak celá oblasť leží vo vnútri, resp. mimo zobrazovaného telesa. Pri tomto spôsobe zobrazenia vzniká októlový strom s ôsmimi listami (oct-tree). Pre 2D telesá sa používa delenie na 4 časti (Quad-Tree). Táto metóda nie je vhodná ako primárna pre objemové modelovanie kvôli veľkým pamäťovým nárokom a aproximatívnej forme opisu. Reprezentácia prepojením kontaktných plôch zodpovedá v anglickej literatúre používanému termínu Cell Decomposition a ide o špeciálnu skupinu metód v rámci princípu opisu nazývaného Spatial Occupancy Enumeration. Teleso je dekomponované na jednoduché disjunktné kvádre (cells) bez dier a pomocou kompozície zostavené napojením zodpovedajúcich plôch. Využitie metódy je najmä pri kódovaní v skupinovej technológii. Nevýhodou je komplikované vytváranie telies a problematická kontrola dodržiavania podmienok integrity.

Objemový model je interne zobrazený určením hraníc (BREP) pomocou polpriestorov, (halfspace) alebo vymenovaním objemových prvkov (Spatial Enumeration).

BREP model určený hranicami je vytvorený ako hierarchická štruktúra stien, hrán a vrcholov. Takýto model je bezprostredným rozšírením plošného modelu. Túto metódu modelovania teoreticky rozpracoval I.C.Braid v roku 1973 a metóda je najpoužívanejšou v počítačovej grafike. V modeli sú okrem geometrických informácií, ako poloha vrcholov, uložené i topologické informácie o nadväznosti vrcholov, hrán a stien. Najbežnejším typom tejto reprezentácie je tzv. polygonálna schéma. Povrch telesa je tvorený množinou polygónov. Táto

reprezentácia sa používa vtedy, keď je hranica telesa určená všeobecnými plochami, ktoré sa potom aproximujú polygónmi. Využitie je najmä pri metóde konečných prvkov. Nutné je riešiť problém **integrity modelu** (správnosti výsledku po uskutočnení určitých operácií).



Obr. 4.4 Schematické zobrazenie BREP modelu

Teoretickým východiskom pre BREP modely je tzv. Eulerov vzťah:

$$f - e + v = 2$$

kde f je počet stien,

e - počet hrán,

v - počet vrcholov.

Zovšeobecnením tohto vzťahu je tzv. Euler-Poincarého vzorec, ktorý platí pre sústavu mnohostenov s dierami:

$$f - e + v - h = 2(m - g)$$

kde h je počet otvorov (loops) v stenách objektu,

m - počet telies tvoriacich objekt,

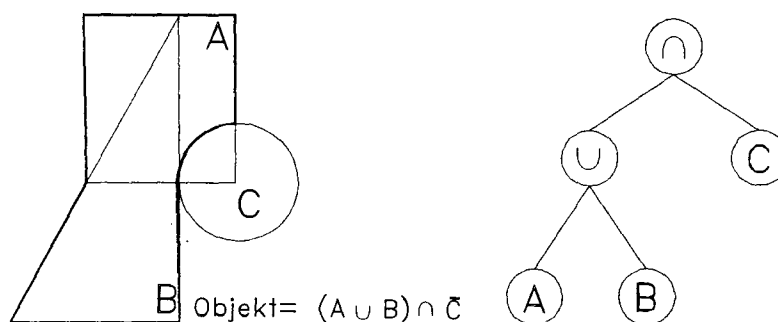
g - počet dier (priebežných) v objekte.

Procedúry zaisťujúce integritu modelu sa nazývajú Eulerove operácie. Eulerova operácia je taká operácia, ktorá mení hodnoty niektorých z premenných v Euler-Poincarého vzorci tak, aby bola zachovaná jeho platnosť.

Pri BREP reprezentácii je model súčiastky reprezentovaný explicitne a prvky súčiastky implicitne. Pre rovinné objekty nie je problém dekomponovať model na steny vytvárajúce prvky súčiastky. Problémy ale vznikajú pri nerovinných objektoch. BREP prístup sa javí byť i napriek tomu vhodným pre integráciu CAD a CAM systémov. Mnohé technologické procesy vychádzajú z transformácie plôch (obrábanie). Hrany a vrcholy sa objavujú ako dôsledok prienikov plôch a nemôžu byť použité pre technologické úlohy, ako napr. generovanie dráhy nástroja. Tieto informácie je možné jednoduchšie extrahovať z explicitnej definície plochy. BREP reprezentácia používa tzv. topologicko-geometrický štruktúrny model.

Model, určený pomocou polpriestorov (halfspace model), je vytvorený kombináciou neohraničených objemov. Polpriestor delí priestor na oblasť patriacu do objektu a prázdnu oblasť. Hranica medzi dvoma oblasťami je opísaná rovnicou plochy (rovina, valec, kužeľ). Polpriestory môžu byť vzájomne kombinované pomocou CSG do konečných objektov.

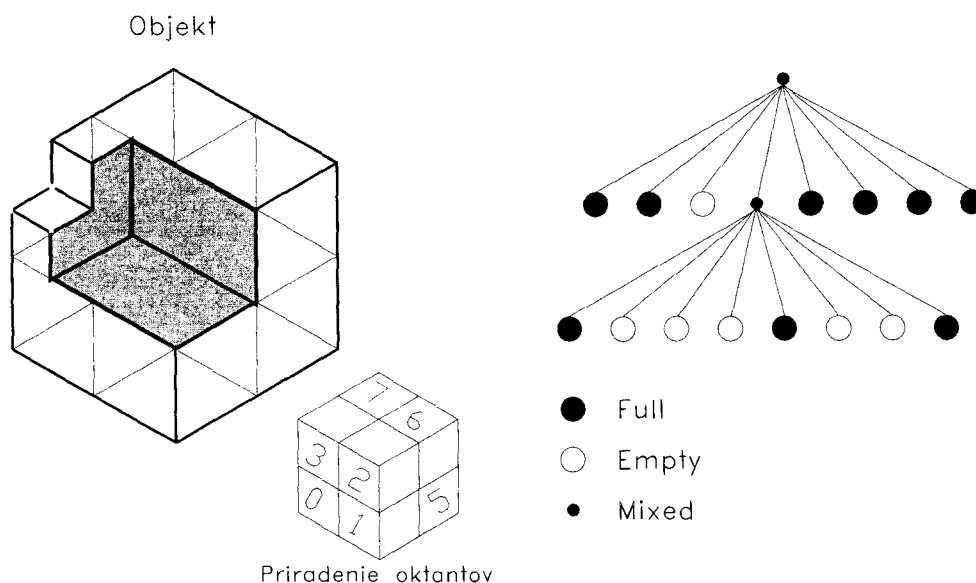
CSG reprezentácia zahŕňa triedu schém pre reprezentáciu telies, vznikajúcich ako konštrukcia alebo kombinácia iných telies pomocou množinových operácií. CSG model je možné zobrazit' ako strom. Najčastejšie sú prvky CSG modelu uložené ako binárny strom, ktorého vnútorné uzly reprezentujú buď operátory premiestnenia objektu (rotácia, translácia), alebo množinové operácie (prienik, zjednotenie, rozdiel). Listy stromu reprezentujú buď základné objekty, alebo parametre pre operácie premiestnenia. Každá CSG schéma má danú množinu základných telies (primitives), ktorých vzory (instances) sú reprezentované listami (primitive leaves). Vzorom zodpovedajú buď základné geometrické objekty, alebo polpriestory. Vo väčšine CSG systémov sú ako základné telesá používané polpriestory. V jednoduchších sú polpriestory určené rovinami. V zložitejších systémoch je rozdelenie priestoru na polpriestory opísané pomocou kvadratických plôch (kvadrik). Keďže sa jedná o plochy opísateľné analyticky, polpriestor je potom možné opísať pomocou koeficientov. Výhodou CSG metódy sú malé pamäťové nároky a i to, že metóda je založená na prepracovanej matematickej teórii. Z hľadiska používateľa je metóda názorná a nevyžaduje špeciálne poznatky z geometrie. Pri používaní regularizovaných množinových operácií je zaručená i určitá správnosť výsledku (integrita). Hlavnou nevýhodou metódy je, že v údajovej štruktúre, v ktorej je uložený opis objektu, nie sú informácie o hranách a plochách. S tým potom súvisí nemožnosť priradiť rôzne atribúty stenám alebo hranám modelu (farba, technologické vlastnosti). Preto sa často informácie o stenách a hranách uchovávajú v pomocnej údajovej štruktúre, podobnej štruktúre BREP modelu.



Obr. 4.5 Schematické zobrazenie CSC modelu

CSG prístup založený na jednoduchých objemových prvkoch sa javí byť najvhodnejší pre technologické aplikácie. Prvky súčiastky ako diery, drážky atď. je možné explicitne reprezentovať pomocou stromu. Definícia diery môže byť, napr. odvodená z definície valca a množinovou operáciou rozdiel. Keďže táto informácia je priamo použiteľná pre generovanie technologického postupu, je možné valcu priradiť napr. technologickú metódu vŕtanie. CSG schéma ale, žiaľ, nie je unifikovaná a prvok vytvorený operáciou odčítanie môže byť vytvorený i napr. operáciou zjednotenie. Táto operácia ale nekorešponduje s operáciou odobratia materiálu, a preto prvok súčiastky, ktorý má byť zhotovený obrábaním, nemôže byť odvodený priamo zo stromovej štruktúry, ale je nutné ho vyhodnotiť. CSG strom obsahuje i irelevantné a redundantné informácie, ktoré sú výsledkom iterácií pri konštruovaní súčiastky. Pri použití CSG geometrického modelu ako základ pre technologický model je teda potrebné pomocou algoritmu odstrániť irelevantné informácie a vyhodnotiť stromovú štruktúru. Tieto algoritmy sú pomerne komplikované.

Metóda založená na vymenovaní objemových prvkov (SOE) vychádza z dekompozície telesa na regulárne objemové prvky, nazývané voxely (Voxels). Každý objemový prvok môže byť reprezentovaný súradnicami jedného svojho bodu. Objemové prvky môžu mať tvar kocky, ale i iný komplexnejší tvar. Reprezentácia telesa je potom určená množinou trojíc. Sémantika tejto reprezentácie vychádza z toho, že objemový prvok je trojica a teleso je zjednotenie prvkov. Vzhľadom k jednoznačnosti sa používa usporiadaná množina trojíc, tzv. priestorové pole (Spatial Array). Pre reprezentáciu zložitejších strojových súčiastok nie je táto metóda vhodná kvôli veľkým pamäťovým nárokom pre reprezentáciu jemnej priestorovej mriežky.



Obr. 4.6 Schematické zobrazenie voxelového modelu

Voxely je možné definovať viacerými spôsobmi. Známe sú tieto štyri spôsoby:

4. Opis pomocou oktálového stromu, používajúc rekurzívne definované jemné kocky.
5. Opis pomocou parametrických prvkov (Parameterized Primitives, Primitive Instancing).
6. Opis šablonovaním (Sweep Primitives).
7. Opis pomocou polpriestorov.

Opis pomocou oktálového stromu odstraňuje hlavné nevýhody metódy. Táto metóda umožňuje rekurzívne zjemňovanie priestorovej mriežky.

Pri použití tejto metódy je priestorové pole delené na oktanty. Proces končí na úrovni jednotkových prvkov, ktoré už nemožno ďalej deliť. Oktant má hodnotu *full* resp. *empty* ak všetky jednotkové prvky v oktante majú hodnotu *full* resp. *empty*. Ak oktant obsahuje prvky oboch hodnôt, potom má hodnotu *mixed*. Priestorové pole je reprezentované stromom, ktorého koreň má stupeň 8. Uzly stromu sú buď listy, alebo uzly stupňa 8. Koreň stromu zodpovedá celému priestorovému poľu a uzol reprezentuje delenie priestorového poľa. Každému listu je priradené ohodnotenie zodpovedajúce hodnote daného oktantu (*full*, *empty*).

Existujú i ďalšie metódy využívajúce najmä výhody uvedených metód, ktoré sa potom zaradujú medzi tzv. hybridné metódy.

4.3.2 Parametrické modelovanie pomocou tvarových prvkov

Obsah informácií v etape plánovania technologických procesov je odlišný od obsahu informácií v etape konštruovania, hoci sa vyskytuje i celý rad spoločných charakteristík. Táto rozdielnosť vyplýva z odlišného charakteru oboch procesov. Základnou informáciou v etapách vývoja výrobku je informácia o tvare výrobku (súčiastky). Informácia o tvare je kvalitatívne odlišne interpretovaná pri CAD a CAP systémoch. Pri CAD systémoch sa obvykle vychádza zo základných geometrických prvkov, z ktorých sa vytvára požadovaná súčiastka. Pri CAP systémoch je tvar súčiastky interpretovaný pomocou technologicky orientovaných pojmov a pomocou technologických prvkov, ktorým možno priradiť technologickú metódu. Geometrická informácia je doplnená o technologickú informáciu a hovoríme o technologicky orientovanom modeli. Geometrický model je explicitný údajový model, ktorý nie je úplný z hľadiska spracovania technologického postupu. Preto vznikol technologicky orientovaný prístup k modelovaniu súčiastok a metóda je v anglickej literatúre nazývaná "Feature Modeling". Tento prístup eliminuje obmedzenia geometrického modelovania tým, že nahrádza vysoko-úrovňové modelovacie entity konvenčného CAD systému prvkami nazývanými "Features". Existuje celý rad definícií a výkladov pojmu "Feature", ale vo všeobecnosti možno konštatovať, že interpretácie sú veľmi odlišné. V odbornej literatúre sú preferované dve definície:

"A feature is a set of information related to some aspect of the product such as its geometry or manufacturing." (Shah, Wilson, 1989)

"A feature gives a unique, complete and unambiguous description that includes not only geometry and topology but also functional information such as tolerances, material and surface finish." (van Emmerik, 1990)

Pri klasifikácii sa obvykle uvádzajú "form features", "precision features", "material features", "design features", "manufacturing features" atď. "Features" sú vysoko-úrovňové štandardizované charakteristiky tvaru, ktoré majú sémantický význam pre konštruovanie a výrobu. Poskytujú jednoznačný, kompletný a jednotný opis, ktorý zahrňuje nielen geometriu a topológiu, ale aj funkčné informácie ako tolerancie, materiál, drsnosť povrchu atď. Adekvátnymi pojmami v nemeckej odbornej literatúre sú: "technisches Element", "fertigungsorientiertes Formelement" alebo "Fertigungselement". V našej odbornej literatúre sa v tejto súvislosti vyskytujú pojmy: konštrukčno-technologický prvok, konštrukčný prvok,

tvarový prvok, komplexný prvok atď. V ďalšom budeme používať termín konštrukčný prvok (KP).

Známe sú dva prístupy k technologickému modelovaniu:

- rozpoznávanie KP (*Feature Recognition*) a
- konštruovanie pomocou KTP (*Design by Feature*).

Prvý prístup vychádza z reinterpretácie prvkov implicitne definovaných v modeli pre potreby spracovania technologického postupu. Druhý prístup umožňuje priamo špecifikovať KP počas konštruovania. Priame používanie KP počas konštruovania zvyšuje efektívnosť tohto procesu. Výrobok je definovaný pomocou vysoko-úrovňových entít, čo znižuje výskyt chýb a oslobodzuje konštruktéra od riešenia elementárnych geometrických problémov. Štandardná knižnica KP môže byť použitá pre uloženie prvkov s vysokou úrovňou technologickosti a nízkymi nákladmi na výrobu. Nevýhodou konštruovania pomocou KP je, že konštruktér, ktorý obvykle nie je odborníkom na technologické procesy, je nútený riešiť komplexný problém. Preto môže byť výhodné rozlišovať medzi konštrukčnými a technologickými prvkami. Konštrukčné prvky opisujú charakteristiky výrobku tak, ako sa objavujú v geometrickom modeli, zatiaľ čo technologické prvky v pojmoch technologických operácií. Potom stačí len transformovať konštrukčné prvky na technologické. Požadovaná množina prvkov podporovaná daným systémom, závisí od určenia systému (napr. na obrábanie).

4.3.3 Behaviorial modeling (BM)

Klasický postup modelovania v CAD systémoch vychádza z toho, že používateľ určuje hodnoty premenných pre tvorbu modelu súčiastky a dosiahnutý výsledok potom porovná so zadáním. BM je technológia modelovania, ktorá umožňuje zadať požadovaný výsledok a systém vypočíta premenné pre model. BM umožňuje automatizovať rutinné optimalizačné procedúry v procese vývoja výrobku. BM je postavené na troch základných vlastnostiach:

1. Tzy. smart modely – inteligentné prvky, ktoré majú informáciu o geometrii, technických podmienkach a konštrukčnom zámere.
2. Objektovo orientované konštruovanie – postup využívajúci inteligentné prvky. Každý prvok je chápaný ako objekt. Takto možno dosiahnuť rýchle generovanie množstva variantov testovaním vplyvu zmien parametrov na model.

3. Otvorenosť – možnosť prepojiť priamo proces návrhu modelu výrobku s ďalšími aplikáciami, ako rôzne analýzy, generovania CNC programov atď.

4.4 Základné funkcie CAD systému (Pro/ENGINEER)

Pro/ENGINEER od firmy PTC (Parametric Technology Corporation) je CAD/CAM systém, založený na objemovom modelovaní pomocou konštrukčných prvkov (Feature-Based), ako sú zápich, diera, zaoblenie, zrazenie, rebro a pod. Údajová štruktúra modelu obsahuje len typ prvku, jeho parametre, umiestnenie a orientáciu modelu. Pro/E používa pre svoju činnosť centrálnu databázu a podporuje súbežný spôsob práce (Concurrent Engineering). Keď dôjde k zmene modelu, potom sa táto zmena prejaví v databáze až po tzv. regenerácii. V databáze je uložený vlastne len postup navrhovania modelu a nie celá údajová štruktúra. Zmeny modelu môžeme uskutočniť aj zmenou v databáze. Systém je úplne asociatívny, čo zabezpečuje okamžitú aktualizáciu údajov vo všetkých moduloch. Ak zmeníme model, pre ktorý sme generovali výkresovú dokumentáciu, potom sa tieto zmeny automaticky premietnu aj v dokumentácii a naopak, zmeny uskutočnené v dokumentácii sa automaticky premietnu v modeli (úplná asociativita). Tým je zachovaná vždy integrita projektu. Naprogramovaný je v jazyku C++ pôvodne pre platformu Unix s grafickým používateľským rozhraním X-Window. Podporované sú všetky najznámejšie pracovné stanice od firiem HP, Sun, DEC, IBM a SGI. Neskôr bol portovaný na OS MS Windows.

Pro/E umožňuje opísať jednotlivé prvky modelu pomocou parametrov. Parametrizácia umožňuje napr. definovať umiestnenie diery v závislosti od referenčných prvkov, ako sú hrany alebo iné diery. Zmena umiestnenia referenčného prvku vyvolá automaticky aj zmenu umiestnenia referencovaného prvku tak, aby bola zachovaná pôvodná relácia medzi prvkami. Parametre môžu byť medzi sebou previazané matematickými výrazmi. Hrúbka steny môže byť napr. definovaná ako funkcia šírky a pod. Ak zmeníme šírku, potom sa automaticky prispôbi aj hrúbka.

Pro/E má modulovú štruktúru, ktorá pokrýva oblasti automatizácie konštruovania, výroby, simuláciu a animáciu ako aj archivovanie výrobných podkladov a riadenie projektov. Jadrom systému je základný modul Pro/ENGINEER, ktorý môže byť využívaný samostatne alebo v kombinácii s ďalšími modulmi.

Systém komunikuje s používateľom cez dialógové menu a kontroluje akcie používateľa. Postupnosť činností pre vytvorenie modelu je schématicizovaná a začína návrhom rozmerového náčrtku (skice) v module SKETCHER. Ak hovoríme o práci so systémom, potom máme na mysli prácu v niektorom z režimov (*Modes*) systému.

Zhrnutie základných vlastností: *Pro/E* je parametrický CAD/CAM systém založený na tvarových, resp. konštrukčných prvkoch (*Feature-Based*), objemovom modelovaní (*Solid Modeling*) a väzbách medzi geometrickými prvkami (*Constraints*). Určený je pre podporu vývoja výrobkov od konštruovania až po prípravu riadiacich programov pre NC stroje. Pozostáva z viacerých modulov (*Pro/E 2000i2* ich má 35), ktoré sú zamerané na rôzne odbory a oblasti činnosti (automobilový a lodný priemysel, zvarenie, výrobky z plechu, obrobky, odliatky, káblové rozvody atď.) Jadro systému tvorí základný modul *Pro/ENGINEER*, ktorý môže byť využívaný samostatne alebo v kombinácii s ďalšími modulmi. Jednotná údajová štruktúra zabezpečuje úplnú previazanosť (asociativitu) cez všetky podporované inžinierske činnosti. Zmeny modelu realizované v ľubovoľnej fáze vývoja výrobku sa automaticky premietnu do všetkých ostatných častí projektu. Táto vlastnosť je prirodzená pre všetky moduly *Pro/E* bez rizika vzniku inkonzistencie v údajoch.

Modelovanie založené na konštrukčných prvkoch (*Feature based modeling*)

Pro/E modeluje teleso ako kompozíciu prvkov. Časti, z ktorých sú modely *Pro/E* zostavované, sa nazývajú tvarové, resp. konštrukčné prvky (*Features*). Všeobecne môžeme tieto prvky rozdeliť do nasledujúcich skupín:

- **Základný prvok** (*Base Feature*) - môže byť buď prvok, ktorý používa skicu (skicovaný prvok), alebo pomocná rovina, určujúca predvolený súradnicový systém. Základný prvok je veľmi dôležitý, pretože celá geometria modelu naň odkazuje buď priamo alebo nepriamo; stáva sa koreňovým prvkom a jeho zmeny majú vplyv na geometriu celého modelu. Základné prvky sú:
 - o predvolené pomocné roviny (*Default Datum Planes*),
 - o predvolený súradnicový systém (*Default Coordinate System*),
 - o pridanie materiálu (*Protrusion*).
- **Skicované prvky** (*Sketched Features*) – sú prvky, ktoré používajú skicu. Vo všeobecnosti sú prvky v *Pro/E* vytvárané operáciami, ako sú extruding (vysunutie prierezu kolmo na skicovaciu rovinu), revolving (rotovanie okolo osi), blending (spojenie viacerých prierezov) a sweeping (posunutie prierezu po danej trajektórii). Materiál môže byť pridaný (*protrusion*), alebo odobratý (*cut* alebo *slot*) z existujúceho modelu.

- **Referenčné prvky** (*Referenced Features*) – sú prvky, ktoré využívajú referencie. Tieto prvky odkazujú na existujúcu geometriu (hrany, plochy) a používajú zdedený tvar. Nemusia byť skicované. Príkladom referenčných prvkov sú zaoblenia a škrupiny.
- **Pomocné prvky** (*Datum Features*) - sú pomocné prvky, ktoré neovplyvňujú priamo tvar modelu, ako pomocné roviny, osi, krivky a body, používané k riadeniu obrysu povrchu. Sú všeobecne používané pre stanovenie skicovacích rovín a obrysových referencií pre skicované a referenčné prvky.

Súčiastku modelujeme vytvorením základného objemu materiálu, ktorý potom upravujeme ďalšími prvkami, ktorými pridávame alebo odoberáme objem (materiál).

Vzťah rodič-potomok (Parent-Child)

Pretože objemové modelovanie v Pro/E je kumulatívny proces, musia isté prvky predchádzať iné. Tie, ktoré nasledujú, sú v relácii s prvkami skôr definovanými prostredníctvom okótovania a geometrických relácií. Relácia medzi prvkami a prvkami, ktoré na ne odkazujú, sa nazýva relácia rodič-potomok. Môžu existovať rodičia bez potomkov, ale nie je možná existencia potomka bez svojho rodiča. Ak je rodič zmodifikovaný, sú jeho potomkovia automaticky upravení podľa zmien jeho geometrie. Zmeny v návrhu sú prenesené do modelu.

Vytváranie zostáv

Podobne ako sú súčiastky zložené z tvarových prvkov, sú aj zostavy zložené zo súčiastok. Režim Assembly umožňuje prispôbovať súčiastky navzájom, ako aj navrhovať ich tak, ako by mali byť zostavené.

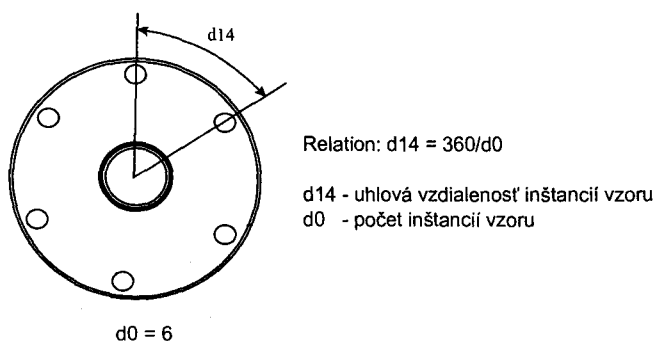
Konštrukčný zámer

Dôležitou vlastnosťou CAD systému je nielen schopnosť zobrazit' konštrukčný návrh, ale aj schopnosť dosiahnuť konštrukčný cieľ. Tento cieľ sa podarí dosiahnuť vložení poznatkov používateľa do modelu tak, že vybudujeme a uchováme určité geometrické vzťahy (relácie). Napr. pri tlakovej nádobe by hrúbka steny mala byť v určitej proporcii k jej ploche a tento vzťah by mal byť zachovaný aj pri zmene jej plochy. Pro/E toto rieši niekoľkými spôsobmi:

- **Implicitné relácie** - vyskytujú sa pri kreslení a kótovaní novej geometrie modelu vzhľadom k existujúcim prvkom a súčiastkam. Tento vzťah je napr. riadený, ak

použijeme pri kreslení pneumatiky hrany ráfiku ako referenciu (pneumatika sa upravuje podľa toho ako sa mení ráfik).

- **Vzory (Patterns)** - konštrukčné prvky určené geometrickým preddefinovaným vzorom. Prvky a súčiastky sú rozmiestnené v Pro/E buď pomocou ich kót, alebo pomocou už existujúcich vzorov. Príkladom „paternovania“ je koleso s drôteným výpletom. Najskôr sú radiálne kopirované, t.j. rozmiestnené po obvode diery výpletu. Samotné drôty výpletu sú rozmiestnené použitím týchto dier ako referencie pre vzor. Všetky zmeny členov vzoru ovplyvnia tiež všetkých členov, ktorí sa na ne odkazujú. Nie je treba vytvárať rovnakú geometriu dvakrát.
- **Explicitné relácie** - kým implicitné vzťahy sú definované spôsobom vytvárania prvku, explicitné vzťahy sú definované používateľom. Tieto rovnice (medzi symbolickými kótami a parametrami) môžu byť napr. použité pre zaistenie rovnomerného rozmiestnenia daného počtu dier okolo stredu kolesa.



Obr. 4.7 Relácie medzi prvkami

- **Tabuľky typových radov (Family Tables)**- používajú sa k vytváraniu podobných súčiastok. Tak ako sa normalizované súčiastky vyberajú z katalógu, tak aj modely sú zoskupované do tabuliek typových radov podľa tvarovej podobnosti (rôzne veľkosti skrutiek, ktoré plnia rovnakú funkciu a sú podobné). Tieto tabuľky poskytujú veľmi jednoduchý a kompaktný spôsob vytvárania a uchovania veľkého počtu objektov.

Výhody používania tabuliek

- sú jednoduchou a kompaktnou cestou vytvárania a ukladania veľkého počtu objektov,
- šetria čas a námahu tým, že umožňujú štandardizovať generovanie súčiastok,
- umožňujú generovať varianty súčiastok z jednej, bez nutnosti znova vytvárať každú zvlášť,

- *umožňujú vytvárať jemne sa líšiace varianty bez nutnosti použitia relácie pre zmenu modelu,*
- *umožňujú vytvárať tabuľky súčiastok, ktoré môžu byť uložené v súbore a použité v katalógu.*

Technický výkres

Pro/E vytvára výkres iba ako opis modelu. Medzi výkresom a modelom je úplná asociativita.

Všetky zmeny objektov v režimoch Part, Drawing, Assembly a Manufacturing sú navzájom prepojené. Zmeny objektu sa premietnu do výkresu súčiastky a do zostavy obsahujúcej daný objekt a naopak.

5 CAP a CAM systémy

Systémy CAP, resp. CAM sú určené na prípravu údajov a programov pre riadenie číslicovo riadených výrobných strojov. Využívajú geometrické údaje získané v etape počítačového návrhu súčiastky prostredníctvom systému CAD. Súčasťou týchto systémov sú knižnice postprocesorov – programov, zabezpečujúcich preklad geometrických údajov, definujúcich dráhy nástrojov do formy akceptovateľnej riadiacim systémom príslušného stroja, pre tvorbu používateľských postprocesorov a moduly, umožňujúce animované zobrazenie priebehu výroby. Pod CAM sa niekedy chápe len technická stránka výroby a spôsob distribúcie riadiacich informácií získaných z CAP systému na jednotlivé zariadenia. Hranice medzi týmito systémami a ich obsah sú definované pomerne voľne. V ďalšom výklade budeme považovať tieto systémy za identické, zamerané na riešenie technologických aspektov výroby.

5.1 Klasifikácia technologických úloh

Vstupom do technologickej prípravy výroby je konštrukčná dokumentácia (technický výkres). Disponibilné informácie v tejto etape zahŕňajú informácie o výrobnom profile výrobnej jednotky, technologických metódach, ako aj o technologických normách a normatívoch a výstupom je technologická dokumentácia (technologický postup). Technológ interpretuje výkres a identifikuje technologicky relevantné charakteristiky súčiastky. Na základe získaných poznatkov, skúsenosti a intuície zhotoví technologický postup.

Technologický postup obsahuje informácie o východiskovom materiáli, postupnosti operácií, opise operácií, strojoch a pracoviskách, operačných časoch, technologických (rezných) parametroch, nástrojoch a prípravkoch. Obsah, rozsah a štruktúru informácií, ktoré technologický postup zobrazuje, sú historicky ovplyvnené podmienkami výroby a zvyklosťami daného výrobcu. Vychádza sa pritom zo základného predpokladu, že pre kusovú a malosériovú výrobu sa používajú prevažne univerzálne výrobné zariadenia a kvalifikačná štruktúra obsluhy je vysoká, a preto postačuje uviesť v technologickom postupe menší rozsah informácií ako pre výrobu sériovú s prevažne špeciálnym výrobným zariadením. Technologický postup pre kusovú a malosériovú výrobu nemusí byť podrobne vypracovaný, je informačne neúplný a má do určitej miery aj stochastický charakter. Chýbajúce informácie musí doplniť obsluha. Takto vypracovaný technologický postup vyžaduje menšie zdroje

(finančné aj časové a personálne) ako vypracovanie podrobného technologického postupu a hovoríme potom, že ide o hospodárny technologický postup. Hospodárny technologický postup nie je viazaný na hospodárnosť výroby.

Technologický postup pre NC stroj (riadiaci program) musí byť vypracovaný bez ohľadu na uvedené skutočnosti podrobne. Riadiaci program pre NC stroj nemôže mať stochastický charakter, ale musí jednoznačne definovať pokyny pre riadenie automatických cyklov a nastavovanie geometrických a technologických parametrov. Otázka efektívnosti zhotovovania riadiacich programov sa rieši automatizáciou programovania NC strojov.

Technologické úlohy môžeme klasifikovať podobne ako úlohy konštrukčné na:

- *typové,*
- *skupinové a*
- *individuálne.*

Typové úlohy sa riešia pre tzv. typové technologické procesy. Princíp typových technologických postupov vychádza z toho, že súčiastky, ktoré sú geometricky (tvarovo) a technologicky podobné, vyrábame rovnakým spôsobom. Na základe analýzy skupiny súčiastok a ich technologických postupov sa podľa konštrukčno-technologických znakov určia typové skupiny. Pre každú typovú skupinu sa navrhne jeden technologický postup. Výhoda metódy je v tom, že pre navrhnutie technologického postupu novej súčiastky stačí určiť jej typovú skupinu. Typový technologický postup môžeme chápať ako množinu usporiadaných operácií, na základe ktorých možno vyrobiť všetky súčiastky danej typovej skupiny. Pri typovej technológii má rozhodujúci význam správne určenie typovej skupiny, a teda metóda triedenia súčiastok. Táto úloha sa rieši buď ručne pomocou rôznych triednikov súčiastok, alebo pomocou počítača. Typové technologické postupy nachádzajú uplatnenie najmä v sériovej a hromadnej výrobe.

Skupinové úlohy sú podobné typovým. Na rozdiel od spôsobu triedenia, ktorý sa používa pri typovej technológii, pri skupinovej technológii sa za základ berie spôsob výroby. Skupinu tu tvorí súbor súčiastok, pri výrobe ktorých sa používa ten istý typ výrobného zariadenia a skupinové výrobné pomôcky. Táto skupina je reprezentovaná tzv. komplexnou súčiastkou. Je to taká reálna alebo fiktívna súčiastka, ktorá obsahuje všetky znaky súčiastok patriacich do skupiny danej komplexnej súčiastky. Všetky súčiastky danej skupiny sú definované pomocou kombinácií znakov (konštrukčných prvkov) komplexnej súčiastky. Pre komplexnú súčiastku

sa zostavuje skupinový technologický postup. Pre výrobu konkrétnej súčiastky z danej skupiny sa potom vyhotoví technologický postup tak, že sa extrahujú (vyberú) príslušné operácie zo skupinového postupu.

Individuálne úlohy sú založené na princípe generovania operácií. Nevyužívajú sa žiadne typové ani skupinové technologické postupy ako predloha pre zhotovenie technologického postupu konkrétnej súčiastky. Technológ využíva pri návrhu získané teoretické poznatky, skúsenosti a intuíciu a množinu disponibilných informácií z katalógov, normatívov a noriem.

Typové a skupinové technologické úlohy sú relatívne jednoducho formalizovateľné. Ak už máme v základni údajov k dispozícii typové alebo skupinové technologické postupy pre typových predstaviteľov, resp. komplexné súčiastky. Ťažisko riešenia potom spočíva už len v zatriedení konkrétnych súčiastok a editovaní vzorových postupov. Väčšina CAP systémov využíva v súčasnosti práve tieto dva prístupy. Okrem prístupov, založených na podobnosti súčiastok, sú známe i prístupy k riešeniu automatizácie navrhovania technologických postupov, založené na metóde generovania operácií. Tieto prístupy riešia problém všeobecne a umožňujú generovať optimálny technologický postup pre dané podmienky. Vstupom je model polovýrobku a súčiastky, ako i výrobné možnosti strojov (model výrobnej jednotky) a výstupom optimálny technologický postup, riadiaci program pre NC stroj, návodky, zoraďovacie listy atď.

Skratka CAP (resp. CAPP - Computer Aided Process Planing) označuje počítačom podporované navrhovanie (plánovanie) technologických procesov. Ekvivalentný anglický pojem pre túto etapu výrobného procesu je "process planning" a nemecký "Arbeitsplanung". Vznik skratky CAP súvisí pravdepodobne so snahami automatizovať programovanie NC strojov, riadených súvisle po viacerých osiach a následným rozšírením možností vyvinutých systémov o technologické funkcie a činnosti súvisiace s technologickou prípravou výroby.

Podľa AWF (Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung, SRN) CAP zahŕňa úlohy plánovania, ktoré sú realizované nad výsledkami konvenčného alebo počítačom podporovaného konštruovania, s cieľom vyhotoviť údaje pre výrobu súčiastok a montáž. Pod tým sa rozumie počítačom podporované plánovanie technologických postupov (Arbeitsvorgänge) a postupností operácií (Arbeitsvorgangsfolgen), výber procesov a prostriedkov pre výrobu objektov, ako aj počítačom podporovaná príprava údajov pre riadenie technologických prostriedkov systému CAM. Výsledkom z CAP sú technologické postupy a riadiace

informácie pre technologické prostriedky CAM systému. CAP podľa AWF zahŕňa nasledujúce činnosti:

- *zhotovenie technologických postupov,*
- *výber strojov a zariadení,*
- *zhotovenie návodiek pre výrobu súčiastok,*
- *zhotovenie návodiek pre montáž.*

CAP systém pokrýva teda oblasť činností technologickej prípravy výroby a ich automatizáciu pomocou počítača.

Technologická príprava výroby poskytuje informácie o spôsobe výroby výrobku a súčiastok. Spracovávajú sa i pokyny pre kontrolu a montáž. Cieľom je nájsť najhospodárnejší spôsob výroby. TgPV využíva informácie z KPV a informácie o výrobe, ako napr. informácie o strojoch a zariadeniach, polovýrobkoch, type výroby a úrovni obsluhy, normatívnych časoch operácií a ďalšie. Výsledkom činnosti je technologický postup, od ktorého je potom možné odvodiť ďalšie doklady ako návodky, sprievodky, výdajky, úkolové lístky atď. Technologický postup obsahuje postupnosť transformačných a kontrolných operácií, vrátane operácií tepelného spracovania a priradenie pracoviska, výrobných pomôcok, normy času a jej štruktúry. Informačný obsah technologického postupu závisí od podmienok výroby. V kusovej a malosériovej výrobe sa obvykle používajú len veľmi stručné technologické postupy, kde nebýva rozpracovaný najmä obsah operácií (operačná technológia) a normatívny čas operácie sa určuje podľa združených normatífov. Takto pripravené technologické doklady sú značne nedokonalé a neumožňujú prechod k vyššej organizácii práce. TgPV je jednou z najprácejších a časovo najnáročnejších etáp v TPV. Analýzy prác v TgPV ukázali, že sa tu vyskytuje veľký podiel rutinných činností charakteru vyhľadávania, triedenia, výpočtov dosadením do známych výrazov atď. Podľa literatúry typický technológ je osoba nad 40 rokov a musí mať značné skúsenosti a prehľad o strojoch a zariadeniach pre výrobu. Hoci americký priemysel napr. požaduje 200 000 až 300 000 technológov, má ich k dispozícii len 150 000 až 200 000. Riešením tohto problému je len automatizácia.

Z prieskumu organizácie CIRP vyplýva, že 79% respondentov používa CAP systém, 16% plánuje využívať CAP systém a len 6% nemá záujem o žiadny CAP systém. Najviac ich používajú podniky s malosériovou výrobou. Ďalej z prieskumu vyplýva, že prvé CAP systémy sa začali prakticky používať až po roku 1970.

Funkčné požiadavky CAP systémov sú odvodzované z potrieb plánovania (navrhovania) technologických procesov. V mnohých prípadoch systémy označované ako CAP systémy majú i funkcie, ktoré nie sú typické pre oblasť plánovania procesov. Ako typické CAP funkcie sú uvádzané nasledujúce:

- *vyhľadávanie podobných postupov,*
- *kopírovanie postupov,*
- *modifikácia existujúcich údajov v postupe,*
- *určenie polovýrobku,*
- *výber operácií,*
- *určenie typov strojov,*
- *určenie upínacích prípravkov,*
- *výber úsekov operácií,*
- *určenie odoberania prídavku,*
- *určenie rezných parametrov,*
- *určenie výrobných nákladov,*
- *určenie veľkosti dávky,*
- *generovanie CLDATA,*
- *editovanie textu.*

CAP systémy môžeme klasifikovať podľa rôznych hľadísk. Prvé systémy pre automatizované navrhovanie technologických postupov boli tzv. "Computer-Assisted" systémy pre písanie textov, uchovávanie a vyhľadávanie postupov. Takéto systémy umožňovali pri správnom využívaní ušetriť až 40% času potrebného pre plánovacie činnosti. Z hľadiska použitej metódy pre zhotovenie technologického postupu existujú dva základné typy CAP systémov:

- *CAP systémy založené na variantnej metóde,*
- *CAP systémy založené na metóde generovania.*

Variantný prístup využíva procedúry prehľadávania knižnice štandardných technologických postupov pre nájdenie najpodobnejšieho postupu pre konkrétnu súčiastku. Štandardné postupy sú zhotovené manuálne technologom. Východiskom metódy je tvarová alebo technologická podobnosť a kódovacie systémy. Metóda podporuje princíp skupinovej technológie organizácie výroby. V druhom prípade je technologický postup generovaný automaticky pre individuálnu súčiastku bez referencií na existujúci postup. Tieto CAP systémy sú schopné

generovať optimálny technologický postup, ale ich riešenie je po stránke teoretickej i praktickej podstatne náročnejšie a vyžaduje vytvoriť model technologického procesu.

Existujú dve základné filozofie pre navrhovanie technologických procesov:

Následná technologická analýza opisu výrobku po jeho konštrukčnom navrhnutí a integrácia plánovania do etapy konštruovania. Druhý prístup sa nazýva aj Concurrent Engineering (súbežná príprava výroby) a konštruktér spracováva i technologické údaje. Tento prístup nemožno ale považovať za všeobecný pre riešenie všetkých problémov v oblasti technickej prípravy výroby a výrobe, lebo nezaručuje nájdenie optimálneho riešenia (konštruktér uvažuje obvykle len o jednej konkrétnej metóde výroby). Konštruktér nerieši bežne všetky fázy konštruovania sám. V etape konštruovania sa pracuje s konštrukčnými prvkami (Design Features) a v etape navrhovania technologického postupu s technologickými prvkami (Manufacturing Features). Čas odozvy komplexného interaktívneho systému pre prípravu výroby rýchlo narastá s počtom funkcií, mení sa charakter práce konštruktéra a narastá objem jeho práce. Ako výhody tohto prístupu sa uvádzajú: skrátenie času vývoja výrobku, zníženie výskytu chýb, zlepšenie technologickosti konštrukcie. Plánovanie technologických procesov tvorí premostenie medzi konštrukciou a výrobou. Konštrukčné informácie je možné interpretovať vo výrobe len prostredníctvom technologického postupu. CAP systém plní teda analogicky funkciu premostenia v integrovanom CAD/CAM systéme.

5.2 Modely technologického procesu

Technologická dokumentácia je súbor podkladov, na základe ktorých je možné vyrobiť navrhnutý výrobok. Zahŕňa technologické postupy, návodky, zoraďovacie listy pre stroje, podklady pre výrobu špeciálneho náradia a prípravkov, riadiace programy pre NC stroje a zariadenia a pod. Obsah, rozsah a štruktúra technologickej dokumentácie závisí od podmienok výroby a zvyklostí. Aj keď boli a sú určité snahy štandardizovať technologickú dokumentáciu, nebola doteraz prijatá žiadna medzinárodná záväzná norma. Dnes sa snaženie koncentruje do oblasti komplexného riešenia v rámci ISO (STEP), ktoré je zahrnuté v názve "model výrobku" a súvisí s koncepciou CIM.

Formalizácia opisu technologických procesov je nutnou podmienkou pre možnosť ich automatického navrhovania a plánovania. Navrhovanie technologických postupov je činnosť založená v značnej miere na skúsenostiach a skúsenosť možno formalizovať, napr. pomocou

pravidiel typu **IF (podmienky) - THEN (akcie)**, resp. rozhodovacích tabuliek, pomocou metód poznatkového inžinierstva a ďalších.

Rozhodovacia tabuľka umožňuje prehľadný formálny opis faktografických informácií typu **IF (podmienky) - THEN (akcie)**. Rozhodovacie tabuľky sa často používajú ako prostriedok pre formalizáciu rozhodovacích krokov pri navrhovaní technologických postupov. Rozhodovacím krokom je napríklad výber stroja pre realizáciu danej operácie. Príklad pre výber stroja je uvedený v nasledujúcej tabuľke:

	R1	R2	R3
Pracovný priestor	250x300	400x600	600x800
Výkon	< 3	< 5	< 10
Presnosť polohovania	> 0,01	> 0,02	> 0,01
Otáčky	< 2000	< 5000	?
Stroj	UWF 600	MAHO	Deckel

Nespojité technologické procesy prebiehajú v niekoľkých krokoch. Zmenu, ktorá prebieha v elementárnom kroku, môžeme zapísať pomocou tzv. kompozície:

východiskový stav + operátor = finálny stav

Zložité procesy dekomponujeme na niekoľko elementárnych operácií:

$$S_0 + Z_1 = S_1$$

$$S_1 + Z_2 = S_2$$

...

$$S_{k-1} + Z_k = S_k$$

kde S_0 je polovýrobok,

S_k - výrobok,

Z_k - použité výrobné zariadenie.

Tento tzv. *kompozičný model* technologického procesu má najmä didaktický význam a slúži pre spracovanie konkrétnejších modelov.

V literatúre je uvedený aj *maticový model*. Je to len formálna úprava kompozičného modelu s cieľom odstránenia jeho veľkej redundancie. Modelom technologického procesu pre daný východiskový stav S_0 je potom systém n-tíc

$$[Z_i, S_i] \quad \text{pre } i=1 \text{ až } k,$$

kde každý vektor predstavuje elementárnu operáciu. Prvky n-tice je možné ďalej rozšíriť o požadované vlastnosti a získame maticový model technologického procesu. Nutnou

podmienkou adekvátnosti modelu sú podmienky úplnosti, jednoznačnosti a usporiadanosti. Takto je technologický proces opísaný ako systém elementárnych operácií.

Tieto východiská ďalej ucelene rozpracoval s použitím teórie množín a kombinatoriky pre obrábanie Békés. Z prvkov, ako sú stroj, nástroj, prípravok, množina vyrobiteľných plôch, orientácia a umiestnenie obrobku, upínacia a ustavovacia základňa obrobku a nevyhnutné plochy, je možné vytvoriť kombinácie, z ktorých nie všetky sú prípustné. Pokiaľ sa získa viac riešení, vyhodnotia sa podľa cieľovej funkcie a nájde sa optimálne. Metóda vychádza z modelu polovýrobku a súčiastky, modelu výrobných možností zariadenia a modelu cieľových funkcií. Pre modelovanie týchto prvkov je navrhnutý vlastný prístup. Východiskom pre model rotačnej súčiastky je opis jej prvkov a vlastností vzhľadom k polosiam súčiastky. Prvkami sú plochy, resp. typické súbory plôch, ako napr. závit, ozubenie, drážky atď. Vlastnosti plôch z hľadiska technologického postupu obrábania sú: typ plochy, orientácia, uzavretosť, drsnosť a presnosť plochy, ako i súbor rozmerov plochy. Formálne je model plôch reprezentovaný ako matica, ktorej riadky opisujú vlastnosti jednotlivých plôch v dohodnutom smere, okolo danej polosi. Model polosí opisuje vzájomnú polohu a orientáciu polosí súčiastky a model relácií geometrické tolerancie plôch. Model súčiastky potom pozostáva z modelu plôch, polosí a relácií.

Technologický postup obrábania je rozčlenený na ucelené úseky operácií obrábania, chemicko-tepelného spracovania a prípadne ďalších operácií. Technologický proces obrábania sa navrhuje potom postupne pre ucelené úseky obrábania. Výsledkom aplikácie metódy je optimálny technologický postup. Po formálnej stránke ide opäť o maticu, ktorú možno transformovať do verbálnej formy.

Príkladom všeobecného prístupu k tvorbe technologických postupov je i metóda elementárnych prvkov použitá napr. pre systém ASEPO. Súčiastka je opísaná ako súbor konštrukčno-technologických prvkov (KTP). Pod KTP sa myslí plocha alebo súbor plôch, ktorých kompozíciou možno zostaviť súčiastku. KTP je po stránke technologickej samostatný komponent súčiastky, pre výrobu ktorého je možné priradiť technologickú operáciu. Systém pracuje tak, že najprv určí stroj, nástroje a rezné podmienky pre každú operáciu. Pre každý KTP sa potom určia úseky operácie, pričom sa zohľadňuje i celková konfigurácia súčiastky. Poradie operácií sa určí podľa vzájomnej polohy prvkov, technologických základní a

požiadaviek na presnosť. Každéj operácii je potom priradený spôsob upnutia, prídavky na obrábanie, norma času a tarifná mzdová trieda.

V literatúre je uvedená i ďalšia metóda, zabezpečujúca všeobecný prístup k automatizácii navrhovania technologických postupov, ktorá bola navrhnutá v ITK Minsk a nazýva sa metóda viacúrovňových iterácií. Proces plánovania technologického procesu je rozdelený na štyri hierarchické úrovne. Prvá úroveň charakterizuje rámcovú schému technologického postupu. Na druhej úrovni sa plánuje postupnosť operácií, určia sa upínacie základne, obrábacie stroje, náradie a súhrnné normy časov pre operácie. Na tretej úrovni sa plánuje operačná technológia. Určuje sa postupnosť úsekov v rámci každej operácie a upínacie, rezné a meracie prípravky a nástroje, rezné podmienky pre každý úsek a spresnené normy času. Štvrtá úroveň je určená pre generovanie riadiaceho programu pre NC stroj. Na každej úrovni sa definuje niekoľko variantov a potom sa vyberie najhospodárnejší.

Ďalší podobný prístup k navrhovaniu technologických procesov vychádza z dekompozície postupu na štyri úrovne. Na najnižšej nulte úrovni je generovaný len rámcový (hrubý) technologický postup rozčlenený na všeobecné kategórie operácií. Na prvej úrovni je model súčiastky dekomponovaný na objemové prvky pre obrábanie. Tu sa predpokladá použitie algoritmu pre rozpoznávanie tvarových prvkov. Na druhej úrovni sú generované operácie pre dekomponované tvarové prvky a na tretej úrovni sa určia rezné parametre.

Ďalšie prístupy sú založené na princípoch umelej inteligencie, resp. poznatkového inžinierstva. Údaje potrebné pre výpočty sú súčasťou poznatkovej základne, v ktorej sú uložené pomocou vhodného formalizmu poznatky technológa. Poznatky sú kombináciou údajových štruktúr (faktov) a interpretačných procedúr (pravidiel) ktoré, keď sú v programe správne využívané (inferenčný mechanizmus), vedú k inteligentnému správaniu sa systému. Existuje niekoľko rôznych schém reprezentácie poznatkov, ako napr. predikátová logika, procedurálna reprezentácia, sémantické siete, produkčné pravidlá, rámce, atď. Pre oblasť navrhovania technologických procesov sa najčastejšie používajú rámce (Frames) a produkčné pravidlá. Deklaratívne fakty sú reprezentované pomocou rámcov a procedurálne pravidlá pomocou produkčných pravidiel. Rámec pozostáva z mena a atribútov, ktoré majú priradené hodnoty. Meno slúži ako identifikátor a atribúty definujú špeciálne charakteristiky objektu. Pomocou rámcov je možné dobre reprezentovať fakty o súčiastke, kvalite povrchu a geometrických toleranciách, operáciách, nástrojoch a strojoch atď. Produkčné pravidlo je

obvykle vo forme dvojice podmienka- činnosť. Ak je podmienka splnená, potom je priradené pravidlo. Pomocou produkčných pravidiel je možné dobre reprezentovať technologické pravidlá pre výber operácií, určenie postupnosti operácií, výber strojov , nástrojov a prípravkov, určenie rezných parametrov atď.

5.3 Programovanie NC strojov

5.3.1 Prehľad vývoja číslicového riadenia

Zavedenie číslicového riadenia technologických zariadení je spojené s úspešným využívaním číslicových počítačov. Tvarovo zložité súčiastky, typické pre letecký priemysel, sa bežne vyrábali obrábaním, kopírovacím spôsobom. Kopírovanie s využitím modelu alebo šablóny má pre malosériovú výrobu určité nevýhody, spojené s návrhom a výrobou modelu a jeho opotrebovaním v procese využívania. V tejto oblasti boli nasadené prvé číslicovo riadené stroje. Prvé vývojové práce v oblasti číslicového riadenia sú spojené s menom John Parsons a firmou Parsons Corp., pôsobiace v Traverse City, Michigan (1948). Parsons navrhol využiť pri riadení stroja číslicové spracovanie informácií. Koncepcia vychádzala z využitia diernej pásky so zakódovanými údajmi súradníc bodov určujúcich polohu nástroja. Prvý NC stroj bol vyvinutý z konvenčnej kopírovacej frézovačky v MIT a predvedený v marci roku 1952. Prototyp bol riadený diernou páskou simultánne v troch osiach. V ďalšom období nastal prudký rozvoj NC strojov predovšetkým pre technologické metódy obrábania a neskôr i pre tvárnenie, zváranie a ostatné technológie výroby. Číslicové riadenie sa začalo využívať aj pri netechnologických činnostiach, ako manipulácia, skladovanie a doprava objektov spracovania.

Roku 1959 MIT uviedol systém pre automatizované programovanie NC strojov APT. APT priniesol zvýšenie efektívnosti programovania zložitých tvarov a jeho koncepcia sa široko uplatnila.

Prvý NC stroj v bývalej ČSSR bol inštalovaný v podniku Škoda Plzeň v roku 1959. Bola to frézovačka s riadiacim systémom Škoda NA. Riadiaci program sa vytváral podľa prvého kusa a nahrával sa na magnetickú pásku.

Vývoj číslicovo riadených strojov a riadiacich systémov prešiel niekoľkými kvalitatívnymi zmenami konštrukcie. Tieto zmeny boli podmienené rozvojom súčiastkovej základne. Podľa úrovne konštrukcie delíme NC stroje na:

- *Stroje 1. generácie (vývojového stupňa) vznikli z konvenčných strojov malým prispôbením pre pripojenie číslicového riadiaceho systému.*
- *Stroje 2. generácie sú špeciálne konštruované pre číslicové riadenie, niektoré majú automatickú výmenu nástrojov, výmena súčiastky je ručná. Sú to poloautomaty určené pre individuálne použitie alebo v rámci skupiny NC strojov. Stroje sú vybavené servopohonmi a zabezpečujú riadenie vo všeobecných cykloch.*
- *Stroje 3. generácie sú prispôbené pre použitie vo výrobných systémoch s automatizáciou medzioperačnej dopravy. Majú veľkokapacitné zásobníky nástrojov a vyznačujú sa stavebnicovou konštrukciou.*
- *Stroje 4. generácie sú prispôbené pre použitie vo výrobných systémoch s vysokým stupňom automatizácie. Majú riešenie automatickú výmenu nástrojov, výmenu zásobníka nástrojov, výmenu súčiastok, kontrolu stavu nástrojov. Sú to automaty schopné samostatnej práce. Pri individuálnom využívaní so zásobníkom paliet vytvárajú tzv. bezobslužné technologické pracoviská.*

Vývoj číslicových riadiacich systémov bol podmienený rozvojom prvkov číslicového spracovania informácií a stupňom integrácie funkcií. Vývojové stupne NC systémov zodpovedajú rozvoju číslicových počítačov.

1. generácia je charakterizovaná použitím elektrónok a relé pre realizovanie logických a výpočtových funkcií.
2. generácia je charakterizovaná použitím diskretných polovodičových prvkov (tranzistory). Časovo sú situované u nás do druhej polovice 60. rokov. Riadiace systémy umožňujú používať korekcie, riadiť pomocné funkcie, ručne zadávať informácie;
3. generácia je charakterizovaná použitím integrovaných obvodov MSI a stavebnicovou konštrukciou. Nahradenie diskretných prvkov integrovanými obvodmi viedlo k zvýšeniu spoľahlivosti a funkčných vlastností a k miniaturizácii. NC systémy využívajú jednotný kód a formát bloku s premenlivou dĺžkou. Vo svete sa začala výroba týchto NC systémov od roku 1966.
4. generácia je charakterizovaná použitím integrovaných obvodov LSI a VLSI. Funkčné schopnosti narastajú so zvyšovaním stupňa integrácie. Pevné vnútorné prepojenie NC systému je nahradené programovateľným systémom (mikropočítač). Počítačové riadiace systémy sú označované skratkou CNC.

5.3.2 Základné poznatky k programovaniu

Program pre zhotovenie súčiastky na číslicovo riadenom stroji je postupnosť inštrukcií zapísaných v danom jazyku a formáte v zmysle technologického postupu spracovania.

Program obsahuje geometrické informácie o súčiastke, informácie o technologických podmienkach výroby a pomocné informácie (identifikačné údaje o súčiastke, stroji a pod.). Programovanie NC stroja je činnosť zahŕňajúca spracovanie informácií o súčiastke do tvaru vhodného pre riadiaci systém stroja. Program pre zhotovenie súčiastky na NC stroji má v odbornej literatúre rôzne označenie, napr. NC program, program súčiastky, part program, riadiaci program, zdrojový program. Programovanie NC strojov podlieha, podobne ako programovanie počítačov, určitým medzinárodným konvenciám. Tieto dohody v oblasti spracovania informácií vytvárajú predpoklady pre unifikáciu a prenositeľnosť riadiacich programov.

Existuje niekoľko metód programovania NC strojov. Z hľadiska automatizácie tejto činnosti rozoznávame:

- ručné, resp. manuálne programovanie,
- automatizované programovanie,
- automatické programovanie.

Ďalším kritériom klasifikácie je miestne a časové hľadisko stroja. Z miestneho hľadiska rozoznávame programovanie na stroji (dielenské programovanie) a na špeciálnom pracovisku pre programovanie NC strojov (externé programovanie).

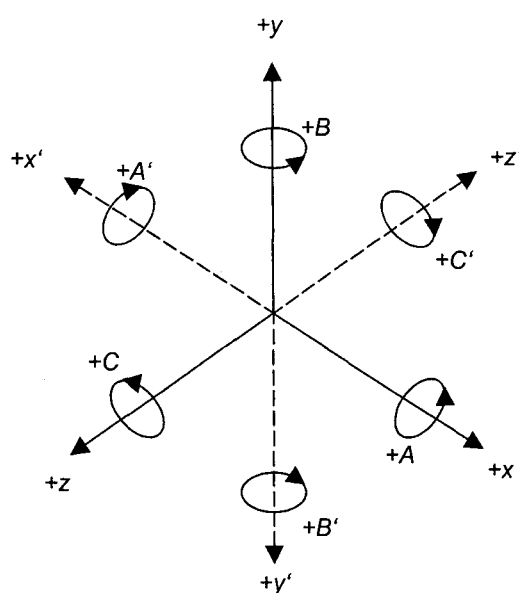
Z časového hľadiska rozoznávame dielenské programovanie, ktoré sa uskutočňuje počas činnosti stroja na inej úlohe (paralelné programovanie), a programovanie prebiehajúce pred vlastnou činnosťou stroja. Stroj je vtedy pre výrobu blokový. Kombináciou týchto troch hľadísk dostaneme určitú metódu programovania. Metóda programovania je podmienená zodpovedajúcimi technickými a programovými prostriedkami.

Automatizované programovanie NC systémov je postup nepriameho zápisu riadiaceho programu pre NC stroj s použitím špeciálnych softvérových prostriedkov. Najprv sa pomocou špeciálneho problémovo orientovaného jazyka vypracuje zdrojový program, ktorý reprezentuje zápis riešeného problému. Potom sa z neho generuje NC riadiaci program interpretovateľný NC systémom.

Druh použitého riadiaceho systému podstatne vplyva na programovanie. NC systém zabezpečuje vstup informácií, spracovanie informácií a ovládanie akčných a signalizačných členov. Tomu zodpovedá i štruktúra riadiaceho systému, pozostávajúca zo vstupnej a

výstupnej časti a časti pre spracovanie informácií. Vstupná časť je tvorená zariadením pre vstup riadiaceho programu. Riadiaci program možno zadávať ručne cez klávesnicu, alebo ho automaticky snímať zo vstupného média. Bežným vstupným zariadením je fotoelektrický snímač diernej pásky. Nosičom riadiaceho programu je v tomto prípade normalizovaná 8 stopová dierna páska, obvykle papierová, šírky 25,4 mm (1"). Formát záznamu riadiaceho programu na diernej páske je medzinárodne normalizovaný. Ako vstupné média sa používajú aj magnetické pásky a pružné disky. Ich výhodou je vyššia hustota záznamu, ale nevýhodou je citlivosť na prašné prostredie a elektromagnetické žiarenie. Riadiaci program je na riadiacej páske zaznamenaný v dvojkovom kódovanom tvare.

Počítačový riadiaci systém (CNC) poskytuje všetky výhody číslicového počítača pri tvorbe a spracovaní riadiaceho programu, zahŕňujúc možnosti interaktívnej počítačovej grafiky, automatického generovania riadiaceho programu, diagnostikovania funkcií stroja a NC systému, ako i napojenie na nadriadený riadiaci počítač.



Obr. 5.1 Označovanie osí a pohybov pre NC riadenie

Vnútorne spracovanie informácií prebieha v dvojkovom kódovanom tvare. V procese vývoja číslicového riadenia sa používalo niekoľko dvojkových kódov. V súčasnosti sa používa medzinárodne normalizovaný kód označovaný ISO-NC. Okrem neho sa ešte používa, najmä v USA, i kód označovaný EIA-NC. Kódy sú vzájomne nekompatibilné. Kód ISO-NC vychádza z kódu ISO-7. Je jeho podmnožinou. Z kódu ISO-7 prevzal symboly (50)

i zodpovedajúce kódové zápisy. ISO-NC je 7-bitový kód, ktorého množina symbolov zodpovedá dohodnutým funkciám.

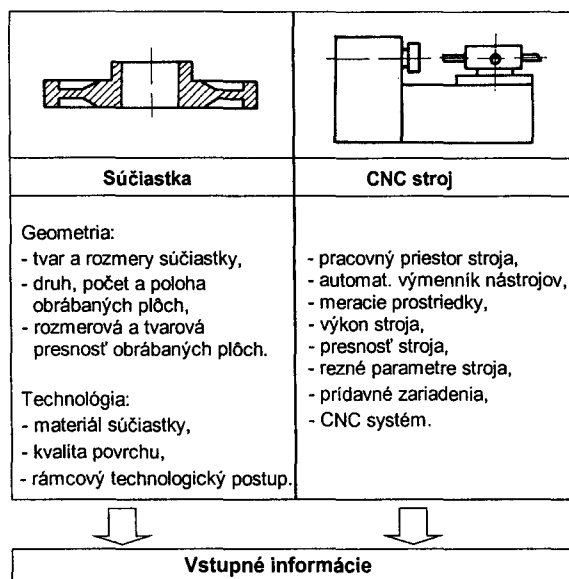
Aby bolo možné v programe jednoznačne a jednotne určiť smer a zmysel pohybu suportu alebo stola stroja, treba zaviesť jednotný súradnicový systém stroja. Používa sa pravouhlý pravotočivý súradnicový systém. Za základ sa berie pohyb nástroja vzhľadom na nehybnú súčiastku. Kladný zmysel pohybu pracovného orgánu stroja zodpovedá smeru vzdľavovania nástroja od súčiastky. Začiatok súradnicového systému (0,0,0) možno voliť ľubovoľne. Normálny súradnicový systém je skutočný pravouhlý systém súvisiaci s polovýrobkom.

5.3.2.1 Analýza vstupných informácií

Vstupné informácie pre NC programovanie môžeme vo všeobecnosti rozdeliť na dve základné skupiny:

1. Informácie o súčiastke a technologickom postupe jej výroby.
2. Informácie o vybranom CNC systéme a stroji.

Tieto informácie sú základnými vstupnými informáciami programátora pre zhotovenie NC programu. Prvá skupina informácií predstavuje pracovné informácie v pôvodnom stave (technický výkres, rámcový technologický postup), v ktorom sú ako vstupné inštrukcie pre NC stroj nevhodné. Preto je nutné ich ďalšie spracovanie.



Obr. 5.2 Vstupné informácie pre CNC program

V rámci analýzy vstupných informácií o súčiastke je potrebné definovať aj súradnicový systém súčiastky a tzv. nulový, resp. východiskový bod programu (*Program Zero Point*). Vzhľadom k nemu sa potom prepočítajú jednotlivé kóty. Programátor takto pracuje v tzv. absolútnom režime. Z hľadiska minimalizácie prepočtov je najvhodnejší spôsob kótovania súčiastky z jednej základne. Ako nulový bod programu sa potom obvykle volí priesečník kótovacích základní.

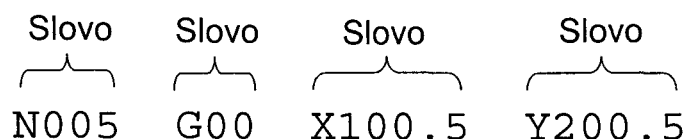
5.3.2.2 Zhotovenie NC programu

NC, resp. CNC program je riadiaci program, ktorý má predpísanú štruktúru. Program je zostavený pomocou špeciálneho jazyka nízkej úrovne.

Pre zápis programu je k dispozícii štandardná abeceda, ktorú tvoria číslice, písmená a špeciálne znaky (napr. + - /). Samotné znaky nemajú spravidla konkrétny informačný význam v programe. Významové informačné celky vzniknú až po zoskupení určitého počtu znakov. Základným prvkom NC programu je slovo (*Word*). Slovo nazývané aj funkcia pozostáva z dvoch častí:

1. Adresová časť - abecedný znak.
2. Významová časť - numerická hodnota.

Pre tvorbu NC programov sa vo všeobecnosti používa 40 až 50 slov. Konkrétna použiteľná množina závisí od typu NC systému, stroja a výrobcu. Postupnosť slov tvorí blok programu nazývaný aj príkaz (*Command*) a postupnosť blokov tvorí NC program.



Obr. 5.3 Štruktúra bloku NC programu

NC program je vykonávaný sekvenčne príkaz za príkazom. V danom čase sa vykonáva práve jeden príkaz (blok). Súčasné CNC systémy umožňujú zapisovať slová do bloku v ľubovoľnom poradí. Hovoríme o adresovom formáte bloku alebo o formáte bloku s premenlivou dĺžkou.

Potom napr. príkaz

N005 G00 X50.5 Y100.5 M03

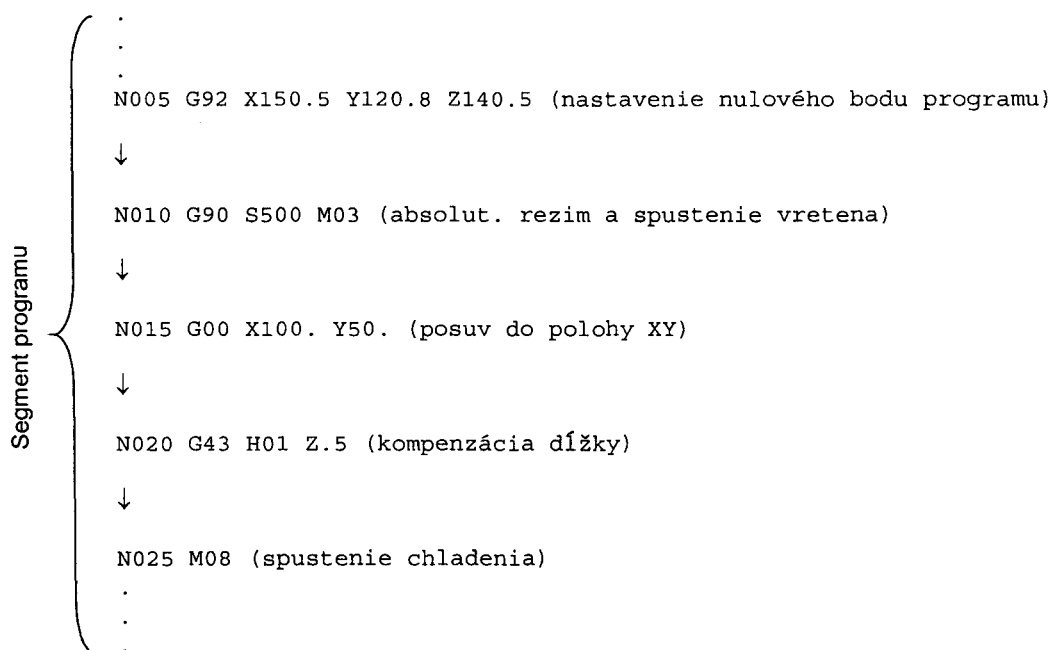
vykoná presne to isté ako príkaz

N005 M03 Y100.5 G00 X50.5

CNC príkaz musí byť ukončený špeciálnym symbolom EOB (end-of-block).

Význam slova ako základného prvku CNC programu je daný tým, že reprezentuje pomocou písmena symbolickú adresu. Význam jednotlivých písmen (adres) je dohodnutý normatívne.

Súčasný CNC systémy umožňujú pre slová používať pre numerické hodnoty formát s pohyblivou desatinnou čiarkou (používa sa znak bodka). V starších NC systémoch sa používal formát čísiel s pevnou desatinnou čiarkou.



Obr. 5.4 Postupnosť vykonávania NC programu

Zoznam najčastejšie používaných znakov pre adresovú časť slov CNC programu je uvedený v tabuľke 5.1. Tento zoznam nie je úplný. Pre rôzne typy strojov môžu byť rôznymi výrobcami implementované ďalšie funkcie, ktoré je potrebné zistiť z príručky programátora.

Pre nastavenie režimu práce CNC systému a stroja slúžia prípravné funkcie označované znakom G. Významová časť slova (parameter) bližšie určuje prípravnú funkciu. Zoznam najčastejšie používaných prípravných funkcií je uvedený v tabuľke 5.2.

5.3.2.3 Zápis NC programu

Zápis NC programu je činnosť, ktorej cieľom je kódovanie programu do tvaru vhodného pre interpretáciu riadiacim systémom. Pre zápis NC programu existujú všeobecné syntaktické pravidlá. Poznámky sa zapisujú medzi okrúhle zátvorky. Štruktúra programu je vo všeobecnosti nasledovná:

1. Začiatok programu.
2. Postupnosť príkazov.
3. Koniec programu.

Tabuľka 5.1 Zoznam adresových znakov

Znak	Význam	Poznámka
O	Číslo programu	
N	Číslo bloku	Number
G	Prípravná funkcia	Go
F, E	Posuvová funkcia	Feed
S	Funkcia otáčok vretena	Speed
T	Nástrojová funkcia	Tool
M	Pomocná funkcia	Make
D, H	Korekcie	
X, Y, Z	Pohyb priamočiary primárny	
U, V, W	Pohyb priamočiary sekundárny	
P, Q, R	Pohyb priamočiary terciárny	
A, B, C	Pohyb rotačný primárny	
I, J, K	Parametre interpolácie	

Tabuľka 5.2 Kódovanie prípravných funkcií

Slovo	Význam
G00	Nastavenie súradníc. Pohyb do programovaného bodu sa uskutočňuje rýchloposuvom.
G01	Lineárna interpolácia. Priamočiary pohyb.
G02	Kruhová interpolácia CW. Kruhový pohyb.
G03	Kruhová interpolácia CCW.
G04	Časová výdrž.
G05	
G06	Parabolická interpolácia.
G07	
G08	Zrýchlenie. Automatické zvyšovanie rýchlosti na programovanú hodnotu.
G40	Zrušenie korekcie nástroja.
G41	Korekcia nástroja ľavá.
G42	Korekcia nástroja pravá.

5.3.3 APT

Ručné zostavovanie riadiaceho programu pre tvarovo zložité súčiastky je časovo náročná činnosť. Pri ručnom zostavovaní programu nemožno vylúčiť vznik subjektívnych chýb. Oprava údajov je zdĺhavá. Ručné programovanie riadiacich systémov so súvislým riadením v 3 a viac súradnicových osiach je v mnohých prípadoch prakticky nerealizovateľné. Z rozboru etáp vytvárania riadiaceho programu pre NC stroj vyplýva, že obsahujú veľký podiel rutinných činností charakteru vyhľadávania, triedenia a výpočtu podľa známeho algoritmu. Úlohou automatizácie programovania NC strojov je odbremeniť človeka od týchto rutinných činností s využitím výpočtovej techniky. Spôsob programovania NC stroja s využitím číslcového počítača a zodpovedajúceho programového vybavenia sa nazýva automatizované programovanie. Pri automatizovanom programovaní sa predpokladá aktívna účasť človeka a interaktívna práca. Úlohou programátora je vo všeobecnosti opísanie geometrie súčiastky a určenie postupnosti úsekov operácií. Počítač zabezpečí transformáciu opisu súčiastky do vnútorného tvaru, aritmetické výpočty, výpočet súradníc bodov dráhy relatívneho pohybu nástroja a spracovanie údajov do tvaru vhodného pre riadiaci systém. Okrem týchto geometrických úloh môže počítač riešiť aj úlohy technologické, ako určenie rezných parametrov, priradenie nástrojov, určenie schémy odoberania prídavku atď.

Automatizované programovanie NC strojov sa začalo využívať na začiatku 60. rokov. Prvé systémy boli určené len na riešenie geometrických úloh. Umožňovali výpočet bodov súradníc dráhy pohybu nástroja. Programátor vypracoval zdrojový program s využitím geometrického jazyka. Zdrojový program je vstupným programom pre počítač a jeho spracovaním sa získa riadiaci program pre NC stroj. Spracovateľský program sa obyčajne nazýva procesor.

Úroveň jednotlivých systémov automatizovaného programovania možno posudzovať na základe jeho funkčných schopností a rozsahu úloh, ktoré rieši v automatickom režime počítač. Prvé systémy riešili len obmedzený rozsah výpočtových úloh. V ďalšej etape priberali postupne úlohy z technologickej prípravy výroby. Systémy najvyššej úrovne sú integrované s automatizovaným návrhom súčiastky a zabezpečujú optimalizáciu riešenia. Systémy, ktoré riešia len geometrické úlohy, nazývame geometricky orientovanými, a tie, ktoré majú geometrickú i technologickú sekciu, nazývame technologicky orientovanými.

Pôvodná verzia APT, prvého univerzálneho, všeobecne používaného systému automatizovaného programovania, bola geometricky orientovaná. Systém APT má modulovú štruktúru a pozostáva:

- *z programovacieho jazyka APT, ktorý umožňuje symbolickým spôsobom opísať ľubovoľné geometrické tvary využívajúc základné geometrické prvky, ako bod, priamka, kružnica. Slovník jazyka APT obsahuje okolo 400 príkazov, ktoré tvoria tzv. štandardné slová;*
- *z procesora, ktorý predstavuje program spracúvajúci postupne zdrojový program, napísaný v jazyku APT do normalizovaného tvaru, označovaného CLDATA;*
- *z postprocesora, ktorý predstavuje program pre transformáciu tvaru CLDATA do blokov riadiaceho programu konkrétneho systému;*
- *z knižníc podprogramov, ktorú môže využívať procesor aj postprocesor.*

APT sa stal svojou štruktúrou vzorom pre ďalšie systémy, ktoré sú od neho odvodené, ako napr. EXAPT, NELAPT, ADAPT, AUTOSPOT, IFAPT, ČKDAPT. V súčasnosti existuje vo svete okolo stovky systémov automatizovaného programovania. Líšia sa určením, funkčnými možnosťami, rozsahom požiadaviek kapacity pamäti a typom vyžadovaného počítača, formou zápisu zdrojového programu a ďalšími charakteristikami.

Pôvodná verzia APT bola orientovaná na programovanie zložitých geometrických úloh v priestore pre riadenie frézovačky. APT umožňuje opísať analytické, ale aj jednoduché neanalytické krivky a plochy pomocou bodov. V jazyku APT sa základným geometrickým prvkom (bod, priamka, kružnica atď.) priraduje symbolické meno, ktoré slúži ako identifikátor. Abeceda jazyka APT je tvorená veľkými písmenami latinskej abecedy, dekadickými číslicami a špeciálnymi symbolmi. Slová sa delia na hlavné a pomocné (modifikátory). V jazyku APT sa používajú štyri typy inštrukcií:

- *geometrické,*
- *pre riadenie pohybu,*
- *pre postprocesor,*
- *pomocné.*

• Všeobecný tvar geometrickej inštrukcie je:

symbol=hlavné slovo/modifikátor;

napr.

P4 = POINT/10.0, 20.0, 30.0

definuje bod P4 pomocou súradníc.

Symbol identifikuje geometrický útvar. Môže pozostávať maximálne zo šiestich znakov, z ktorých aspoň jeden je abecedný. Nemôže byť tvorený z vyhradených slov jazyka *APT*. Modifikátor je pomocné slovo špecifikujúce význam hlavného slova. Okrem slova *POINT* obsahuje slovník pre definovanie geometrie slová *LINE* (priamka), *PLANE* (plocha), *CIRCLR* (kružnica).

Inštrukcie pre riadenie pohybu nástroja určujú smer a zmysel pohybu. Majú všeobecný tvar príkaz pohybu/opísaná informácia,

napr.

GOTO/P4

určuje, že nástroj sa má premiestniť do bodu P4, ktorý už bol definovaný niektorým zo spôsobov. Okrem príkazu *GOTO* možno použiť *FROM*, *GODLTA*, *GO*, *GOLFT*, *GOFWD*, *GOUP*, *GORGT*, *GOBACK*, *CODOWN*. Príkaz *FROM* určuje východiskový bod programu, odkiaľ sa začína programovať pohyb nástroja. Uvádza sa na začiatku pohybových inštrukcií;

napr.

FROM/PO

definuje bod *PO* ako východiskový bod.

Príkaz *GODLTA* určuje premiestnenie nástroja v prírastkoch pri polohovaní (PTP riadenie),

napr.

GODLTA/3,0, 4.0, 5.0

definuje, aby sa nástroj premiestnil z daného bodu o hodnoty $x=3"$, $y=4"$, $z=5"$.

Ostatné príkazy riadenia pohybu sa používajú pre pravouhlé a súvislé riadenia. Tento spôsob riadenia dráhy zabezpečuje pohyb po definovanej trajektórii. Pre definovanie pohybu nástroja sa používa riadiaca plocha (*Drive Surface*), plocha súčiastky (*Part Surface*) a kontrolná plocha (*Check Surface*). Plocha súčiastky nie je obvykle totožná s obrobeneou plochou. Priesečnica riadiacej plochy a plochy súčiastky určuje tvar dráhy. Priesečník všetkých troch plôch určuje hraničný bod.

5.4 Základné funkcie CAM systému (Pro/ENGINEER)

Systém Pro/E zabezpečuje funkcie CAM systému pomocou licencie Pro/NC. Ide o skupinu voliteľných modulov, ktoré môžu byť ľubovoľne kombinované a riešia oblasť technológií výroby na NC strojoch. Základný postup pre generovanie NC programu je nasledovný:

1. Zvoliť *File>New* z ponukovej lišty systému Pro/E. Otvorí sa dialóg *New*.
2. Zvoliť režim *Manufacturing*. Špecifikovať typ modelu výberom parametra zo sekcie *Sub-Type*.
Ak budeme obrábať jednu súčiastku z jedného polotovaru, potom zvolíme *NC Part*.
Ak budeme obrábať skupinu súčiastok (zostavu), potom zvolíme *NC Assembly*.
3. Napísať meno modelu obrábania v textovom poli *Name*, alebo použiť predvolené meno. Stlačiť tlačidlo *OK*.
4. Ak sme zvolili ako *Sub-Type* položku *NC-Part*, potom systém zobrazí okno so zoznamom všetkých súčiastok v aktuálnom adresári. Vybrať meno referenčnej súčiastky.
5. Systém zobrazí ponuku *MANUFACTURE*, okno *Model Tree* a v prípade obrábania skupiny súčiastok aj referenčnú súčiastku.

Model súčiastky (*Design Model*) na obr. 5.5 predstavuje finálny model výrobku, ktorý je základom pre všetky operácie obrábania. Je možné sa odkazovať na jeho prvky, plochy a hrany a tým vytvoriť referencie pre každú operáciu obrábania. Odkazom na geometriu sa vytvorí parametrická väzba medzi finálnym modelom a polotovarom (*Workpiece*). Zmena finálneho modelu sa premietne do všetkých nadväzujúcich obrábacích činností. Ako finálny model môžeme použiť súčiastky (*Part*), zostavy (*Assembly*) a súčiastky z plechu (*Sheetmetal*).

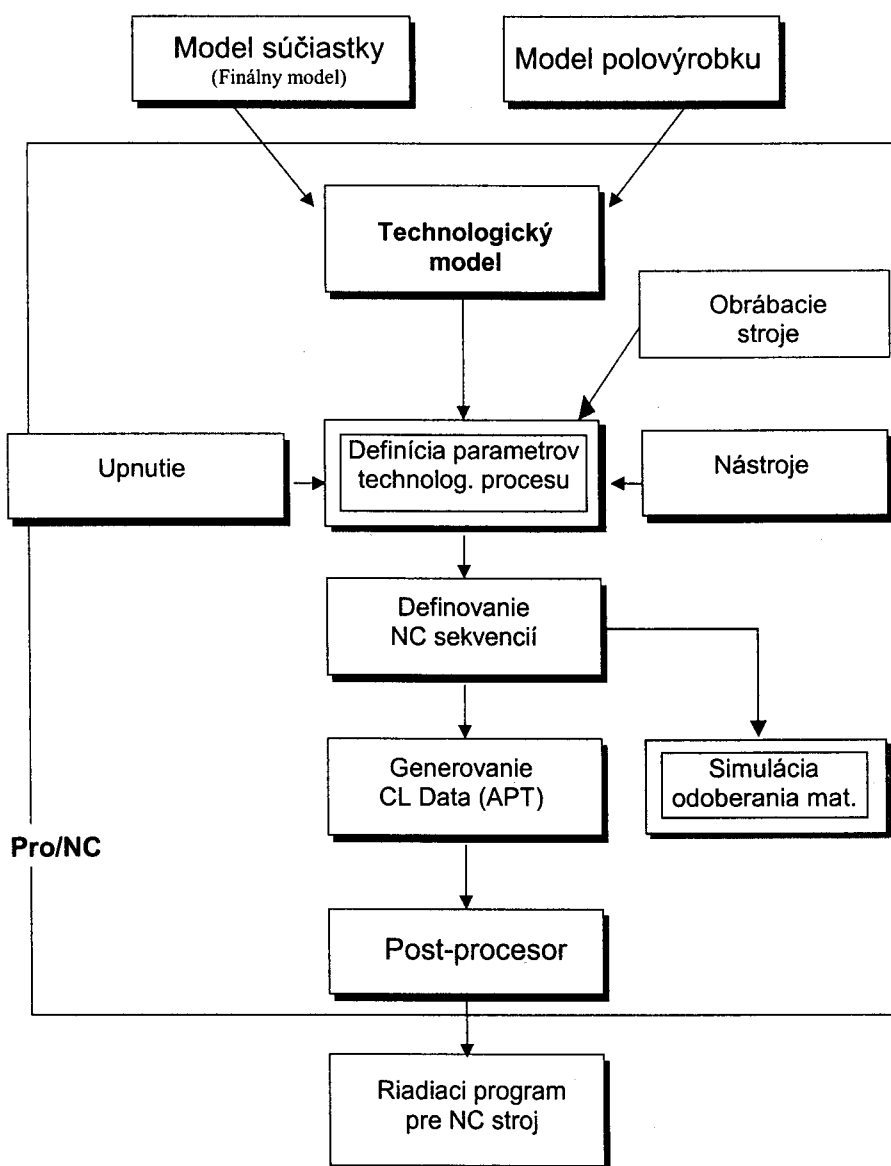
Technologický model obrábania (*Mfg Model*) sa skladá z finálneho modelu nazývaného aj referenčný model súčiastky, lebo je použitý ako referencia pre generovanie NC programu, a z modelu polotovaru. Modely sú zostavené do seba. V priebehu tvorby procesu obrábania je možné simulovať odoberanie materiálu z polotovaru. Na konci procesu obrábania by mala byť geometria polotovaru zhodná s geometriou finálneho modelu. Odoberanie materiálu je voliteľný krok.

K dispozícii sú aj ďalšie voliteľné moduly, ako napr.:

- *NC Machining Option*
- *NC Advanced Machining*
- *Expert Machinist Option*
- *NC Sheetmetal Option*
- *Tool Design Option*

- *Import Data Doctor Option*
- *Computer Aided Verification*

Moduly sú určené pre riešenie technologických a súvisiacich problémov výroby súčiastok, založených na tvarových (konštrukčných) prvkoch. Využitím plnej asociativity je zabezpečené automatické premietnutie akejkoľvek zmeny od modelu výrobku cez model náradia až po NC program.



Obr. 5.5 Postup zhotovenia NC programu pomocou Pro/NC

6 PDM systémy

Problém každej firmy, nezávisle od jej veľkosti a odboru činnosti, je správa informácií. Pre zaistenie chodu modernej firmy je treba riešiť ukladanie a vyhľadávanie informácií v elektronickej podobe. Mohlo by sa zdať, že vhodnou technológiou je použitie niektorého štandardného databázového systému. Lenže pracovník firmy nechce vyhľadávať len údaje, napr. číselné údaje či texty, ale aj informácie, t.j. údaje, ktoré majú svoju sémantiku – napríklad veľkosti odpisov, hodnotu derivácie trendu vývoja dopytu, závislosť tepelného namáhania na druhu materiálu, a pod. Prístup k týmto aplikačným typom údajov zaisťujú informačné systémy. Bežné informačné systémy sa však stanú nepoužiteľnými v okamžiku, keď typom ukladanej informácie majú byť, napr. informácie prevádzkového charakteru, poznámky či pokyny, alebo informácie multimediálneho typu, ako napr. výkres či dokonca celá zostava výkresov, obrázkov, náčrtkov a pod. Pre správu týchto typov informácií sa začínajú využívať systémy pre správu dokumentov – systémy EDM (Electronic/Engineering Data Management).

Základných cieľom systémov PDM je dať používateľovi aplikačne orientované nástroje pre vyhľadanie relevantných informácií a úplne ho oddeliť od starostí, ako informácie identifikovať, kde a ako ich ukladať, ako vhodne informácie triediť a štruktúrovať a pod. Systémy EDM rovnako zaisťujú konzistenciu údajov a zabezpečujú ich proti nedovolenému zásahu buď už zámernému, alebo neúmyselnému.

Medzi dôležité firemné informácie však nepatria len údaje zaznamenané na pamäťových médiách. Medzi najdôležitejšie informácie firiem patrí ich know-how, t.j. návrhové a inovačné postupy, kritériá pre výber variantov, podmienky pre spoluprácu s partnermi, časové nadväznosti jednotlivých etáp pri riadení vývoja výrobku a informácie o celom životnom cykle výrobku, prístup oprávnených osôb k relevantným informáciám v správny čas, podmienky možných paralelných postupov a pod. Správu týchto typov údajov v súčasnosti zaisťujú systémy pre správu údajov o produktoch – systémy PDM (Product Data Management). Základné ciele systémov PDM sú:

- *Integrovať a kategorizovať firemné údaje o produktoch v nadväznosti na výrobné postupy – vytvorenie prepojenia nad firemnými aplikáciami a dátami.*

- *Umožniť riadenie, zdieľanie a diferencovaný prístup k informáciám o produktoch s možnosťou súbežného inžinierstva, či dokonca kooperatívneho inžinierstva.*
- *Ukladať, zhromažďovať a využívať najlepšie postupy (firemné know-how) pre opakované použitie.*
- *Uľahčovať konfiguráciu a klasifikáciu produktov, t.j. umožňovať spravovanie súčiastok, zostáv a podzostáv vrátane prepojenia na CAD/CAM programy.*
- *Podporovať inovačné riadenie.*
- *Všeobecne uľahčovať správu firemných procesov.*

Súbežným inžinierstvom rozumieme zdieľanie spoločných údajov o výrobku a jeho častiach, s cieľom umožniť spoluprácu na vývoji výrobku paralelnou prácou na rôznych častiach modelu.

Kooperatívne inžinierstvo (Cooperative Engineering), na rozdiel od inžinierstva súbežného, umožňuje súčasnú prácu na rovnakej časti výrobku, kedy je možné využívať funkcie pre on-line komunikáciu alebo dokonca videokonferencie.

6.1 Hlavné funkcie PDM systému

Prvotnou úlohou PDM systému je spravovať údaje a informácie o produktoch. Systém PDM má na starosti fyzickú i logickú správu údajov. Ide o dátové súbory, ako napr. rôzne dokumenty, výkresy, tabuľky, ale aj poznámky či elektronická pošta. Kľúčovými dátami sú vždy modely výrobkov, vytvorené v niektorom CAD/CAM systéme. Systém PDM musí byť schopný spravovať jednotlivé časti tohto modelu, buď už štruktúrovane podľa logiky spracováanej štruktúry výrobku, alebo podľa časovej logiky postupnosti a nadväznosti produkcie.

Ďalšou úlohou PDM systému je riešenie prístupových práv k týmto informáciám. Pre každý dokument, reprezentujúci model výrobku, resp. jeho časť, musí byť definované, kto má k nemu prístup, kto ich môže prehliadať, modifikovať alebo schváliť. Každá osoba má v hierarchii používateľov svoje miesto a svoje práva. To umožní, že rôzni pracovníci či pracovné kolektívy môžu na rôznych, alebo dokonca rovnakých častiach pracovať súčasne, systém sa postará o stálu aktuálnosť údajov u každého z nich a zamedzí vzniku konfliktov verzií výrobku.

Vývoj výrobkov je komplexný proces. Pozostáva z viacerých krokov (fáz), ako napr. špecifikácia zadania, návrh riešenia, vývoj a pod., kedy za každú fázu zodpovedá niektoré

oddelenie firmy. PDM systém tento tok údajov automaticky spravuje, každý zainteresovaný subjekt má v správny čas prístup k požadovaným informáciám. Tento prístup je označovaný ako riedenie toku údajov – „workflow“. Jedná sa o jednu zo základných funkcií systémov PDM. Nástroje obsiahnuté v rámci PDM sú špecializované a optimalizované práve pre túto oblasť nasadenia PDM systému.

Možnosť súčasnej práce na modely výrobku patrí k najväčším prínosom PDM. Problémom klasickej koncepcie návrhového a vývojového procesu je sekvenčný spôsob komunikácie medzi oddeleniami, kedy každé z nich pracuje na istej fáze vývoja, alebo na istej časti prakticky izolovane. Po skončení práce sa celý balík informácií presunie niekomu ďalšiemu. Komunikácia medzi oddeleniami je obmedzená prakticky na komunikáciu odovzdania výstupných informácií z jednej fázy, ako vstupných informácií do druhej fázy. Tento klasický spôsob vývoja výrobku nielen celú produkciu značne predlžuje, ale môže spôsobiť rad problémov pri vyhľadávaní a odstraňovaní chýb. Pri nájdení chyby je nutné absolvovať väčšiu alebo menšiu časť tohto cyklu znova.

Súbežné či kooperatívne inžinierstvo, podporované práve systémami PDM, umožňuje (samozrejme len do istej miery, čo je dané konkrétnou situáciou), súčasnú prácu. Je možné, napríklad už v priebehu návrhu, vykonávať pevnostné a iné analýzy, a tak ešte pred dokončením kompletného návrhu výrobku korigovať úvodnú koncepciu návrhu. Vďaka stálej aktuálnosti údajov je potom možné okamžite reflektovať zmeny, okamžite reagovať a návrh modifikovať. Systém PDM toto vnútorné, meniace sa riadenie sleduje a koordinuje. Vývojový proces sa tak značne zlacní.

6.2 Architektúra PDM systému

PDM systém je riešený ako aplikácia typu klient-server, ktorej jadrom je spravidla nejaký výkonný, štandardný, komerčný databázový systém. Medzi najrozšírenejšie patria ORACLE, Informix, Sybase, a ďalšie. PDM systém je riešený ako distribuovaný systém. Prístup do neho je možný predovšetkým prostredníctvom lokálnej počítačovej siete, intranetu alebo internetu. Z pohľadu používateľa sa PDM systém javí ako správca údajov externých aplikácií nad centrálnou databázou. Pre každú aplikáciu je definované aplikačné rozhranie, ktoré realizuje jej prepojenie so systémom.

Medzi hlavné funkcie PDM systému patrí riadenie produkcie. Na tomto procese sa v priebehu produkcie môže podieľať paralelne aj niekoľko pracovných tímov. Preto PDM systém z princípu musí byť riešený ako multiužívateľský systém s možnosťou definície rôznych užívateľských práv prístupu k spravovaným dátam. Úroveň užívateľských práv je určená nielen funkčným zaradením vo firme, ale predovšetkým podľa zodpovednosti pracovníka za jednotlivé kroky vo výrobe v jednotlivých časových etapách. Používatelia sú členení do skupín. Štruktúra užívateľských práv je stanovená na základe analýzy toku informácií v procese výroby. To umožní simuláciu a automatické riešenie nadväznosti procesov, riešenie optimálnosti postupov produkcie a vzťahov informácií v celom produkčnom procese. PDM systém pozostáva z týchto základných modulov: hlavný modul, klasifikačný modul, modul riadenia toku údajov a komunikačné moduly.



Obr. 6.1 Architektúra PDM systému

Hlavný modul

Hlavný modul zaisťuje predovšetkým komunikáciu jednotlivých súčastí PDM systému s centrálnou databázou. To znamená, že hlavný modul riadi tok informácií medzi jednotlivými pracoviskami a komunikáciu medzi nimi, prenos a synchronizáciu údajov v prípade distribuovaných databáz. Rozhraním k tomuto modulu je systém používateľských okien pre zobrazovanie komunikácie s ďalšími modulmi PDM systému. Hlavný modul má rovnako prostriedky pre konfigurovanie používateľského rozhrania, administráciu PDM systému, definovanie štruktúry informácií (tvorbu vlastných dokumentov, popis dielov, formulárov, návrh vzhľadu okien).

Jadrom hlavného modulu je modul pre správu dokumentov, ktorý slúži predovšetkým na zaistenie konzistencie údajov v celom PDM systéme. Táto konzistencia nie je zaistená len na statickej úrovni, ale i na dynamickej úrovni (pri zmene tvaru výrobku na výkrese musí modul vyvolať i príslušnú akciu výpočtov namáhání, alebo odporu prostredia v zodpovedajúcej časti databázy a výpočet technologických parametrov). Problémom tohto modulu je prenos údajov medzi rôznymi aplikáciami, ktoré PDM systém spravuje. I keď existujú rôzne štandardy (napr. DXF, IGES a pod. pre výkresy), dochádza pri konverzácii ku strate informácií. Zdá sa, že súčasným riešením tejto situácie by mohol byť štandard STEP.

Vlastnú správu hierarchickej dátovej štruktúry, uloženie informácií o väzbách produktov na nadradené produkty a na informácie v iných častiach PDM, nástroje pre vytváranie a údržbu týchto dátových štruktúr zaisťuje správa konfigurácie výrobku. Informačné dátové štruktúry nie sú svojím charakterom statické, ale kopírujú zmeny štruktúry informácií, meniace sa podľa vývoja výrobku. Z pozície konštruktéra sa správa konfigurácie výrobku javí ako tá časť PDM systému, ktorá je schopná nájsť potrebné informácie o výrobku, nájsť správnu verziu výkresu a pod.

Správa dokumentov zaisťuje prístup k dátam, týkajúcich sa jedného výrobku alebo jeho časti, pod jednu položku. Tieto položky sa nazývajú Meta-Data a slúžia k opisu a správe konfigurácie výrobku. V týchto meta-dátach sú uložené aj informácie o zmenách, schvaľovacích konaniach a ďalšie informácie o vývoji výrobku. To znamená, že tieto údaje obsahujú históriu výrobku, z ktorej možno vidieť, kedy a kým bol produkt zmenený, schválený, aké zmeny na ňom boli prevádzané. Tieto meta-údaje slúžia rovnako pre identifikáciu výrobku. Obecne modul správy dokumentu môže spravovať i neelektronické údaje pomocou referencií.

Súčasťou hlavného modulu je aplikačné rozhranie. Toto rozhranie slúži k prepojeniu externých aplikácií, predovšetkým CA systémov s PDM. Podpora týchto systémov je riešená na rôznych úrovniach. Najnižšou úrovňou je práca so súbormi v rámci operačného systému, pretože ukladanie údajov, riadenie verzií a pod. je práve jeho funkciou. Druhou vyššou úrovňou je práca s vlastnou štruktúrou údajov spracovávaných týmito aplikáciami. Dôležité však je, že pre každú podporovanú aplikáciu, napr. CAD systém, musia byť naprogramované zodpovedajúce funkcie alebo makrá na strane aplikácie a aj na strane PDM systému. Najvyššou úrovňou je prístup k aplikáciám prostredníctvom internetu, resp. intranetu.

Klasifikačný modul

Tento modul umožňuje triediť údaje do hierarchického systému kategórií podľa zadaných kritérií. Kritériom môže byť príbuznosť do istej skupiny výrobkov, materiálov a pod. Príkladom môže byť knižnica štandardných súčiastok, napr. spojovacieho materiálu, kedy súčiastky delíme na skrutky, matice, podložky a ďalšie. Táto technológia veľmi účinne pomôže pri vyhľadávaní súčiastok, pretože možno vyhľadávať postupne zjemňovaným dotazovaním.

Správa procesov

Medzi najdôležitejšie moduly PDM systému patrí modul pre riadenie firemných procesov (Workflow). Úlohou tohto modulu je riadiť tok informácií v rámci firmy medzi jednotlivými pracovníkmi alebo oddeleniami. Riadenie toku umožňuje definovať automatizované informačné väzby medzi používateľmi. Zaisťuje automatický presun informácií medzi osobami alebo oddeleniami v zodpovedajúcich fázach životného cyklu výrobku, rieši prístupové práva k týmto informáciám a predovšetkým umožňuje komunikáciu medzi jednotlivými oddeleniami firmy. Riadenie toku údajov rovnako zaistí, že údaje vo výkrese, finančné, odbytové a ďalšie podklady budú vzájomne korelovať. Riadenie toku údajov na druhej strane umožní vedúcim pracovníkom sledovať aktuálnu situáciu s produkciou sledovaného výrobku a podľa toho sa môže prispôbovať riadenie vývoja. Modul riadenia toku údajov umožní špecifikáciu kritických uzlov a nájsť postupy, ako automaticky reagovať na štandardné situácie, ďalej stanoviť časové limity a pod.

6.3 Platformy PDM systémov

Pôvodná platforma týchto systémov vychádza z operačného systému Unix. Je to dané prostredím, kde boli tieto systémy nasadzované a predovšetkým požiadavkami na úroveň zabezpečenia. Postupne vznikali najprv klientské aplikácie pre iné operačné systémy, v súčasnej dobe je už bežné prevádzkovať tieto aplikácie aj v prostredí Windows NT/2000 alebo aj Windows 9x/Me. Vznikajú už i menšie systémy určené výhradne pre operačný systém Windows. Ako klientské prostredia sú podporované DOS, Windows 3.xx, Windows 9x, Windows Me, Windows NT, Windows 2000, ASCII terminály, rôzne klony systému Unix a ďalšie. Je vidieť, že možnosti sú veľmi široké.

Novinkou PDM systémov je možnosť prístupu cez internet pomocou protokolu HTTP, resp. s využitím technológie Java, prostredníctvom WWW prehliadačov. Možnosť práce a predovšetkým spolupráce tým dostáva globálny rozmer. Možnosti práce s PDM systémom prostredníctvom internetu sú rôzne, predovšetkým z hľadiska prístupnosti všetkých funkcií systému. Niekedy je prístup pomocou prehliadača len pre čítanie, niekedy sú prístupné len niektoré moduly.

Dôležitým problémom, na ktorý sa viaže i podpora operačných systémov pre servery, je bezpečnosť údajov. Keďže systém spravuje životne dôležité údaje, ku ktorým by sa nemal dostať nikto nepovolaný, je nutné, aby i operačný systém vyhovel týmto požiadavkám. V prípade operačného systému Windows 9x je nutné ochranu údajov riešiť samostatne.

6.4 Implementácia PDM systémov

Implementácia PDM systému je veľmi závažné rozhodnutie, ktoré môže zásadne ovplyvniť činnosť podniku. PDM systém sa zaobstaráva pre dlhodobé používanie, a preto je treba jeho výberu a implementácií venovať veľkú pozornosť. Postup implementácie PDM systému môžeme zhrnúť do nasledovných krokov:

- *Podrobná analýza požiadaviek na PDM systém.*
- *Výber PDM systému.*
- *Presná špecifikácia implementácie.*
- *Implementácia a konfigurácia.*
- *Školenie používateľov.*

Nie je nutné implementovať úplne všetky požiadavky naraz, väčšinou sa najprv implementujú základné funkcie a po rozbehnutí systému sa implementujú ďalšie funkcie.

Jedným z hľadísk pri výbere PDM systému je väzba na používané systémy. Pokiaľ už podnik používa nejaký systém pre správu údajov a tiež nejaké CA systémy, doporučuje sa vybrať taký PDM systém, ktorý podporuje už používané systémy. Pokiaľ vybraný PDM systém nepodporuje nejaký z používaných systémov, bude potreba údaje konvertovať do formátu niektorého z podporovaných systémov.

Situácia je o niečo jednoduchšia, pokiaľ sa podnik rozhodne pre zavedenie PDM i CA systému (podnik žiadny systém dosiaľ nepoužíval, alebo sa rozhodol pre zásadnú reorganizáciu). V tomto prípade je väčšia voľnosť pri výbere PDM systému, ale je dobré ho

vyberať s ohľadom na vybraný CA systém. Doporučuje sa implementovať PDM a CA systém súčasne. Zavedenie jedného systému skôr než druhého spôsobuje nevyužitie možností, ktoré poskytuje prevádzanie PDM a CA systémov.

6.5 Požiadavky na moderný PDM systém

Základné požiadavky na PDM systém môžeme zhrnúť do týchto bodov:

- *Objektovo orientovaná architektúra, umožňujúca vytváranie vzťahov medzi údajmi.*
- *Modulárna architektúra, umožňujúca rozšírenie podľa rastúcich potrieb zákazníka.*
- *Nemal by mať vlastné neštandardné používateľské rozhranie, ale napr. OSF/Motif pre pracovné stanice na platforme Unix alebo rozhranie MS Windows, aby boli používateľské prispôsobenia realizovateľné jednoducho.*
- *Výkonný editor štruktúry výrobku, umožňujúci tesné prepojenie medzi CAD/CAM a kusovníkmi.*
- *Rozsiahle možnosti riadenia firemných procesov (Workflow), individuálne riadenie prístupu k informáciám a pod.*
- *Škálovateľná, rozširiteľná pracovná plocha pre ľahký prístup k individuálnym i celofiremným projektom.*
- *Flexibilné nástroje pre vytváranie aplikačných rozhraní (API) pre zapuzdrenie a integráciu ďalších aplikácií.*
- *Ľahké programovacie nástroje pre prispôsobenie systému vlastným požiadavkám a potrebám.*
- *Alternatíva vo forme PDM pre pracovné skupiny, ľahko rozširiteľného v rámci celej firmy.*
- *Výkonný administrátor systému pre definovanie projektu a zdrojov.*
- *Distribuované databázové prostredie pre optimálne využitie zdrojov a vyšší výkon.*
- *Kvalitné možnosti prevodu údajov pre ich doručenie používateľovi v správnom formáte.*
- *Kompletná podpora noriem ISO 9000, CALS, CITIS, MIL-STD, PDES, STEP, IGES, SDAL, CORBA, FDA, OSHA podľa požiadaviek zákazníka aj legislatívy.*
- *Podpora širokého spektra prístupových ciest pre možnosti implementácie a prístupu z rôznych lokalít.*
- *Podpora heterogénnych systémov, používaných v súčasnosti v danom prostredí, umožňujúca prístup k údajom s čo najnižšími nákladmi, teda podpora klientov pre unixové pracovné stanice, PC, Macintosh, mainframe a pod.*

Ďalšie požiadavky sú tieto

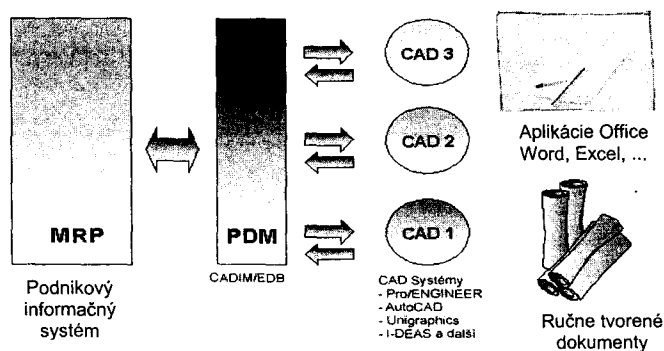
- Diagnostické nástroje a služby pre nájdenie a následné doporučení vylepšení a zmien v prostredí vývoja výrobku.
- Expertízy pre systémovú integráciu a implementáciu, známe taktiež ako doménové expertízy, súbežné inžinierstvo.
- Podpora pre systémový manažment, údržbu staníc, serverov, centrálnych procesorov, operačných systémov, aplikačného softvéru a sieťového hardvéru.

6.6 Charakteristika vybraných PDM systémov

6.6.1 CADIM

Systém CADIM je produktom nemeckej firmy Eigner + Partner AG. Hlavným cieľom tohto systému je zrýchlenie a zjednodušenie prístupu k aktuálnym informáciám, dodržovanie kvality vývojových činností a dohľad nad prístupovými právami. Základný modul CADIM/EDB je inžinierska databáza, umožňujúca správu výrobných údajov. Ďalší modul CADIM/DOC umožňuje digitálnu archiváciu údajov. CADIM možno integrovať s väčšinou CAD systémov: AutoCAD, CATIA, CADAM, CADDS, EUCLID, ME10, MEDUSA, MENTOR, Microstation, RUPLAN, UNIGRAPHICS a taktiež s DTP systémami.

CADIM je možné prevádzkovať v sieťach TCP/IP na pracovných staniciach DEC, HP, IBM, SGI, SUN. Charakterizuje ho trojstupňová architektúra klient/server. Ako klient je možné použiť systém Windows 95/98.



Obr. 6.2 Pozícia systému CADIM v podnikovom informačnom systéme

6.6.2 IMAN

Systém IMAN je produktom firmy Unigraphics Solutions. IMAN umožňuje súbežnú prácu tímov a tým skrátenie času vývoja. Snaží sa pokryť celý životný cyklus výrobku. Integruje údaje o výrobku, technickú dokumentáciu, výrobnú dokumentáciu, audio/video záznamy, atď.

Systém IMAN podporuje rôzne operačné systémy (UNIX, Windows NT, VMS, Novell), obsahuje grafické používateľské rozhranie, nástroje pre ľahký prístup a komunikáciu (Web server).

6.6.3 WorkManager

Systém WorkManager je produktom firmy CoCreate, dcérskej spoločnosti firmy HP. Dokáže spravovať údaje z CAD systémov ME10, SolidDesigner, CATIA, Pro/E a AutoCAD. Do týchto systémov je WorkManager plne integrovaný. S ostatnými systémami dokáže komunikovať cez API. Základnou jednotkou WorkManageru je paket. Paket zahŕňa informácie o projekte, dokumente, formulári, prístupových právach, atď. Je to textový súbor obsahujúci všetky informácie. Celá komunikácia prebieha cez tieto pakety.

Server systému je možné prevádzkovať na Windows NT alebo na platformách UNIX. Klienti podporujú Windows NT/2000, Windows 95/98/Me alebo UNIX.

6.7 Základné funkcie PDM systému (Pro/ENGINEER)

Design Management Extension (DMX)

Modul DMX poskytuje používateľom systému Pro/E schopnosti pre riadenie správy údajov na úrovni podniku pri využití nástrojov www.

Funkcionalita DMX je postavená na module Pro/INTRALINK (VPDM – Virtual Product Data Manager) podporujúcim súbežný vývoj nového výrobku od zabezpečenia, cez organizáciu a zdieľanie údajov vytvorených v Pro/E na úrovni vývojového tímu a následného zdieľania týchto informácií na úrovni podniku.

DMX ponúka nástroje, ktoré umožňujú používateľom v podniku prístup a ovládanie Pro/E cez interaktívne www stránky. Súčasťou DMX sú štandardizované knižnice základných strojových súčiastok a tzv. „human factor“ modely.

Application Data Management

- *Pro/INTRALINK – modul postavený na inteligentnom relačnom databázovom systéme. Umožňuje riadiť vzťahy medzi Pro/E objektmi a asociatívne reagovať na zmeny vo vývojovom procese a tým vytvárať prostredie pre korektne súbežné navrhovanie.*

Prístup k údajom Pro/E cez interaktívne www stránky

- *Funkcionalita je založená na module Pro/Web.link – používateľ DMX môže definovať interaktívne www stránky k prehliadaniu a modifikácii modelov Pro/E.*
- *Umožňuje prístup k údajom Pro/E a ich prípadnú zmenu bez nutnosti znalostí a skúseností s prácou s Pro/E.*

Basic Library

- *Súčasťou DMX sú knižnice štandardizovaných dielov podľa JIS, ANSI, ISO*

Human Factor Library

Knižnica modifikovateľných modelov postáv obsluhy navrhovaného zariadenia. Každý model je definovaný na základe parametrickej skice (*Layout*) a postavu je možné veľmi ľahko modifikovať podľa ergonomických tabuliek.

7 Charakteristika vybraných CAD/CAM systémov

CAD/CAM systémy sú systémy pre spracovanie informácií pre oblasť vývoja a výroby výrobkov. Predstavujú prvú integráciu vyššieho stupňa v rámci koncepcie CIM. Pojem CAD/CAM je používaný v týchto súvislostiach:

- ako podnikový útvar,
- ako technológia,
- ako softvér,
- ako pracovisko pozostávajúce z hardvéru (počítač, CNC stroj) a softvéru.

My budeme pod pojmom CAD/CAM systém v ďalšom texte rozumieť softvér. Jednou z hlavných vlastností CAD/CAM systému je, že dokáže generovať NC program priamo z modelu súčiastky. Tieto systémy integrujú modelovanie súčiastky a zhotovenie technológie vo forme NC programov do jedného systému. Obvykle umožňujú realizovať aj ďalšie funkcie, ako je operatívne riadenie výroby, správa údajov, rôzne analýzy, generovanie dokumentácie a pod.

7.1 EUCLID



Tento systém je produktom francúzskej firmy Matra Datavision. Jeho vznik sa viaže k roku 1981. Následne došlo k fúzii so systémom STRIM 100. STRIM mal na svoju dobu implementované výborné 3D modelovacie technológie. Bol zameraný hlavne na automobilový, letecký a plastikársky priemysel, na zlievárenstvo a výrobu foriem a nástrojov. V týchto odboroch sa dobre uplatňoval jeho integrovaný systém pre návrh, analýzu a výrobu súčiastok zložitých tvarov. Fúzia síce podporila slabšie miesta v systéme EUCLID, ale určila mu istú účelovú jednostrannosť. EUCLID je integrovaný CAD/CAM systém, ktorý tvorí komplexné inžinierske virtuálne prostredie pre návrh, vývoj, konštruovanie a technologickú prípravu výroby nového výrobku. Jeho modulárny charakter umožňuje vytvárať otvorené softvérové konfigurácie, kapacitne a profesne optimálne zabezpečujúce požiadavky inžinierskeho tímu. Je osvedčeným riešením najmä v oblasti plošného modelovania a NC obrábania, t.j. pri výrobe nástrojov, ako sú vstrekovacie formy, ťažné nástroje, lisovacie formy a pod. EUCLID spolupracuje s týmito programami:

EUCLID STYLER - vyspelý plošný modelár, určený pre tvorbu voľne tvarovanej geometrie, určenej pre oblasť priemyselného dizajnu a automobilového návrhárstva.

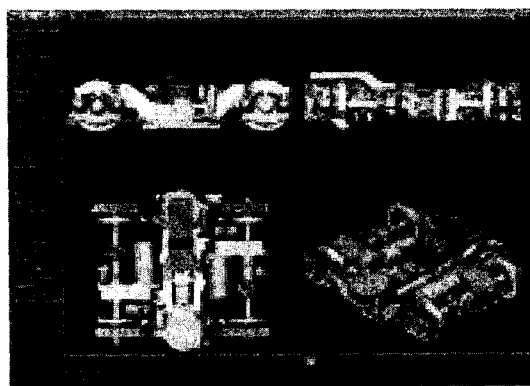
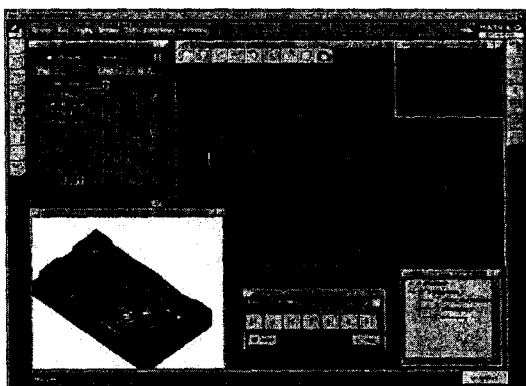
EUCLID DESIGN MANAGER - PDM systém určený k používateľsky prístupnému manažmentu súčiastok, zostáv a procesov vo vývojových útvaroch podniku.

EUCLID MACHINIST - priame generovanie NC programov pre najrozšírenejšie výrobné technológie.

EUCLID DRAFTER - komfortný a mimoriadne výkonný systém pre tvorbu výkresovej dokumentácie kreslením v 2D prostredí.

EUCLID ANALYST - vyspelé prostredie pre analýzu so všetkými inteligentnými a interaktívnymi uľahčeniami, ktoré prináša plne objektovo orientovaná architektúra.

Špeciálna profesne orientovaná konfigurácia systému s názvom MOLDMAKER je výkonným automatizovaným riešením pre komplexný vývoj a technologickú prípravu výroby vstrekovacích foriem. Ďalším profesným riešením je EUCLID/AEC, čo je aplikácia vyvinutá v spolupráci s firmou FRAMATOME, ktorá je určená pre návrh priemyslových prevádzok (betónové stavby s ocelovými konštrukciami a ďalšími stavebnými prvkami; ako sú dvere, schodište, zábradlie a pod., vrátane generovania dispozičných výkresov a izometrického zobrazenia.



7.2 EDS UNIGRAPHICS



Ako názov napovedá, tento CAD/CAM/CAE systém je dielom firmy EDS a Unigraphics Solutions. V každej z CA oblastí dosahuje vynikajúce vlastnosti. Súčasťou tohto jednotného

prostredia je modelovanie i tvarovo veľmi zložitých výrobkov, analýza, tvorba dokumentácie a katalógov, programovanie NC obrábacích a meracích strojov, simulácie týchto procesov, kontrola kvality, správa dát a projektov a integrácia do podnikového informačného systému. Unigraphics je modulárny systém s 50-timi špecializovanými modulmi, ktoré sú zviazané jednotnou grafickou, objektovo orientovanou databázou. Táto štruktúra umožňuje pružne vytvárať konfigurácie siete na mieru pre konkrétne aplikácie. Je plne zabezpečená asociativita ako geometrických informácií, tak operácií s nimi. Tieto základné rysy a jednoznačnosť dát umožňujú realizovať unikátny súbežný prístup tímu odborníkov k práci nad jedným projektom, čo je cesta vedúca k skráteniu vývojového cyklu a uvedenia nového výrobku na trh. V Unigraphicsu je plne integrovaná správa projektov a dát. Pomocou produktu IMAN môže byť koordinovaná práca viac konštruktérov na projekte, s možnosťou definície prístupových práv a kompetencií.

Je postavený na jadre PARASOLID, ktoré používajú i mnohé ďalšie CAD/CAM systémy. Tým vzniká možnosť jednoduchej komunikácie medzi týmito systémami. Naprogramovanie jadra nie je blokované, ale je, naopak, ponúkané ďalším firmám. Táto otvorená platforma má tu obrovskú výhodu, že vytvorené súbory sa neprekladajú, a tým pádom zostáva zachované všetko, čo bolo vytvorené, ako čo do obsahu, tak do histórie vzniku. Táto úplne nová filozofia firmy zaradila UNIGRAPHICS medzi najsilnejší softvér pre 3D modelovanie.

7.3 I-DEAS

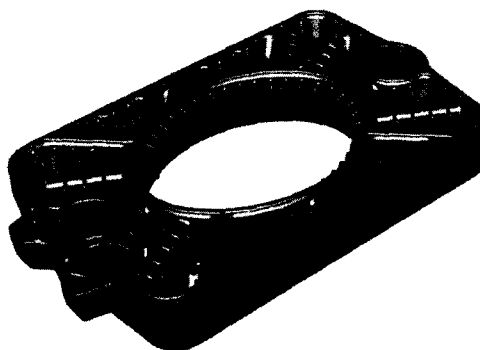
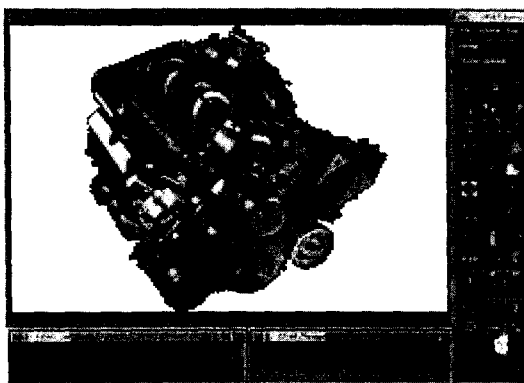


Jeho vznik sa datuje k roku 1967, kedy ho americká firma Structural Dynamics Research Corporation uviedla na trh. Výborné 3D modelovacie technológie tohto komplexného CAD systému doprevádza príjemné grafické používateľské rozhranie. I-DEAS Master Series obsahuje moduly pre všetky inžinierske aplikácie ako 3D modelovanie, 2D kreslenie, komplexnej zostavy, MKP analýzu, kinematiku, NC obrábanie a testovanie prototypov. Špeciálne ikonické menu v spolupráci s jedinečným dynamickým navigátorom umožňuje ľahké a jednoduché zadávanie príkazov. Už po niekoľkých hodinách zoznamovania so

základnými funkciami systému, je konštruktér schopný začať modelovať. Cenovo zaujímavý je nákup produktu I-DEAS Artisan Series, ktorý funkčne úplne zodpovedá funkčnosti Master Series, vďaka čomu predstavuje výborný nástroj pre oblasť konštruovania a výroby. Prenos údajov za do I-DEAS Master Series je bezproblémový a 100-percentný. Významnou udalosťou pre softvér I-DEAS bolo podpísanie kontraktu s americkou firmou FORD. Tá sa zaslúžila o vysokú predajnosť tohto softvérového balíka. Finančná podpora firmy FORD prispela k vzniku nových verzií, vlastnému vývoju a zlepšovaniu produktu. Tento automobilový obor, samozrejme, požaduje používanie tohto softvéru svojimi subdodávateľmi. I-DEAS si získal veľa používateľov taktiež vďaka jednoduchosti v procese učenia pri tvorbe zložitých 3D modelov.

I-deas Master Series MS8 má tieto moduly:

- *Design - pre návrh výrobku,*
- *Manufacturing - pre tvorbu NC programov,*
- *Simulation - pre technické výpočty,*
- *Test - pre testovanie hotových výrobkov,*
- *I-deas WEB Access - pre prehľadávanie I-DEAS dát internetovými prehliadačmi,*
- *Imageware - pre vytvorenie CAD modelov z nameraných dát.*

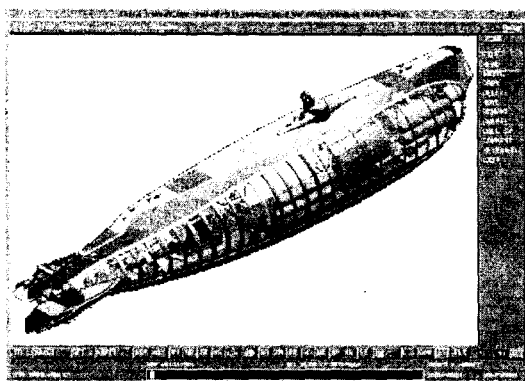


7.4 CATIA

Systém CATIA (Computer-Graphics Aided Three Dimensional Interactive Application) bol vytvorený pre najnáročnejšie modelovanie v kozmickom, leteckom a automobilovom priemysle a rieši najzložitejšie



technicko-technologické problémy v náväznosti na dosiahnuteľné modelovacie techniky. Preto najvyspelejšie svetové technické veľmoci ovplyvňujú ďalšie postupy v tomto systéme, aby vyhovovali ich požiadavkám. Už od počiatku vládla CATIA veľmi kvalitnými 3D modelovacími technológiami. Čoskoro so stal najviac používaným systémom v automobilovom a leteckom priemysle. CATIA je koncipovaná ako tzv. „cord“ systém, čo znamená, že pri vhodnej konfigurácii je schopná pokryť návrhársku prácu od tvorby dizajnu, vlastnej konštrukcie, cez rôzne analýzy, simulácie a optimalizácie, až po tvorbu dokumentácie a NC programov pre vlastnú výrobu. Po celú dobu procesu vývoja zostáva plná previazanosť medzi výkresom, modelom a NC programom, čo umožňuje ľahké a rýchle modifikácie v akejkolvek fáze vývoja produktu. Ďalšou prednosťou je modulárna a otvorená architektúra, ktorá umožňuje jednoducho vyvíjať vlastné nadstavby a implementovať ich do CATIA prostredia. V súčasnej dobe ponúka takmer 50 rôznych konfigurácií a viac ako 120 produktov. Dlhoočakávaná verzia CATIA V5 bola napísaná tak, aby mohla bežať tak na NT, ako na UNIX platformách. Nejedná sa teda o portovanie UNIXovej verzie na Windows NT, ale o systém, ktorý je schopný plnohodnotne využiť oba operačné systémy. Na Windows NT je to, napríklad, možnosť OLE prepojenia medzi CATIA dokumentmi a Office aplikáciami (Word, Excel ...). Na všetkých platformách vyzerá aj funguje CATIA používateľské prostredie rovnako, vrátane napríklad možnosti „Drag and Drop“. Jednou z najdôležitejších vecí je možnosť spolupráce medzi V4 a V5. Produkt V4 Integration poskytuje obojsmernú kompatibilitu dát. Umožňuje dokonca kombinovať dáta V5 i V4 v rámci jednej zostavy. Systém CATIA je používaný vo všetkých oblastiach priemyslu. Pre konštruovanie výrobkov používajú tieto systémy, napr. Boeing, IBM alebo LUX. Používa sa i pre návrh a konštruovanie lodí, či priemyselných prevádzok. Najrozšírenejšia je CATIA v automobilovom priemysle. Používajú ju veľké automobilky, ako Chrysler, BMW, VW alebo ŠKODA. Viac ako 50 % používateľov sú malí výrobcovia s menej ako piatimi pracoviskami. Asi najvýstižnejšie o programe CATIA hovorí tá skutočnosť, že bol vybraný ostatnými spoločnosťami ako formát prevodu dát medzi ich produktmi. CATIA sa tak stala nepísaným etalónom v 3D modelovaní. Pri vlastnej práci ponúka možnosť prevodov dát medzi formátmi DXF, DWG, IGES, STEP a ALIAS.



7.5 Pro/ENGINEER a CADD5



Na začiatku bol vznik špičkového CAD/CAM/CAE produktu firmy COMPUTERVISION s názvom CADD5. Jeho plne 3D modelovacie technológie a špičkové plošné modelovanie bolo využívané od konštruovania automobilov a lodí, až po návrh lietadiel. Tvorcovia CADD5 však zaspali na vavrínoch, a tak boli ich akcie odkúpené firmou Parametric Technology Corporation. Tá so od svojich začiatkov pustila do vývoja systému Pro/ENGINEER. Jedná sa o plne parametrický CAD/CAM/CAE systém, založený na konštrukčných prvkoch (Feature-Based) a objemovom modelovaní telies (Solid Modeling). Je určený pre podporu celého produkčného procesu od vývoja a konštruovania až po výrobu. Sústava produktov systému Pro/ENGINEER 2000i2 obsahuje 35 modulov, ktoré sú zamerané na rôzne aplikácie (automobilový, lodný priemysel, termálna, štruktúrna analýza, ...) Jadro systému, základný modul Pro/ENGINEER, môže byť využívané samostatne, alebo v kombinácii s ďalšími modulmi podľa používateľských požiadaviek. Pre mimoriadny výkon systému sú rozhodujúce dve hľadiská – plná parametrizácia a konštrukčné prvky. Navyše, jednotná dátová štruktúra zaisťuje plnú previazanosť cez všetky inžinierske činnosti. Zmeny počítačového modelu, realizované v ktorejkoľvek fáze vývoja produktu (v koncepčnom návrhu, pri detailovaní, pri analýzach, pri definícii výrobných operácií apod.), sa automaticky premietnu do všetkých ostatných oblastí projektu. Táto vlastnosť je prirodzená pre všetky aplikácie systému Pro/ENGINEER, dovoľuje vykonávať práce pri vývoji výrobku bez rizika, že zmeny spôsobia neaktuálnosť niektorých častí projektu. Výsledkom je skrátenie vývojového cyklu, umožnenie optimalizácie návrhu a zvýšenie celkovej kvality pri optimalizácii výrobných a produkčných nákladov.

8 Pro/Engineer

CAD/CAM systém Pro/ENGINEER bol vyvinutý firmou Parametric Technology Corporation (PTC) v roku 1985. Od zavedenia prvej verzie bol postupne zdokonaľovaný a rozširovaný. Pôvodnou platformou bol operačný systém UNIX. V súčasnosti je podporovaná aj platforma MS Windows. Najnovšia verzia s označením Pro/ENGINEER Wildfire (2002) má používateľské rozhranie podobné rozhraniu operačného systému Windows XP.

Pro/ENGINEER je plne parametrický a asociatívny 3D CAD/CAM systém, zahrňujúci viac ako 90 špecializovaných softvérových modulov, podporujúcich celý proces vývoja výrobku od fázy koncepčného návrhu, až po prípravu výrobných údajov. Asociativita a parametrický opis objemovej geometrie znižujú náklady na realizáciu zmien. Pro/E obsahuje ucelenú sadu softvérových nástrojov pre paralelný vývoj od fázy návrhu, cez detailizáciu, tvorbu konštrukčnej dokumentácie s možnosťou výstupov v štandardoch *www*, analýzu a optimalizáciu, NC obrábanie a verifikáciu. Dopĺňa ho otvorený PDM (Proces Data Management) systém Pro/INTRALINK, aplikácia pre vizualizáciu údajov Division a knižnica 3D normálií InPART dostupná na internete.

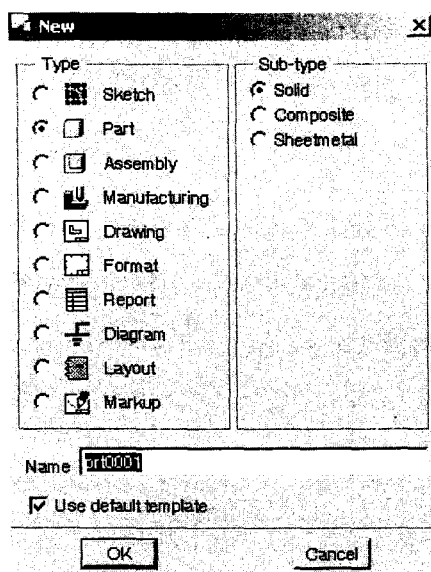
8.1 Princíp práce

Základom systému Pro/E je 3D objemový modelár (Parasolid resp. Granit One). Založený je na postupnom modelovaní telesa pomocou tzv. tvarových (konštrukčných) prvkov (*features*). Systém zabezpečuje kontrolu integrity modelu a neumožňuje vygenerovať modely kategórie „nonsense“. Systém založený na tvarových prvkoch (*feature based*) znamená, že teleso (súčiastka, diel) je definované postupnosťou prvkov, ako pridanie a odobratie objemu (materiálu), ako sú diera, rebro, zaoblenie a zrazenie hrany, škrupina, potrubie a pod. Systém je parametrický, čo znamená, že model telesa je definovaný prvkami, ktorým sú priradené určité rozmery a väzby (*constraints*). Jednotlivé rozmery možno meniť a zmena potom spôsobí aktualizáciu celého modelu. Pro/E je plne asociatívny systém, čo znamená, že zmena v ktorejkoľvek časti sa prejaví aj v častiach súvisiacich. Pre opis činností sa využíva jednotná databáza. Táto vlastnosť podporuje paralelné inžinierstvo.

Pri modelovaní sa teleso vytvára postupným (sekvenčným) pridávaním prvkov (skicované, referenčné, pomocné). Najprv je potrebné vytvoriť základný prvok pridaním objemu

(*protrusion*) a až potom možno používať ďalšie prvky, ktorými pridávame, alebo odoberáme objem. Princíp práce z pohľadu používateľa je založený na postupnosti krokov: *najprv definuj postup zhotovenia modelu (modelovania) a potom definuj vlastnosti (atribúty)*. Vzhľadom k takémuto sekvenčnému spôsobu práce je potrebné si pred samotným modelovaním vytvoriť koncepciu, ako bude model vytváraný. Inak sa môže stať, že po niekoľkých krokoch zistíme, že sa nedá ďalej pokračovať zamýšľaným postupom a musíme začať znova. Pretože objemové modelovanie v Pro/E je kumulatívny proces, musia isté prvky predchádzať iné. Tie, ktoré nasledujú, sú v relácii s prvkami skôr definovanými prostredníctvom okótovania a geometrických väzieb. Vzťah medzi prvkami a prvkami, ktoré na ne odkazujú, sa nazýva vzťah rodič-potomok (*parent-child*). Môžu existovať rodičia bez potomkov, ale nie je možná existencia potomka bez svojho rodiča. Ak je rodič zmodifikovaný, sú jeho potomkovia automaticky upravení podľa zmien jeho geometrie. Zmeny v návrhu sú prenesené do modelu. Niektoré prvky, ako napr. zaoblenia a zrazenia hrán, je výhodnejšie, pokiaľ je to možné, vytvárať na konci procesu modelovania. Umožňuje to rýchlejšiu a jednoduchšiu manipuláciu s modelom.

Napriek tomu, že sa jedná o 3D modelovací systém, poskytuje aj možnosť kreslenia v tzv. režime *Sketcher* (skicár). Tento režim umožňuje efektívne definovať geometriu pre tzv. 2,5 D telesá. Do tohto režimu možno vstúpiť priamo výberom tlačidla *Sketch* z dialógového panelu *New*, z položky hlavného menu *File*, alebo sa systém prepne do tohto režimu automaticky pri modelovaní telesa (režim *Part*).



Obr. 8.1 Režimy práce systému Pro/E

Pro/E vytvára výkres iba ako opis modelu. Medzi výkresom a modelom je úplná asociativita.

Pro/E má niekoľko tzv. režimov práce. V predchádzajúcich verziách boli tieto rôzne pracovné prostredia označované ako *Mode*, v súčasnosti ako *Type*. Každý režim má svoje vlastné typy objektov a spôsob práce. Základné režimy práce sú tieto:

- Sketcher – kreslenie skíc,
- Part – modelovanie telies (súčiastok, dielov),
- Assembly – tvorba zostáv,
- Drawing – generovanie technických výkresov.

Tabuľka 8.1 Režimy práce Pro/E

Režim (Type)	Opis činnosti
Assembly	Tvorba zostáv z telies a podzostáv.
Diagram	Vytváranie 2D schém elektrických, potrubných, silových, vykurovacích a klimatizačných zostáv.
Drawing	Vytváranie technických výkresov s použitím dielov a zostáv, alebo jednoduchých 2D kreslených entít.
Format	Vytváranie a modifikácia formátov výkresov použitých inými produktmi Pro/E.
Layout	Import 3D údajov a 2D výkresov do Pro/E z iných CAD systémov a ich aktualizácia pomocou optimalizovaných nástrojov pre prácu s hranovými modelmi, plochami a 2D údajmi.
Manufacture	Vytváranie údajov pre riadenie NC strojov, simulácia procesu obrábania, analýza procesu obrábania a pod.
Markup	Označovanie výkresu dielu alebo zostavy bez zmien samotných objektov.
Part	Vytváranie objemových modelov telies.
Report	Vytváranie používateľských rozpisiek a formulárov zmenového riadenia.
Sketch	Kreslenie náčrtov prvkov a parametrických formátov výkresov. Je prístupný tak z ponuky File>New, ako aj z režimov Part a Assembly.

8.2 Používateľské rozhranie

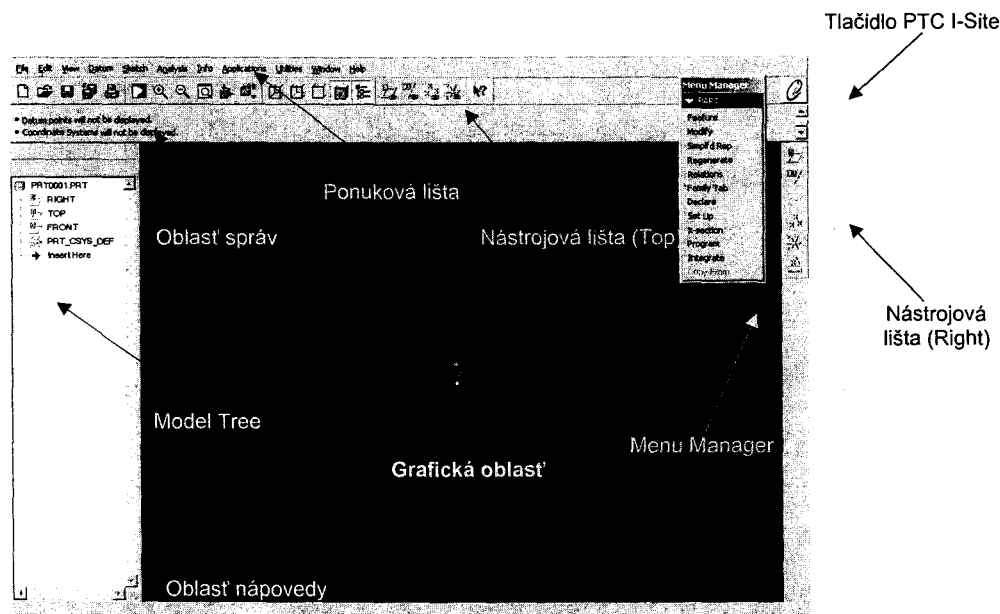
Pro/ENGINEER zobrazuje každý objekt v okne, obsahujúcom ponukovú lištu (menu bar), nástrojovú lištu (toolbar), oblasť (okno) správ (message window) a jednoriadkovej nápovedy (help window). Pri modelovaní zobrazí ďalej okno manažéra ponúk (menu manager) a stromu modelu (model tree). Systém je viacúlohový, umožňuje otvoriť súčasne viac okien, ale len jedno je aktívne. Základné okno (base window), z ktorého sú otvárané všetky ostatné okná, nemožno zavrieť. Niektoré funkcie možno spustiť aj v neaktívnych oknách. Zobrazia sa v ich ponukách ako prístupné položky.

Ponuková lišta obsahuje tieto položky ponúk:

- *File* - obsahuje príkazy pre prácu so súbormi (vytváranie, otváranie, ukladanie, tlač, import a export a pod.).
- *Edit* - obsahuje voľby pre editovanie prvku (modifikovanie, predefinovanie, presmerovanie a pod.).
- *View* - obsahuje príkazy pre ovládanie zobrazovania modelu a výkonu zobrazovania.
- *Datum* - obsahuje príkazy pre vytváranie pomocných prvkov (datums). Vo verzii 2001 je položka označená Insert.
- *Sketch* - obsahuje príkazy pre prácu v režime sketcher. Vo verzii 2001 nie je položka k dispozícii.
- *Analysis* - obsahuje príkazy pre výpočty rôznych charakteristík

- *Info* - obsahuje príkazy pre spúšťanie dotazov a generovanie správ (napr. výpis kusovníka).
- **Applications** - podporuje prístup k modulom Pro/E.
- *Utilities* - obsahuje príkazy pre úpravu používateľského rozhrania a ďalšie nástroje.
- *Window* - obsahuje príkazy pre otváranie, zatváranie a prepínanie okien.
- **Help** - obsahuje príkazy prístupu k online dokumentácii, kontextovo závislým nápovedám a sprievodcom.

Ak je príkaz ponuky neprístupný, potom sa objaví ako šedý (dimmed).








Obr. 8.2 Používateľské rozhranie

Nástrojová lišta pozostáva z tlačidiel a je tematicky rozdelená na niekoľko oblastí (správa súborov, riadenie zobrazenia, kontextovo senzitivná nápoveda). Môže byť umiestnená hore, vpravo alebo vľavo (Top, Right, Left), podľa konfigurácie používateľa. Okno **Model Tree** zobrazuje stromovú štruktúru vytvoreného modelu a vzťahy rodič-potomok.

Okno **Menu Manager** obsahuje príkazy pre modelovanie a zobrazuje aktuálnu postupnosť rozpracovaných príkazov a parametrov. Niektoré položky obsahujú vyplnené trojuholníkové značky, výberom ktorých sa okno otvorí alebo uzavrie.

Okno správ zobrazuje rôzne výzvy systému a umožňuje zadávať príkazy a parametre z klávesnice. Možno ho umiestniť nad alebo pod grafickú oblasť. Veľkosť okna je

nastaviteľná posúvaním jeho okraja. Správy sú rozdelené do piatich kategórií, označené grafickými symbolmi:

-  dotazovacie správy,
-  informačné správy,
-  varovné správy,
-  chybové správy,
-  kritické správy.

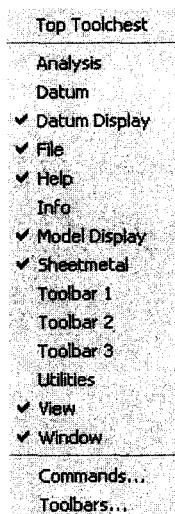
Minulé správy (Message Log) je možné si nechať zobrazit' cez položku menu **Info**. Pri pohybe kurzorom myši nad názvom položiek ponúk alebo ikonami nástrojovej lišty, sa objavia tzv. **tooltips** - krátke popisy daných príkazov.

Okno **Model Tree** (strom modelu) poskytuje nástroje pre prácu s už vytvorenými objektmi:

- *Zobrazuje zoznam objektov prístupných počas práce, napr. otvorením zostavy strom modelu zobrazí všetky komponenty zostavy.*
- *Umožňuje vybrať určité prvky pre rôzne operácie, napr. môžeme vybrať prvok v telese pomocou stromu modelu zadáním mena prvku, bez nutnosti meniť aktuálny pohľad.*
- *Umožňuje spúšťať bežné príkazy nad vybranými prvkami, napr. ak klikneme pravým tlačidlom nad prvkom v strome modelu, vytvoríme poznámku. V strome modelu môžeme vybrať zostavu a vytvoriť nové teleso pre túto zostavu.*
- *Umožňuje zobrazit' detailné informácie o každom objekte, napr. typ prvku, ID prvku, jeho meno.*
- *Umožňuje vytváranie nových informačných parametrov nad vybranými prvkami.*
- *Poskytuje vyhľadávacie schopnosti. Všetky objekty počas práce so systémom môžeme prehľadávať podľa zabudovaných alebo používateľsky definovaných kritérií.*

Akcelerátory sú klávesové skratky k položkám a príkazom hlavného menu. Používajú sa súčasným stlačením klávesu CTRL a príslušného písmena. Napr. CTRL+S uloží model, CTRL+P vytlačí model na ploti, CTRL+A aktivuje okno, CTRL+R prekreslí model, CTRL+D zobrazí prednastavený pohľad, CTRL+N otvorí nový súbor, CTRL+O otvorí existujúci súbor. K položkám ponuky (menu) môžeme pristupovať aj súčasným stlačením klávesov ALT a podtrhnutého písmena, ktoré sa vyskytuje v názve položky menu.

Pomocou roletovej (pop-up) ponuky **Toolchest** môžeme upravovať ponukovú a nástrojovú lištu a meniť ich umiestnenie. Ponuku **Toolchest** získame stlačením pravého tlačidla myši, keď sa kurzor nachádza na nástrojovej lište (Top, Left, Right).



Obr. 8.3 Roletová ponuka Toolchest

Pravé tlačidlo myši slúži aj na vyvolanie ďalších roletových ponúk pri umiestnení kurzora do danej oblasti.

Príkazy v Pro/E sa štandardne zadávajú myšou z grafického používateľského rozhrania. Pre vstup niektorých príkazov možno použiť aj klávesnicu. Potrebne je napísať do oblasti nápovedy príkaz a meno ponuky a potom stlačiť kláves ENTER. Napr. zápis `feature@part` zvolí v ponuke **PART** menu manažéra príkaz **Feature**.

Vstup údajov z klávesnice je potrebný len vtedy, ak o ne vyzve systém. Potom sa zobrazí dotazovacie pole s predvolenou hodnotou, ktorú možno zmeniť.



Obr. 8.4 Pole pre vstup údajov z klávesnice

Ak je ako vstup v dotazovacom poli požadované číslo, môžeme vložiť aritmetický výraz. Napr: `2 * ((3/8) / 7) + ceil(d5)`

Podporované sú tieto aritmetické operátory:

- + *súčet*
- – *rozdiel*

- / *podiel*
- * *súčin*
- () *zátvorky pre štrukturovanie výrazu, napr. $d0=(d1-d2)*d3$*
- ^ *mocnina*

Číslo môže byť zadané v desatinnom tvare alebo v tvare zlomku. Nevlastné zlomky musia byť zadané ako súčet čísla a zlomku vlastného, napr. číslo $1\frac{5}{8}$ musí byť zapísané ako $1+5/8$ a tak sa aj zobrazí.

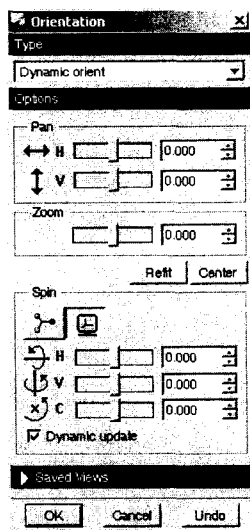
Keď Pro/E pri vykonávaní príkazu očakáva vstup údajov (v oblasti, kde sa zobrazujú správy systému), nie je možné nič vybrať z otvorených menu, až kým nebudú požadované údaje vložené. Toto býva častá príčinou zdanlivého "zamrznutia" systému, ale v skutočnosti Pro/E len čaká na vstup z klávesnice.

Každá položka ponuky končiaca tromi bodkami (...) signalizuje, že jej výber zobrazí dialógový panel (dialóg).

Niektoré dialógy poskytujú niekoľko spolu súvisiacich funkcií (multifunkčné dialógy). Napr. dialóg **Orientation** poskytuje funkcie pre zmenu orientácie, zväčšovanie a zmenšovanie, posúvanie, otáčanie a pod.

Pro/E umožňuje upravovať používateľské rozhranie. Jednou z možností je definovanie tzv. klávesových makier (Mapkeys). Pomocou tohto mechanizmu môžeme:

- *Vytvárať klávesové makrá (často používané sekvencie klávesov, spúšťané akcelerátorom).*
- *Pridávať ikony makier do nástrojovej lišty a umiestniť na ne štítky s popisom.*
- *Vkladať popisy makier pre zachovanie prehľadu o makrách.*



Obr. 8.5 Multifunkčný dialógový panel (View>Spin/Pan/Zoom...)

8.2.1 Práca s myšou

Myš (trojtlačidlová) je štandardným vstupným zariadením pre výber objektov a pre zadávanie príkazov z menu. Ak nás systém vyzve zadať nejaký objekt, potom zobrazí ponuku (menu) s týmito voľbami:

- **Pick** – umožňuje vybrať viditeľnú geometriu modelu. Výber uskutočníme ľavým tlačidlom myši.
- **Query Sel** – umožňuje vybrať viditeľnú aj skrytú geometriu modelu. Používa sa aj vtedy, ak je objekt veľmi malý, alebo sa objekty prekrývajú. Po tejto voľbe vyberieme objekt kliknutím na ľavé tlačidlo myši. Označený objekt sa zvýrazní červenou farbou a otvorí sa ďalšia ponuka s voľbami:
- **Accept** - pre akceptáciu vybratej geometrie
- **Next** – pre presun na ďalšiu položku geometrie
- **Previous** – pre presun na predchádzajúcu položku geometrie.
- **Sel By Menu** – umožňuje výber položiek geometrie podľa mien.

Význam tlačidiel myši je definovaný kontextovo senzitivne a závisí od režimu práce, v ktorom sa nachádzame.

Tabuľka 8.2 Základné funkcie tlačidiel myši

Režim práce	Ľavé tlačidlo	Stredné tlačidlo	Pravé tlačidlo
Výber prvkov	Výber	Potvrdenie výberu	Výber s dotazom (Query Sel)
Výber s dotazom (Query Sel)	Výber	Potvrdenie ponuky (Accept)	Ďalšia možnosť (Next)
Dynamické riadenie pohľadu (myš+CTRL)	Zmena mierky (Zoom)	3D rotácia (Spin)	Posúvanie (Pan)
Zmena mierky (myš+CTRL)	Výber protiľahlých rohov výrezu		

8.2.2 Súbory

Pro/E používa unifikované označovanie súborov pre zjednodušenie ich správy. Používateľ určuje vo väčšine prípadov len meno objektu (modelu). Ostatné realizuje systém. Pro/E používa množstvo rôznych typov súborov, ako napr. tzv. objektové súbory (object files), v ktorých sú uchovávané údaje o jednotlivých objektoch, dočasné súbory a súbory pre export údajov (interface files). Tieto súbory slúžia na export údajov do iných programov a pre tlač a používajú tú istú konvenciu ako súbory objektové. Dočasné súbory (temporary files) slúžia na uchovávanie dočasných informácií pre urýchlenie práce systému a poskytovanie výstupu pre používateľa. Prehľad základných používaných typov súborov je uvedený v tabuľkách 8.3a 8.4. Dočasné súbory (označené v tabuľke 8.3 znakom *) možno vymazať. Nie je ale povolené vymazať z úrovne operačného systému objektové súbory.

Pre mená objektových súborov platí nasledujúca konvencia:

`object_name.object_type.version_number`

Položka *object_name* je reťazec dĺžky max 31 znakov. V názve nemožno používať medzery, zátvorky, bodky, ako ani ďalšie nealfanumerické symboly ako "!", "@", "#" a pod. Nerozlišujú sa veľké písmená. Ďalšia položka *object_type* identifikuje typ súboru a *version_number* je systémom generované poradové číslo súboru, ako napr. s2d0001.sec, s2d0002.sec, atď. pre skice.

Tabuľka 8.3 Objektové a objektovo-závislé súbory

Meno súboru	Opis
asm####.asm	Štandardné meno zostavy.
assemblyname.asm	Zostava s používateľským menom.
assemblyname.als	Zostava modulu Pro/Program.
assemblyname.bom*	Súbor kusovníka (Bill of Material).
assemblyname.ptd*	Súbor Family Table pre zostavu.
assemblyname_a.wrl	Súbor pre export do formátu VRML.
color.map	Používateľsky definovaná paleta farieb.
config.pro	Konfiguračný parameter.
curv#.dat*	Dátový súbor obsahujúci informácie o krivke.
dgm####.dgm	2D schematický diagram so štandardným menom.
drw####.drw	Výkres so štandardným menom.
drawingname.drw	Výkres s používateľským menom.
feature.inf*	Súbor vytvorený voľbou Info>Feature List .
filename_amp.dat*	Súbor priradených hmotnostných charakteristík.
filename.ibl	Súbor obsahujúci údaje pre vytvorenie prvku Blend.
filename.inf*	Informačný súbor vytvorený pomocou voľby Info .
filename.lgh	Súbor obsahujúci informácie o osvetlení.
filename.ncl*	CL data pre obrábanie.
filename.pts	Súradnice bodov spline kriviek.
filename.scl	Definícia systémových farieb.
filename.shd*	Súbor obsahujúci vytieňovaný pohľad.
filename.tph*	Súbor obsahujúci informácie o dráhe obrábania.
iges_stats.dat*	Súbor priebehu spracovania procesorom IGES.
machinename.mac	Údaje o obrábacom stroji.
menu_def.pro	Súbor parametrov štandardných ponúk.
modelname.wrl	Súbor pre export údajov do formátu VRML.
partname.pls	Súbor súčiastky pre Pro/Program.
partname.prt	Súčiastka so zadaným menom.
partname.m_p*	Súbor hmotnostných charakteristík súčiastky.
partname.ptd*	Family table pre súčiastku.
partname_p.wrl	VRML export súčiastky.
partname_pr#.wrl	Súbor výsledkov súčiastky vo formáte VRML.
prt####.prt	Súčiastka so štandardným menom.
rels.inf*	Informačný súbor relácií, ktorý sa vytvorí voľbou Info>Relations and Parameters .
reviewref.info*	Súbor vytvorený pri zhavarovaní regenerácie prvku.
s2d####.sec	Skica so štandardným menom.
sectionname.sec	Skica so zadaným menom.
spline.pts	Súbor súradníc bodov spline krivky so štandardným menom.
toolname.tpm	Údaje o obrábacích nástrojoch.
training_file.txa	Súbor training.
trail.txt*	Trail súbor so štandardným menom.
xsectionname.m_p*	Súbor hmotnostných charakteristík pre rez.

Tabuľka 8.4 Súbory pre export údajov

Meno súboru	Opis
<i>objectname.igs</i>	Súbor formátu GES s menom objektu.
<i>objectname.plt</i>	Súbor pre ploter s menom objektu.
<i>objectname.neu</i>	Neutrálny súbor Pro/E s menom aktívneho objektu.
<i>objectname.set</i>	Súbor s formátom SET s menom súčiastky alebo výkresu.
<i>drawingname.dxf</i>	Súbor formátu DXF.
<i>filename.stl</i>	Súbor formátu STL (stereolitografia) s daným menom.
<i>filename.spl</i>	Súbor formátu RENDER.
<i>partname.ans</i>	Výstupný súbor formátu ANSYS s menom aktívnej súčiastky.
<i>partname.unv</i>	Súbor formátu geometrie SUPERTAB (môže byť aj súbor pre FEM).
<i>partname.vda</i>	VDA Surface Data Interface.
<i>partname.pat</i>	Výstupný formát PATRAN.
<i>partname.nas</i>	Výstupný formát NASTRAN.

8.2.3 Úprava používateľského rozhrania

8.2.3.1 Konfiguračné súbory

Pro/E obsahuje dva dôležité konfiguračné súbory: *config.pro* a *config.win*.

Súbor *config.pro* je textový súbor a obsahuje konfiguračné nastavenia, ktoré definujú spôsoby práce systému Pro/E. Súbor *config.win* obsahuje konfiguračné nastavenia používateľského prostredia (nastavenie príkazov, Model Tree a Message Window).

Každé nastavenie v konfiguračnom súbore je volané konfiguračným parametrom. Pro/E priradzuje každému parametru štandardnú hodnotu. Konfiguračné parametre môžeme nastaviť alebo zmeniť. Parametrami môžeme nastaviť napr.:

- zobrazenie formátov tolerancií,
- výpočtovú presnosť,
- počet znakov v kótach pri skicovaní,
- obsah nástrojových lišt,
- veľkosť a umiestnenie okna Model Tree.

Ďalší konfiguračný súbor *config.sup* je systémový konfiguračný súbor, jeho hodnoty nemožno zmeniť.

Pro/E môže načítať konfiguračné súbory z niekoľkých miest. Ak je niektorý parameter uvedený vo viacerých súboroch, potom Pro/E použije ten, ktorý prečíta ako posledný.

Pri štarte číta Pro/E najprv chránený systémový konfiguračný súbor *config.sup* a potom konfiguračné súbory z adresárov v poradí, v akom sú uvedené v nasledujúcom zozname:

- adresár, kam bol Pro/E inštalovaný,
- používateľský adresár, ktorý patrí používateľovi pri prihlásení sa do systému,
- aktuálny pracovný adresár, z ktorého sa Pro/E spúšťa.

Lokálny *config.pro* (v pracovnom adresári) bude načítaný ako posledný a jeho voľby prepíšu už definované voľby z predchádzajúcich konfiguračných súborov. Nemôže ale zmeniť voľby definované v *config.sup*.

Konfiguračný súbor *config.pro* používa formát:

meno_volby hodnota

kde *meno_volby* je voľba, ktorej priradíme hodnotu, reprezentovanú konštantou hodnotou. Ak niektorú voľbu nedefinujeme, potom Pro/E použije implicitnú hodnotu. Napr. implicitne sa Pro/E ukončí bez toho, aby upozornil na neuložené súbory, lebo voľba *prompt_on_exit* je nastavená implicitne na **no**. Toto nastavenie môžeme zmeniť pridaním tohto riadku do konfiguračného súboru:

prompt_on_exit yes

Konfiguračný súbor môže obsahovať aj komentáre. Sú to riadky začínajúce výkričníkom „!“.

Existujú dve možnosti, ako zmeniť obsah konfiguračného súboru *config.pro*:

- otvoriť súbor pomocou textového editora (nap. *Notepad* alebo *Word*) a editovať konfiguračné parametre priamo,
- modifikovať konfiguračné parametre pomocou dialógu **Options** (**Utilities>Options**).

Všeobecne platí, že nastavenia v *config.pro* by sa mali zmeniť pred spustením systému. Ak potrebujeme zmeniť nastavenia počas práce, potom môžeme použiť dialóg **Environment** (**Utilities>Environment**).

Nastavenie konfiguračného súboru *config.win* je možné realizovať len počas práce so systémom pomocou dialógu **Customize** (**Utilities>Customize Screen**). Môžeme mať viac verzií súboru *config.win* pre rôzne nastavenia používateľského prostredia.

8.2.3.2 Ponuka Utilities

Ponuka **Utilities** z ponukovej lišty umožňuje meniť používateľské rozhranie vrátane farieb. Pre možnosť orientovať sa v menu systému a odkazovať naň, zavedieme konvenciu pre formálny zápis výberov volieb (príkazov):

Postupnosť príkazov z menu budeme zapisovať:

menu1>menu2>menu3

Výberom príkazov sa otvorí ďalšie okno s novým menu (ponukou), v ktorom sa bude vykonávať ďalší výber.

Výber volieb z viacerých sekcií jedného menu zapíšeme:

option1|option2|option3

Výber volieb sa uskutoční v rámci jedného okna (dialógu, panelu) s ponukou.

Pr.:

Feature>Create>Solid>Protrusion>Extrude|Solid|Done

je sekvencia príkazov z okna **Menu Manager** na vytvorenie tvarového prvku pridaním materiálu metódou extrúzie.

Editovaním konfiguračného súboru **config.pro** z ponuky **Utilities** môžeme nastaviť pracovné prostredie, v ktorom budeme pracovať po spustení systému:

Utilities>Preferences

resp. vo verzii 2001

Use Preferences>Load Config

Preferences>Edit Config

Po ukončení úprav je potrebné konfiguračný súbor znova načítať.

Niektoré nastavenia prostredia môžu byť menené aj počas behu programu pomocou voľby (dialógu) **Environment**.

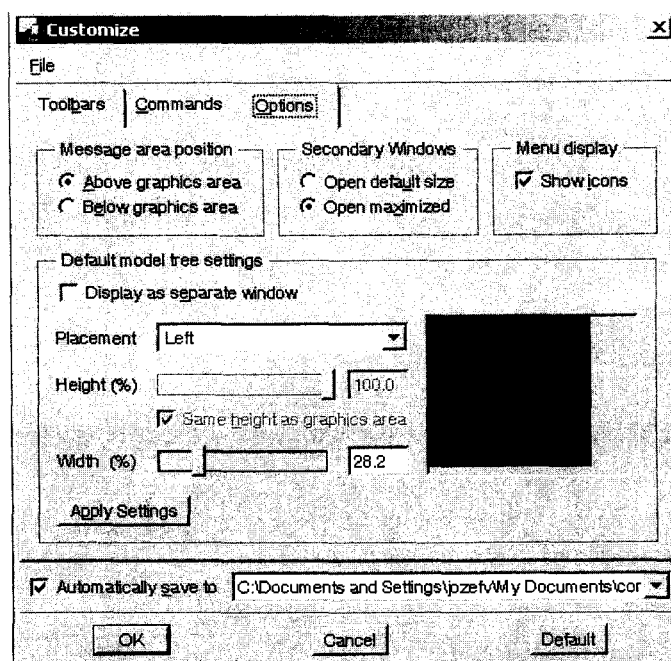
Pomocou dialógu **Environment** môžeme meniť prostredie systému. Dialógový panel umožňuje **pomocou** prepínačov nastaviť:

- *spôsob, akým budú zobrazené modely (implicitná orientácia, skryté hrany, dotyčnicové hrany),*
- *zobrazenie pomocných prvkov, stredu otáčania, stromu modelu a ďalších voliteľných vlastností,*

- chovanie systému (zvukové znamenia, zálohovanie a pod.).

Dialóg **Customize Screen** z ponuky **Utilities** môžeme použiť na:

- pridávanie, mazanie a posúvanie ikón nástrojovej lišty (karta **Toolbars**),
- nastavenie implicitných príkazov ponúk (karta **Options**),
- pridávanie príkazov do ponúk (karta **Commands**).



Obr. 8.6 Dialógový panel **Customize**

Pomocou dialógu **System Colors** vyvolaného voľbou

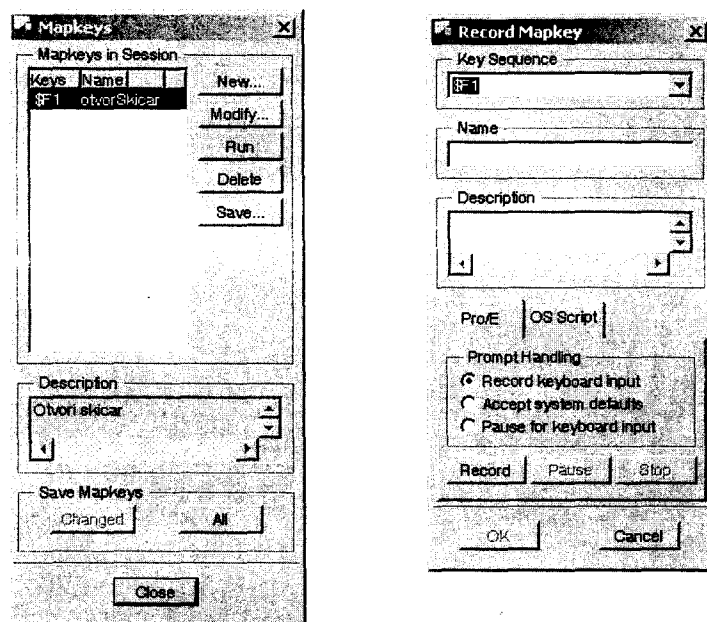
Utilities>Colors>System

môžeme meniť systémové farby, ktoré Pro/E používa pre zobrazenie geometrie, zobrazenie pomocných prvkov, text, pozadie a ďalšie vlastnosti. Všetky farby môžu byť modifikované aj pomocou volieb konfiguračného súboru.

Pomocou dialógu **Entity Color** je možné upraviť farby použité pre zobrazenie určitých entít, ako napr. pomocných rovín alebo hrán plátov (quilt).

8.2.3.2.1 Definovanie klávesových makier (mapkeys)

Pri definícii makra umožňuje dialóg **Record Mapkey** zadať meno a opis makra. Meno sa zobrazí na tlačidle v nástrojovej lište a opis makra sa zobrazí ako jednoriadková nápoved', keď sa kurzor myši pohybuje nad daným tlačidlom.



Obr. 8.7 Dialógové panely pre definovanie makier (Utilities>Mapkeys)

Tabuľka 8.5 Význam tlačidiel dialógu Mapkeys

Tlačidlo	Funkcia
New	Definuje nové makro.
Modify	Upraví makro vybrané zo zoznamu.
Run	Spustí vybrané makro.
Delete	Vymaže vybrané makro.
Save	Uloží makrá do konfiguračného súboru.
Changed	Uloží len makrá zmenené počas aktuálneho sedenia (session).
All	Uloží všetky makrá.

Klávesové makrá umožňujú:

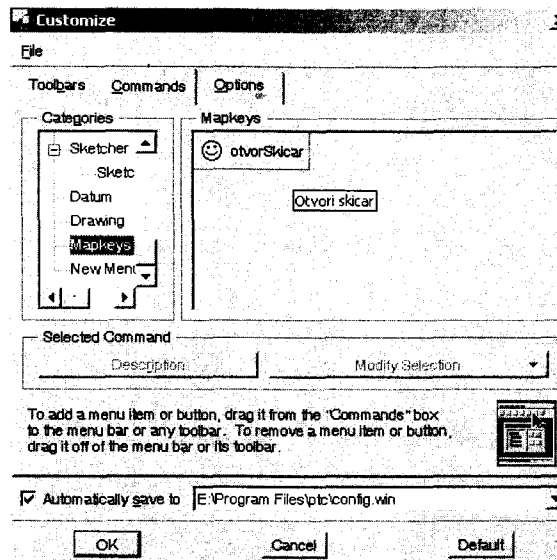
- zastaviť vykonávanie akcií (pause) pre interakciu používateľa,
- pružné ovládanie vstupu z okna správ,
- spustiť príkazy operačného systému.

Počas definície makra systém automaticky vloží prestávky (pause) do miest, kde sa vyberali objekty na obrazovke, čo umožní interaktívny výber objektov po spustení makra. Pozastavenie behu makra možno docieľiť tiež použitím dotazovacích dialógov, ktoré žiadajú vstup od používateľa.

Definovanie nového makra

1. Zvoliť Utilities>Mapkeys.
2. Kliknúť na tlačidlo New a zobrazí sa dialóg **Record Mapkey**.
3. Zadať do poľa *Key Sequence* postupnosť klávesov, ktorá bude použitá pre spúšťanie makra. Pre funkčné klávesy použiť symbol dolár (\$), ako napr. \$F3.
4. Zadať meno a opis makra v príslušných vstupných poliach (nepovinné).
5. Zadať spôsob, akým budú spracované vstupy od používateľa pri spustení makra (Prompt Handling):
 - *Record keyboard input* - počas definície makra sa zaznamená vstup z klávesnice a použije sa pri spustení makra.
 - *Accept system defaults* - akceptuje implicitné hodnoty od systému.
 - *Pause for keyboard input* - počká na vstup od používateľa.
6. Kliknúť na **Record** a začať zaznamenávať makro výberom príkazov z ponúk.
7. Zvoliť **Pause** v okamihu, keď má byť vykonávanie makra pozastavené. Zadať výzvu v dialógu **Resume Prompt**, kliknúť na **Resume** a pokračovať v zázname. Po spustení makra sa systém v mieste prestávky zastaví, zobrazí zadanú výzvu a ponúkne pokračovanie (**Resume**) alebo prerušenie (**Cancel**) vykonávania makra.
8. Kliknúť na tlačidlo **Stop** po zaznamenaní celého makra a na **OK**.

Karta *OS Script* dialógu **Record Mapkey** umožňuje spúšťanie skriptov operačného systému pomocou makier. Je to podobný mechanizmus ako používanie tzv. alias v operačnom systéme Unix. Príkladom skriptu môže byť kopírovanie všeobecného konfiguračného súboru do aktuálneho adresára.



Obr. 8.8 Mapkeys v dialógu Customize (karta Commands)

Pridanie klávesových makier do nástrojovej lišty

1. Zvoliť **Utilities>Customize Screen**.
Systém zobrazí dialóg **Customize** s nastavenou kartou **Commands**.
2. V zozname **Categories** zvoliť **Mapkeys**.
3. Vybrať **Mapkey** v zozname **Mapkeys**, tým sa zobrazí jeho opis v boxe **Description**.
 - Pre pridanie tlačidla na nástrojovú lištu potiahnuť myšou Mapkey na požadované miesto.
 - Pre odstránenie tlačidla z nástrojovej lišty vyberať myšou Mapkey a potiahnuť mimo lištu.
4. Pre **uloženie** nového nastavenia v súbore *config.win* vykonať jednu z nasledujúcich možností v dialógu **Customize**:
 - Zvoliť **Automatically save to** a buď potvrdiť štandardné predvolené meno súboru, napísať nové meno, alebo vyhľadať *config.win*, do ktorého sa má uložiť nastavenie.
 - Zvoliť **File > Save Settings**. V dialógu *Save Toolbar Configuration File* buď potvrdiť štandardné predvolené meno súboru, napísať nové meno, alebo vyhľadať *config.win*, do ktorého sa má uložiť nastavenie.
5. Zvoliť **OK** pre uzavretie dialógu **Customize** a vykonanie zmien.

Makrá môžu spúšťať aj dávky a príkazy operačného systému (karta **OS Script** dialógu **Record Mapkey**).

Alternatívne je možné namiesto dialógu **Mapkey** použiť zápis do konfiguračného súboru *menu_def.pro*.

8.2.3.2.2 Pridanie používateľskej voľby do ponuky pomocou súboru

Pre vytvorenie novej voľby ponuky pre klávesové makrá je potrebné pridať do definičného súboru *menu_def.pro* riadok v jednom z nasledujúcich tvarov:

```
@setbutton menuname menuitem  
"ActionDefinition" "ShortHelp"
```

alebo

```
@setbutton menuname menuitem ActionDefinition
```

kde:

- **menuname** - titulok zobrazený v hornej časti ponuky. Ak obsahuje viac slov, potom musia byť medzery zmenené na "#" (napr. "cosm#view").
- **menuitem** - meno novej voľby ponuky, ktoré sa objaví v ponuke. Ak bude mať viac slov, medzery musia byť nahradené znakom "#" (napr. miesto "Shade Obj" treba zapísať "Shade#Obj").
- **ActionDefinition** - sekvencia kliknutí na ponuku a používateľských vstupov, ktoré budú aktivované pri novej voľbe. Syntax pre **ActionDefinition** je rovnaká ako pre klávesnicové makrá. Ak sa položka "setbutton" nevojde na jeden riadok, potom treba zapísať znak \ a stlačiť kláves <Enter>. Celková dĺžka definície môže byť max. 250 znakov.
- **ShortHelp** - textový reťazec, ktorý bude použitý ako jednoriadková nápoed' pre novú voľbu ponuky. Pri vynechaní (druhý tvar) bude použitá implicitná hodnota "User defined action" ("používateľsky definovaná činnosť").

Pre používateľsky definované položky ponúk platia tieto pravidlá:

- "setbutton" nemožno použiť pre zmenu existujúcich ponúk Pro/E (t.j. položiek ponúk existujúcich v súboroch systémových ponúk).
- Je potrebné sa vždy presvedčiť, či používateľsky definované mená položiek sú jedinečné medzi položkami a či všetky príkazy uvedené v **ActionDefinition** sú prístupné v okamihu vykonávania činnosti.

Maximálny počet znakov v položke **menuitem** je 19. Vhodné je ale využívať len 12 znakov, aby sme boli v zhode so štandardnými ponukami systému Pro/E, alebo potom upraviť šírku ponúk v konfiguračnom súbore editovaním položky

```
set_menu_width hodnota
```

kde položka *hodnota* je číslo v rozsahu 13 až 19.

Súbor *menu_def.pro* je zavedený počas inicializácie systému. Najprv sa prehľadáva systémový implicitný adresár, potom platný pracovný adresár.

Príklad - uloženie pracovného objektu

```
@setbutton Main Save#Obj "#dbms;#save;;\  
#done-return;" "Save an object."
```

Ak sa používateľsky definované voľby ponúk používajú v iných definíciách *setbutton* alebo v klávesnicových makrách, potom je potrebné zmeniť znaky # späť na medzery.

Ak pre niektorú ponuku nie je systémom predvolená hodnota, potom si môžeme definovať vlastnú predvolenú hodnotu pomocou súboru *menu_def.pro*. Ak už bol definovaný implicitný vstup ponuky pre určitú ponuku v *menu_def.pro*, potom všetky konfliktné definície v lokálnom súbore budú ignorované. Formát definície štandardnej voľby ponuky je nasledujúci:

menuname menuitem

kde:

- **menuname** - je titul, zobrazený vo vrchnej časti ponuky. Ak titul obsahuje viac slov, potom medzery medzi nimi musia byť zmenené na "#".
- **menuitem** - je voľba v ponuke **menuname**. Ako medzera sa používa tiež symbol "#".

Medzi menom ponuky (**menuname**) a definíciou štandardnej hodnoty (**menuitem**) môže byť len jedna medzera. Nezáleží na tom, či sa použijú malé alebo veľké písmená.

Príklady:

ORIENTATION Default

Zápis znamená, že ak bude aktivovaná ponuka **ORIENTATION**, potom sa zvolí automaticky nastavenie **Default**.

dwg#size a

Zápis znamená, že ak je aktivovaná ponuka **DWG SIZE**, potom je automaticky vybratá veľkosť A.

Základný obsah súboru je nasledovný:

line	2#points
circle	center/dia
arc	fillet


```

construct    constr#line
constr#line  horiz
ellipse      ctr/pnt/ang
draft#geom   line
deletion     delete#item

```

Platí, že ak nie je počas behu programu používateľsky definovaná implicitná hodnota prístupná, potom bude ignorovaná. Ak sa použije rovnaké meno ponuky menuname v definičnom súbore *menu_def.pro* dvakrát, platí neskoršia definícia. Systém nehlási žiadne chyby pri nesprávnych implicitných hodnotách ponúk.

Definičný súbor *menu_def.pro* musí byť používaný veľmi opatrne. Napr. nastavenie **Create** ako implicitnej hodnoty pre ponuku **FEATURE** spôsobí nekonečný cyklus vytvárania prvkov, ktorý môže byť zastavený len ukončením práce so systémom. Alebo nastavenie určitej veľkosti výkresu ako implicitnej hodnoty pre **DWG SIZE** spôsobí automatický výber tohto formátu vždy, keď je vytváraný nový výkres a výkres môže takto mať zlý formát.

Aby sme sa vyhli problémom s automatickým zavedením definičného súboru, je vhodné dodržiavať tieto pravidlá:

- *Súbor menu_def.pro vytvárať len vtedy, ak ho budeme aj využívať. Po skončení práce súbor premenovať alebo zrušiť.*
- *Súbor uložiť v pracovnom adresári pod iným menom a premenovať ho na menu_def.pro, len ak ho budeme používať. Po skončení práce súbor opäť premenovať.*

8.3 Režim Sketcher

8.3.1 Základné pojmy

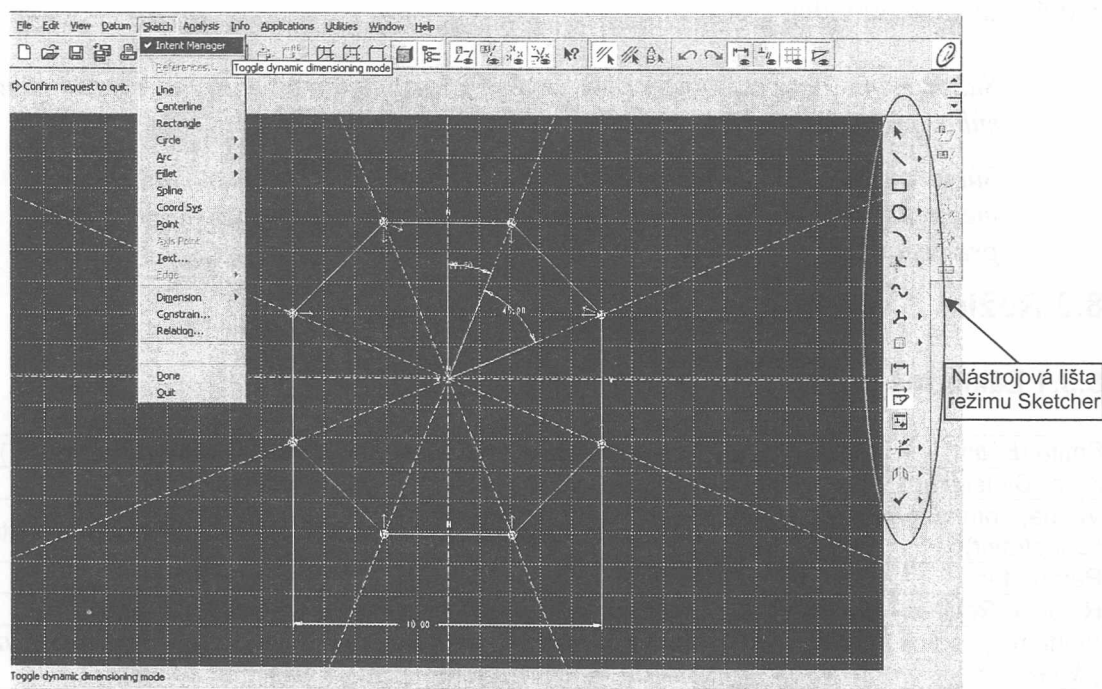
Entita (<i>Entity</i>)	Element naskicovanej geometrie (úsečka, oblúk, kružnica,...)
Kóta (<i>Dimension</i>)	Určuje rozmer entity alebo vzťahy medzi entitami
Väzba, obmedzenie (<i>Constraint</i>)	Podmienky definície geometrie entít alebo vzťahy medzi entitami
Parameter	Ľubovoľná číselná hodnota.
Relácia (<i>Relation</i>)	Rovnica vyjadrujúca vzťahy medzi entitami.
Voľná resp. slabá kóta (<i>Weak Dimension</i>)	Kóta alebo väzba je voľná, aj ju môže systém vymazať bez vzniku konfliktu. Kóty vytvorené režimom <i>Sketcher</i> sú voľné.
Pevná resp. silná kóta (<i>Strong Dimension</i>)	Pevnú kótu alebo väzbu nemôže systém vymazať automaticky.
Režim Sketcher	Pracovné prostredie pre kreslenie skíc profilov modelovaných telies.
Intent Manager	Modul podporujúci kótovanie a geometrické väzby.

8.3.2 Intent Manager

Intent Manager (manažér zámerov) umožňuje dynamické kótovanie geometrie skice a dynamické priradovanie geometrických väzieb (*constraints*). Je ho možné vypnúť voľbou ponuky Sketch>Intent Manager. Vypnutie tohto modulu má za následok zmenu používateľského rozhrania, funkcií tlačidiel myši, ako aj správania sa režimu *Sketcher*. Štandardné nastavenie je definované v konfiguračnom súbore parametrom *sketcher_intent_manager* s priradenými hodnotami *Yes* alebo *No*.

8.3.3 Používateľské rozhranie

Používateľské rozhranie obsahuje, okrem už uvedených komponentov vo všeobecnom opise rozhrania, ďalšiu nástrojovú lištu (right) s kresliacimi entitami (len ak je *Intent Manager* aktívny) a pridané dve sekcie dialógových prvkov (prepínače) v štandardnej nástrojovej lište (top), určené na riadenie zobrazenia kót, geometrických väzieb, mriežky a vrcholov, resp. pre výber entít.

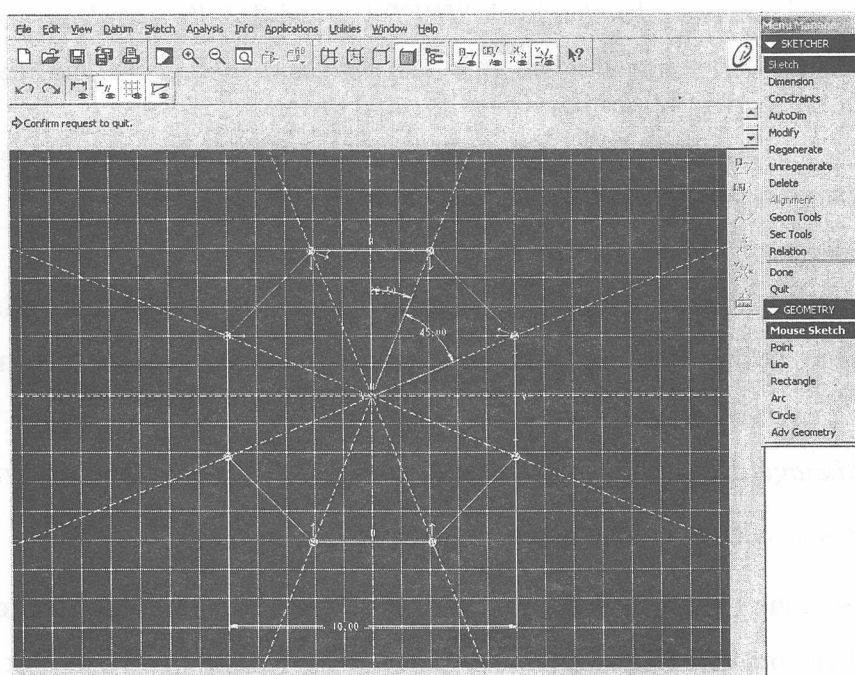


Obr. 8.9 Sketcher s aktívnym modulom Intent Manager

Nástrojová lišta (right) obsahuje tieto tlačidlá (ProE 2000i2):

- *Select*

- Create Lines/Create Centerlines
- Create Rectangle
- Create Circle/Create Concentric Circle/Create full Ellipse
- Create Arc by 3 Points or Tangent/Create Concentric Arc/Create Arc by picking its Center and Endpoints/Create Conic Arc
- Create Circular Fillet/Create Elliptical Fillet
- Create Spline Curve
- Create Reference Coordinate System
- Create Entity from Edge
- Create Dimension
- Modify the Values of Dimensions, Geometry of Splines or Text Entities
- Impose Sketcher Constraints on the Section
- Dynamically Trim Section Entities/Trim Entities to other Entities or Geometry/Divide Entity
- Mirror Selected Entities/Scale and Rotate/Make Copy
- Done/Quit



Obr. 8.10 Sketcher s vypnutým modulom Intent Manager

8.3.4 Tvorba geometrie v režime Sketcher

Skicovanie sa realizuje jednoduchým spôsobom pomocou tlačidiel myši. Súradnice bodov geometrie sa nezadávajú z klávesnice, ale napodobňuje sa skutočné skicovanie geometrie priamym kreslením „bezrozmernej“ skice. Požadované rozmery sú dosadené až následne.

Ak je aktívny *Intent Manager*, potom pre kreslenie (skicovanie) geometrie stačí zvoliť príslušnú voľbu z nástrojovej lišty režimu *Sketcher* alebo z ponuky *Sketch*. Entity sa vytvárajú skicovaním bodov na pracovnej ploche. Ako pohybujeme kurzorom myši, zobrazujú sa možné geometrické väzby (obmedzenia), ktoré sú dané konfiguráciou. Aktívne väzby zobrazuje Pro/E štandardne červenou farbou. Po naskicovaní entít môžeme pridať ďalšie väzby pomocou voľby z ponuky *Sketch>Constrain...* Systém priraduje automaticky jednotlivým entitám symboly ich väzieb.

V režime *Sketcher*, a ak je aktívny *Intent Manager*, majú tlačidlá myši, keď sa kurzor nachádza v pracovnej ploche priradené tieto funkcie:

- *Ľavým tlačidlom myši vyberáme body na pracovnej ploche, prostredným tlačidlom môžeme tieto výbery zrušiť.*
- *Stlačením pravého tlačidla myši v procese skicovania vypneme aktuálnu väzbu zobrazenú červene a kombináciou SHIFT + pravé tlačidlo uzamkneme väzbu.*
- *Klávesmi CTRL + ľavé tlačidlo myši a jej pohybom plynulo meníme mierku skice a CTRL + pravé tlačidlo posúvame skicu po pracovnej ploche.*
- *Ak stlačíme pravé tlačidlo myši, potom otvoríme roletovú ponuku s najčastejšie používanými príkazmi pre kreslenie a editovanie entít.*
- *Kombinácia CTRL+Z a CTRL+Y má funkciu undo a redo.*

Systém automaticky kótuje geometriu. Systémové kóty sú tzv. *weak* (voľné, slabé) kóty a sú zobrazené šedou farbou. Pre pridanie tzv. *strong* (pevných, silných) kót musíme zvoliť ponuku *Sketch>Dimension*.

Ak je *Intent Manager* aktívny, potom kreslenie skice pozostáva z týchto krokov:

1. Nakresliť skicu pomocou geometrických entít systému.
2. Po dosiahnutí konštrukčného zámeru treba skicu uložiť do súboru a ukončiť kreslenie príkazom *Done* z ponuky *Sketch*, resp. z nástrojovej lišty. Ak sa nepodarilo vytvorenie, resp. modifikácia skice a nie je známa príčina, potom treba opustiť režim skicovania príkazom *Quit* a zmeniť zámer.

3. Ak je to potrebné, potom doplniť, resp. modifikovať kótovanie skice a geometrické väzby, prípadne relácie (Sketch>Relation...) medzi entitami.

Ak nie je *Intent Manager* aktívny, kreslenie skice si vyžaduje realizovať manuálne kótovanie príkazom *Dimension* z okna *Menu Manager* (Sketcher>Dimension), ktoré sa automaticky otvorí pri vypnutí modulu *Menu Manager*, alebo použiť automatické kótovanie príkazom *AutoDim* (Sketcher>Auto Dim) a regenerovať skicu príkazom Sketcher>Regerate. Ponuka *Sketcher* okrem prepínača *Menu Manager* nie je k dispozícii. Ľavé tlačidlo myši slúži v tomto prípade na kreslenie postupnosti úsečiek a stredným sa postupnosť ukončí, stredné na kreslenie kružníc a ľavým sa ukončí kreslenie, pravé na kreslenie dotyčnicovo nadväzujúcich oblúkov na úsečky a ľavým sa kreslenie ukončí. Tento postup kreslenia je označený ako *Mouse Sketch* a je nastavený ako štandardná voľba. Takto môžeme jednoduché profily nakresliť priamo myšou, bez potreby voľby položiek z menu.

8.3.5 Kótovanie skice

Aby bola skica úplná a riešiteľná (regenerovateľná), musia jej byť priradené úplné neredundantné rozmery. Nesmie byť poddimenzovaná. Správne dimenzovaná skica je úspešne zregenerovaná. Systém používa inteligentné kótovanie. Priraduje automaticky kóty podľa typu entít tak, že napr. pri výbere úsečky bude použitá lineárna kóta jej dĺžky, pri výbere kružnice jej polomer a keď na ňu ukážeme dvakrát, potom priemer, pri výbere bodu a úsečky najkratšia vzdialenosť atd. Ak je *Intent Manager* aktívny, potom kótovanie prebehne automaticky. Systém priraduje tzv. voľné kóty, ktoré sú zobrazené sivou farbou. Tieto kóty môže systém zrušiť bez varovania, ak je to potrebné, ale nedajú sa zrušiť príkazom *Delete*. Voľnú kótu môžeme nahradiť pevnou jej označením a voľbou Edit>Convert to>Strong, alebo manuálnym opätovným prekótovaním a systém potom nahradí voľnú kótu kótou pevnou a zobrazí ju žltou farbou. Tento spôsob kótovania nemusí vždy zodpovedať požiadavkám príslušných noriem a zvyklostí. Ak je vypnutý *Intent Manager*, potom je výhodné vytvoriť základné kóty manuálne a až potom vybrať príkaz *AutoDim*. Systém sám doplní chýbajúce kóty. Pri manuálnom kótovaní sa používa ľavé tlačidlo myši na výber entít a stredné na umiestnenie kóty. Kótam sú automaticky priradené symbolické mená (sd0, sd1,...) pre ich jednoznačnú identifikáciu, napr. pri definovaní relácií. Kóty sú asociatívne (obojsmerne previazané s modelom) a je možné ich zobraziť pri generovaní

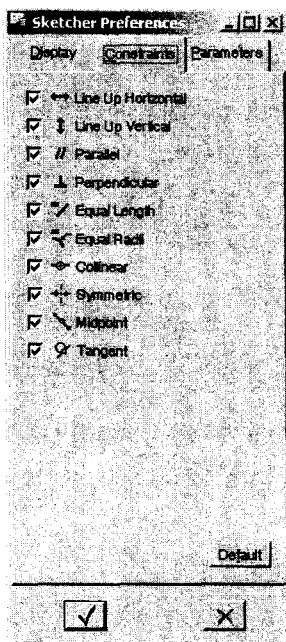
technického výkresu a upravovať, čo sa automaticky prejaví aj vo všetkých súvisiacich komponentoch modelu výrobku. Takto možno jednoducho modifikovať konštrukčný zámer.

Všeobecný postup kótovania ja nasledovný:

1. Vybrať pomocou ľavého tlačidla myši kótované entity.
2. Umiestniť kótu pomocou stredného tlačidla myši.

8.3.6 Geometrické väzby (Constraints)

Väzby (*constraints*) odoberajú stupne voľnosti. Ak je *Intent Manager* aktívny, potom sú pri skicovaní používané implicitné väzby, ktoré obmedzujú možnosti kreslenia, čo je aj zobrazované pomocou symbolov priradovaných jednotlivým entitám. Ak nechceme implicitné väzby využívať, potom musíme skicu buď úplne okótovať, alebo výrazne sa odkláňať od podmienok definovaných implicitne nastavenými väzbami. Implicitné väzby možno konfigurovať výberom karty *Constraints* z voľby *Utilities>Sketcher Preferences*.



Obr. 8.11 Nastavené geometrické väzby (Utilities>Sketcher Preferences...)

Štandardne sú všetky väzby zapnuté. Stlačením pravého tlačidla myši v procese skicovania vypneme aktuálnu väzbu zobrazenú červene.

Ak nie je aktívny *Intent Manager*, potom treba po každej zmene geometrie použiť príkaz *Regenerate* z okna *Menu Manager* (*Sketcher>Regenerate*). Systém kontroluje kótovanie skice, úplnosť a nezávislosť definovaných parametrov a analyzuje vytvorenú geometriu. Ak v skici nie sú uvedené explicitné rozmery (pevné kóty), potom systém používa pri regenerácii implicitné pravidlá.

Ponuka *CONSTRAINTS* obsahuje zoznam týchto väzieb:

Vertical – vytvorí úsečku alebo dva vrcholy zvisle.

Horizontal – vytvorí úsečku alebo dva vrcholy vodorovne.

Perpendicular – vytvorí dve entity vzájomne kolmé.

Tangent – vytvorí dve dotyčnicové entity.

Mippoint – vytvorí bod v strede úsečky.

Point On Entity – vytvorí bod na entite.

Symetry – vytvorí dva body alebo vrcholy symetricky podľa strednice (os symetrie).

Equal Lengths – vytvorí segmenty rovnakých dĺžok.

Parallel – vytvorí dve vzájomne rovnobežné entity.

Symbols pre jednotlivé typy väzieb, ktoré sa zobrazujú pri kreslení skice s aktívnym modulom *Intent Manager*, sú uvedené v tabuľke 8.6.

Tabuľka 8.6 Symboly väzieb v režime Sketcher

Väzba medzi entitami	Symbol
Entita je horizontálna	H
Entita je vertikálna	V
Úsečka s rovnakou dĺžkou	L s dolným indexom
Kolmé úsečky	\perp s dolným indexom
Rovnobežné úsečky	// s dolným indexom
Dotyčnicové entity	T s dolným indexom
Symetrické entity	$\rightarrow \leftarrow$
Rovnaké polomery	R s dolným indexom
Rovnaké súradnice	Hrubé čiarky medzi bodmi
Bod na entite	$- \bigcirc -$

Pri vyhodnocovaní skice systém používa implicitné pravidlá definujúce obmedzenia geometrie pomocou väzieb uvedené v tabuľke 8.7. Systém vlastne predpokladá, že skica má určité geometrické vlastnosti.

Tabuľka 8.7 Implicitné pravidlá pri vyhodnocovaní skice

Pravidlo	Opis
Rovnaké polomery resp. priemery	Kružnice, resp. oblúky skice s približne rovnakým polomerom sú považované za kružnice, resp. oblúky s rovnakým polomerom.
Horizontálne a vertikálne úsečky	Úsečky s približne horizontálnou, resp. vertikálnou polohou v skici sú považované za horizontálne, resp. vertikálne.
Rovnobežné a kolmé úsečky	Úsečky s približne rovnobežnou, resp. kolmou vzájomnou polohou sú považované za rovnobežné, resp. kolmé.
Symetria	Objekty približne symetrické podľa osi symetrie budú považované za symetrické a stačí kótovať len jeden z nich.
Rovnaká dĺžka úsečiek	Úsečky približne rovnakej dĺžky budú považované za rovnaké a stačí kótovať len jednu.
Tangenciálne napojenie	Entity napojené približne tangenciálne sú považované za tangenciálne.
Kolineárnosť (rovnofahlosť)	Objekty ležiace približne na jednej priamke sú považované za kolineárne.
Oblúk 90°, 180°, 270°	Oblúky s dotyčnicami v koncových bodoch približne horizontálnymi, resp. vertikálnymi sú považované za oblúky s uhlovou kótou 90°, resp. 180°, resp. 270°.
Body entity	Body ležiace približne na entite sú považované za body tejto entity.
Stredy kružníc resp. oblúkov	Stredy kružníc ležiace približne na horizontálnej, resp. vertikálnej priamke sú považované za horizontálne, resp. vertikálne.

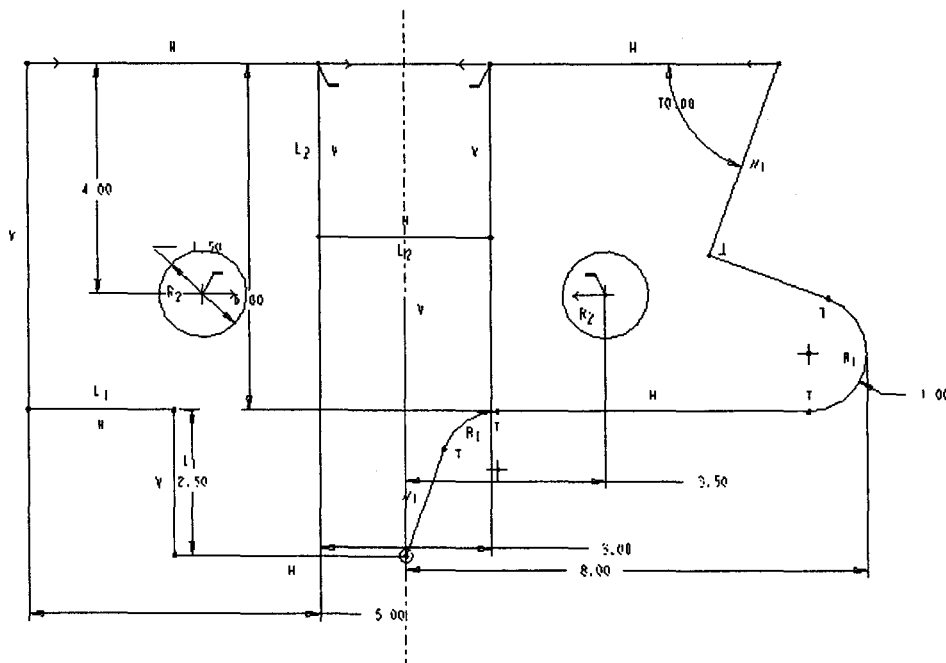
Ak skica nie je systémom správne vyhodnotená (regenerovaná), potom príčinou môžu byť tieto faktory:

- Skica nezodpovedá požiadavkám na definovanie profilu telesa. Z geometrického hľadiska musí reprezentovať buď súvislú uzavretú oblasť, alebo k-násobne súvislú uzavretú oblasť (oblasť s dierami), alebo otvorenú čiaru bez pretínajúcich sa entít.
- Skica je poddimenzovaná (nedostatočne okótovaná) a chýbajúce kóty sa nedali nahradiť implicitnými pravidlami.
- Skica je predimenzovaná. Nadbytočné kóty, ktoré sú zvýraznené, sa odporúča odstrániť, lebo aj tak nebudú použité pri modifikácii.
- Niektorý segment skice je príliš malý.

8.3.7 Relácie

Relácie sú matematické výrazy priradené kótam. Opisujú vzťahy medzi rozmermi objektu a riadia proces modifikácie. Výrazy sú tvorené pomocou symbolických názvov kót, konštánt, operátorov, funkcií a zátvoriek. Prípustné sú tieto konštanty: Ludolfovo číslo PI , gravitačná konštanta G , tieto matematické operátory $+$, $-$, $*$, $^$, tieto matematické funkcie: $\sin()$, $\cos()$, $\tan()$, $\sqrt{}()$, $\arcsin()$, $\arccos()$, $\arctan()$, $\sinh()$, $\cosh()$, $\tanh()$, $\log()$, $\ln()$, $\exp()$, $\text{abs}()$, $\text{ceil}()$ - čo je najmenšie celé číslo, väčšie než argument, $\text{floor}()$ - čo je najväčšie celé číslo menšie než argument. Argument funkcie sa zadáva medzi zátvorky a počet ľavých a pravých zátvoriek sa musí zhodovať. V trigonometrických funkciách sa používajú stupne.

Relácie sa obvykle vytvárajú až v procese modifikácie kóty. Zvolíme **Sketch>Relation** a otvorí sa okno *Menu Manager* s voľbou *Relations*.



Obr. 8.12 Skica so zobrazením kót a väzieb

Relácie možno použiť na kontrolu zmien realizovaných na modeli, na definíciu hodnôt jednotlivých kót v súčiastkach a zostavách a ako podmienky kladené na konštrukciu (napr. umiestnenie diery k hrane súčiastky). Používajú sa pre opis podmienených vzťahov medzi rôznymi zložkami modelu alebo zostavy. Môžu to byť jednoduché hodnoty ($d1=4$) alebo komplexné rozvetvené podmienené výrazy.

8.3.7.1 Typy relácií a symboly parametrov

Existujú dva základné typy relácií:

- Rovnice – *priradia parametru na ľavej strane rovnice hodnotu výrazu na pravej strane. Tento typ relácie je používaný k priradeniu hodnoty parametru a kótam.*
- Jednoduché priradenie: $d1=4.75$.
- Zložitejšie priradenie: $d5=d2 * (SQRT(d7/3.0+d4))$.
- Porovnanie – *porovnáva výraz na ľavej strane rovnice s výrazom na pravej strane. Tento typ relácie je používaný v podmienkach alebo pre logické vetvenie. Príklady porovnávacích relácií:*
Podmienka: $(d1+d2) > (d3+2.50)$
V podmienenom výraze: $IF (d1+2.5) >= d7$

V reláciách sú používané pre parametre 4 typy symbolov:

1. **Symboly kót** – jedná sa o symboly parametrických kót, ako $d0$, $d1$ atď. Podporované sú tieto symboly kót:

- $d\#$ - kóta modelu. Ak je zadávaná záporná hodnota, meno kóty musí byť uvedené symbolom dolár (\$).
- $d\#:\#$ - kóty v režime Assembly (je pripojený identifikátor komponentu).
- $rd\#$ - referenčné kóty v súčiastke alebo zostave najvyššej úrovne.
- $rd\#:\#$ - referenčné kóty v režime Assembly.
- $rsd\#$ - kóty v režime Sketcher.
- $kd\#$ - známe kóty súčiastky v režime Sketcher.

2. **Tolerancie** – sú to parametre zviazané s tvarom tolerancie symetrický a plus-minus (# je ID kóty):

- $tpm\#$ - tolerancia symetrického formátu,
- $tp\#$ - pozitívna tolerancia v tvare plus-minus,
- $tm\#$ - negatívna tolerancia v tvare plus-minus.

3. **Počet inštancií** – jedná sa o celočíselné parametre pre počet položiek v smere znásobenia (*Patterning*).

- $p\#\#$ je počet inštancií.

4. **Používateľské parametre** – parametre môžu byť definované zadáním názvu alebo relácie, napr.: $Objem=d0*d1*d2$ $Vyrobca=„Stockton Corp.“$

- ak je konvertovaný na iné než celé číslo, Pro/E hodnotu zaokrúhli vždy dolu,
- používateľské parametre musia začínať písmenom, aby mohli byť použité v reláciách,
- mená tvaru $d\#,kd\#,rd\#,tm\#,tp\#$ nemožno použiť pre používateľské parametre,

používateľské parametre nesmú obsahovať nealfanumerické znaky, ako napr.!, @, #, \$.

Nasledujúce parametre sú vyhradené pre systém:

PI (Ludolfovo číslo)	3.14159 (nemôže byť zmenené)
G (gravitačná konštanta)	implicitná hodnota 9.8 m/s ²

8.3.7.2 Operátory a funkcie

Operátory a funkcie môžu byť použité v rovniciach a podmienených reláciách.

Aritmetické operátory

+	Sčítanie	*	Násobenie
-	Odčítanie	^	Umocňovanie
/	Delenie	()	Zátvorky

Operátor priradenia

=	Rovnosť
---	---------

V rovnici je parametru na ľavej strane priradená hodnota výrazu na pravej strane. Na ľavej strane môže byť len jeden parameter. Operátory pre priradenie a porovnanie výrazu sú rôzne ($=$ a $==$).

Operátor porovnania

Operátory porovnania sú používané, ak je očakávaná hodnota *True/False*. Napr. nasledujúci výraz je vyhodnotený ako *True*, ak je $d1$ väčšie alebo rovné 3.5. Ak je $d1 < 3.5$, potom je výraz vyhodnotený ako *False*.

$d1 \geq 3.5$

Podporované sú nasledujúce operátory porovnania:

==	Rovná sa	<=	Menší alebo rovný ako
>	Väčší ako		Alebo (OR)
> =	Väčší alebo rovný ako	&	A súčasne (And)
!=, <>, ~=	Nerovná sa	~, !	Negácia (Not)
<	Menší ako		

Operátory |, & a ~ rozlišujú možnosti porovnania spájaním podmienok. Napr. nasledujúca relácia je vyhodnotená ako *True*, ak je d1 v otvorenom intervale (2,3), ale nie rovné 2.5:

d1>2 & d1<3 & d1~=2.5

Matematické funkcie

Relácie môžu zahrňovať nasledujúce matematické funkcie:

cos()	Kosínus	acos()	Arcus kosinus
tan()	Tangens	atan()	Arcus tangens
sin()	Sinus	sinh()	Sínus hyperbolický
sqrt()	Odmocnina	cosh()	Kosínus hyperbolický
asin()	Arcus sinus	tanh()	Tangens hyperbolický

Argumenty trigonometrických funkcií sú v stupňoch.

log()	Dekadický logaritmu	abs()	Absolútna hodnota
ln()	Prirodzený logaritmus	ceil()	Najmenšie prirodzené číslo, ktoré nie je menšie než argument
exp()	Exponenciálna funkcia	Floor()	Najväčšie prirodzené číslo, ktoré nie je väčšie než argument

Vo funkciách *ceil* a *floor* môžeme použiť druhý nepovinný parameter, ktorý určuje počet desatinných miest pre zaokrúhľovanie.

```
ceil (meno_parametra alebo číslo, počet_desatinných_miest)
floor (meno_parametra alebo číslo, počet_desatinných_miest)
```

Pre parameter *počet_desatinných_miest* platí

- môže to byť číslo alebo používateľsky definovaný parameter. Ak použijeme reálne číslo, bude zaokrúhlené dole,
- max. hodnota druhého parametra *ceil* a *floor* je 8. Ak je táto hodnota prekročená, funkcia vracia prvý parameter nezaokrúhlený.

Nasledujúci príklad demonštruje použitie *ceil* a *floor* bez parametrov:

```
ceil (10.2) = 11
floor (-10.2) = -11
```

Príklady volania funkcie s parametrami:

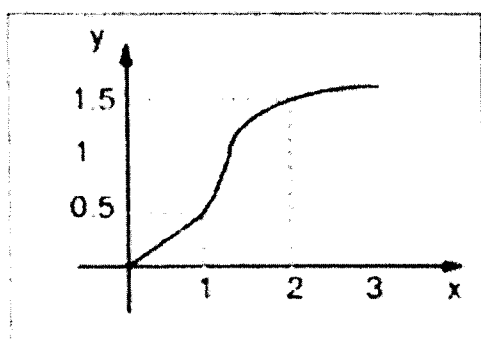
```
ceil (10.255, 2) = 10.26
ceil (10.255, 0) = 11 = ceil (10.255)
floor (10.255, 1) = 10.2
floor (-10.255, 2) = -10.26
```

Vyhodnotenie grafu

Funkcia vyhodnotenia grafu umožňuje použiť prvky typu *Graph* pre riadenie kót pomocou relácií. Riadené kóty môžu byť kótované skicou, v súčiastke alebo zostave. Formát zápisu je nasledovný:

```
evalgraph("meno_grafu", x)
```

kde *meno_grafu* je názov grafu a *x* je súradnica v smere osi X, pre ktorú má byť vypočítaná hodnota Y.



Názov grafu: Predĺženie

```
d1=evalgraph("stretch". 1)
```

(d1=0.5)

```
d2=evalgraph("stretch". d1*4)
```

(d2=1.5)

Obr. 8.13 Vyhodnotenie grafu

Pre prvky typu *Sweep* môžeme definovať parameter trajektórie *trajpar* ako druhý argument tejto funkcie.

Graf je obvykle vyhodnocovaný v definovanom intervale $\langle x_1, x_2 \rangle$ osy X. Keď je požadovaná hodnota grafu pre x ležiace mimo definovaný interval, sú hodnoty osi Y extrapolované. Systém vypočíta extrapolovanú hodnotu pre x menšie než x_1 tak, že graf je predĺžený v začiatočnom bode polpriamky v smere dotyčnice v tomto bode grafu. Podobne systém vypočíta extrapolovanú hodnotu pre $x > x_2$ predĺžením grafu v bode o polpriamku, v smere dotyčnice v koncovom bode grafu.

Funkcie trajektórie zloženej krivky

Parameter trajektorie zloženej krivky (*trajpar_of_pnt*) môže byť použitý v reláciách.

Funkcia *traj_of_par*("menotraj", "menobodu")

Kde *menotraj* je meno kompozitnej krivky a *menobodu* je meno pomocného bodu. Funkcia vracia hodnotu medzi 0.0 a 1.0.

Tento parameter je určovaný relatívne pozdĺž zloženej krivky ako bod, ktorým prechádza rovina, ktorá je kolmá k dotyčnici krivky a súčasne prechádza daným pomocným bodom, (preto pomocný bod nemusí byť umiestnený na krivke; parameter bude vypočítaný v bode krivky, ktorý je najbližšie pomocnému bodu).

Ďalšie funkcie

V reláciách je možno tiež použiť funkcie pre prácu s reťazcami.

- *string_length* () – vráti počet znakov v reťazci. Napr. ak je hodnota reťazcového parametra materiál reťazec "ocel", potom vráti *string_length(material)* hodnotu 4, pretože "ocel" má 4 znaky,
- *rel_model_name* () – vráti meno aktuálneho modelu. Ak práve pracujeme s modelom nazvaným "Zaba", funkcia vráti reťazec "Zaba". V zostave môžeme túto funkciu použiť takto:
name=rel_model_name:2 ()
- *rel_model_type* () – vráti typ aktuálneho modelu. Ak pracujeme v režime Assembly, navrátenou hodnotou bude reťazec "assembly".
- *Exists* () – používa sa v reláciách k zisteniu existencie položky (napr. parametra alebo kóty). Možno ju aplikovať nielen na modeli, pre ktorý je funkcia vyhodnotená, ale v štruktúre ľubovoľného modelu či komponentu.
Napri:
if exists (d5:20)
testuje, či je model s ID číslom 20 má kótu d5
if exists ("par:fid_25:cid_12")
testuje, či prvok s ID číslom 25 v komponente s ID číslom 12 má parameter par.

Je možné vykonávať výpočty s parametrami, ktoré existujú len v niekoľkých súčiastkach obsiahlej zostavy. Napr. máme zostavu obsahujúcu niekoľko subsystémov (napr. hydraulický, elektrický, atď..), ale väčšina objektov nepatrí do žiadneho z týchto subsystémov. Potom stačí pripojiť požadovaný parameter k modelom jediného subsystému, nad ktorým sa budú vykonávať výpočty. Napr. ak položky elektrického subsystému vyžadujú čísla súčiastok

v tabuľke *BOM repot*, potom namiesto ich mien môžeme vytvoriť *report parameter bom_name* a zapísať nasledujúcu reláciu:

```
if exists ( "asm_mbr_cabling")
bom_name = part_no
else
bom_name = asm_mbr_name
endif
```

8.3.7.3 Komentáre

Zápis relácií môžeme sprehľadniť použitím komentárov. Každý riadok s komentárom musí začínať symbolom */**. Príklad komentáru v relácii:

```
/* šírka je dvojnásobok výšky
d1 = 2*d2
```

Komentár by mal byť uvedený pred príslušnou reláciou. Pri triedení relácií je komentár premiestnený zároveň s reláciou.

8.3.7.4 Vyhodnotenie výrazu

Niekedy potrebujeme vyhodnotiť nejaký výraz (buď jednoduchý parameter alebo zložitejšiu reláciu) bez toho, aby sme ho začleňovali do modelu ako reláciu. Potom je postup nasledovný:

1. Zvoliť *Relations>Evaluate*.
2. Vložiť symbol parametra (napr. *d20*, *\$ d20*, *d10:2*, *depth*), používateľský parameter (napr. farba), alebo výraz (napr. *d5+d6*, *d2!=d4*).
3. Stlačiť *Enter*. Výsledok vyhodnotenia sa objaví v okne správ. Výsledkom porovnaní je 0 (*false*, nepravda) alebo 1 (*true*, pravda).

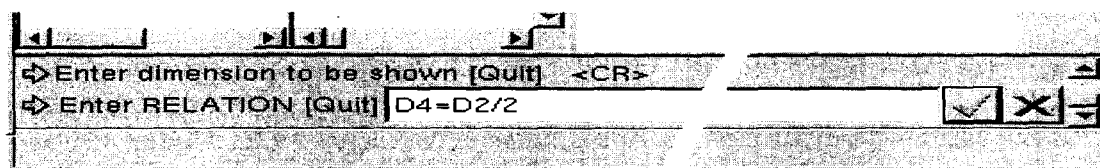
8.3.7.5 Pridanie relácie do modelu a poradie vyhodnotenia

1. Zvoliť *Ralations>Add*. Objaví sa vstupné textové pole
2. Zadať reláciu a stlačiť *Enter*. Systém si zapamätá zadanú reláciu a vložený text vymaže. Takto môžeme vložiť ľubovoľný počet relácií.
3. Po zadaní poslednej relácie stlačiť *Enter* ešte raz, režim zadávania relácií sa ukončí.

Systém neakceptuje mená parametrov, premenných alebo symbolických mien, dlhších ako 31 znakov

Relácie môžu byť zadane troma spôsobmi:

1. Pridaním relácie použitím príkazu *Add* z ponuky *Relations*.
2. Modifikáciou súboru s reláciami a pridanie ďalších relácií do súboru.
3. Zadaním relácie po požiadaní systému o zadanie hodnoty kóty.



Obr. 8.14 Zadávanie relácie

Vnútri daného modelu sú relácie vyhodnocované v poradí, v ktorom boli zadane. To znamená, že najprv je vyhodnotená relácia, ktorá bola zadaná ako prvá a nakoniec je vyhodnotená naposledy zadaná relácia. Ak je parameter riadený dvoma reláciami, druhá relácia má prednosť pred prvou. Je doporučené používať funkcie pre kontrolu. Relácie sú vyhodnocované až pri regenerácii objektu.

8.3.7.6 Zobrazenie symbolov kót

Výberom príkazu *Relations* sa automaticky prepne zobrazenie parametrov do symbolického tvaru (napr. d0). Ak parametre prvku nie sú zobrazené už pri výbere *Relations*, potom môžeme vyberať prvok, ktorého kóty majú byť zobrazené. Prepínať medzi číselným a symbolickým zobrazením kót je možné pomocou príkazu *Switch Dim*.

Symbole pre tolerancie sa zobrazia len pre kóty s tvarom tolerancií „symetrický“ a „plus-mínus“. Pre ostatné typy formátu bude zobrazený len symbol kóty.

Ak sú použité záporné rozmery, potom je treba pre uvedenie správnej hodnoty (zachovanie znamienka) zapísať pred symbol parametra \$. To platí nezávisle na nastavení voľby *show_dim_sign* konfiguračného súboru. Môžeme použiť príkaz *Show Dim* pre zobrazenie zadanych kót v danom modeli.

8.3.7.7 Súčasné vyhodnotenie rovníc

Ak potrebujeme vyhodnotiť viac relácií súčasne (napr. sústava rovníc), je treba použiť konštrukciu *Solve-For*. Napríklad, ak máme hranol so šírkou d1 a výškou d2 a chceme zadať nasledujúce podmienky:

- plocha je 100,
- obvod je 50,

potom podmienky môžu byť zadané nasledujúcim spôsobom:

```
SOLVE
d1 * d2 = 100
2 * (d1+d2) = 50
FOR d1 d2 ... alebo ... FOR d1, d2
```

Všetky riadky medzi *Solve* a *For* sú vyhodnocované súčasne. Riadok *For* určuje zoznam premenných, ktoré majú byť riešené. Všetky premenné, ktoré sa vyskytujú medzi *Solve* a *For*, ale nie sú obsiahnuté v zozname, sú interpretované ako konštanty. Môžeme mať zadané napr.:

```
area = 100
perimeter = 50
SOLVE
d1 * d2 = area
2 * (d1 + d2) = perimeter
For d1 d2
```

Všetky premenné, ktoré sú použité v konštrukcii *Solve – For*, musia byť už inicializované. Napr. pri zabudnutí riadku `area = 100` je uvedená konštrukcia vyhodnotená ako chyba.

Uvedené dva typy relácií, t.j. riešenie buď jednej premennej, alebo sústavy rovníc, môžu byť ľubovoľne premiešané. Relácie budú zobrazené po zadaní *Show Rel* a môžu byť editované pomocou *Edit Rel*.

V prípade, že existuje viac riešení, je vrátené len jedno. Navyše je možné za riešenie zostavy rovníc pridať ďalšie relácie pre stanovenie najvhodnejších riešení. Napr. v predošlom príklade sú možné dve riešenia:

```
d1 = 5, d2 = 20
d1 = 20, d2 = 5
```

Môžeme pridať podmienku $d1 \leq d2$ pomocou nasledujúceho príkazu

```
IF d1 > d2
temp = d1
d1 = d2
d2 = temp
ENDIF
```

8.3.7.8 Podmienky v reláciách

Príkaz IF

Príkazy IF môžu byť pridané do relácií za účelom definície podmienok pre priradovanie príkazov, napr.:

```
IF d1 > d2
length = 14.5
ENDIF
IF d1 <= d2
length = 7.0
ENDIF
```

Podmienka je výraz, ktorý nadobúda hodnoty buď *True = Yes* (pravda, áno) alebo *False = No* (nepravda, nie). Príslušné konštanty (*true=yes* a *false=no*) môžu byť vo výrazoch ľubovoľne zamieňané. Napr. nasledujúce výrazy sú vyhodnotené rovnako.

```
IF ANSWER == yes
IF ANSWER == true
IF ANSWER
```

Príkaz ELSE

Zložitejšie podmienky môžu byť tvorené pomocou konštrukcie *If-Else-Endif*. Napr. predošlá relácia môže byť modifikovaná nasledujúcim spôsobom:

```
IF d1 > d2
length = 14.5
ELSE
length = 7.0
ENDIF
```

Medzi IF, ELSE a ENDIF môže byť niekoľko príkazov. V konštrukciách *If-Else-Endif* je možno vykonávať „vnorenie“, keď je prepojených na rôznych úrovniach viac uvedených konštrukcií.

Syntax konštrukcie IF je nasledujúci:

```
IF <podmienka>
Sekvencia 0 alebo viac relácií alebo IF konštrukcií

ELSE <voliteľné>
Sekvencia 0 alebo viac relácií alebo IF konštrukcií

ENDIF
```

- *ENDIF* musí byť vždy zapísaná ako jedno slovo
- *ELSE* musí byť na riadku samostatne
- rovnosť sa v podmienke vyjadruje ako == (na rozdiel od priradenia =)

8.3.7.9 Priradenie reťazcov parametrom

Parametrom môžu byť priradené reťazce. Reťazce sú zadávané medzi úvodzovkami. Príkladom použitia reťazca je poznámka vo výkrese, ktorá závisí na veľkosti kóty prvku. Poznámka na výkrese môže obsahovať parameter a reláciu, vypadá napr. takto:

```
IF d1 > d2
MIL_REF="MLD-STD XXXXA"
ELSE
MIL_REF="MIL-STD XXXXB"
ENDIF
```

Operátory a funkcie

Pre reťazce sú definované nasledujúce operátory a funkcie:

==	Porovnáva reťazce, ak sú zhodné, vráti true
!=, <>, ~=	Porovnáva reťazce, ak sú rozdielne, vráti true
+	Spája reťazce
Itos (int)	Konvertuje celé číslo na reťazec. Int môže byť číslo alebo výraz. Iné než celé čísla budú zaokrúhlené
Search (string, substring)	Používaný pre vyhľadanie string v substring. Výsledok je pozícia podreťazca v reťazci (0, ak nebol nájdený)
Exact (string, pozícia, dĺžka)	Používaný pre vybratie časti z reťazca

Príklady

Ak platí param="abcdef", potom budú výrazy vyhodnotené takto:

Flag=param==abcdef	vyhodnotené ako True
Flag=abcdef!=ghi	vyhodnotené ako False
New=param+ghi	new je abcdefghi
New=itos(10+7)	new je 17
New=param+itos(1.5)	new je abcdef1
Where=search(param,bcd)	where je 2
Where=search(param,bcd)	where je 0
New=extract(param,2,3)	new je bcd

8.3.7.10 Editovanie relácie

Relácie sú uložené v modeli a môžu byť editované kedykoľvek počas jeho tvorby. Relácie môžu byť aj kedykoľvek modifikované, pridávané, rušené, alebo editované pomocou voľby *Edit Rel* z ponuky *Relations*, a to buď pomocou systémového textového editora, alebo pomocou editora *Pro/TABLE*. V závislosti na nastavení voľby *pro_editor_command* v konfiguračnom súbore *config.pro*. Postup je nasledujúci:

1. Zvoliť *Relations>Edit Rel*. Podľa nastavenia v konfiguračnom súbore sa zobrazí okno príslušného textového editora. Ak je nastavený editor *Pro/TABLE*, relácia sa zobrazí v tabuľkovom formáte.
2. Editovať reláciu pomocou príkazu daného systémového textového editora alebo editora *Pro/TABLE*. Ak opravujeme reláciu, pretože obsahuje chybu odhalenú systémom Pro/E, potom treba vymazať chybové hlásenie po oprave tejto relácie. Pro/E totiž sám tieto hlásenia neodstráni.
3. Uložiť zmeny a ukončiť prácu s editorom. Relácia bude automaticky aktualizovaná.
4. Regenerovať model, aby sa premietli zmeny do modelu.

Aj keď môžeme zadávať relácie pomocou voľby *Edit Rel*, táto metóda nie je odporúčaná. Pri zadávaní relácie pomocou *Add* je vstup kontrolovaný po každom riadku a systém chybné relácie označí. Relácie zadávané pomocou *Edit Rel* systém nekontroluje. Chybné relácie budú ignorované. Správnosť relácií možno kontrolovať pomocou *Show Rel*.

Chyby v reláciách

Keď Pro/E nájde chybu v editovanom súbore, vypíše chybové hlásenia a ponúkne možnosť reláciu ihneď opraviť (chybné sú označené) v editovacom režime.

V súbore s reláciami sa môžu objaviť tri typy chýb:

1. Long line – riadok s reláciou je dlhší než 80 znakov. Skontrolujeme riadok, alebo zadáme reláciu do dvoch riadkov pomocou znaku / (opačná lomka).
2. Long sym – meno symbolu je dlhšie než 31 znakov. Opravíme meno symbolu tak, aby bolo kratšie ako 31 znakov.

-
3. Error – niektorý druh formálnej chyby; zadaný parameter nie je definovaný. Podľa potreby opravíme reláciu.

Pri tejto kontrole nie je kontrolované porušenie podmienok. Ak riešenie konštrukcie *Solve-For* nie je konvergentné, potom sa vypíše varovanie. Ak konštrukcia *Solve-For* nie je uzavretá, potom je vypísané chybové hlásenie do voľného riadku za posledným riadkom s reláciou.

Modifikovanie kót riadených reláciami

Ak je kóta riadená reláciami, potom nemôže byť priamo modifikovaná. Ak sa o to pokúsime, potom Pro/E zobrazí chybové hlásenie.

Napr. ak je zadaná relácia $d0=d1+d2$, potom $d0$ nemôže byť priamo modifikované. Opravené môžu byť kóty $d1$ alebo $d2$ a relácia zmení hodnotu $d0$.

Zrušenie zastaralej relácie

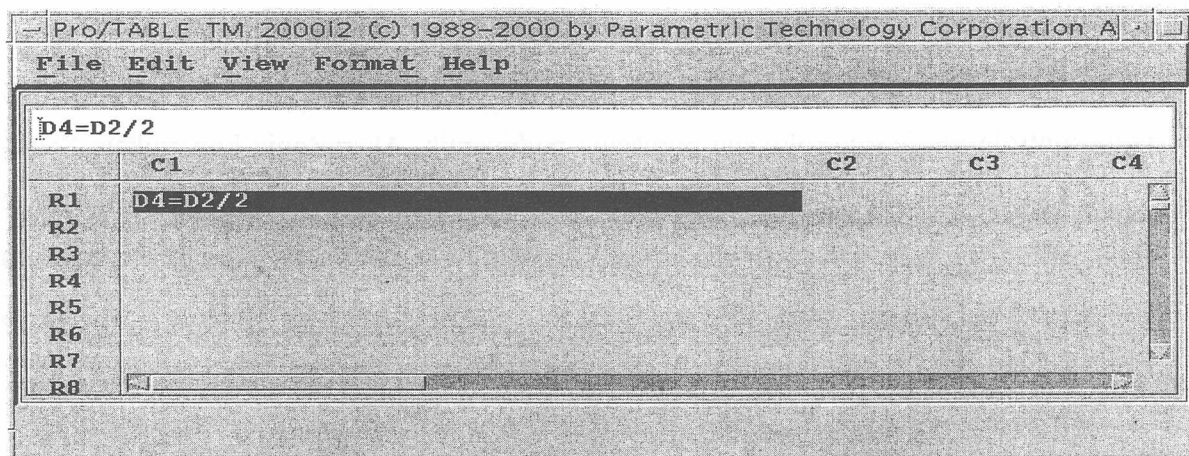
Ak symbol uvedený v relácii prestane existovať, pretože bol zmazaný alebo zmenený, relácia zastarala (*obsolete relation*). Riadený symbol si ponechá poslednú platnú hodnotu. Zastaralé parametre nie sú automaticky systémom Pro/E zrušené, a preto musia byť zrušené manuálne.

Pre zrušenie zastaralých relácií zvolíme príkaz *Edit Rel* z ponuky *Relations* a opravíme súbor relácií vhodným spôsobom.

8.3.7.11 Prezeranie relácií

Relácie môžu byť zobrazené bez použitia systémového editora pomocou voľby *Show Rel* z ponuky *Relations*. Po výbere *Show Rel* budú zobrazené relácie vybranej položky, spoločne s aktuálnymi hodnotami nimi riadených parametrov.

Voľba *Show Rel* môže byť tiež použitá pre test správnosti relácie. Ak zadáte voľbu *Edit Rel* zlú reláciu, príkaz *Show Rel* ju v informačnom okne nezobrazí. Chybnú reláciu opravíme voľbou *Edit Rel*.



Obr. 8.15 Prezeranie relácií pomocou Pro/TABLE

Informačné okno Show Rel

Organizácia informačného okna voľby *Show Rel*:

- V režime Part alebo Assembly – zobrazí reláciu a používateľské parametre vytvorené v tomto modeli a medzi jeho prvky. Nezobrazuje relácie alebo parametre vytvorené v jeho prvkoch.
- V prvku – zobrazí relácie vytvorené v prvku a jeho skicách (pokiaľ existujú) a používateľské parametre.
- V znásobení – zobrazí parametre znásobenia, relácie a používateľské parametre vytvorené v znásobení pre určitý smer a taktiež používateľské parametre a relácie skíc v rodičovskom modeli.
- V skici – zobrazí len relácie vytvorené v danej skici.

Používateľské parametre sú zobrazené pod hlavičkou *Symbolic constant* s týmito informáciami:

- meno parametra,
- referenčný stav – lokálny (asociovaný len so súčasťou alebo zostavou),
- počet referencií v prípade, že je parameter globálny,
- hodnotu parametra.

Pre prehliadanie relácií prvkov je možné použiť aj príkaz Feature z ponuky Info. Relácie sú zobrazené dolu v zozname pod tromi hlavičkami:

- *relations in the feature's section(s)* (relácie v skicách prvkov),
- *part relations driven by this feature* (v skutočnosti relácie rodičovského modelu, ktorý by mohol byť súčasťou alebo zostavou),

– *feature relations*.

8.3.7.12 Triedenie relácií

Relácie sú triedené podľa poradia vyhodnocovania. Ak je zadáný príkaz *Sort Rel* z ponuky *Relations*, relácie sú zoradené tak, aby relácia, ktorá je závislá na hodnote inej relácie, bola vyhodnotená až následne. Rozpoznané sú tiež cyklické relácie (*circular relations*). V prípade, že relácie obsahujú podmienené príkazy, potom tieto príkazy nebudú triedené.

Použitie voľby *Sort Rel*

Ak zadáme nasledujúce relácie:

```
d0=d1+3*d2
d2=d3+d4
```

potom sú po výbere príkazu *Sort Rel* zoradené takto (podľa poradia vyhodnotenia):

```
d2=d3+d4
d0=d1+3*d2
```

Ak je už pri zadávaní relácií rešpektované poradie ich vyhodnocovania, je jediným efektom použitia príkazu *Sort Rel* zbytočná zmena poradia zápisu, ktorý sa tak väčšinou stáva menej prehľadným.

Triedenie súčasne vyhodnocovaných rovníc

Súčasne vyhodnocované rovnice môžu byť triedené ako normálne relácie. Súčasne vyhodnocované rovnice sú chápané pri triedení ako jedna veľká normálna relácia a premiestnenie ako jeden blok. Tento blok je závislý na svojich jednotlivých riadkoch. Ak súčasne vyhodnocované relácie, označené *Solve-For*, obsahujú ďalšie relácie, ktoré nebudú použité pre súčasné vyhodnocovanie, ako sú napr. tieto:

```
SOLVE
d2 + d1 = 500
d55 = d56 + 50
d56 = D54
d1-d2 = 0
FOR d1 d2
```

potom budú zoradené vnútri tela *Solve-For*.

Výsledkom potom je:

```
SOLVE
d2 + d1 = 500
```

```
d1-d2 = 0
d55 = d56 + 50
d56 = d54
FOR d1 d2
```

Do konštrukcie *Solve-For* nie sú nikdy pridávané ani z nej ubierané ďalšie riadky.

Triedenie relácií s komentárom

Komentár je spojený s reláciou zapísanou pod ňou. Pri triedení je takáto relácia premiestnená i s komentárom. Ak má komentár viac riadkov, potom sú s nasledujúcou reláciou spojené všetky.

8.3.7.13 Cyklické rovnice

Príležitostne môžeme omylom vytvoriť cyklické relácie.

Napr.

```
d0=d1
d1=d0
```

Takto zapísaná relácia nemôže byť vyhodnotená ani triedená podľa poradia vyhodnocovania. Pre takéto prípady sa vypíše varovanie.

Je ale možné symbol v reláciách predefinovať:

```
d0 = d1
...
d0 = 2 * d1
```

Takéto konštrukcie je možné vyhodnotiť (druhé priradenie prepíše prvé), nie je však možné ich zatriediť (vypíše sa varovanie).

8.4 Režim Part

V režime Part sa vytvára model telesa (súčiastky, dielu). Modelovanie je tu chápané ako proces definovania, z akých tvarových prvkov sa teleso skladá. Modelovanie súčiastky je súčasťou procesu modelovania výrobku. Do prostredia režimu *Part* sa dostaneme voľbou *File>New>Part* z ponukovej lišty. Je to predvolená voľba. Po spustení režimu *Part* sa zobrazí okno *Menu Manager*, ktoré obsahuje voľby (príkazy) pre modelovanie.

8.4.1 Klasifikácia prvkov

Tvarové, resp. konštrukčné prvky (*Features*) môžeme z hľadiska ich významu rozdeliť do štyroch skupín:

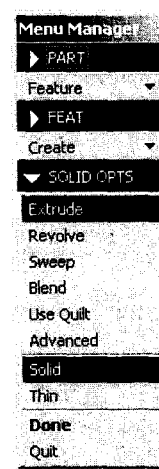
Základný prvok	Je buď prvý vytvorený prvok alebo pomocná rovina. Tvori základ stromovej štruktúry modelu, na ktorý nadväzujú ďalšie prvky (rodič-potomok).
Skicované prvky	Prvky, ktoré vzniknú priestorovou manipuláciou skice.
Referenčné prvky	Prvky využívajúce zdedený geometrický tvar, ako napr. zaoblenie, zrazenie, škrupina atď.
Pomocné prvky	Vzťažné roviny, osi, krivky, body, súradnicové systémy a grafy.

Základný prvok reprezentuje obvykle určitý objem (časť materiálu), ktorý bude v procese modelovania modifikovaný. Základný prvok je ten, ktorý je vytvorený ako prvý. V strome modelu tvorí koreň. Možnosti jeho tvorby sú dané skupinou prvkov pridávajúcich objem (*Protrusion*), ako napr. prvky typu *extrude*, *rotate*, *sweep*, *blend* a pod. Sú to tvarové prvky, ktoré vzniknú použitím elementárnej modelovacej metódy. V tomto prípade je postup volieb z okna *Menu Manager*, dialóg *Part* nasledovný:

Feature>Create>Solid>Protrusion>...

Zápis znamená, že vytvárame objemový tvarový prvok pridaním objemu (materiálu). Na miesto troch bodiek treba dosadiť niektorú z metód modelovania základného prvkú.

Ak sa ako základný prvok vytvoria pomocné roviny (*Default*), potom je potrebné vždy vytvoriť objemový prvok (*Solid*), ktorý bude umiestnený vzhľadom k základnému prvkú a na jeho vytvorenie budú potrebné dve ortogonálne roviny. Jedna bude použitá ako nárys skice (*Sketching Plane*) a druhá na orientáciu nárysne na obrazovke.



Skicované prvky sú prvky, na ktorých vytvorenie je potrebný režim *Sketcher*. Systém sa do tohto režimu automaticky prepne ak je to potrebné. Až po nakreslení skice reprezentujúcej profil modelovaného telesa a definovaní požadovaných parametrov bude model vytvorený.

Pomocné prvky sú roviny, body, osi, krivky, súradnicové systémy a grafy, ktoré sa používajú ako referencie pre ďalšie vytvárané prvky, pre umiestnenie, zorientovanie pohľadu atď.

Pomocné roviny (*Datum Planes*) sa používajú pri definovaní skicovacej roviny (*Sketch Plane*), alebo na orientáciu pohľadu (*sketch wiew*), ak neexistuje vhodná rovinná plocha pri

kótovaní a zostavovaní telies do zostavy. Pomocná rovina je nekonečne veľká, nemôže byť prepojená s prvkom a jej zobrazenie sa riadi veľkosťou prvku. Vytvára sa jednoznačným definovaním podmienok jej relatívneho umiestnenia vzhľadom k modelu a orientáciou normály. Pomocná rovina sa zobrazuje žltým alebo červeným obrysom, podľa toho, z ktorej strany sa na ňu pozeráme. Smerový vektor je kladný na žltej strane a záporný na strane červenej. Pri pohľade na hranu pomocnej roviny sa táto zobrazuje ako žltá a červená čiara vedľa seba. Farby sa využívajú pri zostavovaní telies, orientácii pohľadov a pri zadávaní referencií počas skicovania. Každéj pomocnej rovine je priradené meno podľa poradia vytvorenia (DTM1, DTM2, atď').

Ponuka DATUM PLANE pre definovanie pomocných rovín obsahuje tieto voľby:

Through	Pomocná rovina bude obsahovať vybraný objekt (os, hrana, krivka, rovina, atď')
Normal	Pomocná rovina bude kolmá na vybraný objekt
Parallel	Pomocná rovina bude rovnobežná s vybratej rovinou
Offset	Pomocná rovina bude odsadená od vybratej roviny o zadanú dĺžku
Angle	Pomocná rovina bude pootočená od vybratej roviny o zadaný uhol
Tangent	Pomocná rovina bude dotyčnicová k vybratej valcovej ploche
Blend Section	Pomocná rovina bude prechádzať rovinou skice existujúceho prvku

Niektoré voľby sa musia použiť samostatne. Ak jedna voľba nestačí na úplné definovanie pomocnej roviny, potom je nutná dvojica volieb.

8.4.2 Pridávanie prvkov

Keď je základný prvok vytvorený, potom môžeme pridávať ďalšie prvky. Pridanie prvku je najčastejšie chápané ako pridanie skicovaného prvku. Poradie, v akom sú jednotlivé prvky vytvárané, je významné. Prvok nebude vedieť nič o prvkoch vytvorených neskoršie. Každý prvok závisí na nejakom skôr vytvorenom prvku a stáva sa tak jeho potomkom. Spravidla sa prvok stáva potomkom tých prvkov, ktoré použil pre svoje umiestnenie alebo okótovanie. Vzťah rodič-potomok je veľmi dôležitý pri modifikovaní súčiastky. Ak budeme chcieť zrušiť rodičovský prvok, potom nás systém vyzve, čo má robiť s jeho potomkami. Vzťahy rodič-potomok možno meniť pomocou príkazu Reroute, Redefine>Scheme z ponuky FEAT.

Pri modelovaní súčiastky je vhodné zvoliť taký postup, aby proces modelovania odrážal proces výroby súčiastky. Nie je vhodné postupovať príliš komplikovaným spôsobom, lebo zložitá štruktúra modelu zaťažuje výpočtovú kapacitu počítača a aj následné modifikácie môžu byť komplikované.

Pri pridávaní prvkov je potrebné často definovať aj určenie, ako hlboko bude prvok prechádzať do iného prvku. Základné možnosti sú tieto:

Blind	Rozmer sa zadá číslom. Zároveň sa vytvorí kóta, ktorú možno neskôr modifikovať.
2 Side Blind	Zadajú sa dva rozmery, lebo prvok sa bude vytvárať na obe strany skicovacej roviny. Vzniknú dve kóty.
Thru Next	Prvok sa vytvorí vo zvolenom smere po najbližší povrch.
Thru All	Prvok sa vytvorí vo zvolenom smere cez všetky prvky.
Thru Until	Prvok sa vytvorí vo zvolenom smere až dosiahne zvolený povrch.
Up To	Prvok sa vytvorí vo zvolenom smere až dosiahne bod alebo vrchol, krivku prípadne plochu.

8.4.3 Základné metódy modelovania prvkov

Pre modelovanie telies poskytuje systém základné metódy, ktoré sú sprístupnené z dialógu *Part* voľbou *Feature>Create....*

Sú to tieto základné metódy:

Extrude	Prvok je vytvorený ťahaním skicovaného profilu po normále skicovacej roviny.
Revolve	Prvok je vytvorený rotáciou skicovaného profilu okolo osi ležiacej v rovine profilu.
Sweep	Prvok je vytvorený ťahaním skicovaného profilu po krivke.
Blend	Prvok je vytvorený spojením najmenej dvoch profilov umiestnených v priestore. Profily musia mať rovnaký počet vrcholov.
Quilt	Prvok je vytvorený z tzv. plátov (patches), ktoré tvoria jeho obálku.
Advanced	Tvorba zložitejších prvkov, ako napr. pružiny a rôzne zložitejšie profily.

Uvedené metódy umožňujú vytvoriť objemový prvok (*Solid*) alebo tenkostenný prvok, resp. škrupinu (*Thin*). Pre prvky typu *Extrude* a *Revolve* je prvky možné vytvárať jednostranne (*One Side*) alebo obojstranne (*Both Side*) vzhľadom na skicovacu rovinu. Smer vytvorenia prvku je definovaný na obrazovke červenou šípkou.

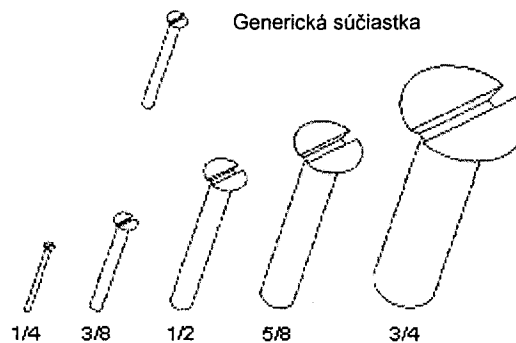
Pre vytváranie základných objemových prvkov plných, použijeme tieto voľby z dialógu *Part*:

Extrude	Feature>Create>Solid>Protrusion>Extrude Solid Done
Revolve	Feature>Create>Solid>Protrusion>Revolve Solid Done
Sweep	Feature>Create>Solid>Protrusion>Sweep Solid Done
Blend	Feature>Create>Solid>Protrusion>Blend Solid Done
Quilt	Feature>Create>Solid>Protrusion>Use Quilt Solid Done
Advanced	Feature>Create>Solid>Protrusion>Advanced Solid Done

8.4.4 Tabuľky podobnosti (*Family Tables*)

Tabuľky podobnosti (tabuľky typových radov) reprezentujú skupiny súčiastok (zostáv alebo prvkov), ktoré sú tvarovo podobné. Odlišujú sa veľkosťou, alebo používajú niektoré iné prvky. Tieto prvky (inštancie) sú odvodené od generického (vzor) objektu.

Napr. skrutky sú vyrábané v rôznych veľkostiach, ale všetky plnia rovnakú funkciu a sú si podobné. Preto je vhodné ich zaradiť do tabuliek podobnosti. Súčiastky z tabuľky podobnosti sa tiež nazývajú súčiastky riadené tabuľkou (*table-driven parts*).



Obr. 8.16 Podobné skrutky vytvorené tabuľkou podobnosti

Výhody používania tabuliek podobnosti

Tabuľky podobnosti majú tieto výhody:

- *umožňujú jednoduchým a kompaktným spôsobom vytvárať a ukladať veľký počet objektov,*
- *šetrí čas a úsilie tým, že umožňujú štandardizovať generovanie súčiastok,*
- *umožňujú generovať varianty súčiastok z jednej súčiastky, bez nutnosti znovu vytvárať každú súčasť zvlášť,*
- *umožňujú vytvárať jemne sa líšiace varianty bez nutnosti použitia relácie pre zmenu modelu,*
- *umožňujú vytvárať tabuľky súčiastok, ktoré môžu byť uložené v súbore a použité v katalógu súčiastok.*

Tabuľky podobnosti podporujú používanie štandardizovaných komponentov a umožňujú uchovávať aktuálny inventár súčiastok v systéme Pro/E. Navyše tabuľky podobnosti uľahčujú zameniteľnosť súčiastok a podzostáv v zostavách. Súčiastky z rovnakej tabuľky sú vzájomne zameniteľné.

Možnosť použitia tabuliek podobnosti závisí na type licencie:

Licencia	Možnosti
Pro/Engineer Foundation	Vytváranie tabuľkou riadeného komponentu, pridaním kót do tabuliek podobnosti.
Pro/Assembly	Pridávanie prvkov do tabuliek podobnosti súčiastok. Vytváranie tabuľkou riadených zostáv, pridaním mena podzostáv a súčiastok do tabuľky podobnosti.
Pro/Feature	Vytváranie používateľom definovanej skupiny riadenej tabuľkou.

Štruktúra tabuľky podobnosti

Tabuľky podobnosti sú v podstate dvojrozmerné tabuľky, pozostávajúce zo stĺpcov a riadkov. Pre ich vytváranie a editovanie môžeme použiť editor Pro/TABLE. Nasledujúci obrázok demonštruje typickú tabuľku podobnosti súčiastok.

Generický objekt s názvom SKRUTKA

Položka

Hodnota inštancie

Type	Instance Name	d18	d17	d16	d15	d28	d27	d12	F406 (CUT)	F977 (CUT)	F257 (CUT)
SKRUTKA	SKRUTKA	20.00000000	8.00000000	1.50000000	18.00000000	0.50000000	13.50000000	6.00000000	Y	Y	Y
SKRUTKA1	SKRUTKA1	40.00000000	*	*	*	*	*	*	*	*	N
SKRUTKA2	SKRUTKA2	*	*	1.00000000	*	*	*	*	N	N	N
SKRUTKA3	SKRUTKA3	30.00000000	10.00000000	1.00000000	20.00000000	0.20000000	12.00000000	5.00000000	N	N	*

Inštancia s názvom SKRUTKA3

Obr. 8.17 Tabuľka podobnosti

Tabuľka podobnosti obsahuje:

- generický objekt (typový predstaviteľ), na ktorom sú založené všetky členy tabuľky,
- rozmery a parametre, čísla prvkov, používateľsky definované mená prvkov a názvy členov zostavy,
- mená všetkých členov (inšancií) tabuľky podobnosti, vytvorených touto tabuľkou a hodnoty každej položky.

Riadky obsahujú inštancie a im príslušné hodnoty, stĺpce sú používané pre položky.

Záhlavie stĺpcov obsahuje názov mena, mená všetkých rozmerov, parametrov, prvkov, členov a skupín, ktoré boli vybrané pre tabuľku. Rozmery sú vypísané menom (napr. d18)

s asociovaným symbolickým menom (pokiaľ nejaké existuje) na nasledujúcom riadku. Parametre sú vypísané menom (*dim symbol*), prvky sú vypísané spôsobom typ prvku a interné identifikačné číslo (*ID*) prvku.

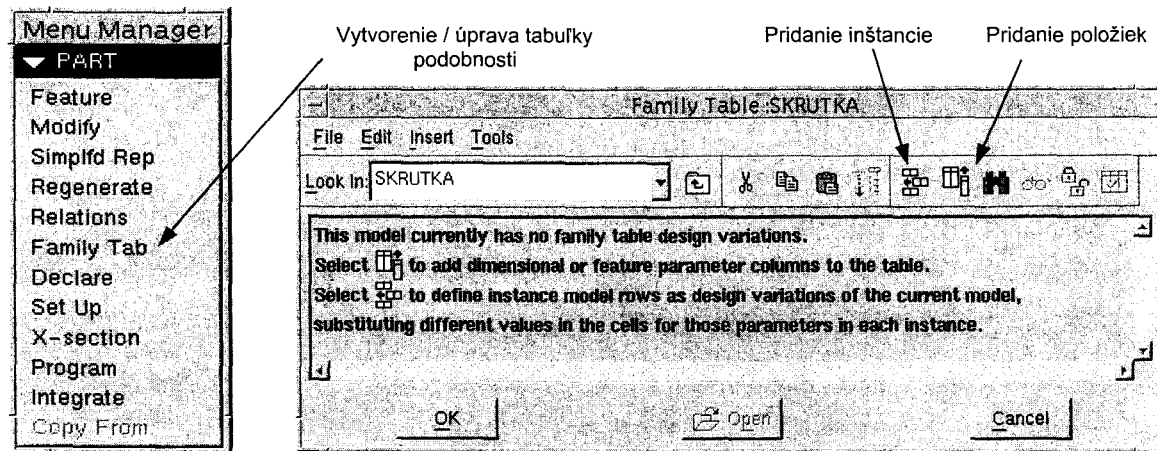
Generický model je na prvom riadku tabuľky. Bunky tohto riadku môžu byť menené len zmenou aktuálnych súčiastok, alebo potlačením, alebo úpravou prvkov. Nie je možné meniť generický model priamo v tabuľke. Názvy v tabuľke podobnosti nerozlišujú veľké a malé písmená. Preto sú všetky mená zobrazované veľkými písmenami.

Pre každú inštanciu môžeme definovať, či je názov prvku, parametra alebo zostavy v inštancii použitý zadáním písmen Y alebo N, alebo priamo poskytnutou číselnou hodnotu (v prípade rozmeru). Každá vlastnosť generického modelu, ktorá nie je prítomná medzi položkami tabuľky podobnosti, sa automaticky kopíruje do každej inštancie. Napr. ak má generický model modrú farbu a farba nie je položkou tabuľky podobnosti, všetky inštancie tabuľky budú modré.

Postup pre vytvorenie tabuľky podobnosti:

1. Vytvoriť generický (vzorový) model pre tabuľku a vybrať položku *Family Tab* v okne *Menu Manager* v režime *Part*.
2. Pridať položky modelu, ktoré budú riadené tabuľkou.
3. Vytvoriť členov tabuľky pridaním názvov a hodnôt inštancií zvolených položiek.

Ak je vytvorená inštancia modelu v tabuľke podobnosti, potom je možné ju otvoriť rovnako ako ľubovoľný iný model.



Obr. 8.18 Dialóg Family Table

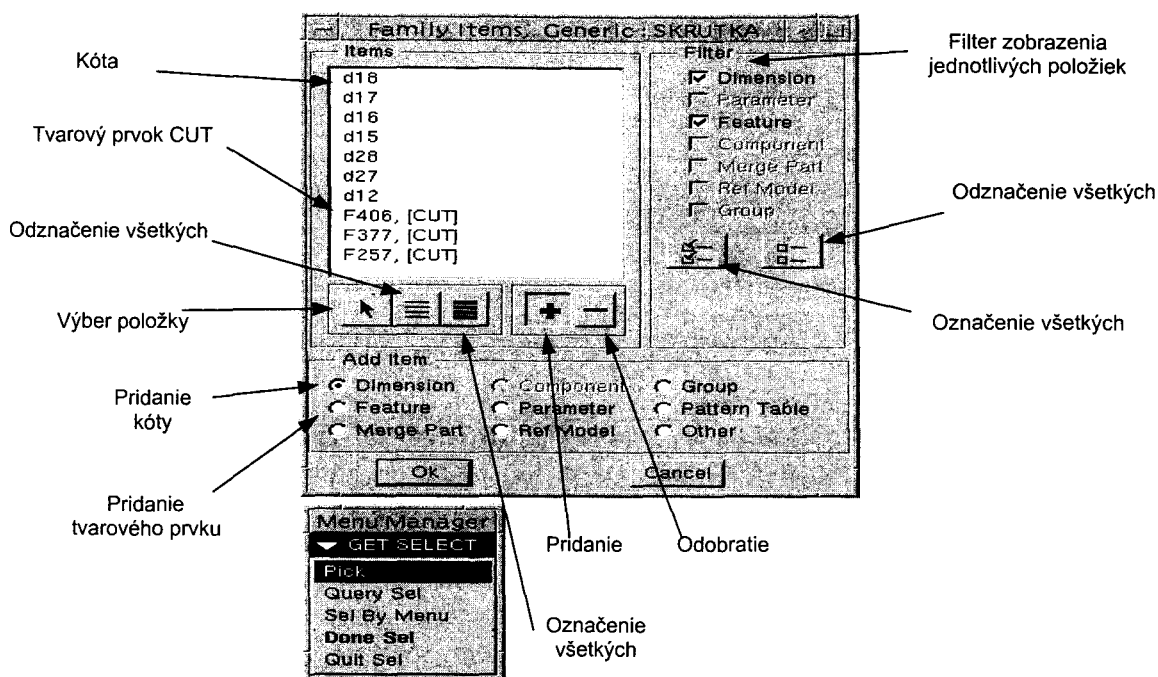
Pridanie prvku do tabuľky podobnosti

1. Z ponuky Part alebo Assembly zvoliť Family Tab>Add Item>Feature. Zobrazí sa dialóg *Family Table*, kde treba kliknúť na ikonu pridania položiek.
2. Vybrať jednu z možností výberu:
 - *Pick* – výber viditeľnej geometrie,
 - *Query Sel* - výber skrytej geometrie, alebo výber z viac ponúkaných možností v mieste, kde existuje viac než jedna položka geometrie,
 - *Sel By Menu* – vybrať položky podľa mena, interného ID čísla, alebo regeneračného čísla. Zobrazí sa ponuka *SPECIFY BY*.

Ak majú prvky mená, objaví sa ich meno v nadpise stĺpcov tejto tabuľky.

Ak nie je prvok do inštancie zaradený, sú rovnako vynechané všetky jeho kóty a potomkovia. Ak je prvok zaradený, musia existovať všetky jeho rodičia. V prípade konfliktu nahradia vynechané prvky už zaradené.

Pri zaradovaní vzoru, resp. znásobenia (*Pattern*) systém automaticky nahrá znásobený prvok. Rovnako môžeme vložiť parameter počtu inštancií znásobenia do tabuľky. Pri odmietnutí celého znásobenia môžeme vložiť nulový počet prvkov znásobenia.



Obr. 8.19 Dialóg Family Items

Pridanie kóty

1. Z ponuky Family Table zvolit' Add Item>Dimension.
2. Vybrať kóty, ktoré majú byť pridané do tabuľky podobnosti. Môžeme pridať štandardné kóty, znásobené kóty a geometrické tolerancie.

Kóty sú umiestňované do tabuľky v poradí, v ktorom boli vyberané. Kóty sa volia postupne podľa jednotlivých konštrukčných prvkov, čo sa vyplatí pre neskoršiu úpravu a pridávanie hodnôt inštancií. Pokiaľ je v reláciách zadaná záporná kóta, Pro/E túto zápornú hodnotu interpretuje ako zmenu smeru vždy, keď je prvok regenerovaný. Pre vyvarovanie sa chybnéj interpretácie musí byť pred menom kóty umiestnený znak dolár \$ (\$d30 namiesto d30).

Pridanie tolerancie ku kótam

1. Z ponuky Utilities zvolit' Environment, zobrazí sa dialóg Environment.
2. Vybrať Dimension Tolerances.
3. Z ponuky Family Table zvolit' Add Item>Dimension.
4. Vybrať tolerancie kót, ktoré chceme pridať do tabuľky podobnosti.

Pridanie komponentu zostavy

Tabuľky podobnosti zostáv je možné vytvárať len s licenciou Pro/ASSEMBLY.

1. Z ponuky *Family Table* zvoliť *Add Item>Component*.
2. Vybrať komponenty (súčiastky alebo podzostavy), ktoré majú byť zahrnuté do tabuľky, t.j. tie, ktoré môžu byť vypustené alebo nahradené. Všetky ostatné komponenty budú vložené do každej inštancie.

Pridanie parametra

1. Z ponuky *Part* alebo *Assembly* zvoliť *Family Tab>Add Item>Parameter*.
Objaví sa ponuka *OBJ TYPES*.
2. Ak zvolený objekt obsahuje niektoré parametre z najvyššej úrovne, ktoré neboli pridané do tabuľky podobnosti, objaví sa ponuka *PARAMETER* so zoznamom parametrov.
Vybrať tie parametre, ktoré chceme pridať a zvoliť *Done Sel*.
3. Z ponuky *OBJ TYPES* vybrať typ objektu (t.j. *Feature* v režime *Part*, *Component* alebo *Feature* v režime *Assembly*). Zobrazí sa ponuka *Get select*.
4. Vybrať postupne prvky, ktorých parametre pridávame. Po každom výbere objektu systém kontroluje, či objekt má nejaké používateľsky definované parametre, ktoré neboli dosiaľ pridané do tabuľky podobnosti. Ak budú nejaké nájdené, potom budú zobrazené v ponuke *PARAMETER*. Parameter pridáme príkazom *Accept*.
5. Pridať príkazom *Next* ďalší parameter. *Done* ukončí výber parametrov.

Pridanie referencií modelu

1. Zvoliť z ponuky *Family table* položku *Add Item – Ref Model*. Zobrazí sa zoznam referencií.
2. Vybrať referenčný model, ktorý chceme pridať do tabuľky. Referenčný model bude zobrazený v tabuľke ako položka typu *EXT_PRT#*, kde # je poradie, v ktorom bola externá referencia pridaná do tabuľky.

Pridanie UDF (*User Defined Feature*)

Ak je v modeli použitý *UDF* (používateľom definovaný prvok), ktorý je už súčasťou tabuľky, potom pomocou príkazu *Group* je možné pridať tento prvok do novej tabuľky. Prvok je možné vybrať z ponuky, ktorá obsahuje všetky *UDF* obsiahnuté v modeli.

1. Zvoliť z ponuky *Family Table* voľbu *Add Item>Group*. V ponuke sa zobrazia používateľsky - definované prvky, ktoré sú v modeli.
2. Vybrať skupinu, ktorú chceme pridať do tabuľky.

Ak je v tabuľke zahrnutá skupina, možno modifikovať len jej rozmery pre rôzne položky tabuľky. Všetky prvky skupiny budú prítomné vo všetkých inštanciách tabuľky (nemožno ich potlačovať ani rušiť), aj keď je možné použiť rôzne inštancie *UDF* v rôznych inštanciách modelu.

Pridanie znásobenia prvkov (*Pattern*)

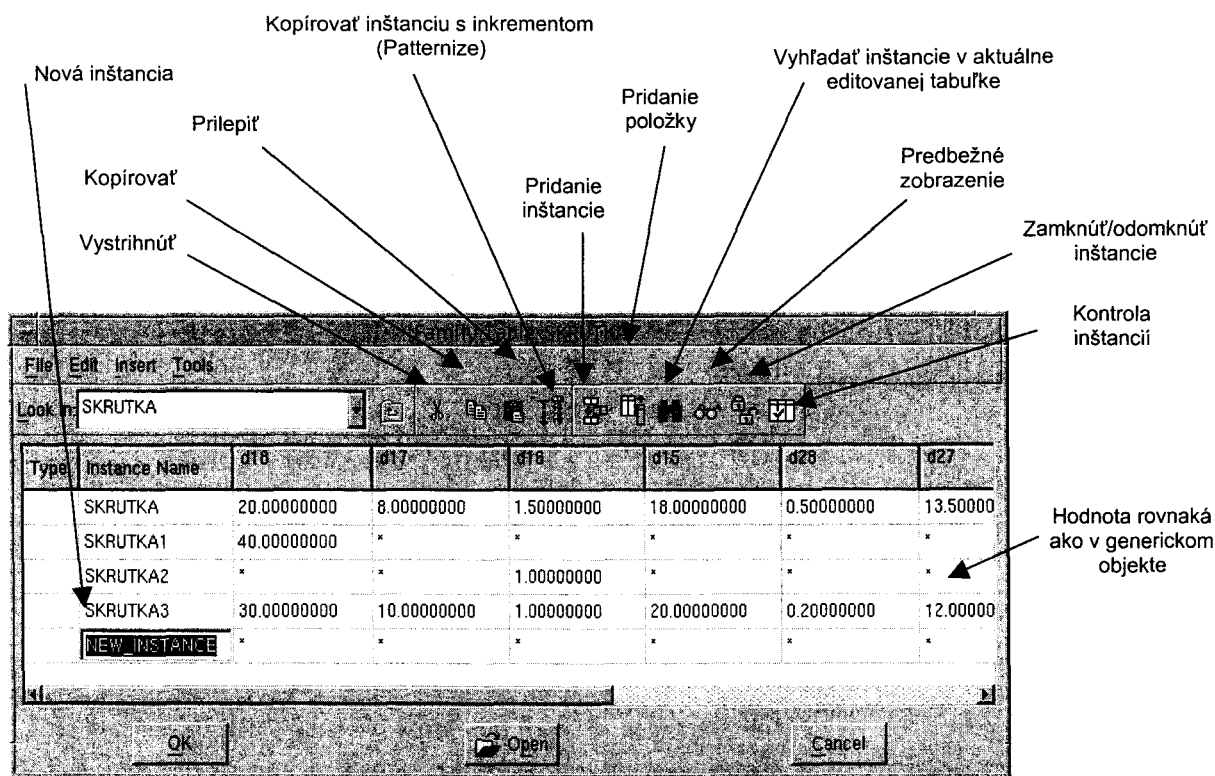
Tabuľky znásobenia prvkov môžu byť vložené do tabuliek podobnosti; umožňujú vytvárať inštancie s rôznymi tabuľkami znásobenia, ktoré riadia rovnaký znásobený prvok. Generický model musí obsahovať všetky tabuľky znásobenia, ktoré sú nutné pre inštancie.

1. Zvoliť z ponuky *Part* alebo *Assembly* voľbu *Family Tab>Add Item>Pattern Table*.
2. Vybrať na modeli znásobený prvok zodpovedajúci tabuľke znásobenia, ktorý vkladáme do tabuľky podobnosti. Meno súčasnej tabuľky podobnosti bude zadané ako hodnota parametra pre generickú položku v tabuľke. Pre inštancie môžeme zadať meno iných tabuliek znásobenia.

Pridanie inštancie editovaním tabuľky podobnosti

1. Zvoliť ponuky *Part* alebo *Assembly* z *Family Tab*. Tabuľka sa objaví v okne *Pro/Table*.
2. Zadať pre každú inštanciu jej meno, ktoré môže mať maximálnu dĺžku 31 znakov a musí zodpovedať pravidlám pre pomenovanie súborov. Mená inšancií by mali byť jedinečné a nemali by sa používať rovnaké mená inšancií v rôznych tabuľkách.
3. Zadať pre každú inštanciu hodnotu riadenú tabuľkou pre každú položku tabuľky.

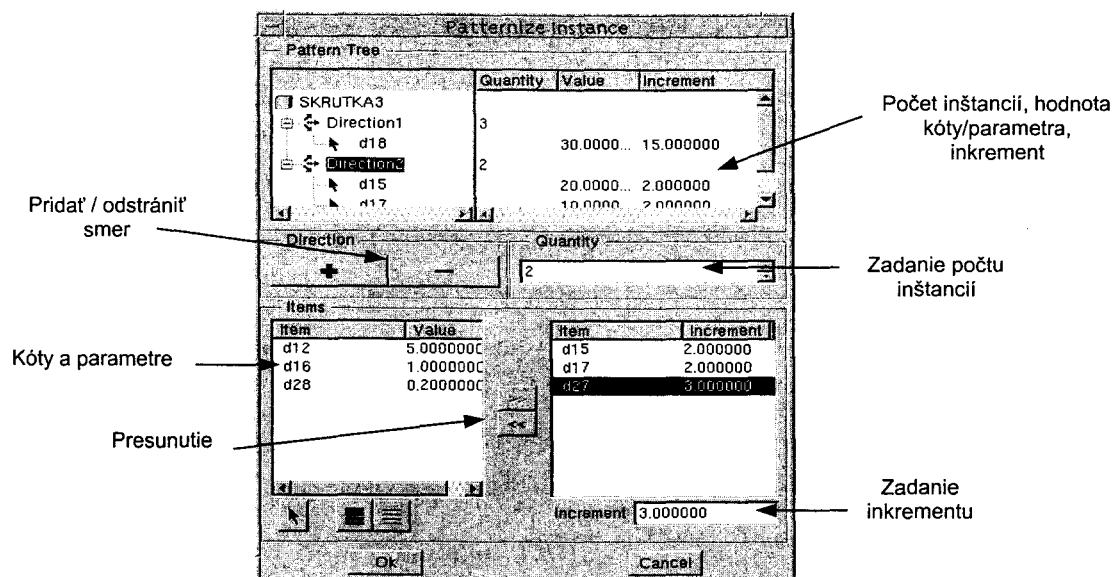
4. Výberom *OK* uložiť tabuľku a vrátiť sa do Pro/E, alebo pomocou *Quit* sa vrátiť bez uloženia opráv.



Obr. 8.20 Pridanie inštancie editovaním tabuľky

Vytváranie inštancií znásobením

1. Zvoliť z ponuky *Part* alebo *Assembly* voľbu *Family Tab*. Vytvoriť zdrojovú inštanciu a uistiť sa, že potrebné parametre pre znásobenie sú zadane.
2. Označiť zdrojovú inštanciu a vybrať *Patternize*. Objaví sa ponuka *Patternize Instance*.
3. Zvoliť kótu alebo parameter, ktorý má byť inkrementovaný. Presunúť žiadané položky do vedľajšieho okna, kde bude potrebné zadať prírastok.
4. Vložiť inkrementačnú hodnotu, ako aj hodnotu počtu vytvorených inštancií.
5. Opakovať kroky 3 a 4 podľa požiadaviek.
6. Zvoliť *OK* a inštancie sa automaticky vytvoria, alebo *Cancel* pre zrušenie tvorby znásobenia.



Obr. 8.21 Dialóg na tvorbu znásobenia

Type	Instance Name	d18	d17	d15	d28	d27	d12	F406 (cut)	F377 (cut)	F267 (cut)
	SKRUTKA	20.00000000	8.00000000	1.50000000	18.00000000	0.50000000	13.50000000	Y	Y	Y
	SKRUTKA1	40.00000000	*	*	*	*	*	*	*	N
	SKRUTKA2	*	*	1.00000000	*	*	*	*	N	N
	SKRUTKA3	30.00000000	10.00000000	1.00000000	20.00000000	0.20000000	12.00000000	5.00000000	N	N
	SKRUTKA30	30.00000000	10.00000000	1.00000000	20.00000000	0.20000000	12.00000000	5.00000000	N	N
	SKRUTKA31	30.00000000	12.00000000	1.00000000	22.00000000	0.20000000	15.00000000	5.00000000	N	N
	SKRUTKA32	45.00000000	10.00000000	1.00000000	20.00000000	0.20000000	12.00000000	5.00000000	N	N
	SKRUTKA33	45.00000000	12.00000000	1.00000000	22.00000000	0.20000000	15.00000000	5.00000000	N	N
	SKRUTKA34	60.00000000	10.00000000	1.00000000	20.00000000	0.20000000	12.00000000	5.00000000	N	N
	SKRUTKA35	60.00000000	12.00000000	1.00000000	22.00000000	0.20000000	15.00000000	5.00000000	N	N

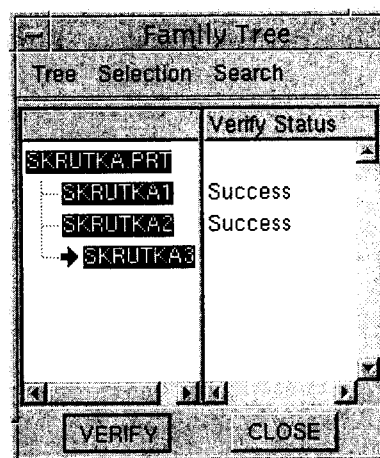
Obr. 8.22 Tabuľka so znásobenými inštanciami

Znásobenie vytvára inštancie automaticky pomocou prírastku pre zvolené parametre. Inštancia zvolená pre znásobenie sa nestáva rodičom, ale len poskytuje zdrojové hodnoty pre generovanie nových inštancií. Nemožno tvoriť znásobenie z prvkov, komponentov a skupín, ktoré sú uložené do tabuľky, ale možno vytvoriť znásobenie z inštancií, ku ktorým tieto parametre patria. Nežiadúce parametre možno zmeniť jednoducho editovaním tabuľky. Znásobenie neodstráni vzorovú inštanciu, ktorej hodnoty boli k znásobeniu použité. V prípade potreby ju musíte odstrániť ručne. Znásobenie je možné vytvárať zároveň vo viacerých smeroch. Prvý smer je sada parametrov, ktoré chcete zvyšovať spoločne, druhý smer je

znásobenie prvého smeru, kde vyberiete parameter, ktorý je zvýšený o určitý násobok pre každú inštanciu v prvom smere. Tretí smer je znásobením druhého smeru, kde vyberiete parameter, ktorý je zvýšený o určitý násobok pre každú inštanciu v prvom smere, atď. Pomocou znásobenia môžete vytvárať inštancie veľmi rýchlo.

Overenie inštancie

Z ponuky *Family Table* zvoliť *Verify*. Všetky inštancie generickej súčiastky sú zregenerované v poradí od prvej inštancie v tabuľke po poslednú. Pre každú regenerovanú inštanciu je vytvorený zápis do súboru *meno_generickeho_modelu.tst*, čo je meno súčasného generického modelu. Do *súboru.tst* je zapísané meno inštancie, meno generickej súčiastky a stav regenerácie (úspešná – *success* alebo neúspešná – *failure*). Počas regenerácie je inštancia zobrazená v ďalších oknách. Počas



tohto procesu je zobrazená ikona *STOP* v oblasti správ a kliknutím na ňu môžeme prerušiť regeneráciu inštancií.

V prípade viacúrovňovej tabuľky podobností sú regenerované všetky inštancie celého stromu. Po regenerácii je každá inštancia zmazaná z pamäte, toto sa netýka inštancií, ktoré už boli skôr regenerované nezávisle na overovacom procese (ako sú inštancie načítané pomocou príkazu *Instance*).

Uloženie tabuľky podobností

Tabuľka podobností je uložená, ak je uložený generický model alebo jedna z jeho inštancií.

- Ak ukladáme generický model, uloží sa len on a jeho tabuľka podobností. Pre načítanie inštancií musí potom byť použitý generický model.
- Ak je premenná *Instance Accelerator Environment* nastavená na *NONE* a my ukladáme inštanciu súčiastok alebo zostavy, je uložený len generický objekt a jeho tabuľka podobností. Pre načítanie inštancií musí byť použitý generický model.
- je premenná *Instance Accelerator Environment* nastavená na *Explicit* alebo *Always* a ukladáme inštanciu súčiastok alebo zostavy, potom je uložený generický objekt, jeho tabuľka podobností a inštancie do akceleračného súboru.

Zamknutie/odomknutie inštancie

Inštancie v tabuľke podobností možno uzamknúť tak, že charakteristiky inštancie, riadené touto tabuľkou, nemôžu byť modifikované. Keď upravujeme tabuľku, riadok so zamknutou inštanciou začína znakom \$. Toto zamknutie sa prejaví až pri uložení tabuľky. Eventuálne zmeny zamknutých inštancií sú ignorované.

1. Zvolíme *Family Table>Lock/Unlock*, objaví sa ponuka *Locked Inst.*
2. Vyberieme zo zoznamu mená inštancií, ktoré chceme zamknúť (odomknúť). Pri vybraných položkách sa objaví kontrolná značka.
3. Zvolíme *Done Sel* pre ukončenie výberu.

Type	Instance Name	d18	d17	d16	d15	d28	d27	d12	F496 [CUT]	F377 [CUT]	F257 [CUT]
	SKRUTKA	20.000000	8.000000	1.500000	18.000000	0.500000	13.500000	6.000000	Y	Y	Y
	SKRUTKA1	40.000000	*	*	*	*	*	*	*	*	N
🔒	SKRUTKA2	*	*	1.000000	*	*	*	*	*	N	N
🔒	SKRUTKA3	30.000000	10.000000	1.000000	20.000000	0.200000	12.000000	5.000000	N	N	*

Obr. 8.23 Zamknutie a odomknutie inštancie

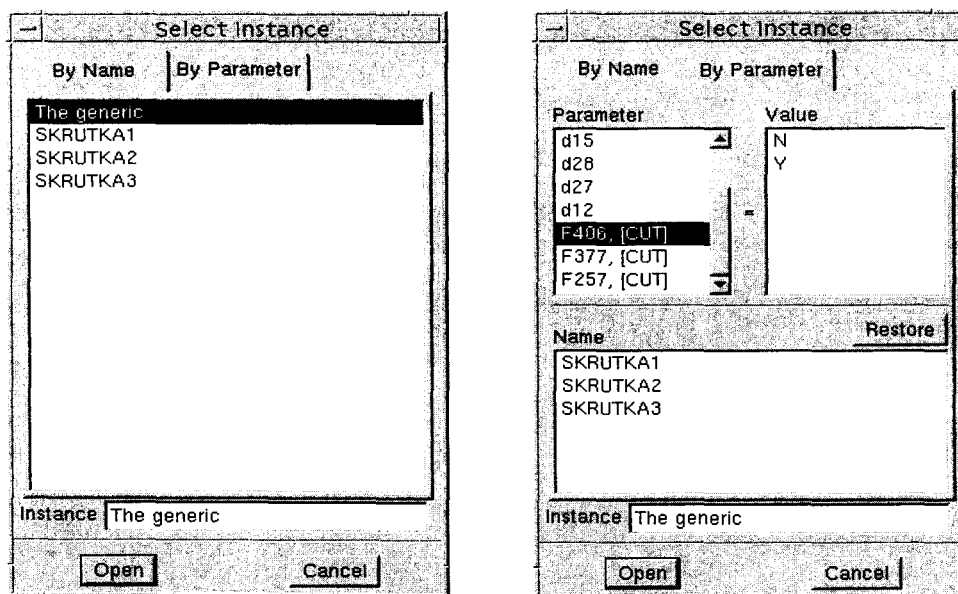
Tlač tabuľky podobností

Tabuľky podobností môžeme uložiť do textového súboru vhodného pre tlač. Údaje sú v ňom usporiadané rovnako ako na obrazovke. K tlači tabuľky musíme použiť editor *Pro/TABLE*, v ktorom sa zobrazí po zvolení *Family Tab*.

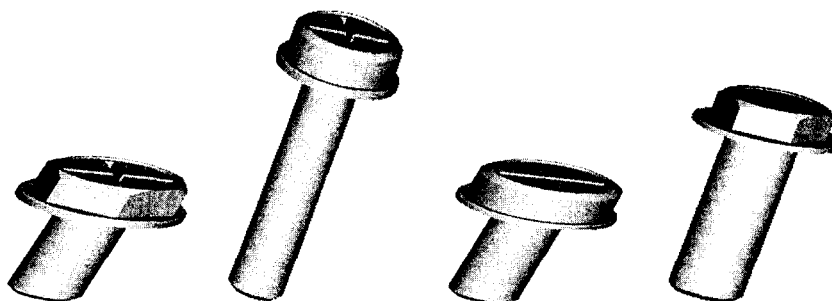
Načítanie generického objektu a inštancií

Otvoríme model, ktorý má tabuľku podobností. Zobrazí sa okno, v ktorom je možné vybrať si vzorový objekt alebo inštanciu zo zoznamu usporiadaného podľa mena alebo parametra a hodnoty.

Ako príklad použijeme model skrutky, ktorá sa používa pri konfigurovaní počítačových zostáv. Generický model má názov *The generic* (v okne *Select Instance* a SKRUTKA vo *Family Table*) a jeho inštancie SKRUTKA1, SKRUTKA2, SKRUTKA3.

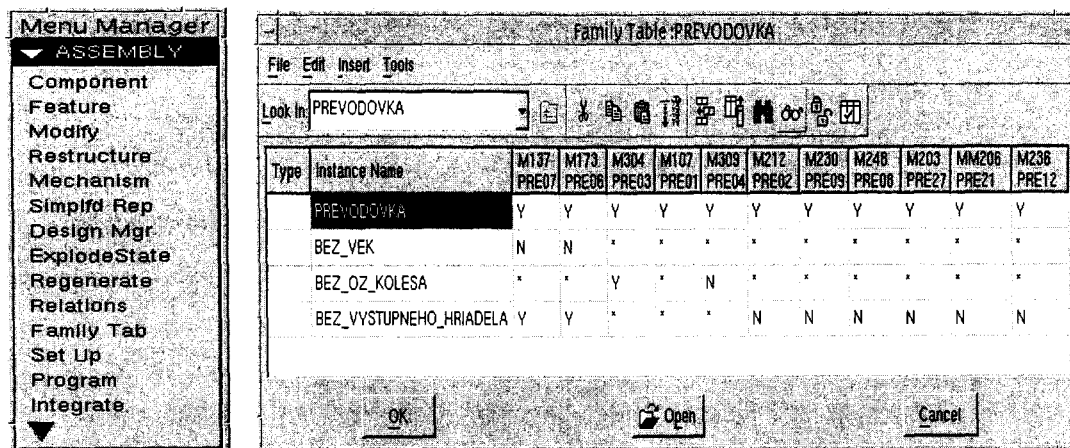


Obr. 8.24 Výber inštancie

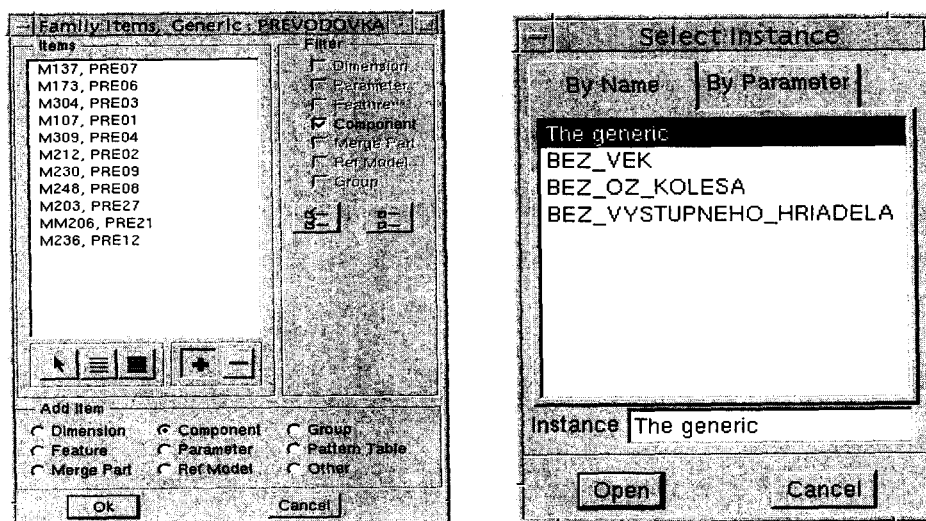


Obr. 8.25 Generický model a jeho inštancie

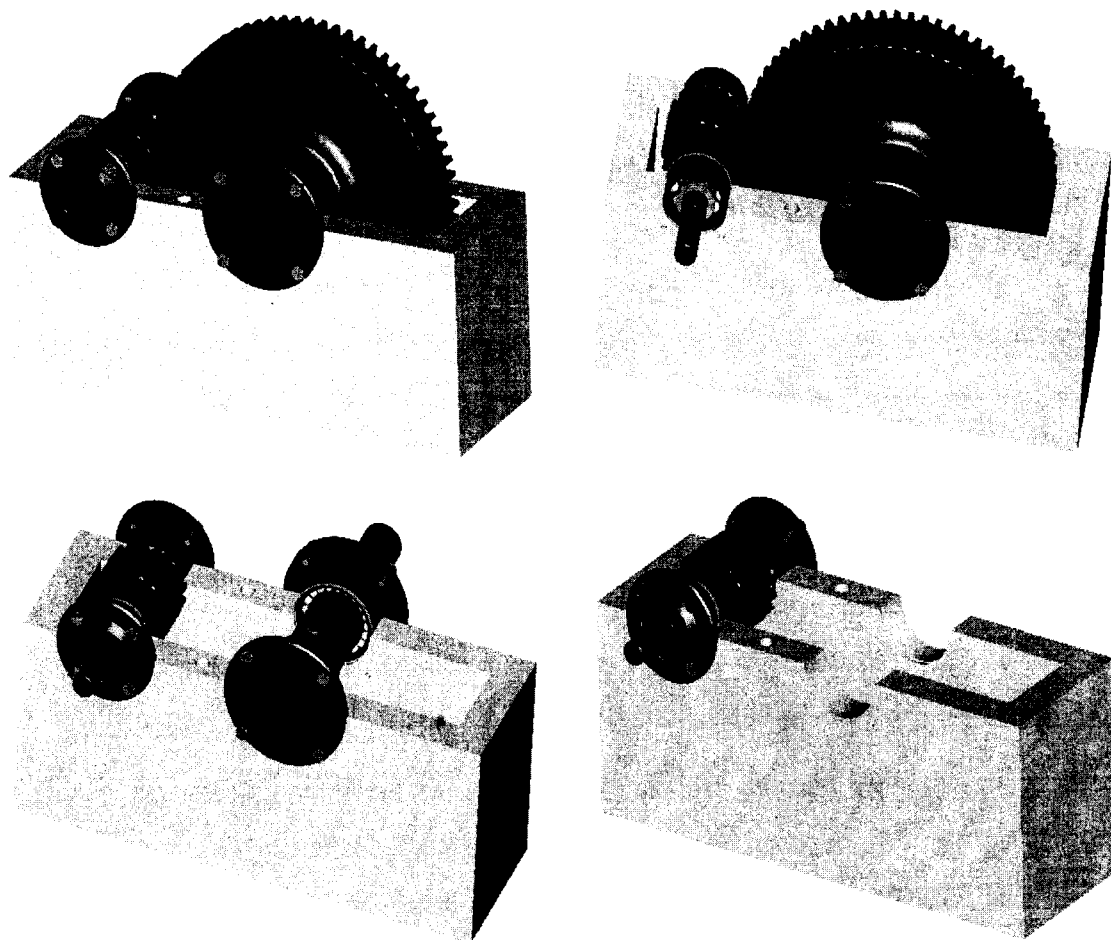
Ako druhý príklad môžeme použiť zostavu prevodovky. Generický model ju obsahuje celú a inštancie zobrazujú len určité časti.



Obr. 8.26 Family Table v režime ASSEMBLY



Obr. 8.27 Výber položiek z tabuľky



Obr. 8.28 Generický model a jeho rôzne inštalácie

Vytvorenie viacúrovňovej tabuľky podobností

Tabuľka podobností nie je obmedzená jednou úrovňou, môžeme vytvárať inštalácie z inštalácií v nových tabuľkách. Použitie tohto postupu závisí na konštrukčnom zámere hierarchie modelov. Je tiež možné pridávať nové prvky alebo komponenty priamo k inštaláciám. Tak vznikajú tabuľky o viac úrovniach (tabuľky s podtabuľkami, inštalácie s inštaláciami). Nový prvok alebo komponent sa objaví pri inštalácii, ku ktorej bol pridaný a vo všetkých inštaláciách, ktoré sú od tejto odvodené. V ostatných inštaláciách a generickej súčiastke je tento prvok potlačený.

Postup pre vytvorenie viacúrovňovej alebo prvkami riadenej tabuľky podobností:

1. Vytvoriť generický model s požadovanými základnými prvkami.

2. Vytvoriť tabuľku podobností s inštanciami, ktoré budú vytvárať ďalšie tabuľky podobností.
3. Zregenerovať inštancie a pridať prvky do ich tabuľky podobností. Pokračovať, dokiaľ všetky úrovne tabuliek nie sú úplne definované.

Keď Pro/E vytvára inštancie, len tie prvky, ktoré ležia v priamej línii od najvyššej úrovne generického modelu, môžu byť zaradené. To znamená, že niektoré prvky budú musieť byť znova vytvorené, aj keď podobné prvky existujú v inej (paralelnej) tabuľke. Prvky z inej paralelnej tabuľky môžu byť dočasne obnovené a použité, napríklad, pre skicovanie podobného prvku. Počas regenerácie však tabuľka podobností znova potlačí obnovené prvky a tie zostanú potlačené. Aj keď prvok je vytvorený tak, že sa odkazuje na geometriu obnoveného prvku aj inej inštancie, bude patriť do inštancie, pod ktorou je vytvorený. Je preto vhodnejšie v režime *Sketcher* vytvoriť skice, ktoré sú spoločné pre rôzne časti tabuľky podobností, a uložiť ich pre neskoršie použitie.

Nie je možné predefinovať prvky pridané k inštanciám. Ak nemôžeme dosiahnuť požadovaný tvar prvku zmenou kót, musíme ho zrušiť a vytvoriť znova. Modifikovanie a rušenie prvkov má vplyv na všetkých potomkov inštancie bez ohľadu na to, z ktorej inštancie bol prvok modifikovaný.

Modifikácia položiek

Je jednoduchá a podobná ako pri iných tabuľkových programoch. Môžeme zrušiť celý riadok (inštanciu), alebo stĺpec (položku) prostredníctvom *Delete Row* a *Collumn*. Zvolením názvu inštancie môžeme meniť jej meno. Hodnotu položky môžeme zrušiť (*Del*), prepísať, a aktivovať/deaktivovať jej zobrazenie (Y/N).

8.4.5 Editovanie C programu

Systém Pro/ENGINEER poskytuje šablónu (*template*) *usermain.c* ako pomoc používateľovi pre písanie programu. Tento *template* je úplne prístupný. *Template* opisuje, ako používať parametre a premenné, ako deklarovať neparametrické premenné a kde zadať rutiny. *Template* je uložený v adresári *../usrprog/umain*. Používateľské programy sú prístupné voľbou *User Prog* z ponuky *Relations* v režime *Part* alebo *Sketcher*.

1. Zvoliť *Edit* z ponuky *User Prog*. Zadať meno programu. Príponu *.c* nezadávať. Na obrazovke sa objaví editor.

2. Ak je program nový, musíme do neho najprv skopírovať súbor *templateusermain.c*.

Možno použiť jednu z nasledujúcich možností:

- Pre UNIX sa zobrazí editor, ktorý je nastavený v konfiguračnom parametre *pro_editor_command*. Ak chceme použiť „vi“ editor, musíme zadať `[:]` a potom `[r$PRO_USRMAIN]`. *PRO_USRMAIN* je premenná prostredia, ktorá obsahuje cestu k *usermain.c*.
- Pre Windows 95/NT sa zobrazí Notepad. Zvolíme *File*, potom *Open* a vyberieme alebo zadáme meno pre *template*. Zvolíme opäť *File* a potom *Save As*. Zadáme meno a zadáme adresár pre uloženie.

3. Ak program už existuje, potom systém daný program načíta.

Pomocou editora program môžeme editovať.

Template *usermain.c*

Pridanie vlastného *include* súboru sa robí nasledovne:

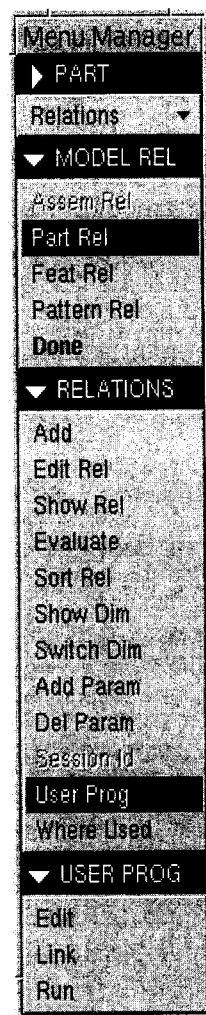
```
#include "my_funcs.h"
```

Systém sa najprv pozrie do aktuálneho adresára a potom do adresára, ktorý je definovaný pomocou premennej prostredia *PRO_USRINCS*.

Ak chceme, aby systém prehľadal ešte aj iné adresáre, potom treba zadať pre *include* súbor úplnú cestu:

```
#include „/usr/c_libs/my_funcs.h“
```

Po ukončení editovania treba zavrieť editor.



Určenie premenných prostredia

Pre definovanie úplnej cesty pre premenné prostredia zvolíme *System* z ponuky *Misc*. Pokiaľ sa zobrazí *shell* okno, treba zadať príkaz:

UNIX

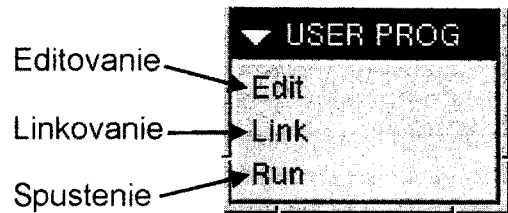
```
[echo$PRO_USRMAIN $PRO_USRINCS]
```

Windows 95/NT

```
[echo%PRO_USRMAIN%  
%PRO_USRINCS%]
```

Spájanie C programu

Ak je ukončené editovanie C programu, môžeme ho kompilovať a linkovať pomocou voľby *Link* z ponuky *User Prog*. Systém vypíše v okne chyby. Ak žiadne neexistujú, môže sa program podľa potreby editovať a opäť kompilovať.



UNIX

Kompilované utility “cc” sú v adresári, ktorý je definovaný premennou prostredia *PATH*.

Windows 95/NT

Musí byť definovaná premenná prostredia *NT_COMPILER*. Musí byť definovaná aj premenná *LIB*.

Spustenie C programu

Po úspešnom linkovaní používateľského programu ho môžeme spustiť voľbou *Run* z ponuky *User Prog*. Na výzvu systému zadáme meno programu.

Pri spustení programu systém vytvorí nasledujúce dva súbory:

- Spgtousr.dat – obsahuje zoznam parametrov a hodnôt pred spustením programu,
- Usrtospg.dat – obsahuje zoznam parametrov a hodnôt po vykonaní programu.

Ak sme si overili, že program správne pracuje, môžeme tieto súbory vymazať.

Príklad používateľského programu

Program vypočíta hrúbku držadla nádoby pomocou polomeru držadla a daného parametra. Polomer sa vypočíta z modelu, parameter je zadaný používateľom. Vypočítaná hrúbka je poslaná späť systému Pro/E.

```
/*Template for writing user programs in the Pro/Engineer
environment*/
/*the following definition and include file are necessary*/

#define USRMAIN
#include :spgusrgl.h:
```

```

/*This include file establishes useful variables for user needs.
Those are:
1. D [i] refers to dimensions you see on the screen. 'i' is the
index of a dimension you see on the screen.
So, D[0] has a value corresponding to "d0" on the screen (or „sd0“
if you are in SKETCHER mode). D [4] corresponds to "d4"(or „sd4“) on
the screen, etc.
2. DIM_NUM Total number of dimensions on the screen.*/

usrmain ()

/* This program computes the thickness for a pressure vessel given
the diameter from the model and various material and design
constants input by the user. */
{
/* ..... local variables .....*/
/* Declare any additional variables or functions you need here.*/

double sqrt ();
double thickness, f_s, joint_eff, allow_stress, press, dia;

/* ..... executable code .....*/
/* Prompt user for input. Prompts appear in the startup window. You
must also enter your responses there.*/

printf ("Enter material parameters\n");
scanf ("%lf', &f_s);
printf("\n Joint effeciency [ ]:\n");
scanf("%lf',&joint_eff);
printf("\n Allowable stress [psia]:\n");
scanf(„%lf', &allow_stress);

/*Compute thickness of pressure vessel based on equations in
Mechanical Analysis and Design, A.H.Furr, Elsevier, 1982.
Note use of dimension D[2], the pressure vessel diameter, in
computing the new thickness*/
Thickness = press *D[2] * f_s/ (2 * joint_eff*allow_stress);

/*Pass new thickness back to Pro/Engineer */

D[3] = thickness;
}

```

8.5 Režim Assembly

Zostavy sú v systéme chápané ako súbor komponentov a proces zostavovania ako skladanie jednotlivých komponentov.

Režim *Assembly* umožňuje vykonávať tieto činnosti:

- Vytvoriť zostavu z komponentov (súčiastka, diel) alebo podzostáv.
- Vytvoriť zostavu do seba zapadajúcich komponentov (lícovania).
- Modifikovať, analyzovať a meniť výslednú zostavu.
- Vytvárať podzostavy.

Zostava opisuje vzájomnú polohu jednotlivých komponentov. Komponenty sa vkladajú do zostavy pomocou geometrických väzieb, ako sú plocha na plochu, os na os a pod. Súbor zostavy neobsahuje spravidla žiadnu geometriu, a preto je pomerne malý aj pre rozsiahle zostavy. V zostave možno použiť viacnásobné komponenty. Komponent je možné vytvárať aj priamo v zostave. Nové teleso tak môžeme vytvoriť v nadväznosti na geometriu ostatných telies, a tak ho s nimi zviazať. Tento postup práce je ale pri zložitejších zostavách náročný na výpočtový výkon a predlžuje dobu regenerácie.

Podobne ako sú geometrické entity komponentmi skice a tvarové prvky komponentmi telies (súčiastok, dielov), sú telesá komponentmi zostáv. Základným prvkom zostavy je súčiastka (diel). Všetky jej úpravy, realizované v režime *Part*, sa automaticky premietnu do zostavy. Súborný súčiastok tvoriacich zostavu nemožno ľubovoľne premiestňovať alebo rušiť. Úpravy súčiastky v zostave zachovávajú pôvodný súbor súčiastky bez zmeny.

8.5.1 Modul Pro/Assembly

Základné nástroje pre prácu so zostavami sú k dispozícii v základnom module Pro/E. Rôzne ďalšie moduly systému poskytujú dodatočné funkcie pre režim *Assembly*. Napr. modul Pro/ASSEMBLY podporuje návrh a správu rozsiahlych a zložitých zostáv vďaka výkonným nástrojom, ako je zjednodušená reprezentácia (*Simplified Representation*), zameniteľné zostavy (*Interchange Assemblies*) a správca návrhu (*Design Manager*).

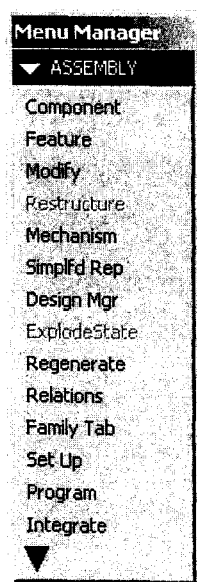
Zjednodušené reprezentácie sú variácie modelu, ktoré môžeme použiť na zobrazenie čiastočného návrhu tým, že umožňujú určiť, ktoré členy zostavy budú načítané a zobrazené. Umožní to nastaviť si pracovné prostredie tak, aby obsahovalo iba tie informácie, ktoré nás aktuálne zaujímajú. Napríklad môžeme dočasne odstrániť zložitú podzostavu, ktorá nemá väzbu na časť zostavy, s ktorou pracujeme. Môžeme tiež nahradiť zložitú podzostavu alebo súčiastku jednoduchšou súčiastkou alebo jej povrchovou obálkou. Pomocou ďalších nástrojov môžeme zrýchliť proces načítania a práce s rozsiahlou zostavou.

Zameniteľné zostavy (*Interchange Assemblies*) môžeme vytvárať v zvláštnom režime, nazývanom *Interchange* (zameniteľnosť) a tie potom používať v režime *Assembly*. Existujú tri typy zameniteľných zostáv: funkčná, zjednodušená a zlúčená:

- Pomocou funkčných zameniteľných zostáv môžeme funkčne rovnocenné modely vzájomne v zostave nahraďovať použitím referenčných odkazov.
- Pomocou zjednodušenej reprezentácie zostáv môžeme vytvoriť rozdielne vizuálne reprezentácie zostáv rovnakého modelu. Môžeme nahraďovať komponent zostavy jeho zjednodušenou reprezentáciou, alebo navrhnuť zostavu pomocou koncepčného bloku alebo bloku súčiastky, ktoré môžu byť podľa potreby nahradzované detailnými časťami alebo zostavami.
- Pomocou zlúčenej zameniteľnosti môžeme vytvárať obidva predchádzajúce typy v jednej zostave. Zlúčená zameniteľnosť je dostupná pomocou konfiguračných volieb.

V module Pre/ASSEMBLY poskytujú funkcie správcu návrhu (*Design Manager*) podporu vytvárania zostavy metódou zhora-dole (*Top-Down*), kontrolu referencií, nástroje pre prieskum zostáv a nástroje pre rozšírenie výkonu. Použitím metódy *Top-Down* môžeme vytvárať dobre štruktúrovaný návrh obsahujúci kostru modelu, kopírovanú geometriu a pomocné referencie. Použitím kontroly referencií a nástrojov pre prieskum môžeme prehliadať a riadiť sieť závislostí, ktoré sa vytvárajú v návrhu. Tieto nástroje umožňujú jednoduché prechádzanie a pochopenie referencií, ktoré boli vytvorené medzi prvkami. Objasňujú externé referencie a vzťahy, ktoré existujú v modeli zostavy.

8.5.2 Používateľské rozhranie a nastavenie zobrazenia



Pre otvorenie alebo vytvorenie nového súboru zostavy použijeme ponuku **File** z ponukovej lišty. Po spustení režimu *Assembly* sa zobrazí *Menu Manager* s dialógovým panelom *ASSEMBLY* a nasledovnými voľbami:

Component - manipuluje s komponentmi pomocou ponuky **COMPONENT**.

Feature - manipuluje s prvkami zostavy (**ASSY FEAT**).

Modify - upravuje rozmery zostavy, komponentov a prvkov (**ASSEM MOD** a **MODIFY**).

Restructure - upravuje štruktúru zostáv presunom komponentov z jednej

zostavy alebo podzostavy do inej (RESTRUCTURE).

Mechanism - umožňuje definovanie pohybu pre zostavu.

Simplfd Rep - vytvára, upravuje a nastavuje zjednodušené reprezentácie (SIMPLFD REP).

Design Mgr – sprístupňuje nástroje pre správu návrhu zostavy (DESIGN MGR).

ExplodeState - vytvára, nastavuje a modifikuje rozložený stav zostavy (EXPLD STATE).

Regenerate - aktualizuje geometriu súčiastky a zostavy podľa upravených kót (PRT TO REGEN).

Relations - zadáva a upravuje vzťahy (relácie) medzi parametrami (MODEL REL a RELATIONS).

Family Tab - upravuje tabuľky podobnosti zostáv a vytvára ďalšie rozmerové varianty (FAMILY TABLE).

Set Up - priraduje zostave hmotnostné charakteristiky, jednotky dĺžky a hmotnosti, atď. (ASSEM SETUP).

Program - upravuje parametrický návrh modelu pomocou programu (vyžaduje modul Pro/PROGRAM), ktorý riadi rozmery súčiastok a zostavy (PROGRAM).

Integrate - načíta súbory vytvorené v Pro/PDM, ktoré obsahujú informácie o integrácii v projekte, a vytvára správy o rozdieloch medzi zdrojovou a cieľovou zostavou (INTEGRATE).

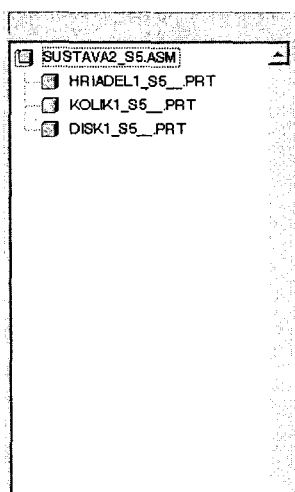
Copy From (Pro/E 2001) - kopíruje celú zostavu alebo podzostavu do novej zostavy. Meno zostavy môže mať maximálnu dĺžku 31 znakov bez prípon a cesty.

Zjednodušená reprezentácia (*Simplified Representation*) zrýchľuje čas regenerácie, otváranie a zobrazovanie modelu. Umožňuje prispôbenie pracovného prostredia tak, aby obsahovalo iba dôležité informácie. Ak nastavíme konfiguračný parameter *open_simplified_rep_by_default* na *yes* (štandardne je *no*), potom pri otvorení objektu systém automaticky otvorí dialóg *Open Rep* so správou pre výber typu zjednodušenej reprezentácie pre načítanie.

Pomocou konfiguračného parametra *preempt_on_erase_not_disp* môžeme definovať, aby sa uložili objekty, ktoré nie sú aktuálne zobrazené. Potom môžeme zatvoriť okno obsahujúce modifikovanú súčiastku bez toho, aby sa stratila už vykonaná činnosť. Parameter treba nastaviť na hodnotu *yes*. Ak potom zvolíme *File>Erase Not Disp*, systém zobrazí správu, či chceme objekt pred uzavretím okna uložiť. Ak nastavíte konfiguračný parameter na hodnotu *no*, potom systém automaticky vymaže všetky nezobrazené objekty.

Použitie stromu modelu pre zostavy

Strom modelu (*Model Tree*) zobrazuje grafickú hierarchickú reprezentáciu zostavy. Uzly stromu modelu reprezentujú podzostavy, súčiastky a prvky, ktoré sú vytvorené na úrovni zostavy. Strom modelu môže byť použitý ako nástroj pre výber objektov. Obsahuje *pop-up* ponuku, ktorá umožňuje nasledujúce operácie zo zostavou:



- modifikovať zostavu alebo ľubovoľný komponent zostavy,
- otvoriť model komponentu,
- predefinovať väzby komponentu,
- presmerovať, vymazať, potlačiť, obnoviť, nahradiť a znásobiť komponenty,
- zostaviť nový komponent,
- vytvoriť zostavovaný prvok,
- predefinovať stav zobrazenia komponentov,
- zafixovať umiestnenie voľne umiestnených komponentov.

8.5.3 Vytvorenie zostavy

Pri vytváraní zostavy je najprv potrebné umiestniť, podobne ako v režime *Part*, základný prvok. Základným prvkom môže byť súčiastka, podzostava alebo ortogonálne pomocné roviny. Ak sa ako základný prvok použijú pomocné roviny, potom vznikne flexibilná zostava, v ktorej bude možné pre všetky ďalšie prvky meniť poradie a ich kopírovať (*pattern*).

Ďalšie prvky je možné pridávať voľbou *Assembly* v okne *Menu Manager* nasledovnými spôsobmi:

Komponent sa vytvorí priamo v zostave (*Component>Create>Part*).

- Pridávaný komponent dočasne umiestnime voľne (neparametricky) do zostavy (Component>Package>Add>Get Model>Open). Ide o tzv. Package Component.
- Pridávaný komponent umiestnime k už existujúcemu komponentu (Component>Assemble>Open).
- Ak máme licenciu Pro/NOTEBOOK, potom môžeme zostavovať komponenty automaticky pomocou šablón (layout). Zostavy môžeme vytvárať automaticky stotožnením pomocných rovín a osí pri rozdielnych súčiastkach, v závislosti na deklaráciách vykonaných skôr v režime Layout alebo Part.

Vložený komponent môže byť v zostave nahradený

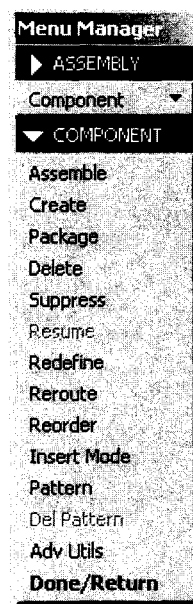
iným komponentom (Component>Adv Utils>Replace),

môže byť odstránený (Component>Delete),

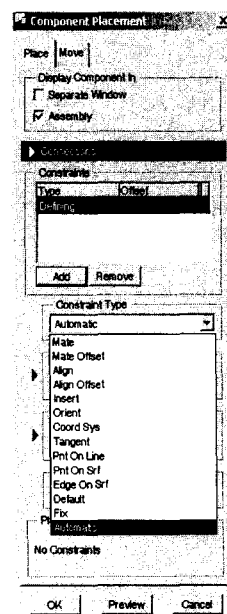
potlačený – nebude zobrazovaný (Component>Suppress),

upravený (Assembly>Modify).

Ďalej môžeme predefinovať podmienky umiestnenia – referencie a väzby (Component>Reroute resp. Redefine) a znásobiť komponent (Component>Pattern), zmeniť umiestnenie v strome modelu (Component>Reorder) a pod.



Najčastejšie sa do zostavy komponent umiestňuje parametricky pomocou dialógového panelu *Component Placement* (Component>Assemble>Open). Po zadání mena súboru s komponentom sa zobrazí dialóg *Component Placement*. Všeobecne má neumiestnené teleso v priestore 6 stupňov voľnosti. Definovaním spôsobu umiestnenia, tlačidlom *Add* postupne odoberáme stupne voľnosti. Pre presné umiestnenie potrebujeme dosiahnuť 0 stupňov voľnosti (*Placement Status Fully Constrained*). Systém ale umožní uložiť komponent, aj keď počet stupňov voľnosti nie je nulový. Podmienka uloženia sa zadá z roletového menu *Constraint Type* a potom sa určia referenčné prvky komponentu a zostavy s použitím ponuky *Get Select*.



Dialóg *Component Placement* pozostáva z dvoch kariet. *Place* poskytuje voľby pre podmienky umiestnenia komponentu a *Move* poskytuje voľby pre presúvanie, rotáciu a nastavenie komponentu po tom, čo bol umiestnený v zostave.

Podmienky umiestnenia

Pomocou zoznamu *Constraint Type* môžeme špecifikovať tieto typy podmienok umiestnenia:

Mate	Lícovanie rovinných plôch tak, že sa dotýkajú a sú otočené normálovými vektormi smerom k sebe. Pri použití pomocných rovín je nutné určiť, ktorá strana pomocnej roviny sa má použiť.
Mate Offset	Lícovanie dvoch rovinných plôch tak, že sú paralelné a otočené normálovými vektormi smerom k sebe. Hodnota odsadenia určuje vzdialenosť medzi nimi.
Align	Zjednotenie dvoch plôch tak, aby ležali na jednej rovine (sú stotožnené a otočené do rovnakého smeru). Pre zjednotenie osí platí, že budú koaxiálne a body budú totožné. Môžeme zjednotiť rotačné plochy a hrany.
Align Offset	Zjednotenie dvoch plôch tak, aby ležali v určitej vzdialenosti od seba (sú paralelné a otočené v rovnakom smeru).
Insert	Koaxiálne vloženie rotačnej plochy do rotačnej plochy a zjednotenie. Táto voľba je užitočná, pokiaľ nemožno vybrať priamo osi.
Orient	Orientovanie dvoch rovinných plôch tak, aby boli rovnobežné a natočené do jedného smeru (vzdialenosť nie je určená).
Coord Sys	Umiestnenie komponentu do zostavy zjednotením jeho súradnicového systému so súradnicovým systémom zostavy (môžu byť použité súradnicové systémy zostavy i súčiastky). Súradnicové systémy môžu byť vybrané ukázaním, zo zoznamu mien alebo vytvorené. Komponenty budú zostavené zjednotením jednotlivých osí X,Y a Z. Odoberá 6 stupňov voľnosti.
Tangent	Dotykové uloženie dvoch plôch. Táto voľba pracuje podobne ako Mate , ale pre nerovinné plochy. Príkladom je použitie pri styku plôch, alebo v bode dotyku medzi vačkou a jej kladkou.
Pnt on Line	Prienik dvoch priamok v bode. Používa sa pri riadení styku hrany, osi alebo pomocnej krivky s bodom.
Pnt on Srf	Prienik dvoch plôch v bode. Používa sa pri riadení styku dvoch plôch v bode.
Edge on Srf	Prienik dvoch rovinných plôch. Používa sa pri riadení styku dvoch plôch na priamej hrane.
Default	Používa sa pri zjednotení štandardného, systémom vytvoreného súradnicového systému komponentu so štandardným systémom vytvoreným súradnicovým systémom zostavy.
Fix	Použitie na zafixovanie aktuálnej pozície komponentu, ktorý bol posunutý, alebo voľne umiestnený.
Automatic	Prednastavená podmienka.

Podmienky umiestnenia *Mate*, *Mate Offset*, *Align*, *Align Offset* a *Orient* sa používajú pre dvojicu rovinných plôch a *Align* aj pre stotožnenie osí alebo dvojicu rotačných plôch.

Zásady práce s podmienkami umiestnenia

Podmienka umiestnenia určuje vzájomnú relatívnu polohu dvoch komponentov. Všeobecné pravidlá pre ich použitie sú nasledovné:

- Pri zadávaní podmienok **Mate** a **Align** musia byť obe plochy, resp. steny rovnakého typu (napr. rovinná-rovinná, rotačná-rotačná). Pojmom "rotačná plocha" sa rozumie plocha vytvorená rotáciou skice, alebo kolmým vytiahnutím oblúku, resp. kružnice. Pre zadávanie podmienok umiestnenia sú dovolené iba rovina, valcová plocha, kužeľová plocha, prstenec, guľová plocha.
- Pri použití **Mate** alebo **Align** a zadaní hodnoty odsadenia je potrebné určiť smer odsadenia. Ak potrebujeme odsadenie v opačnom smere, potom zadáme zápornú hodnotu.
- Podmienky sa zadávajú postupne. Napríklad, nie je prípustné zjednotiť pomocou **Align** dve rozdielne diery v súčiastke s inými dvoma rozdielnymi dierami inej súčiastky jedným príkazom zjednotenia. Musia byť definované dve rozdielne podmienky pre zjednotenie.
- Podmienky umiestnenia sú používané v kombinácii tak, aby sa jednoznačne určila poloha a orientácia. Napríklad, jeden pár plôch môže byť určený ako **Mate**, druhý pár ako **Insert** a tretí ako **Orient**.

Ovládanie umiestnenia komponentov

Ak je pre umiestnenie alebo predefinovanie komponentu aktívny dialóg *Component Placement*, potom je tiež aktívny viditeľný stred so spinom a môžeme ovládať umiestnenie komponentu pomocou myši a súčasným stlačením klávesov CTRL+ALT.

Postup pre umiestnenie je nasledovný:

1. Vybrať komponent pre umiestnenie pomocou jedného z nasledujúcich spôsobov:
 - *ASSEMBLY>Assemble* pre umiestnenie nového komponentu.
 - *ASSEMBLY>Component>Redefine* pre zmenu umiestnenia komponentu.
2. Použiť tlačidlá myši a súčasne klávesy CTRL+ALT pre nasledujúce akcie:
 - *Left* – pre posunutie v smere osi z (posunie komponent kolmo k obrazovke)
 - *Middle* – pre otočenie komponentu.
 - *Right* – pre posunutie po obrazovke.

Neparametrické zostavovanie komponentov

Pri pridávaní komponentov do zostavy nemusíme niekedy vedieť, kde bude prvok umiestnený, alebo ho nechceme umiestniť relatívne k ostatným členom zostavy. Taký komponent môžeme nechať buď čiastočne určený pomocou podmienok umiestnenia, alebo neurčený. Takýto komponent bude voľný komponent. I keď je súčasťou zostavy, nie je

parametricky zostavený. Použitie voľných komponentov umožňuje dočasné umiestnenie komponentov do zostavy, následne je možné dokončenie umiestnenia pomocou podmienok umiestnenia. Jedným spôsobom pre voľné umiestnenie komponentov je použitie ponuky *PACKAGE*, druhým spôsobom je uzavretie dialógu *Component Placement* skôr, ako je komponent plne určený podmienkami umiestnenia. Voľný komponent môžeme premiestniť buď príkazom *Move* z ponuky *PACKAGE*, alebo pomocou karty *Move* z dialógu *Component Placement*.

Pri voľnom umiestnení komponentu Pro/E pripojí komponent na miesto kurzoru myši. Potom možno pohybom kurzoru presunúť voľný komponent na požadované miesto a uložiť ho stlačením ľavého tlačidla myši. Pro/E si pamätá, kde je komponent umiestnený. Umiestnenie je ale absolútne, bez odkazu na ďalšie komponenty. Neumiestnený komponent, ktorý je deklarovaný pre šablónu, môžeme predefinovať. Keď zahájime predefinovávanie komponentu, zobrazí sa ponuka *AUTOMAN*, v ktorej môžeme zvoliť *Automatic* alebo *Manual*. Ak zvolíme *Automatic* a komponenty majú deklaráciu v šablóne, ale nie sú plne nadefinované umiestňovacie väzby, zobrazí sa dialóg *Component Placement*. Potom môžeme komponent umiestniť. Ak zvolíme *Manual*, potom systém ignoruje deklarácie v šablóne a umožní iba manuálne umiestnenie v zostave.

Parametre konfiguračného súboru pre posunutie komponentu

Nasledujúce voľby konfiguračného súboru riadia chovanie voľných komponentov:

comp_assemble_start – riadi, kde bude komponent na začiatku zobrazený. Hodnoty sú *package* (predvolená) a *constrain_in_window*.

package_constraints – riadi chovanie komponentov čiastočne určených pomocou podmienok umiestnenia. Nemožno z týchto komponentov vytvárať potomkov. Hodnoty sú *update*, *freeze* a *disallow*. Ak nastavíme *update*, potom komponent stále sleduje zostavovacie podmienky, ktoré boli zadané. Ak nastavíme *freeze*, komponent sa chová rovnako ako voľný komponent, t.j. nesleduje zadané podmienky umiestnenia. Ak nastavíme *disallow*, komponent musí byť úplne určený podmienkami umiestnenia skôr ako ukončíme umiestňovanie.

comp_rollback_on_redef – riadi, či systém krokuje späť zostavu pri predefinovaní komponentu. Hodnoty sú *yes* (štandardná) a *no*.

Vytvorenie komponentu v režime Assembly

Pomocou dialógu *Component Create* môžeme vytvoriť rôzne typy komponentov (súčiastky, podzostavy) priamo v režime Assembly.

Modifikovanie komponentov

Zostavu môžeme modifikovať na najvyššej úrovni, alebo na úrovni podzostavy, alebo súčiastky. Modifikovať môžeme hodnoty kót každého komponentu v zostave. Je možné tiež vybrať jednu súčiastku vnútri zostavy a priradiť, modifikovať alebo zmazať jej prvky. Ak robíme modifikáciu v režime *Assembly*, potom sú výskyty (instancie) automaticky aktualizované aj v režimoch *Part* a *Drawing*. Pre modifikovanie zostavy alebo akejkoľvek súčiastky v zostave zvolíme *Modify* z ponuky *ASSEMBLY*. Zobrazí sa ponuka *ASSEM MOD* s nasledujúcimi voľbami:

- **Mod Part** – dovoľí upraviť zostavu na úrovni súčiastky,
- **Mod Skel** – dovoľí upraviť zostavu na úrovni kostry,
- **Mod Assem** – dovoľí upraviť zostavu na úrovni zostavy,
- **Mod Subassem** – dovoľí upraviť prvky podzostavy a hodnoty kót odsadenia,
- **Mod Dim** – umožní zobrazenie a úpravu hodnôt kót na niektorých alebo na všetkých komponentoch zostavy,
- **Mod Expld** – umožní rozloženie hodnôt kót (*Explode*).

Kostra modelu je špecializovaný komponent zostavy, ktorý definuje požiadavky na miesto a iné fyzické vlastnosti, ktoré možno použiť na definovanie geometrie komponentu. Kostru môžeme použiť na usporiadanie referencií zostavy, alebo reprezentovanie požiadaviek na umiestnenie. Tiež ju možno použiť pre pohybovou analýzu.

Referenčné kóty

Referenčné kóty pre zostavy môžeme vytvoriť pomocou rovnakých metód, ako referenčné kóty súčiastky. Ak vytvoríme referenčné kóty pre zostavu, potom ich môžeme zobraziť vo výkresoch zostavy. Pomocou ponuky *Info* môžeme nechať zobraziť informácie o zostave. Pre zobrazenie informácií môžeme použiť aj pop-up ponuku *Info*, ktorú otvoríme stlačením pravého tlačidla myši v okne *Model Tree*.

Kontrola vôle

V režime *Assembly* môžeme kontrolovať vôľu medzi súčiastkami alebo medzi dvoma plochami zostavy. Postup je nasledovný:

1. Zvoliť *Analysis>Model Analysis....*
2. Zvoliť jednu z nasledujúcich volieb v zozname *Type*:
 - ***Pairs Clearance*** – vybrať podzostavy, plochy alebo entity pre kontrolu vôle.
 - ***Global Clearance*** - nájde všetky dvojice súčiastok alebo podzostáv, ktoré majú menšiu vôľu ako špecifikovaná vzdialenosť.
 - ***Volume Interference*** – identifikuje všetky komponenty, ktoré presahujú plát (*quilt*).
 - ***Global Interference*** – nájde všetky dvojice súčiastok alebo podzostáv, ktoré majú vzájomný presah.

Zobrazenie kót v režime *Part* a *Assembly*

Pomocou voľby *Show Dim* v ponuke *RELATIONS* môžeme v režime *Assembly* aj *Part* zadať kótu v symbolickom tvare. Systém zobrazí kótu s daným identifikátorom *session_ID*, ktorý môžeme identifikovať jedným z dvoch nasledujúcich spôsobov:

1. Vybrať prvok v modeli, potom zvoliť ***Switch Dim***.
2. V ponuke *RELATIONS* zvoliť *Component Id*, potom vybrať komponent. Systém zobrazí *session_ID* pre komponent v okne správ.

Nastavenie režimu zobrazenia pre komponenty

Pomocou voľby *Model Setup>Component Display* z ponuky *View* môžeme nastaviť rôzne režimy zobrazenia pre zobrazenie komponentov zostavy:

- *Wireframe* (hranový režim),
- *Hidden Line* (zobrazenie neviditeľných hrán čiarkovane),
- *No Hidden Line* (nezobrazovať neviditeľné hrany),
- *Shaded* (vytíňovaný),
- *Blanked* (prázdny).

Komponenty sa zobrazujú na obrazovke v závislosti od ich nastaveného režimu zobrazenia.

Pomenovanie a načítanie komponentov v režime Assembly

Keď systém vyzve k výberu komponentu, môžeme to urobiť dvoma spôsobmi:

1. Pomocou postupu pre navigáciu v zostave.
2. Výberom daného komponentu pomocou mena.

Ak priradíme meno komponentu pomocou ponuky *ASSEM SETUP*, priradené meno sa objaví v ponuke *NAVIGATE ASM* vedľa pôvodného mena modelu.

8.6 Režim Drawing

Výkresy môžeme generovať z modelu telesa, modelu zostavy alebo z importovaných súborov. Výkres je chápaný v podstate ako vedľajší produkt procesu modelovania a predstavuje skupinu pohľadov na model. Všetky pohľady sú vzájomne previazané. Ak sa zmení niektorá kóta v pohľade, potom sa táto zmena prejaví aj v ostatných pohľadoch. Môžeme vytvoriť niekoľko typov pohľadov, ako všeobecný, premietaný, prídavný alebo detailný. Pohľad môže byť ďalej celý, polovičný alebo prerušený. Možno mu priradiť mierku a možno v ňom zobrazit' rez alebo prierez. Pohľad môže byť aj úplný alebo zjednodušený. Výkres môžeme doplniť poznámkami, symbolmi, tabuľkami a pod.

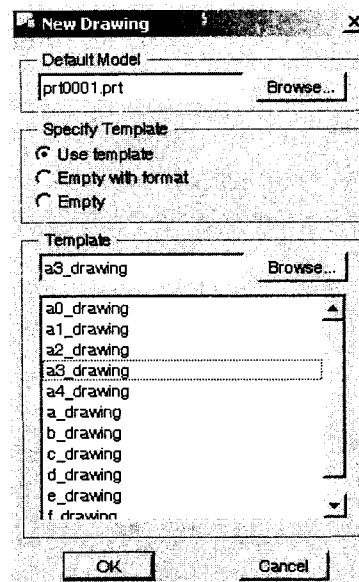
Výkresy sú asociatívne s modelom. Zmeny realizované vo výkrese sa automaticky prejavajú v modeli a naopak. Asociativita platí aj vo vzťahu k iným modulom systému Pro/E ako napr. Manufacturing, Sheet Metal a pod. Na výkresoch je možné zobrazit' kóty vytvorené v procese skicovania.

Pre rozšírenie schopností systému Pro/E v oblasti generovania výkresov môže byť použitý voliteľný modul Pro/DETAIL. Pro/DETAIL podporuje dodatočné typy pohľadov a násobné listy výkresov. Poskytuje aj ďalšie voľby pre manipuláciu s prvkami vo výkrese a pridávanie a modifikáciu rôznych druhov štruktúr a symbolických informácií. Pro/DETAIL poskytuje možnosť prispôsobenia strojárskych výkresov, vytváranie používateľských formátov a vykonávať tzv. kozmetické úpravy vo výkrese. Modul Pro/DETAIL a Pro/INTERFACE poskytujú rôzne príkazy pre export výkresu do iných systémov, alebo import súboru do režimu *Drawing*.

Parametre nastavenia výkresu sa ukladajú s každým jednotlivým výkresom a formátom výkresu. Parametre výkresu určujú výšku textu kót a poznámok, orientáciu textu, normu geometrických tolerancií, vlastnosti textu, štandardy kreslenia, dĺžku šípok a pod. Pre editovanie súboru nastavení výkresu treba zvoliť DRAWING>Advanced>Draw Setup a objaví sa dialóg *Preferences*.

Základný postup generovania výkresu je nasledovný:

1. Vybrať režim Drawing
File>New>*prepínač* Drawing.
2. Zadať formát výkresu.
3. Zadať meno modelu pre generovanie technického výkresu.
4. Určiť prvý všeobecný pohľad a zorientovať ho na výkresovej ploche.
5. Vytvoriť ďalšie pohľady potrebné pre jednoznačné zobrazenie modelu.
6. Editovať jednotlivé prvky výkresu a doplniť ďalšie údaje potrebné pre výrobu.
7. Výkres uložiť do súboru *meno.drw*.



Typy pohľadov

Voľba View Types z ponuky Drawing okna *Menu Manager* umožňuje v prvej sekcii definovať nasledovné typy pohľadov:

Projection	Pohľad vytvorený premietaním iného pohľadu v zvislom alebo vodorovnom smere.
Auxiliary	Pohľad vytvorený premietaním kolmo k zvolenej ploche alebo v smere osi, pričom zvolená plocha musí byť kolmá na obrazovku.
General	Všeobecný pohľad nezávislý od ostatných.
Detailed	Pohľad zobrazujúci časť iného pohľadu s inou mierkou.
Revolved	Rovinný rez z pohľadu, ktorý je pootočený o 90 stupňov okolo priemetu roviny rezu.

V druhej sekcii sú voľby pre určenie, aká veľká časť pohľadu má byť zobrazená:

Full View	V pohľade bude zobrazený celý model.
Half View	Polovičný pohľad. Ktorá časť bude zobrazená na výkrese, určíme podľa šípky. Rovinou rezu môže byť pomocná rovina alebo rovinná plocha modelu.
Broken View	Prerušený pohľad.
Partial View	Čiastočný pohľad. Zobrazená bude iba časť pohľadu vo vnútri definovanej hranice.

Typy rezov

Ak bude zvolená voľba *Section* v ponuke *View Type*, potom sa zobrazí ponuka *XSEC TYPE* pozostávajúca z dvoch sekcií, pričom voľby v oboch sekciách je možné kombinovať. V prvej sekcii sú tieto voľby:

Full	Model bude zobrazený v plnom reze, ale nemusí byť zobrazený celý pohľad.
Half	Polovičný rez. Časť modelu je zobrazená v pohľade a časť v reze. Hranica je určená pomocnou rovinou.
Local	Čiastočný rez. Časť pohľadu vnútri označenej oblasti bude v reze a zvyšok v pohľade.
Full & Local	Rez s čiastočnými rezmi.

V druhej sekcii sú tieto voľby:

Total Xsec	Rez
Area Xsec	Prierez
Align Xsec	Lomený prierez rozvinutý okolo osi
Total Align	Lomený rez rozvinutý okolo osi
Unfold Xsec	Rozvinutý prierez všeobecného pohľadu
Total Unfold	Rovinný rez všeobecného pohľadu

Import a export výkresov

V režime *Drawing* môžeme importovať údaje do výkresu, pokiaľ máme moduly *Pro/DETAIL* alebo *Pro/INTERFACE*.

Modul *Pro/DETAIL* umožňuje importovať formáty *IGES*, *SET*, *DXF*, *STEP*, *CGM*, *STL*, *VRML*, *DWG*, *POLTXT*, *ACIS*, *VDA*, *Neutral*, *CADAM*, *CATIA*, *PDGS*, *ECAD*

Postup pre import údajov je nasledovný:

1. Zvoliť *Insert>Data from File*.
2. Otvorí sa dialóg *Open*, pomocou *Look In* vyhľadať daný súbor.
3. Zvoliť *OK*. Systém importuje vybraný súbor do aktuálneho modelu.

Z režimu *Drawing* môžeme exportovať údaje do formátov *IGES*, *DXF*, *DWG*, *SET*, *STEP*.

Postup pre export údajov je nasledovný:

1. Zvoliť *File>Save As*. Zobrazí sa dialóg *Save a Copy*.
2. Pod *New Name* zadať požadované meno.
3. Pod *Type* zvoliť požadovaný typ, do ktorého chceme exportovať výkres.
4. Zvoliť *OK* pre uloženie výkresu a *Save a Copy* pre uzavretie dialógu.

Formáty výkresov

Výkresové formáty nie sú uložené ako súčasť výkresu, ale v zvláštnom súbore. Preto oprava formátu bude automaticky vykonaná vo všetkých výkresoch, ktoré ho používajú. Keď načítame výkres a systém Pro/E nenájde príslušný formát, potom budeme požiadaní o určenie veľkosti výkresu. Pre výkresy s viac listami môžeme použiť dva predvolené formáty - jeden pre prvý list a jeden pre nasledujúce listy. Formát akéhokoľvek listu môže byť zmenený nezávisle na formátoch iných listov. Každý výkresový formát, ktorý vytvoríme, má vlastný súbor nastavení, ktorý je nezávislý na súbore nastavení výkresu. Konfiguračný parameter *format_setup_file* priradzuje každému vytvorenému formátu súbor nastavení.

Zoznam formátov v danom výkrese si môžeme nechať vypísať z ponuky *DRAWING* voľbou *Sheets>Format>List*. Systém potom zobrazí okno *Information WINDOW* so zoznamom formátov, ktoré sú prístupné v aktuálnom adresári.

Pridať formát do výkresu môžeme týmto postupom:

1. Zvoliť *File>New>Drawing>prepínač OK*. Zobrazí sa dialóg *New Drawing*.
2. V sekcii *Specify Template* zvoliť *Empty with format*.
3. V sekcii *Format* vybrať meno formátu pomocou jednej z nasledujúcich možností:
 - Zvoliť meno zo zoznamu v boxe *Format*.
 - Zvoliť *[?]* pre výber zo zoznamu *Format* a potom vybrať meno z dialógu *Open*
 - Zvoliť *Browse* a vybrať meno z dialógu *Open*.
4. Zvoliť *OK*.

Odstrániť formát z výkresu môžeme voľbou *Sheets>Format>Remove*. Potom sa otvorí ponuka *DWG SIZE TYPE* a *DWG SIZE*.

Štandardný formát vytvoríme nasledujúcim postupom:

1. Z ponukovej lišty zvoliť *File>New*.
2. V dialógu *New* zvoliť *Format* a napísať meno do boxu *Name*, alebo použiť predvolené meno a potom zvoliť *OK*.
3. V dialógu *New Format* špecifikovať veľkosť formátu výberom *Set Size* a vykonaním jednej z nasledujúcich akcií:
 - Zvoliť *Portrait* v boxe *Orientation* (aby bola výška väčšia než šírka) a vybrať štandardnú veľkosť zo zoznamu *Standard Size*.
 - Zvoliť *Landscape* v boxe *Orientation* (aby bola šírka väčšia než výška) a vybrať štandardnú veľkosť zo zoznamu *Standard Size*.
 - Zvoliť *Variable* v boxe *Orientation* pre definovanie veľkosti (výška a šírka). Vybrať *Inches* alebo *Millimeters* a vyplniť boxy *Width* a *Hight*.
4. Zvoliť *OK*. Systém zobrazí špecifikovaný formát a ponuku *FORMAT*.

Vloženie prvého pohľadu

Skôr než začneme pridávať do výkresu pohľady, musí byť do výkresu vložený prvý pohľad (model). Akonáhle pridáme do výkresu prvý pohľad, zmení sa hodnota mierky v spodnej časti výkresu a veľkosť pohľadu sa prispôbi veľkosti výkresu. Mierka môže byť kedykoľvek modifikovaná. Prvý pohľad, pridaný do výkresu, je všeobecný pohľad (general). Tento pohľad sa objaví v predvolenej orientácii a môže byť počas zadávania zorientovaný pomocou dialógu *Orientation*. Pred uložením pohľadu do výkresu musíme určiť nasledujúce vlastnosti:

- Typ pohľadu (spôsob, akým je vytvorený).
- Časť pohľadu, ktorá je viditeľná.
- Či bude alebo nebude mať pohľad rez.
- Mierku pohľadu.

Postup pri vložení prvého prvku je nasledovný:

1. Zvoliť *DRAWING>Views*. Zobrazí sa dialóg *Open*.
2. V boxe *Name* napísať meno modelu. Môžeme napísať meno, alebo vyhľadať požadovaný model pomocou *Look In*. Zvoliť *Open*.
3. Pridať prvý pohľad pomocou *VIEWS>Add View* a vybrať ho z ponuky *VIEW TYPE*.

Hladiny (layers) vo výkresoch

V systéme Pro/E sa hladiny používajú na zoskupovanie entít. Skupiny môžeme vytvárať rôznymi spôsobmi a pre rôzne účely. Hoci hladiny môžu reprezentovať rôzne entity, sú vždy určené týmito vlastnosťami:

- *Meno* - každá hladina má svoje meno.
- *Obsah* - hladiny môžu zahrňať iné entity z databázy systému Pro/E ako:
 - *Tvarové (konštrukčné prvky).*
 - *Kóty.*
 - *Poznámky a geometrické tolerancie.*
 - *Ostatné hladiny.*
- *Stav zobrazenia* – riadi spôsob zobrazenia entít hladiny a môže byť:
 - *Žiadny* - hladiny nemajú vplyv na stav zobrazenia entít.
 - *Zneviditeľnený* - entity hladiny nie sú zobrazené.
 - *Zobrazený* - entity hladiny sú systémom zobrazené.

Pro/E umožňuje definovať rôzne typy hladín. Prístup k tejto funkcii umožňuje príkaz *Layer* z ponuky *DRAWING*.

Výkresové pohľady nemajú individuálne hladiny, ale používajú hladiny výkresu. Pro/E umožňuje ovládať zobrazenie hladín oddelene pre každý pohľad. Možno ich zobrazit' buď individuálne pre každý pohľad, alebo vytvoriť ako závislé na výkrese. Pre nastavenie zobrazenia hladín nezávisle na modeli a individuálne pre každý pohľad, musíme vykonať tieto akcie:

- *Vložiť položku súčiastky alebo zostavy priamo do hladiny výkresu bez toho, aby bol vložený do hladiny model.*
- *Riadiť zobrazenie výkresových hladín tak, aby boli položky vložené z modelu bez toho, aby bol model zmenený.*
- *Zmeniť zobrazenie jediného modelu v rôznych pohľadoch.*

Pomocou voľby *Add* z ponuky *Item* v dialógu *Layers*, ktorý spustíme z ponukovej lišty voľbou *View>Layers...*, môžeme pridať položky do hladiny výkresu nasledovne:

1. Zvoliť *Layers* z ponuky *View*. Zobrazí sa dialóg *Layers*.
2. Vybrať v *Layer Tree* jednu alebo viac hladín.

3. Zvoliť *Item>Add*. Zobrazí sa dialóg *CONFIRMATION*.
4. Zvoliť *Yes*, zobrazí sa ponuka *LAYER OBJ* so zoznamom možných typov položiek.
5. Zvoliť jednu alebo viac typov položiek a špecifikovať výber položiek

Tabuľky vo výkresoch

Tabuľka vo výkrese je vlastne mriežka pozostávajúca z riadkov a stĺpcov, do ktorej sa zadáva text. Text je zarovnaný štandardne doľava a zadáva sa do buniek (prienik riadku a stĺpca), ktoré sú charakterizované počtom znakov na riadku a počtom riadkov. S textom možno pracovať obvyklým spôsobom a modifikovať ho pomocou príkazov z ponuky *MODIFY TEXT*. Do tabuľky môžeme zapisovať aj symboly kót a pohľadov a tieto budú aktualizované zároveň s výkresom. Tabuľky môžu byť umiestnené vo výkresových formátoch, výkresoch a šablónach (layout).

Postup vytvorenia tabuľky:

1. Zvoliť *DRAWING>Table>Create*, zobrazí sa ponuka *TABLE CREATE*.
2. Zvoliť z ponuky *TABLE CREATE* niektorý z príkazov:
 - ***Descending*** - riadky sa budú pridávať smerom dolu.
 - ***Ascending*** - riadky sa budú pridávať smerom hore.
 - ***Rightward*** - spôsobí, že tabuľka bude rásť doprava.
 - ***Leftward*** - spôsobí, že tabuľka bude rásť doľava.
 - ***By Num Chars*** - bunky sú definované počtom znakov riadku, ktoré sa majú objaviť v bunke.
 - ***By Length*** - bunky sú definované šírkou a výškou vo výkresových jednotkách.
3. Vyberať umiestnenie tabuľky na výkrese. V prípade *Descending* a *Rightward* sa jedná o horný ľavý roh tabuľky.
4. Objaví sa rad čísel. Tieto čísla sú zobrazené s ohľadom na aktuálnu výšku textu vo výkresovom setup súbore. Označiť šírku každého stĺpca (počet znakov, ktoré riadok môže obsahovať pri aktuálnej výške textu), výberom čísla a zvoliť pre ukončenie *Done*.
5. Zvoliť pre každý riadok výšku výberom čísla a voľbou *Done*.

6. V závislosti na tom, či bola tabuľka definovaná ako *Rightward* alebo *Leftward*, bude narastať doľava alebo doprava.

8.7 Pro/PROGRAM

Modul Pro/PROGRAM patrí k základným modulom systému Pro/E. Umožňuje vytvoriť program, ktorý riadi vytváranie telesa alebo zostavy editovaním údajov parametrických modelov. Pomocou modulu Pro/PROGRAM môžeme navrhnúť modely s podobnými charakteristikami, ktoré budú spĺňať zvolené konštrukčné kritériá.

Každý model systému Pro/E obsahuje opis hlavných konštrukčných charakteristík a parametrov. Tento opis modelu môžeme editovať tak, že bude pracovať ako program. Po spustení programu potom môžeme meniť model podľa nového konštrukčného zadania.

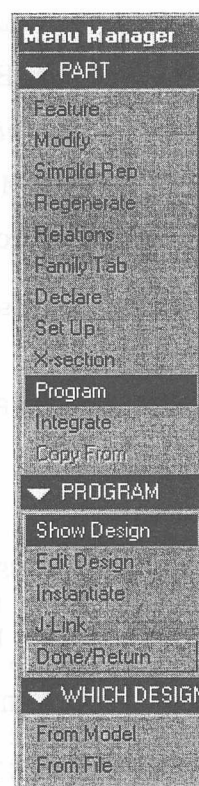
8.7.1 Ponuka *WHICH DESIGN*

Na začiatku máme prístup len k opisu, ktorý existuje v modeli. Po editovaní opisu je vytvorený súbor, obsahujúci najnovšiu konštrukčnú špecifikáciu. V tomto okamžiku existujú dva konštrukčné opisy pre rovnaký model – konštrukcie *From Model* a konštrukcie *From File*. Po úspešnom zahrnutí zmien do modelu je konštrukčný opis *From File* zrušený a je prístupný len opis *From Model*.

V prípadoch, kedy existuje konštrukčný opis *From File*, zobrazuje ponuka *Which Design* dve voľby:

- From Model – načítanie opisu z modelu,
- From File – načítanie opisu z existujúceho súboru s menom *meno_zostavy.als* alebo *meno_sučiasťky.pls*.

Konštrukcia *From model* a konštrukcia *From File* sa môžu líšiť: konštrukcia *From model* zobrazuje platný stav modelu, zatiaľ čo konštrukcia *From file* obsahuje všetky nové inštrukcie, ktoré sme pridali počas posledného editovania.



8.7.2 Prehliadanie štruktúry modelu

K prehliadaniu opisu konštrukcie modelu môžeme použiť príkazy *Show Design* (program sa zobrazí v informačnom okne) alebo *Edit Design* (program sa zobrazí v okne systémového editora) z ponuky *PROGRAM*.

V hlavičke každého konštrukčného opisu je položka *REVNUM*, ktorá ukazuje poslednú revíziu modelu. Túto hodnotu systém používa pri zaistovaní aktuálnosti opisu.

Typický opis konštrukcie môže obsahovať čokoľvek z uvedeného zoznamu:

- vstupné premenné a ich platné hodnoty
- relácie
- podmienené príkazy IF-ELSE
- zoznam všetkých prvkov, telies alebo zostáv, obsiahnutých v danej konštrukcii: vložením častí zoznamu do príkazu IF podmienka... ELSE ... END IF je možné vytvoriť alternatívne konštrukčné vetvy
- príkazy EXECUTE (len v režime Assembly)
- potlačenie a usporiadanie konštrukčných prvkov
- príkaz MASSPROP

Príklad: Návrh konštrukcie

Príklad výpisu programu:

```
VERSION D-02-03
REVNUM 182
LISTING FOR PART CLAMP
INPUT
END INPUT
RELATIONS
d0 = d6 * 2
END RELATIONS
ADD FEATURE (initial number 1)
INTERNAL ID 1
TYPE = FIRST FEATURE
FORM = EXTRUDED
SECTION NAME = S2DOO2
DEPTH = BLING
FEATURE'S DIMENSIONS:
D0 = 1.0
D1 = 2.4
D5 = 45.0
END ADD
```


8.7.3 Editovanie štruktúry modelu

Editovanie umožní špecifikovať zmeny modelu. Jednotlivé spôsoby editácie sú opísané ďalej v texte. Editor dovoľuje modifikovať akúkoľvek informáciu o modeli, ale nie všetky systém vykoná. Napríklad, ak sme zmenili atribút prvku *THRU ALL* na *THRU NEXT*, potom sa po premietnutí zmien do modelu objaví pôvodná hodnota atribútu – *THRU ALL*.

Zvolíme *Edit Design* z ponuky *PROGRAM*. Ak existujú dva opisy modelu, potom musíme vybrať *From Model* alebo *From File* z ponuky *WHICH DESIGN*. Ak editujeme opis prvýkrát, alebo po úspešnom premietnutí zmien do modelu, potom sa ponuka *Which Design* neobjaví a edituje sa priamo konštrukcia *From Model*.

Ak v pracovnom adresári existuje opis modelu v súbore, potom sa pri pokuse editovať opis pomocou *From Model* objaví varovanie. Toto varovanie pripomína, že po ukončení editovania opisu bude súbor, existujúci v adresári, prepísaný. Ak aj tak chceme urobiť editáciu (ktorá nahradí starý súbor), musíme zadať *Y*. Zadaním *N* editáciu prerušíme.

Ak pracujeme so zostavou, ktorej komponenty patria do tabuľky podobnosti modelov, potom je možné prehliadať opis výskytov komponentov, ale nie je možné ho editovať, pretože program je vždy umiestnený v generickej časti. Ak chceme pracovať s opisom konštrukcie generickej zostavy, musíme najskôr vymazať z pamäte počítača všetky výskyty zostavy.

8.7.4 Príkazy

Vstupné parametre a výzvy

Na začiatku opisu môžu byť zadané vstupné premenné. Typickým príkladom vstupných premenných je dosadenie hodnôt do parametra, ktorý je neskôr použitý v relácii, alebo zadanie mena modelu, ktoré je potom použité v zostave.

Typy vstupných parametrov

Príkaz *INPUT* musí obsahovať meno a typ premennej. Mená premenných musia vždy začínať písmenom.

Sú podporované tieto typy premenných:

- Number – hodnotou tohto typu premenných je číslo

- String – hodnotou tohto typu premenných je reťazec znakov. Tieto premenné nám dovoľia zadať parametre alebo mená modelov, ale nie používateľské atribúty
- Yes – No – hodnotou tohto typu premenných je buď Y alebo N.

Ak nie je zadáný typ premennej, potom dosadí systém implicitne typ *Number*.

Vkladanie výziev

Kedykoľvek je to potrebné, systém vyzve k zadaniu hodnoty vstupnej premennej. Štandardnú systémovú výzvu môžeme nahradiť výzvou, ktorú sami definujeme pre každú jednotlivú vstupnú premennú. Tieto výzvy potom budú zobrazované pri behu programu v situáciách, kedy bude systém vyžadovať vstup hodnoty pre danú premennú.

Pravidlá pre vkladanie výziev:

- výzva musí byť uzavretá v zátvorkách,
- výzva musí nasledovať bezprostredne za definíciou vstupnej premennej.

Príklad:

```
INPUT
THICKNESS NUMBER
„Zadajte hrúbku steny valca:“
INCLUDE_VALVE YES_NO
„Má byť ventil zahrnutý do analýzy?“
STOCK_ID STRING
„Zadajte skladové číslo súčasti“
....
END INPUT
```

Podmienené vstupné príkazy

Zoznam vstupných premenných v module *Pro/PROGRAM* môže obsahovať príkazy *IF-ELSE-END IF*. Ak podmienka *IF* v nasledujúcom príklade je vyhodnotená ako nepravdivá, nebudeme pri spracovaní programu vyzvaní k zadaniu hodnoty.

Príklad:

```
INPUT
INCLUDE_HOLE YES_NO
„Má byť diera súčasťou konštrukcie?:“
IF INCLUDE_HOLE == YES
HOLE_DIA NUMBER
„Zadajte priemer diery“
ELSE
...
```

```
ENDIF
...
END INPUT
```

Ak spustíme tento program, budeme vyzvaní k vloženiu polomeru diery len vtedy, ak odpovieme kladne na položenú otázku.

Rušenie riadkov s definíciou vstupu

Ak z opisu konštrukcie vymažeme niektorú vstupnú premennú, alebo zmeníme meno niektorej premennej, potom relácie a podmienky, ktoré využívajú tieto premenné, zostanú v platnosti, t.j. nestanú sa neplatnými. Pôvodné mená premenných zostávajú v zozname parametrov modelu a musia byť explicitne vymazané pomocou príkazu *Del Param*.

Relácie

Všetky relácie, ktoré je dovolené vkladať do modelu Pro/E, je možné vkladať i do programu. Ak je dĺžka výrazu, ktorý zapisujeme do príkazu *RELATIONS*, dlhšia ako 80 znakov, potom treba ukončiť aktuálny riadok obrátenou lomkou \ a pokračovať v zápise výrazu na ďalšom riadku.

Tvar zadávanej relácie môže byť nasledujúci:

```
RELATIONS
PARAMETER = COVE_SIZE/2 + LENGTH*0.75 - \
0.75*d3*d3 + THICKNESS*2
END RELATIONS
```

Zmena hustoty materiálov telies spôsobí, že systém aktualizuje hodnotu systémovej premennej *mp_density* v reláciách a naopak. Ak hodnoty kóty získavajú záporné hodnoty, musíme pred názvom kóty vložiť znamienko dolár. V opačnom prípade nebude kóta aktualizovaná. Ak program priradí hodnotu kóte, ktorá je už riadená reláciou v súčasnosti alebo v zostave, zobrazia sa dve chybové hlásenia. Opravíme príslušnú časť opisu, alebo odstránime reláciu z programu a regenerujeme model.

8.7.4.1 Príkazy IF-ELSE

Vetvenie konštrukcie

Pre vytvorenie vetvenia konštrukcie slúžia podmienkové príkazy. Tieto príkazy umožňujú riadiť konštrukčné prvky, alebo komponenty budú obsiahnuté v konštrukcii modelu.

Napríklad ak opis pôvodnej súčiastky vypadal nasledovne:

```
ADD PROTRUSION ...  
ADD HOLE ...  
ADD CUT ...
```

potom môže upravený opis vypadáť takto:

```
ADD PROTRUSION ...  
IF d1 > d2  
ADD HOLE ...  
...  
END ADD  
ENDIF  
ADD CUT  
AND ADD
```

Podmienkové príkazy je možné použiť aj v zostavách. Tieto príkazy potom môžu určovať, či majú byť jednotlivé súčiastky alebo podzostavy vložené do zostavy, alebo či majú byť spracované. V nasledujúcom príklade je súčasť *PART_B* použitá iba v prípade, keď parameter *DIA* má hodnotu menšiu alebo rovnú 1,25.

```
ADD PART BASE_1  
...  
IF DIA > 1.25  
ADD PART PART_A  
...  
END ADD  
ELSE ADD PART PART_B  
...  
END ADD  
ENDIF
```

Pro/E vyhodnotí všetky podmienkové príkazy, závislé od prvkov pred regeneráciou každého prvku. Preto stačí v programoch, v ktorých sú podmienkové príkazy závislé od konštrukčných prvkov ovplyvňovaných prvkami *Evaluate*, referenčnými rozmermi, atď. iba zadať príkaz *Regenerate*.

Do príkazu *IF* môžu byť vložené všetky typy premenných. Reťazce musia byť uzavreté v úvodzovkách.

Reťazcové premenné:

```
IF MATERIAL = = „OCEL“  
d2 = 10  
ENDIF  
Pre YES_NO premenné:
```

```
IF DRAFT = = YES
d25 = 5
ENDIF
```

Môžeme zostaviť program, ktorý nahradzuje komponenty zostavy zameniteľnými komponentmi. Zameniteľnosť je zaistená prostredníctvom zameniteľných skupín, členov tabuliek podobností alebo deklaráciami šablón zostavy. Člen, ktorým pri vykonaní programu chceme nahradiť pôvodný člen zostavy, musí byť s týmto členom zameniteľný, v opačnom prípade sa beh programu preruší a systém zachová predošlý stav.

8.7.4.2 Použitie vstupných premenných

Výmena komponentu pomocou programu

1. Vložíme premennú typu reťazec do príkazu *INPUT* programu zostavy.

Príklad:

```
fastener_name STRING
„Zadajte meno upínača pre vačku:“
END INPUT
```

2. V príkazoch *ADD* dáme meno reťazcovej premennej do zátvorky.

Napríklad, ak chceme do zostavy pridať nejaké teleso:

```
ADD PART (fastener_name)
...
END ADD
```

Ak chceme mať možnosť vzájomne zamieňať súčiastky podložka s podzostavou, potom použijeme *ADD COMPONENT* v tvare:

```
ADD COMPONENT (meno s priponou alebo premenna)
COMPONENT ID <ID_komponenty>
```

Príklad:

```
ADD COMPONENT podlozka.prt
COMPONENT ID 4
....
END ADD
```

Výmena komponentu pomocou relácií

1. Do príkazu *Input* vložíme premennú *YES_NO*.

Príklad:

INCL_CRANK YES_NO

2. Do časti *RELATIONS* pridáme podmienku *IF_ELSE*:

Pr:

```
RELATIONS
IF (INCL_CRANK = YES)
PART_NAME = „CRANK“
ELSE
PART_NAME = „SHAFT“
ENDIF
END RELATIONS
```

Príkaz *ADD* bude obsahovať premennú, ktorá bola definovaná v príkaze *RELATIONS* (premenná bude v zátvorke).

Príklad:

```
ADD PART (PART_NAME)
....
END ADD
```

8.7.4.3 Príkazy EXECUTE

Príkazy *EXECUTE* je dovolené používať len v programoch zostáv. Zaisťujú spojenie medzi vstupnými premennými, definovanými v zostave a vstupnými premennými programov telies a podzostáv, ktoré tvoria zostavu.

Syntaxy príkazu:

```
EXECUTE {PART alebo ASSY} meno alebo premenná
Vstupná premenná na najbližšiu nižšiu úroveň = výraz
Vstupná premenná ....
END EXECUTE
```

Podobne ako príkaz *ADD*, môže byť aj príkaz *EXECUTE* použitý v tvare *EXECUTE COMPONENT* pre zámenu telies a zostáv. Pri zadaní komponentov musíme zadať i príponu (.prt alebo .asm). Pri behu programu môže byť každá súčasť spracovaná príkazom *EXECUTE* (tzn. získať hodnoty premenných príkazom *EXECUTE*) len raz.

Prenos vstupných hodnôt

Pre prenos vstupných údajov z hornej úrovne zostavy k príslušným komponentom a podzostavám sa používajú vstupné premenné. Týmto spôsobom je možné riadiť vytváraný model.

Napríklad, nech program pre komponent *BLOCK_BASE* vyzerá takto:

```
INPUT
Key_size
Ansi_thread
...
END INPUT
RELATIONS
d5 = key_size
d3 = depth * 1.25
END RELATIONS
....
```

Potom môže program zostavy vyzerat' nasledovne:

```
INPUT
Hole_diameter NUMBER
Thread_type STRING
Depth
....
END INPUT
RELATIONS
END RELATIONS
EXECUTE PART block_name
key_size = hole_diameter/2 + 0.025
ansi_thread = thread_type
depth = DEPTH
....
END EXECUTE
Program telies „block_base“ bude teda vypadat' takto:
INPUT
ADD REATURE ...
```

- *Parameter key_size sa objavuje v príkaze EXECUTE v zostave a v príkaze INPUT v súčasti. To je nezbytné pre prenos hodnoty parametra dole zo zostavy do súčasti. Ak sa parameter neobjaví na oboch miestach alebo v programe zostavy, nie je pre súčasť použitý príkaz EXECUTE, potom budú v súčasti použité hodnoty, ktoré sú práve v pamäti.*
- *Hodnota parametra thread_type je v príkaze EXECUTE priradená do parametra ansi_thread a je predaná do súčasti príkazom INPUT.*

- Do parametra *depth* je v príkaze *EXECUTE* dosadená hodnota *DEPTH* a je predaná do súčasti použitím rovnakého mena v príkaze *INPUT*. Tento spôsob je vhodnejší ako spôsob (2), pretože je ľahšie sledovať prenos hodnôt parametrov.
- Relácia *d5 = key_size* nie je nepotrebná. Symbol parametra „*d5*“ môže byť miesto toho premenovaný na *key_size* príkazom *Symbol* z ponuky *DIM COSMETIC*.

EXECUTE vnútri príkazu IF-ENDIF

Príkazy *EXECUTE* môžu byť použité vnútri príkazu *IF-ENDIF*. Týmto spôsobom je možné zabrániť spracovaniu modelu nižšej úrovne. Ak nie je model spracovaný, budú použité práve platné hodnoty modelu.

Príklad:

```
INPUT
key YES_NO
„Obsahuje zostava klin (Y/N):“
If key = YES
key_name STRING
„Zadajte meno klina:“
ENDIF
END INPUT
RELATIONS
END RELATIONS
IF key = YES
EXECUTE PART (key_name)
END EXECUTE
ENDIF
```

komponent *key_name* bude spracovaný len vtedy, ak je obsiahnutý v zostave.

8.7.4.4 Hierarchia spracovania zostavy

Program zostavy môže vyvolať spracovanie podzostavy, program podzostavy môže vyvolať spracovanie ďalšej podzostavy, atď. Komponenty, obsiahnuté v podzostave, nie sú spracované hlavnou zostavou, ale podzostavou. Pri vykonávaní programu zostavy sa teda vyvolá spracovanie komponentov len s bezprostrednou nasledujúcou nižšou úrovňou.

Príkaz MASSPROP

Jeho použitím sa zaistí, že dôjde k aktualizácii hmotnostných charakteristík po každej zmene geometrie. Potom, čo špecifikujeme komponenty alebo zostavy, ktorých hmotnostné

charakteristiky majú byť aktualizované, si môžeme vyžiadať platné hodnoty požadovaného parametra pomocou relácií.

Pre aktualizáciu hmotnostných charakteristík postupujeme takto:

```
MASSPROP  
PART      NAME  
ASSEMBLY NAME  
END MASSPROP
```

Pri špecifikácii modelu, ktorého hmotnostné charakteristiky majú byť modifikované, sa zadáva meno modelu bez prípony.

Príkaz *MASSPROP* môže obsahovať podmienený príkaz *IF ... ELSE*. Pridanie podmienky do príkazu *MASSPROP* spôsobí, že hmotnostné charakteristiky objektu budú vypočítavané len pri splnení podmienky.

Príklad:

```
MASSPROP  
IF THICKNESS > 1  
PART PLATE  
ELSE  
ASSEMBLY BLOCK  
ENDIF  
END MASSPROP
```

V tomto príklade sa vypočítajú hmotnostné charakteristiky pre súčasť *PLATE* len vtedy, ak je hodnota parametra *THICKNESS* väčšia než 1. V opačnom prípade budú vypočítané hmotnostné charakteristiky zostavy *BLOCK*.

Príkaz *INTERACT*

Poskytuje možnosť pre interaktívne vytvorenie konštrukčných prvkov telies a zostáv. Môžu byť vložené kamkoľvek dovnútra *FEATURE ADD – END ADD* alebo *PART ADD – END ADD*. Napríklad, príkaz *ELSE* v jednom z predošlých príkladov môže byť zapísaný takto:

```
ADD PROTRUSION  
IF d1 > d2  
ADD HOLE ...  
ELSE  
INTERACT  
END IF  
ADD CUT...
```

V tomto príklade je možné v situácii, kedy d1 nie je väčšie než d2, vytvoriť množinu prvkov, ktorá je alternatívou prvku *HOLE* z vetvy IF. Režim *INTERACT* pracuje obdobne ako režim *Insert*, ktorý je prístupný v systéme Pro/E.

Vykonávanie príkazu *INTERACT*

Keď systém narazí v programe na príkaz *INTERACT*, vykonávanie programu sa preruší a máme možnosť pridať nové prvky. Systém zobrazí neúplný model, vybudovaný podľa inštrukcií načítaných pred príkazom *INTERACT*. V priebehu príkazu *INTERACT* je model zmrazený a nemôže byť modifikovaný.

Ak sme v interaktívnom režime, zvolíme z ponuky *FEAT CLASS* prvok, ktorý chceme pridať, a pokračujeme v zadávaní potrebných parametrov. Po vytvorení nového prvku sa systém opýta, či chceme pokračovať v pridávaní prvkov. Ak odpoviete N, obnoví sa vykonávanie programu. Po jeho ukončení nové prvky, pridané počas spracovania príkazu *INTERACT*, nahradia príkazy *INTERACT* v programe *From Model*. Interaktívnu prácu môžeme zrušiť okamžite potom, čo sa model zastavil vo fáze *INTERACT*, t.j. bez vytvárania prvkov. Z ponuky *FEAT CLASS* zvolíme *Done/Return* a na výzvu systému odpovieme N. Obnoví sa vykonávanie programu a pokračujeme až do jeho konca.

8.7.4.5 Potlačenie prvkov

Prvky telies alebo zostáv, alebo celé komponenty môžu byť potlačené vložením slova *SUPPRESSED* bezprostredne za slovo *ADD*:

```
ADD SUPPRESSED PROTRUSION
```

Podobne môžeme potlačený prvok obnoviť zrušením slova *SUPPRESSED* z príkazu *ADD FEATURE*.

Potlačenie, vykonávané v programe, pracuje rovnako ako potlačenie vykonávané v Pro/E, t.j. potlačené modely nie sú pri vyvolaní zostavy načítané. Preto tiež potlačené modely nebudú uložené, ak zostavu uložíme príkazom *Save As*.

8.7.4.6 Preusporiadanie a zrušenie prvkov

Preusporiadanie alebo zrušenie prvkov súčiastok alebo zostavy a komponentov sa vykonáva editorom, zrušením alebo zmenou zodpovedajúcich podmienok *ADD FEATURE* telies, alebo

zostavy. Základný prvok nemôže byť preusporiadaný. Ak chceme zrušiť člen znásobenia alebo skupiny, systém zmenu odmietne a opýta sa, či sa má znovu editovať súbor.

Rozmery prvkov

Rozmery prvkov môžu byť v programe zmenené nahradzaním príkazu kóty takto:

MODIFY d# = hodnota

Novú hodnotu kóty môžeme zadať aj pomocou príkazu *RELATIONS*.

8.7.5 Použitie komentárov

V programe môžeme použiť vysvetľujúci komentár pre anotáciu relácií a príkazov *ADD*. Pri vkladaní komentára sa používa nasledujúci formát:

/ váš komentár*

Text komentára je uvedený znakmi lomka a hviezdička. V príkaze *ADD* musí komentár nasledovať bezprostredne po riadku *ADD...*, aby bol pripojený k prvku a zobrazoval sa v informačnom okne.

8.7.6 Zadávanie hodnôt vstupných premenných

Ak obsahuje opis konštrukcie modelu vstupné premenné, budeme vyzvaní k zadaniu ich hodnôt pri každej regenerácii modelu, alebo po zahrnutí nových inštrukcií do modelu. Spôsoby zadávania hodnôt sú vypísané v ponuke *GET INPUT*.

- *Current Vals* – *program použije aktuálne hodnoty a nebude vyžadovať vstup z klávesnice.*
- *Enter* – *po výzve zadajte nové vstupné hodnoty. Výber parametrov pre zadávanie nových hodnôt sa vykonáva zatrhnutím mien parametrom v ponuke INPUT SEL. Pro/PROGRAM vás vyzve k zadaniu nových hodnôt len pre parametre, ktoré sme označili zatrhnutím.*
- *Read File* – *pri behu programu sa použijú vstupné hodnoty uložené v súbore. Zadajte meno súboru, vrátane prípony.*

Aktuálne hodnoty parametrov je možné skontrolovať príkazom *Show Design>From Model*; v informačnom okne sa potom zobrazí zoznam vstupných premenných a ich aktuálne hodnoty.

8.7.7 Chyby súboru

Ihneď po ukončení editácie systém kontroluje editovaný súbor a detekuje všetky chyby, ktoré zabráňujú modulu Pro/PROGRAM, aby porozumel obsahu súboru. Chyby môžu vzniknúť napríklad takto:

- príkaz IF nemá príkaz END IF alebo naopak,
- mená premenných v relácii alebo podmienke sú nesprávne zapísané,
- požadujeme preusporiadanie potomka pred rodičom,
- rušíme rodičov iných prvkov.

Ak súbor obsahuje chybu, objaví sa ponuka *PROG ERROR* s aktívnymi voľbami:

- Abort – zrušenie zmien, ktoré sme počas editácie previedli a návrat k stavu pred editáciou
- Edit – nová editácia programu s cieľom odstrániť chyby. Chybové hlásenia sú umiestnené priamo v texte, určujú teda umiestnenie a typ chyby. Tieto správy budú pri nasledovnom spracovaní programu ignorované. Vymazané budú pri zistení ďalších chýb a umiestnené do textu programu alebo pri ukončení práce s modelom.

Chyby pri behu programu

Ak dôjde k chybám pri behu programu, reaguje systém takto:

V režime *Part* a *Assembly*:

- ak je chyba spôsobená chybou konštrukčného prvku (napr. rozmer nevyhovuje obmedzeniu definovanému v reláciách), objaví sa informačné okno s popisom chyby, ktorá je rovnako zapísaná do súboru *errors.lst.n*. Potom je možné editovať program *From File* (a opraviť chyby) alebo *From Model* (a začať od začiatku)
- ak je chyba spôsobená geometrickou chybou, Pro/ENGINEER vstúpi do špeciálneho prostredia *Resolve*, ktoré obsahuje nástroje pre nájdenie a odstránenie chyby.

V režime *Assembly*:

- ak dôjde k chybe v zostave (napr. preto, že do zostavy bol vložený nevhodný člen), systém informuje, že zlyhalo nahrádzanie určitého člena a opýta sa, či chceme znova editovať program.

Chyby prvkov

Značné množstvo chýb nie je možné zistiť počas editácie, ale môže spôsobiť, že výsledný model je nepoužiteľný. Tieto chyby definujeme ako chyby, ktorých príčinou je neplatný

zoznam konštrukčných prvkov. Tieto chyby väčšinou vznikajú pri preusporiadavaní alebo mazaní prvkov, ktoré od seba vzájomne závisia. Môžu tiež vzniknúť po zadaní nevhodných podmienok pre vytváranie prvkov, ktoré dovoľia vytvorenie prvkov, ale nedovolia vytvorenie ich rodičov. Chyby vyplývajúce z neplatného zoznamu prvkov sú zistené pred tým, než sa začne rekonštrukcia geometrie modelu.

Geometrické chyby

Niektoré chyby nemôžu byť odhalené, dokiaľ nezačne proces rekonštrukcie geometrie. Napríklad, môžeme mať takýto zápis:

```
ADD FEATURE PROTRUSION
ADD FEATURE SHELL
OF THICKNESS d 10 (vydlabanie hrnčeka)
ADD FEATURE PROTRUSION (vytvorenie ucha)
```

Teraz prehodíme poradie dvoch posledných prvkov, ktoré od seba nie sú závislé. Ak je geometria ucha príliš tenká, nemôže byť vytvorená škrupina hrúbky d10 a dôjde ku geometrickej chybe. Pro/E nezregeneruje škrupinu. Takéto prvky sú na modeli zvýraznené červenou farbou. Potom sa objaví ponuka *RESOLVE FEAT* a okno *Failure Diagnostics* s diagnózou chyby. Zvolením *Undo Changes*, systém zruší zmeny realizované pri tejto regenerácii a vráti model do predchádzajúceho stavu. V našom príklade to znamená, že poradie prvkov bude navrátené do pôvodného stavu.

8.7.8 Vytvorenie inštancií modelu pomocou modulu Pro/PROGRAM

Komponenty a zostavy, vytvorené pomocou aplikácie Pro/Program, môžu byť zmenené na inštancie (výskyty) generického modelu. Pri každom vykonaní programu zostavy, aj keď po regenerácii modelu, alebo po editácii programu, môžeme pomocou príkazu *Instantiate* z ponuky *Program* vytvoriť výskyt s danou konfiguráciou v tabuľke tvarovo príbuzných modelov.

1. Po vykonaní programu zvolíme *Program>Instantiate*.
2. Objaví sa editor s menom generických zostáv a *telies* v prvom stĺpci a s implicitnými menami inštancií v druhom stĺpci. Môžeme editovať implicitné mená inštancií zostáv alebo *telies*; potom ukončíme editor.

Po vytvorení výskytu zostavy môžeme vyvolať tabuľku podobností modelov. Tabuľka bude obsahovať meno výskytu zostavy, mená telies, ktoré boli spracované, a hodnoty premenných, ktoré boli zadane počas vstupu.

Parametre, ktoré sa vyskytujú v tabuľke, riadia tvorbu zostavy. Ak program zostavy obsahoval príkaz *Execute*, bude tento príkaz uzatvorený vnútri príkazu *IF*. Táto zmena dovoľí spracovanie len pre generickú zostavu.

Parametrická konštrukcia

Nasledujúci príklad zobrazí parametrickú konštrukciu viečka a krytu. Ilustruje logiku konštrukcie a použitie príkazov *INPUT*, *EXECUTE* a *IF-ELSE*. Formát príkazu *ADD FEATURE* je zjednodušený. Vysvetlivky v hranatých zátvorkách sú iba pre informáciu.

Konštrukcia zostavy *BLENDER*

Parametrická konštrukcia *BLENDER*:

```
INPUT
COVER_TYPE YES_NO
„Má viečko (cover) kryt (cap)?:"
MATERIAL STRING
„Zadajte materiál (ABS alebo Poly):"
CAP_TYPE STRING
„Zadajte typ krytu (cap) (MODEL_A alebo MODEL_B):"
COVER_SIZE
„Zadajte rozmer hornej dosky:"
END INPUT
```

```
RELATIONS
END RELATIONS
```

[Odovzdá hodnotu *COVER_TYPE* dole do komponentu *COVER*. Ak je hodnotou *YES*, bude mať komponent *cover* otvor. Odovzdáva tiež hodnotu materiálu a veľkosť telies *cover* (veľkosť hornej dosky).]

```
EXECUTE PART COVER
COVER_TYPE = COVER_TYPE
COVER_SIZE = COVER_SIZE
END EXECUTE
```

```
ADD PART COVER [Pridanie komponentu cover]
INTERNAL MEMBER ID 2
....
END ADD
```

```
IF COVER_TYPE = = YES [ak je COVER_TYPE = YES]
ADD PART (CAP_TYPE) [pridá komponent cap do zostavy]
INTERNAL MEMBER ID 3
....
END ADD
END IF
```

Konštrukcia komponentu *COVER*

Parametrická konštrukcia pre *COVER*:

```
INPUT
COVER_TYPE YES_NO
COVER_SIZE
MATERIAL STRING
END INPUT

RELATIONS
DIAM = COVER_SIZE / 2 [Relácie zahrňujú reláciu pre priemer diery ]
IF MATERIAL == "Poly" [a podmienený príkaz pre typ materiálu]
D0 = 0.10
Else
D0=0.2
Endif
End relations

Add feature 1
Internal feature ID 33 [pridanie základného prvku]
Type = first feature
....
cover_size = 2.4 [meno parametra bolo zmenené]
[ na "COVER_SIZE"]
END ADD

ADD FEATURE 2 [pridanie stien]
INTERNAL FEATURE ID 169
TYPE = PROTRUSION
....
END ADD
IF COVER_TYPE = = YES [ak COVER_TYPE = YES, ]
ADD FEATURE 3 [pridá sa diera.]
INTERNAL FEATURE ID 270 [pozn: YES nie je v úvodzovkách.]
TYPE = SLOT
....
END ADD
END IF
```

Konštrukcia komponentu *CAP*

Komponent *CAP* je riadený tabuľkou s výskytmi *MODEL_A* a *MODEL_B*. Parametrická konštrukcia je nasledovná:

```
INPUT  
END INPUT
```

```
RELATIONS  
END RELATIONS
```

```
ADD FEATURE 1 [pridanie základného prvku komponentu cap]  
INTERNAL FEATURE ID 33  
TYPE=FIRST FEATURE  
....  
END ADD
```

```
ADD FEATURE 2 [pridanie pomocnej roviny]  
INTERNAL FEATURE ID 106  
TYPE=DATUM PLANE  
....  
END ADD
```

```
ADD FEATURE 3 [pridanie preťaženia]  
INTERNAL FEATURE ID 108  
TYPE=PROTRUSION  
...  
END ADD
```

```
ADD FEATURE 4 [pridanie diery]  
INTERNAL FEATURE ID 179  
TYPE = HOLE  
....  
END ADD
```

```
ADD FEATURE 5 [pridanie hornej dosky]  
INTERNAL FEATURE ID 198  
TYPE = PROTRUSION  
END ADD
```

8.7.9 Pripojenie aplikácie Pro/J.Link k modelu

Postup je nasledovný:

1. Načítať model, ktorý je asociovaný s aplikáciou Pro/J.Link.
2. Zvoliť Program> ro/J.Link z ponuky *Part*, alebo *Assembly*.

3. Ak aplikácia vyžaduje Java súbor, zvoliť v dialógu *Model Programs Add File* a pridať Java súbor do zoznamu.
4. Zvoliť *Add* a zadať nasledovné informácie v dialógu *Java Application Properties*:
 - *Application Name* – meno Java aplikácie,
 - *Class Name* – triedy obsiahnuté v Java aplikácii,
 - *Start Method Name* – metóda, ktorá je volaná pri načítaní modelu do sedenia,
 - *Stop Method Name* – metóda, ktorá je volaná pri vymazaní modelu.
5. Zvoliť *OK*. Aplikácia Pro/J.Link sa spustí.
6. Zvoliť *Close* pre zavretie dialógu *Model Programs*.

8.8 Pro/TOOLKIT

Pro/TOOLKIT (Pro/T) je aplikačné programové rozhranie (API) na tvorbu aplikačných programov pre systém Pro/ENGINEER od Parametric Technology Corporation. Umožňuje rozširovať funkcionality systému Pro/E napísaním kódu v jazyku C/C++ a následnou integráciou vzniknutej aplikácie do systému Pro/E. Pro/T je rozsiahla knižnica C/C++ funkcií, ktoré poskytujú externým aplikáciám prístup do databázy a k aplikácii systému Pro/E.

8.8.1 Vzťah medzi Pro/TOOLKIT a Pro/DEVELOP

Pro/T nahrádza a obsahuje Pro/DEVELOP, čo bolo API pre Pro/E od Release 17. P/D bol navrhnutý pre zákaznicke použitie, najmä ako odpoveď na špecifické zákaznicke požiadavky. Pro/T má tieto výhody:

väčšia ustálenosť v štýle,

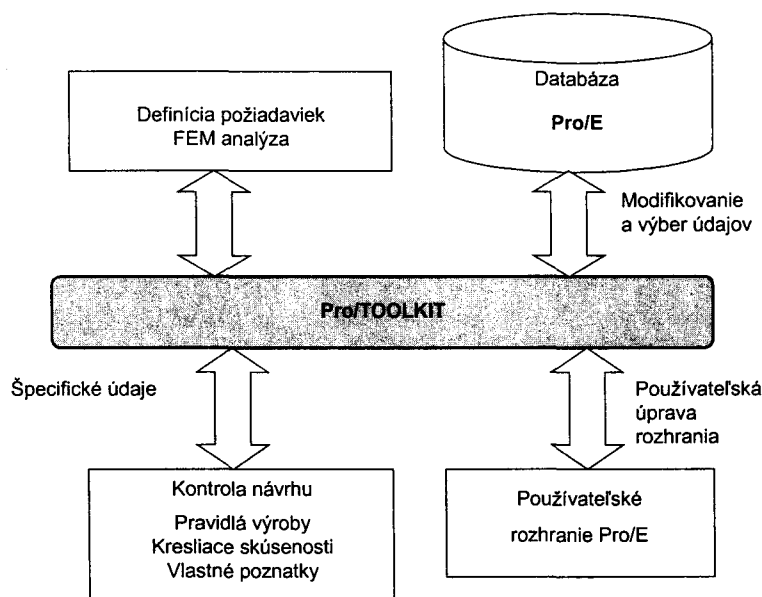
väčšia kompletnosť funkcionality,

lepšie logické vzťahy s jadrom Pro/E ako jeho predchodca.

Pro/T používa objektovo orientovaný štýl. Veľa knižničných funkcií je podobných a pre skúseného používateľa sú nahradené funkcie P/D podobnými Pro/T funkciami. Používateľa nemusia konvertovať existujúce P/D aplikácie do Pro/T lebo:

Pro/T používa ten istý mechanizmus ako P/D na integráciu kódu aplikácie Pro/E, takže P/D kód a Pro/T kód môžu byť zmiešané spolu vnútri jednoduchšej aplikácie,

nahradené P/D funkcie zostávajú v knižnici systému Pro/E na neurčitú dobu.



Obr. 8.29 Možnosti API Pro/Toolkit

Uvedený prvý odsek taktiež zahŕňa existujúce P/D aplikácie, a tak poskytuje výhodu pre nové funkcie Pro/T bez toho, aby používatelia museli kód konvertovať.

Niektoré funkcie P/D nie sú v špecifických oblastiach nahradené ekvivalentom funkcie Pro/T. Používateľ týchto funkčných oblastí musí zmiešavať funkcie P/D a Pro/T funkcie, aby mohol výhodne využívať nové Pro/T črty. Pro/T aplikácia beží paralelne s Pro/E. Pri spúšťaní modifikuje alebo rozširuje používateľské prostredie v Pro/E, takže je kompletne prehľadné pre koncového používateľa. Používateľské rozhranie Pro/T je identické s rozhraním klasického Pro/E. K úspešnému vytvoreniu a otestovaniu aplikácie je potrebný kód Pro/T. Akonáhle je aplikácia vytvorená, môže byť distribuovaná voľne ku koncovému používateľovi, bez potreby zakúpenia ďalších licencií.

8.8.2 Základné vlastnosti Pro/T

Funkcionalita Pro/T zahŕňa tieto vlastnosti:

- štandardné menu Pro/E môže byť rozšírené, zmenené alebo vytvorené nové,

- používateľské menu a tlačidlá menu môžu mať úplnú alebo čiastočnú nápovedu,
- k dispozícii je podpora pre rôzne jazyky,
- obsahuje nástroje pre výstup správ a vstupy používateľa,
- poskytuje nástroje pre výber tvarových prvkov (*features*) a iné položky,
- môžu byť zobrazené položky z jednoduchých entít (od čiar a oblúkov po komplexné časti a montážne celky),
- umožňuje prístup do databázy systému Pro/E.

Pro/T umožňuje tretím stranám rozšíriť schopnosti systému Pro/E, napísaním kódu v jazyku C/C++ a následnou bezproblémovou integráciou vzniknutej aplikácie do systému Pro/E. Pro/T poskytuje rozsiahlu knižnicu C/C++ funkcií, ktoré poskytujú externým aplikáciám bezpečný a kontrolovaný prístup do databázy a aplikácií systému Pro/E.

8.8.3 Prístup do databázy CAD/CAM systému Pro/E

Pro/E objekty ako telesá (*Parts*), zostavy (*Assemblies*), výrobné objekty (*Manufacturing Objects*) a výkresy môžu byť uložené a obnovené z disku. Pro/T podporuje úplné funkcie dotazovacích a manipulačných schopností. Zahrnuté sú schopnosti prekročiť všetky funkcie v modeli a obnoviť informačné funkcie. Akcie, ako sú vymazanie (*Delete*), potlačenie (*Suppress*), obnovenie (*Resume*), sú taktiež podporované. Schopnosti tvorby tvarových prvkov sú dostupné pre základné modelovanie a výrobu (*Manufacturing Features*). Môžu sa vytvárať a modifikovať taktiež kóty, parametre, tolerancie a iné atribúty. Rozšírené schopnosti prístupu k rezom (cross-section), tabuľkám podobností (*Family Tables*), hladinám (*Layers*), vytváranie skupín (*Group Creation*), väzieb (*Relations*) a aplikácie Pro/PROGRAM sú taktiež podporované.

Pro/T umožňuje získať montážnu informačnú hierarchiu a umožňuje identifikáciu a manipuláciu s umiestnením komponentu. Dajú sa naprogramovať rôzne postupy montáže, ako aj demontáž komponentov. Pro/T podporuje prístup a manipuláciu so zjednodušenou montážnou reprezentáciou a animáciou montážnej skupiny.

Rozsiahla množina funkcií je poskytovaná pre používateľské úpravy kreslenia, zahrňujúce vytváranie viacerých kresliacich pohľadov, vytváranie a manipuláciu so symbolmi, tabuľkami, položkami detailov a poznámkami.

Pro/T poskytuje funkcie pre špeciálne oblasti, ako kabeláž (*Cabling*), diagramy, metóda konečných prvkov (FEM) a konštruovanie súčiastok z plechov (*Sheet Metal*).

8.8.4 Princíp práce Pro/T

Štandardná metóda, ktorou je kód Pro/T aplikácie integrovaný do Pro/E v prostredí MS Windows, je cez dynamicky linkované knižnice (DLL). Keď kompilujeme Pro/T aplikáciu v C kóde a linkujeme ju s Pro/T knižnicou, vytvoríme objektovú knižnicu, navrhnutú tak, aby mohla byť prilinkovaná do Pro/E štartovacej oblasti. Táto metóda je známa ako „DLL mód“.

Pro/T taktiež podporuje druhú metódu integrácie ako „multiproces“ alebo „spawned mode“. V tomto móde kód aplikácie Pro/T je kompilovaný a linkovaný do formy samostatného spustiteľného súboru. Tento súbor beží ako detský (*Child*) proces Pro/E. V DLL móde výmena medzi Pro/T aplikáciou a Pro/E je realizovaná cez priame volanie funkcií. V multiprocesnom móde ten istý efekt je vytvorený pomocou vnútorne procesného systému správ, ktorý simuluje priame volanie pomocou podávania potrebných informácií na identifikáciu funkcií a ich hodnôt argumentov medzi dvoma procesmi.

Multiprocesný mód zahŕňa viac prídavnej komunikácie ako DLL mód, špeciálne keď Pro/T aplikácia vytvára časté volania do knižnice funkcií Pro/T, pretože metóda implementácie týchto volaní je viac komplexná.

Môžeme používať Pro/T aplikáciu taktiež v DLL móde alebo v multiprocesnom móde bez zmeny C zdrojového kódu v aplikácii. Taktiež je možné používať viac ako jednu Pro/T aplikáciu spolu s jednoduchým sedením Pro/E a tieto môžu byť použité v hocijakej kombinácii módov.

Ak používame počas vytvárania aplikácie na ľahšie odladenie multiprocesný mód, môžeme sa prepnúť do DLL módu. Keď inštalujeme aplikáciu pre koncového používateľa, výkonnosť je lepšia v tomto móde. Programovacia chyba v aplikácii môže spôsobiť znehodnotenie údajov v pamäti používanej Pro/E alebo Pro/T. V každom z týchto módov sa ukazujú rozličné symptómy, takže sa môžu objaviť nové chyby, ktoré bude treba ošetriť, keď sa prepneme do DLL módu. Multiprocesný mód umožňuje beh dvoch procesov paralelne. Tieto procesy neposkytujú pravý paralelný multiprocessing.

Pro/T umožňuje aj iný mód integrácie Pro/T aplikácií, ktorý poskytuje túto možnosť, nazvanú asynchrónny mód. DLL a multiprocesný mód majú spoločný názov synchrónny mód.

Asynchrónna Pro/T aplikácia je od základov odlišná v jej architektúre od aplikácie v synchrónnom móde. Ako všeobecné pravidlo synchrónny mód sa používa ako prednastavený.

Pro/T umožňuje prístup k objemovej geometrii. Funkcie sú dostupné pre spojenie a vyhodnotenie geometrie objektov, získavanie analytickej reprezentácie plôch a hrán, výpočtu objemových vlastností a odmeriavania vzdialeností a dĺžok. Rozšírené schopnosti, ako výpočty interferencie, priesečníky modelu a lúčov a „*clearance computation*“ sú taktiež možné.

8.8.5 Tvorba Pro/T aplikácií

Možnosti C kompilátora a systémových knižníc, potrebných na kompiláciu a linkovanie Pro/T aplikácie, sú vo všeobecnosti odlišné v každej platforme a taktiež aj medzi, napr. rôznymi modifikáciami operačného systému UNIX.

Registrácia Pro/T aplikácie

1. Registrácia Pro/T aplikácie znamená poskytnutie informácií pre Pro/E o súboroch, ktoré vytvárajú Pro/T aplikáciu. Ak chceme takéto niečo urobiť, musíme vytvoriť malý textový súbor nazvaný Pro/T registračný súbor (*prot.dat*), ktorý Pro/E nájde a načíta.

Ak existuje viac súborov registrácie, potom ich Pro/E nájde všetky a spustí všetky Pro/T aplikácie. Taktiež môžeme podporiť rôzne platformy a jazyky s jedným súborom registrácie referencovaním premenných prostredia v ich kontexte. Súbor registrácie je jednoduchý textový súbor, kde každý riadok obsahuje jednu z preddefinovaných sád kľúčových slov, za ktorými nasleduje hodnota. Štandardná forma súboru registrácie v DLL móde:

```
name YourApplicationName
  startup dll
  exec_file $LOADDIR/$MACHINE_TYPE/obj/filename.dll
  text_dir $LOADDIR
  revision
end
```

Údaje v súbore registrácie znamenajú:

name

Priraduje jedinečné meno Pro/T aplikácii. Toto sa používa na identifikáciu aplikácie vtedy,

keď ich je viac ako jedna. Maximálna veľkosť mena je PRO_NAME_SIZE (definovanej v súbore ProSizeConst.h). Súčasné maximum je 31 znakov pre meno, plus znak ukončujúci reťazec.

startup

Špecifikuje metódu, ktorou by mal Pro/E komunikovať s Pro/T aplikáciou. Tento príklad špecifikuje DLL mód.

exec_file

Špecifikuje meno súboru vytvoreného kompiláciou a linkovaním Pro/T aplikácie. V DLL móde je to dynamicky linkovaná knižnica. V multiprocesnom móde je to spustiteľný kompletný program. Tento príklad ukazuje typické použitie premenných prostredia na vytvorenie referencie k spustiteľnému súboru, aby bol viac flexibilný.

text_dir

Špecifikuje adresár, ktorý obsahuje menu a tzv. message súbory používané Pro/T aplikáciou. (opísané detailne v Menu a Messages)

revision

Špecifikuje verziu PT, v ktorej bola aplikácia vytvorená. Ak nezahrnieme túto položku v našom súbore registrácie, Pro/T predpokladá, že číslo verzie je rovnaké ako verzia Pro/E. PTC odporúča, aby sa pridal ešte riadok revision do všetkých existujúcich súborov registrácie.

description

Kontextovo senzitívna nápoved'. Ak umiestnime kurzor nad aplikáciu Pro/E, vypíše nápovedný text (maximálne 80 znakov.) Môžeme použiť aj non-ASCII znaky ako v menu súboroch.

end

Indikuje koniec opisu tejto Pro/T aplikácie. Je možné pridať ďalšie položky, ktoré definujú Pro/T aplikáciu. Všetky tieto aplikácie budú štartované systémom Pro/E.

Ak chceme spustiť aplikáciu v multiprocesnom móde, musíme spraviť nasledujúce zmeny v súbore registrácie:

1. Zmeniť startup položku na *Startup Spawn*.
2. Vytvoriť položku *exec_file*, aby bol Pro/T program spustiteľný.

8.8.6 Štruktúra Pro/T aplikácie

Pro/T aplikáciu môžeme vytvárať v synchrónnom alebo v asynchrónnom móde.

Synchrónny mód

Podstatné sú „include“ súbory. Iba jeden hlavičkový súbor sa musí vždy pridávať v každom zdrojovom súbore v Pro/T aplikácii – *ProToolkit.h*. Tento súbor musí byť vždy dostupný a deklarovaný ako prvý, pretože definuje hodnotu premennej *wchar_t*, typ pre znaky v širokom reťazci (wide string), na ktorý sa odkazujú mnohé ďalšie „include“ súbory.

ProToolki.h obsahuje aj tieto štandardné „include“ súbory:

```
stdio.h
string.h
stddef.h
stdlib.h
```

Preto nemusíme zahrnúť tieto súbory explicitne do aplikácie. Keď používame funkcie pre čiastočné objekty Pro/T, mali by sme vždy zahrnúť hlavičkové súbory, ktoré obsahujú prototypy týchto funkcií. Ak toto nesplníme, alebo zabudneme niektoré uviesť, potom stratíme podporu pri kontrole počas kompilácie. Hlavičkový súbor *ProObjects.h*, ktorý obsahuje deklarácie „handle“ objektov, je zahrnutý v každom hlavičkovom súbore, ktorý obsahuje funkčné prototypy, a preto nemusí byť zahrnutý explicitne.

Napr., ak používame funkciu *ProSurfaceAreaEval()*, môžeme zahrnúť súbor *ProSurface.h*, ktorý obsahuje prototypy tejto funkcie, ale nemusíme zahrnúť *ProObjects.h*, pretože tento je zahrnutý v *ProSurface.h*.

Ak používame štýl funkcií z Pro/DEVELOP v Pro/T aplikácii, musíme zahrnúť súbor *prodevelop.h* pred *ProToolkit.h*.

8.8.7 Jadro Pro/T aplikácie

Aplikácia začína funkciami:

```
user_initialize()
user_terminate()
```

Pro/T aplikácia musí vždy obsahovať funkcie *user_initialize()* a *user_terminate()*. Tieto funkcie majú prefix „user“, pretože sú napísané tvorcom Pro/T aplikácie, ale sú volané z prostredia Pro/E pri štarte a konci práce (*Session*).

Funkcia `user_initialize()` je volaná po inicializácii Pro/E aplikácie a po vytvorení grafického okna. Funkcia `user_initialize()` by mala obsahovať rôzne inicializácie, ktoré potrebuje Pro/T aplikácia, vrátane rôznych modifikácií menu Pro/E (ako napr. pridávanie nových tlačidiel).

Funkcia `user_initialize()` je volaná s optimálnym počtom argumentov, ktoré môžeme pridať do definície funkcie. Tieto argumenty poskytujú informácie o argumentoch príkazového riadku vkladaných, keď bol vyvolaný Pro/E a kontrole tzv. tvoriaceho čísla (*Build Number*) *Pro/E session*. Inicializačná funkcia musí vrátiť hodnotu 0 pre indikáciu stavu, že Pro/T aplikácia bola inicializovaná úspešne. Akákoľvek iná návratová hodnota je reprezentovaná ako chyba pri inicializácii.

Funkcia `user_terminate()` je volaná na konci sedenia Pro/E, potom čo používateľ zvolí *YES* v dialógu pre ukončenie práce.. Jej návratová hodnota je *void*.

Nasledujúci príklad reprezentuje prázdne jadro Pro/T aplikácie. Tento kód by mal byť štartujúci bod každej novej aplikácie, ktorú vytvárame.

```
#include "ProToolkit.h"
int user_initialize()
{
    return (0);
}
void user_terminate()
{
}
```

Ak použijeme možnosť zastaviť a spustiť multiprocesný mód Pro/T aplikácie v sedení Pro/E, `user_initialize()` a `user_terminate()` sú volané iba pri štarte a zastavení procesu Pro/T.

Funkcia `user_initialize()` je volaná s určitým počtom vstupných a výstupných argumentov. Ako vždy v jazyku C, ak nepotrebujeme použiť argument, naša funkcia ho nepotrebuje deklarovať.

Vstupné argumenty sú:

<i>int arg_num</i>	– počet argumentov príkazového riadku
<i>char*argc[]</i>	– argumenty príkazového riadku vydané Pro/E (pozri nižšie)
<i>char* version</i>	– názov verzie (release) používaného Pro/E
<i>char* build</i>	– číslo verzie používaného Pro/E

Výstupné argumenty sú

`wchar_t err_buff[80]` – text chybovej správy vyslaný do Pro/E, ak nastane chyba pri inicializácii Pro/T. Pro/E zobrazí tento text, keď Pro/T generuje pri inicializácii chybu.

8.9 Behavioral Modeling

Modelovanie pomocou tvarových, resp. konštrukčných prvkov (*Feature Modeling*) je založené na postupnom vytváraní modelu telesa pomocou operácií pridávania a odoberania objemu (materiálu) s využitím preddefinovaných tvarových prvkov.

Behavioral Modeling (BM) je metóda modelovania, založená na využívaní analytických metód pri návrhu tvaru telesa. Výsledky analýz sú priamo použité pre proces modelovania. Pomocou metódy BM môžeme riešiť tieto charakteristické úlohy:

Generovanie parametrov tvarových prvkov, založené na vyhodnocovaní charakteristických rozmerov a analýzach modelu.

Generovanie geometrických entít, založené na vyhodnocovaní charakteristických rozmerov a analýzach modelu.

Tvorba nových spôsobov vyhodnocovania charakteristických rozmerov modelu podľa špecifických požiadaviek používateľa.

Analýza správania sa charakteristických parametrov pri ich zmene.

Generovanie rozmerov a parametrov, ktoré zabezpečia požadované správanie modelu.

Analýza správania sa charakteristických parametrov v rámci špecifikovaného konštrukčného priestoru.

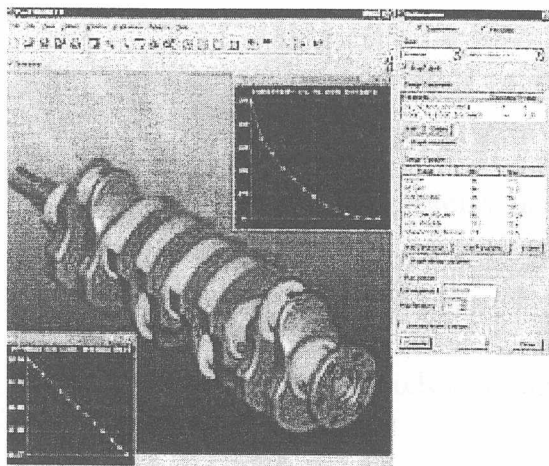
Základom metódy BM sú rôzne optimalizačné výpočty a analýzy. Metóda je založená na troch základných komponentoch:

Smart modely -inteligentné tvarové prvky, ktoré reprezentujú novú generáciu „future-based“ modelovacích techník. Dynamicky menia geometriu v závislosti od technických podmienok a konštrukčného zámeru.

Objektovo riadené konštruovanie -použitie *smart* modelov pre jednoduchšie dosiahnutie konštrukčného zámeru, optimalizáciu hodnôt a odhad zmien na konštrukciu. Použitím

objektovo riadeného konštruovania dostaneme optimálne riešenie s množstvom prípadných variantných riešení.

Otvorenosť - široké prostredie na uľahčenie obojsmernej komunikácie medzi ďalšími aplikáciami, ako analýzy, obrábanie atď.



Tieto vlastnosti sú obsiahnuté v prídavnom module *Behavioral Modeler Extension* (BMX) a dovoľujú používateľovi flexibilne riadiť vývoj výrobku na základe špecifikácie zadania. BMX rozširuje základ konštrukčného prvku a adoptívne premenlivé prvky, ktoré obalujú výrobok, jeho presné informácie do podoby inteligentného digitálneho modelu. Špecifické požiadavky konštrukcie môžu byť včlenené ako

prvky a modely môžu byť optimalizované na základe týchto špeciálnych prvkov. Špeciálne adoptívne prvky premenia modely pomocou BMX na skutočné výrobky.

Cieľovo orientované konštruovanie (Objective Driven Design - ODD)

Cieľovo orientované konštruovanie je integrované v Pro/E v jeho základných funkciách parametrického modelovania a umožňuje zadávať a prijímať odpovede na problémy v priebehu návrhu konštrukcie. Môžeme preskúmať veľké množstvo návrhov a konštrukčných zámerov s presným zobrazením výsledného prevedenia. Pružnosť BM umožňuje nájsť riešenie pre problémy v krátkom čase.

Behavioral prvok (*Behavioral Feature*)

Informácie o tvare, rozmere a požiadavky môžu byť jednoducho aplikované do modelu pomocou tzv. *behavioral* prvkov. Napr., požadovaný objem môže byť odvodený z *behavioral* prvku, ktorý je riadený výslednou veľkosťou palivovej nádrže. Alebo uhol odrazu môže byť meraný a riadený *behavioral* prvkom, ktorý je závislý na krivosti plochy v bode odrazu.

Riešenie problému s ODD

BM umožňuje optimalizovať návrh výrobku v závislosti od stanovených cieľov a technických podmienok. *Behavioral Modeler* preberie adaptívnu regeneráciu od modelu, pričom sa opiera o špeciálne ciele a kritériá, ktoré aplikuje na modeli, ako napr. dosiahnuť optimálny výkon stroja. Použitím ODD pre ďalšiu výrobu je možné eliminovať potrebu prototypových vzoriek, ktoré sa často zhotovujú za účelom overenia funkčných a vizuálnych vlastností.

Určenie citlivosti modelu a návrh syntézy

Správanie sa modelu je možné vyhodnotiť prostredníctvom sensitivity modelu na zmeny parametrov, ktoré menia model. Štúdia efektívnosti a optimalizácie sa môže opierať o niekoľko cieľov a výberov. Výsledky sú zobrazované v grafickom tvare v reálnom čase alebo ako diagramy. Použitím tohoto nástroja môžeme vybrať optimálne riešenie z množiny vyhovujúcich riešení.

Assembly Behavior Assessment

Poskytuje používateľom schopnosť stanoviť správanie modelu v celej zostave. Môžeme rýchlo a ľahko priradiť rozmery pre zostavovanie súčiastok, tak ako sú namontované v zostave a stanoviť, ako bude produkt pracovať.

Typickú úlohu pre metódu BM ukážeme na tomto jednoduchom príklade:

Máme nádrž v tvare kvádra. Objem nádrže je V a povrch nádrže P . Rozmery kvádra sú $L \times L \times H$. Máme určiť, kedy bude plocha povrchu nádrže P minimálna (maximálna) pri konštantnom objeme V .



Výpočtové riešenie vychádza zo stanovenia funkčnej závislosti $P=f(V)$ a určenia lokálneho extrému:

$$P_{\text{kvádra}} = L^2 + 4 \cdot L \cdot H$$

$$V_{\text{kvádra}} = L^2 \cdot H \Rightarrow H = V_{\text{kvádra}} / L^2$$

$$\text{Po dosadení bude platiť: } P_{\text{kvádra}} = L^2 + 4 \cdot L \cdot V_{\text{kvádra}} / L$$

Z poznatkov matematiky je známe, že podmienkou existencie lokálneho extrému funkcie je, aby jej prvá derivácia bola rovná nule:

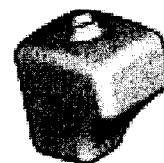
$$\partial \mathcal{P}_{\text{kvádra}} / \partial L = 2 \cdot L - 4 \cdot V_{\text{kvádra}} / L^2 \Rightarrow$$

$$2L - 4V_{\text{kvádra}} / L^2 = 0 \Rightarrow$$

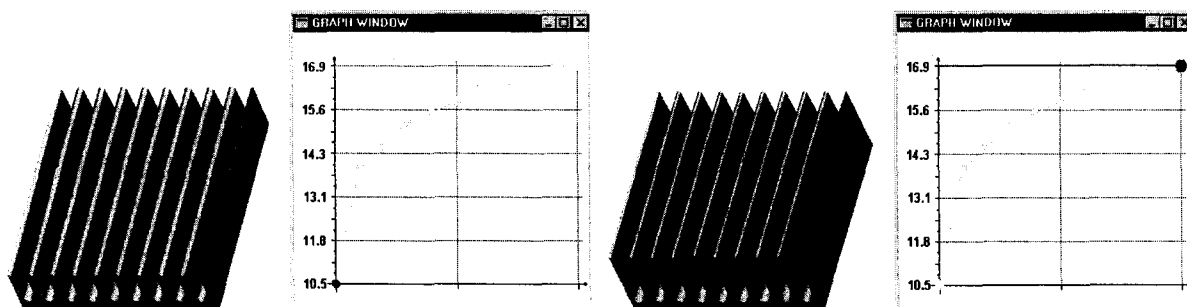
$$2L = 4V_{\text{kvádra}} / L^2 \Rightarrow \text{Lokálny extrém}$$

Po úprave a substitúcii $V_{\text{kvádra}} / L^2 = H$ dostaneme výsledok $L = 2H$.

K výsledku sa dá dopracovať po jednoduchej derivácii. Oveľa zložitejším príkladom by bolo však manuálne riešenie vzťahov medzi objemom a povrchom nádržky na vodu pre ostrekovač okien osobného auta.



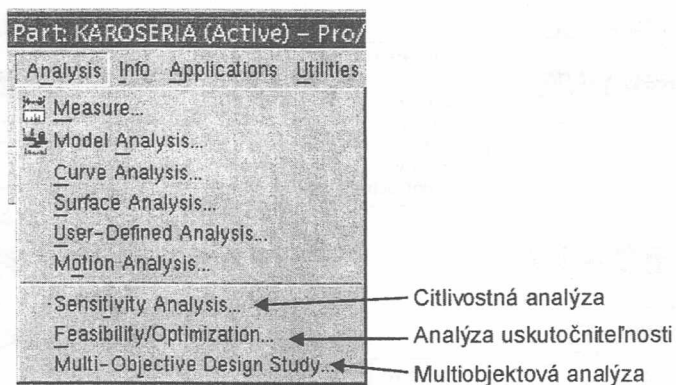
Iným príkladom môže byť využitie BM pri navrhovaní tvaru chladiča na procesor počítača. Najskôr bola uskutočnená citlivosťná analýza (Sensitivity Analysis) na zistenie, aký vplyv má zmena výšky na povrch rebier. Výška je premenlivá od 0,6 – 5,1 mm. Po zistení príslušného vzťahu medzi výškou a plochou, bola spustená analýza uskutočniteľnosti (Feasibility Analysis) na určenie tvaru s maximálnou plochou rebier pri dodržaní podmienky na hmotnosť.



Obrázky zobrazujú začiatkový a koncový tvar rebier chladiča. Doplnené sú grafmi s hodnotami veľkosti plochy, ktoré korešpondujú s daným tvarom.

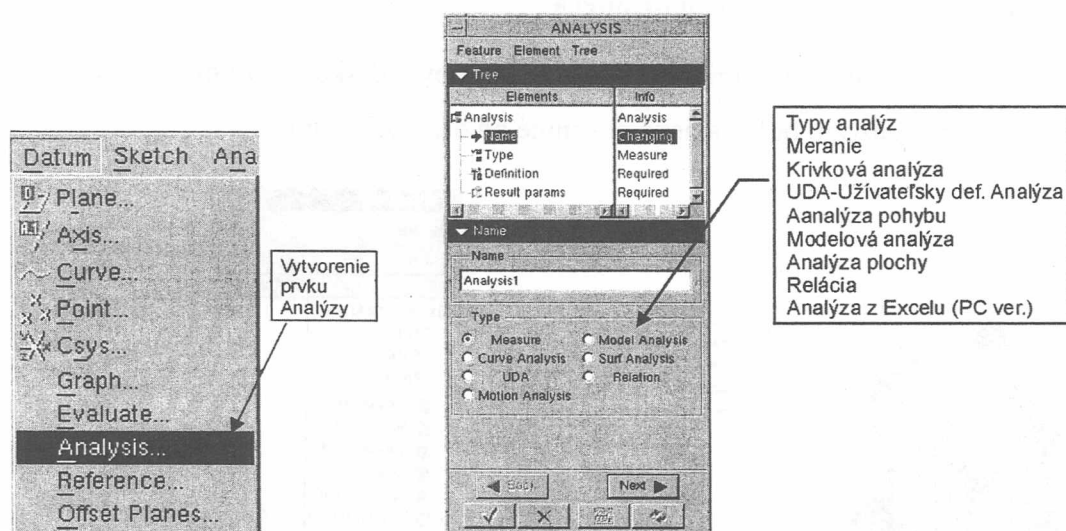
Menu Analysis

Z tohto menu možno spúšťať jednotlivé funkcie modulu Behavioral Modeling Extension. Niektoré z nich stručne opíšeme na niekoľkých príkladoch.



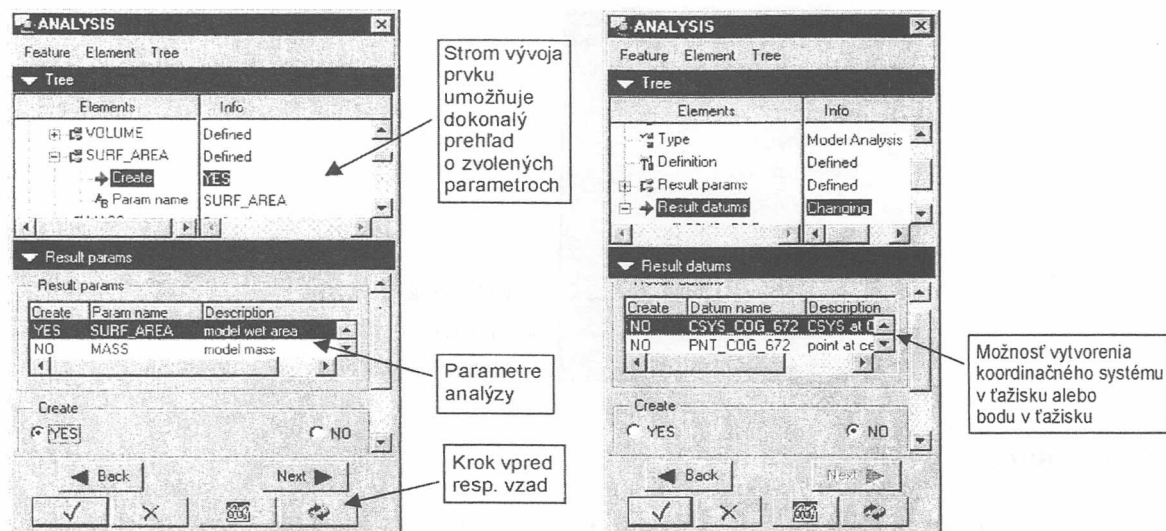
Prvok analýzy

Prvok analýzy možno zaradiť medzi prvky ako *Protrusion*. Zaradujú sa podľa postupnosti vytvárania do stromu vývoja modelu. Prvky analýzy môžu byť spracovávané v jednotlivých analýzach, alebo slúžiť len pre potreby merania.



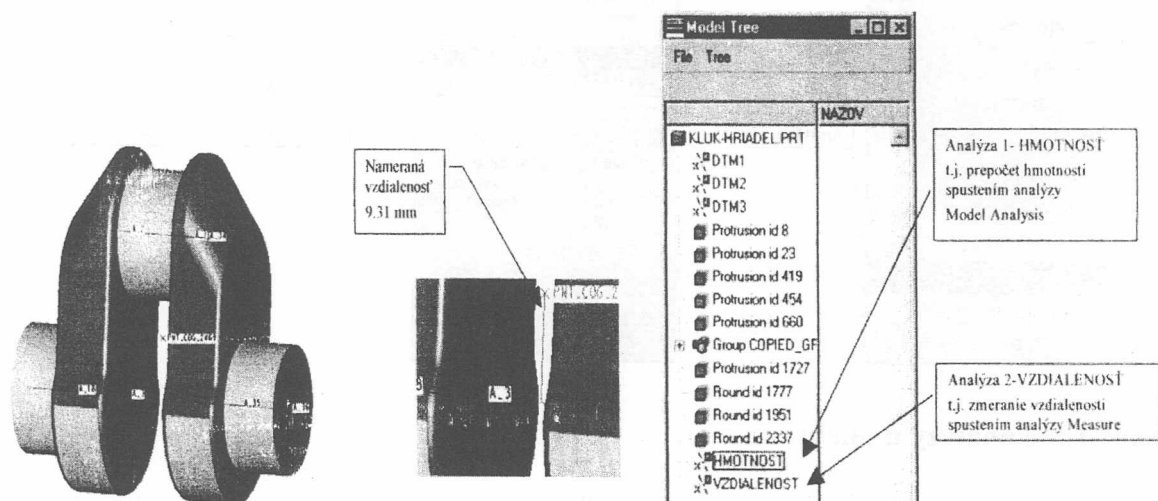
Štandardné analýzy modelu

Pri definovaní analýzy je potrebné vykonať požadovaný výpočet a definovať vytvorenie parametrov, ktoré chceme sledovať

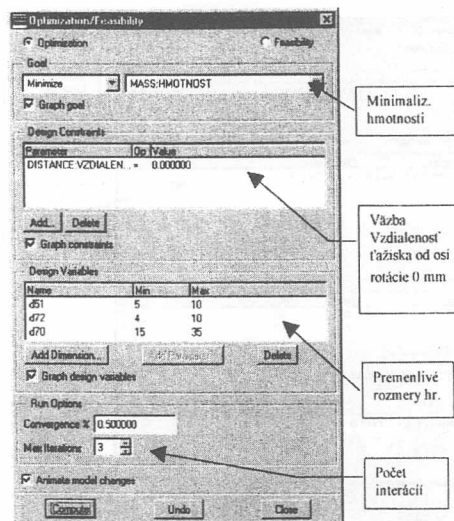


Príklad optimalizácie kľukového hriadeľa

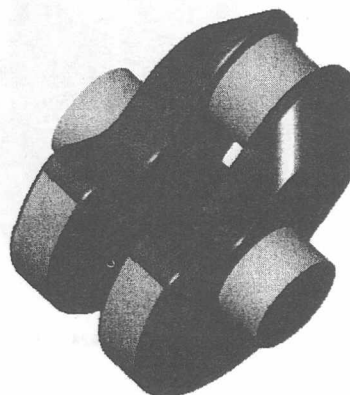
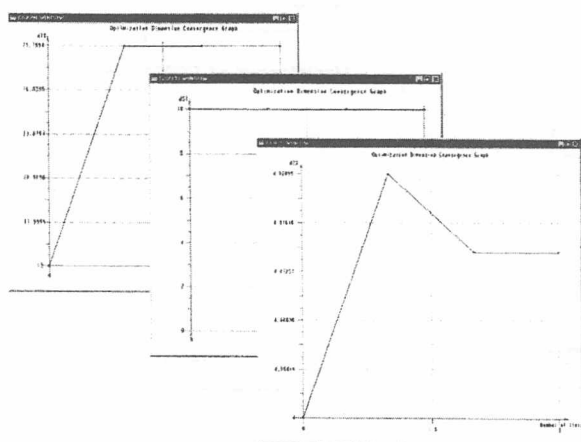
Pre správny chod kľukového hriadeľa je potrebné, aby ťažisko bolo umiestnené v osi rotácie hriadeľa. Pri modelovaní bolo ťažisko posunuté od osi o 9,31 mm.



Obr. 8.30 Začiatočný tvar modelu kľukového hriadeľa a Model Tree



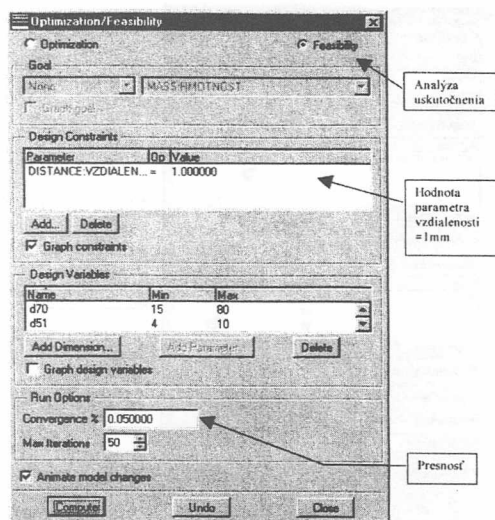
Obr. 8.31 Zadanie hodnôt pre analýzu



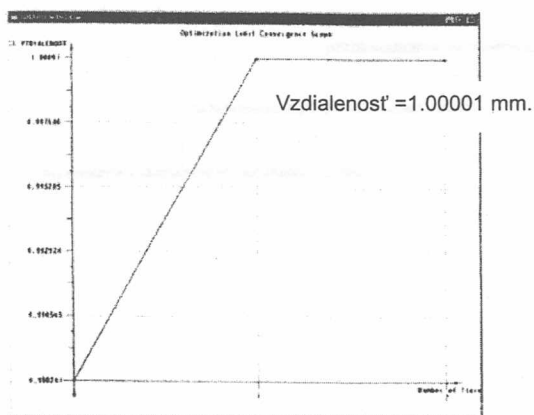
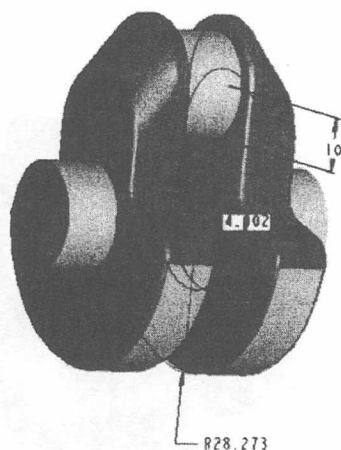
Obr. 8.32 Správanie sa parametrov pri optimalizácii a kľukový hriadeľ po optimalizácii

Analýza uskutočniteľnosti

Touto analýzou dosiahneme požadovanú hodnotu parametra bez optimalizácie. Stanovíme hodnotu sledovaného parametra, kde je možné pridávať a používať znamienka \geq , \leq .



Obr. 8.33 Dialóg analýzy uskutočniteľnosti



Obr. 8.34 Tvar kl. hriadeľa po analýze a graf s výsledkom

Multi-objektová analýza

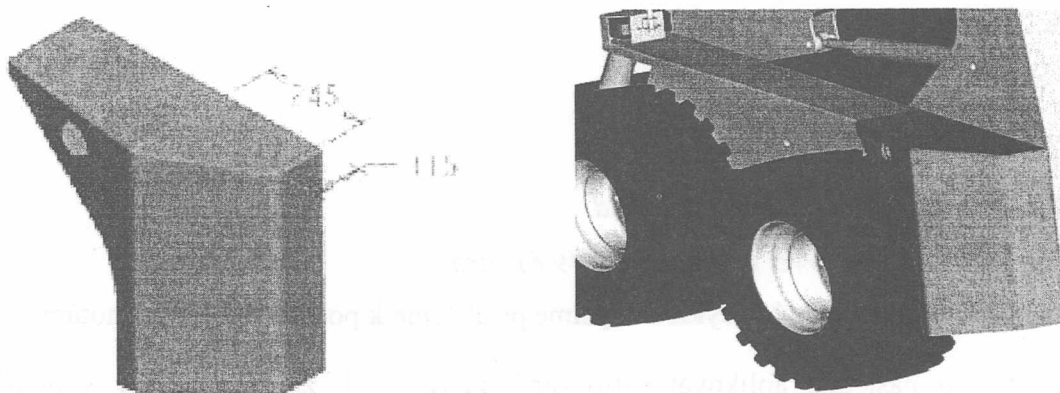
Príkladom takejto analýzy môže byť, napr. balenie výfuku do krabice o rôznych veľkostiach. Mohli by nás zaujímať, napr.: možnosti umiestnenia výfuku do krabice pri zadaní min. a max. hodnôt rozmerov, ktoré sa môžu meniť

Citlivostná analýza

Rieši vplyvy daného premenlivého rozmeru na sledovaný parameter.

Ďalším príkladom môže byť aplikácia BM na optimalizáciu nádrže na hydraulickú kvapalinu nakladača Locust 752, ktorého projekt a dizajnový návrh spracovali vo firme AXYZ.

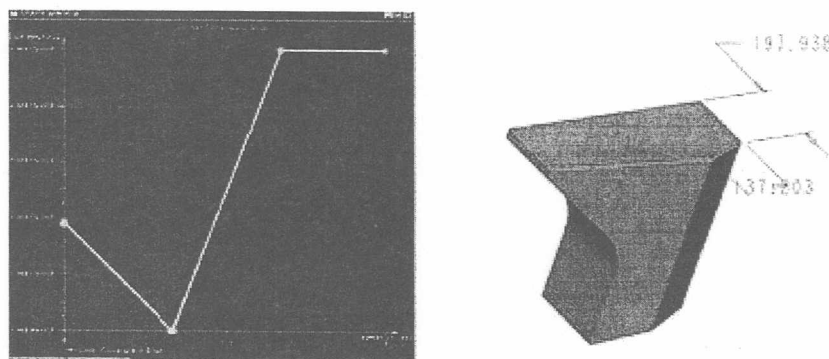
Ide o ľavú nádrž, ktorá je umiestnená v zadnej časti nakladača. Bola zadaná základná požiadavka objemu nádrže bez hydraulických agregátov, 50 litrov pri zachovaní celkovej koncepcie začiatočného dizajnového návrhu. Nádrž bolo potrebné vyhotoviť ako zvarenec z jednotlivých dielov atď. Prvotný návrh nádrže, ktorej tvar vyplynul z dizajnu a kinematiky nakladača, vidieť na obr.8.35.



Obr. 8.35 Príklad pre porovnanie riešenia klasickou metódou a BM

Dosiahnutý objem nádrže bol 43,84 litra. Z tvarového hľadiska bolo možné na nádrži modifikovať len rozmery zobrazené na obr. 8.35. Po klasickom modifikovaní rozmerov nakoniec boli získané uspokojivé výsledky metódou pokus – omyl po mnohých iteráciách.

Riešenie problému pomocou metódy BM je podstatne efektívnejšie a pre požadovanú cieľovú funkciu: objem nádrže rovná sa 50 litrov, obmedzujúcu podmienku: minimálny povrch nádrže a premenné: d_1 = od 40 do 300 mm, d_2 = od 100 do 250 mm, boli dosiahnuté požadované výsledky.



Obr. 8.36 Výsledok s použitím metódy BM

Na obr. 8.36 je zobrazený jeden z výstupných grafov optimalizácie objemu, ktorý na vodorovnej osi zobrazuje počet optimalizačných krokov a na zvislej osi hodnotu objemu. Z grafu možno vidieť, ako systém pracuje. V prvom kroku urobí prvý pokus v stanovenom intervale, zistí odchýlku od požadovanej hodnoty objemu a v ďalšom kroku sa už k nej približuje.

Výsledok:

- *Počet optimalizačných krokov 3.*
- *Optimalizácia spustená raz.*
- *Čas trvania optimalizácie 10 sekúnd.*
- *Objem nádrže po prvej optimalizácii 49,81 litra.*

Zvýšením počtu optimalizačných cyklov zvýšime priblíženie k požadovaným hodnotám.

Na nádrž možno následne aplikovať citlivostnú analýzu, t.j. zisťovať vplyv vybraného rozmeru na výsledný objem. Rovnako sa dá vykonať aj multi-objektová analýza, ktorou sa dá sledovať zadaný počet rôznych variácií rozmerov a sledovať ich dopad na zmenu objemu, čiže systém vygeneruje zvolený počet rozmerov s rôznymi objemami nádrže. Už z grafického výstupu je zjavná elegancia práce, s akou BM pracuje, nehovoriac o rýchlosti optimalizácie aj pri štandardnej konfigurácii počítača. Pri porovnaní času v minútach pri klasickom konštruovaní nádrže a s použitím BM vychádza úspora času viac ako 91 percent.

8.10 Moduly systému Pro/E

Pro/E je modulový systém, umožňujúci navrhnuť konfiguráciu podľa špecifických požiadaviek zákazníka pre rôzne oblasti činnosti, ako napr. všeobecné strojárstvo, priemyselný dizajn, simulácia správania sa výrobkov, NC výroba, správa údajov a vizualizácia a pod. V tejto časti uvádzame len vybrané moduly a aplikácie.

Pro/ENGINEER-Foundation

Je základným modulom pre všetky Pro/E riešenia. Zahŕňa nástroje pre vytváranie objemových modelov, plošných modelov dielov a zostáv, nástroje pre generovanie technickej dokumentácie a pre základnú prácu s mechanizmami. Taktiež umožňuje zdieľať údaje, či už použitím priamych prekladačov, alebo podporou rôznych štandardov. Pro/ENGINEER-Foundation umožňuje vytváranie trojrozmerných virtuálnych telies. Tieto modely pozostávajú z intuitívnych parametrických tvarových (konštrukčných) prvkov, ktoré odrážajú konštrukčný zámer a dokážu reagovať na zmeny konštrukcie. To umožňuje rýchle generovanie viacerých alternatív riešenia. Súčasťou je aj rozhranie na CAD, geometrické a grafické štandardy IGES, STEP, SET, VDA, NEUTRAL, DXF, SLA, CGM, TIFF, RENDER, VRML a vo verzii Foundation II aj moduly Pro/Intralink Single Site (podpora tímovej práce - paralelné konštruovanie, manažment zmenového riadenia atď.) a Assembly Performance Extension.

Behavioral Modeler Extension (BMX)

Umožňuje automaticky navrhovať optimálnu geometriu výrobkov na základe stanovenia cieľových vlastností, ako napr. definovaný objem, maximálny povrch, minimálna hmotnosť, poloha ťažiska v osi, požadovaná krivosť, vyváženosť rotačných súčiastok a pod..

Assembly Performance Extension (PAX)

PAX rozširuje funkcionality Pro/E Foundation v oblasti manipulácie so zostavami. Poskytuje nástroje pre návrh konštrukčných celkov metódou zhora dole, riadenie veľkých zostáv, tvorbu montážnych postupov a výkresov. K tomu slúžia dve základné vlastnosti, tzv. zjednodušené prezentácie zostáv a vytváranie ľahkých prezentácií zostáv použitím patentovanej technológie, tzv. "shrinkwrap" modelov.

Advanced Assembly Extension (AAX)

Rozširuje funkcionality v oblasti práce s rozsiahlymi zostavami. Dovoľuje budovať a riadiť zostavu postupom top-down (zhora-dole). Pre budovanie a správu zostavy používa unikátne nástroje: SKELETON - definícia zástavbového priestoru a priestorových väzieb, LAYOUT - grafický tabuľkový procesor, SHRINKWRAP - exaktná obálka, vrátane hmotných a povrchových parametrov, PROCESS for Assembly - tvorba montážneho postupu, vrátane časového a nákladového snímku s výstupom do www formátu.

Advanced Surface Extension (ASX)

Umožňuje navrhovať tvarovo komplikované súčiastky. Obsahuje parametrický plošný modelár, nástroje pre reverzné inžinierstvo (modifikácia a vyhladenie nasnímaných plôch) a umožňuje modelovať kompozitné materiály.

Interactive Surface Design (ISDX)

Vývojový prostriedok pre priemyselných dizajnérov. Interaktívny plošný modelár zrýchľuje a zjednodušuje vytváranie kriviek a plôch. Vychádza z potreby kombinovať objemové modelovanie, parametrické plošné modelovanie a modelovanie zakrivených plôch (free form styling).

Design Management Extension

Správa projekčných údajov na úrovni podniku pri využití webových nástrojov.

Mechanism Design Extension (MDX)

Kinematické simulácie chovania mechanizmov. Jednoduchým spôsobom umožňuje definovať a animovať spojenia komponentov v zostavách (klb, posuvný klb...).

Design Animation Option (DAO)

Nástroj pre tvorbu animačných sekvencií Pro/E komponentov, zostáv a mechanizmov. Typickým výstupom sú animácie pracovného cyklu, montáže/demontáže stroja, servisného zásahu, alebo kvalitné animácie pre obchodné a marketingové účely. DAO môže animovať mechanizmy vytvorené v BMX alebo MDX.

Industrial Design Extention (IDX)

Kompletná, integrovaná sada nástrojov pre vytváranie vysoko kvalitných zakrivených plôch a nástroje k prirodzenému vyjadreniu konštrukčného návrhu. Je určený pre priemyselných dizajnérov a dopĺňa module ASX a ISDX. Obsahuje prostredie pre tvorbu koncepčného dizajnu, ako skica alebo 3D model, rýchlu tvorbu fotorealistického renderovaného snímku a animáciu s možnosťou zdieľania návrhu v asociatívnom prostredí s konštruktérmi.

Routed System Solution (RSS)

Ucelená sada asociatívnych nástrojov a knižníc na návrh a tvorbu elektrických, káblových alebo potrubných schém a rozvodov v 3D priestore, vrátane výrobnéj a výkresovej dokumentácie.

Import Data Doctor (IDDO)

Umožňuje opravovať importované dáta.

Tool Design Option (TDO)

Vytváranie a modifikovanie kompletných zostáv foriem so všetkými náležitosťami.

Enterprise Data Access

Zdieľanie a integrovanie Pro/E údajov a údajov z iných informačných zdrojov.

Full Function Review (FFR)

Kombinácia prehliadacích a tlačových nástrojov, slúžiacich na dokonalejšie skúmanie Pro/E údajov.

Application Programming Toolkit

Umožňuje používateľom rozširovať, automatizovať a používateľsky prispôbiť funkcionality systému Pro/E. Je to otvorené programové rozhranie na báze C++ pre tvorbu vlastných aplikácií nad systémom Pro/E a Pro/INTRALINK.

Motion Simulation Programming Toolkit

Dovoľuje firmám alebo komerčným vývojárom rozšíriť možnosti v oblasti pohybových analýz a optimalizácie modulu Motion Simulation Option tak, aby spĺňali ich požiadavky.

Pro/MECHANICA Interface Option

Umožňuje v oblasti analýz, testovania a štruktúrálnej, tepelnej a pohybovej optimalizácie spolupracovať s ďalšími analytickými systémami v heterogénnom prostredí.

Pro/INTRALINK

Aplikácia určená ako manažér prostredia pre tímový vývoj výrobkov. Podporuje komunikáciu v rámci vývojového kolektívu, umožňuje jednoduchšiu komunikáciu nad projektom a umocňuje základnú výhodu – asociatívny tímový vývoj. Pro/INTRALINK prináša dynamické prostredie a podmienky pre nastavenie efektívnej tímovej spolupráce s priamym využitím systému Pro/E. Zjednodušuje manažment údajov systému Pro/E, ktoré sú potrebné pre vývoj a pomáha začleniť tieto údaje do celého vývojového procesu. Umožňuje tak vývojovým pracovníkom sústrediť sa na konštrukčnú činnosť. Pro/INTRALINK je aj integračným nástrojom, vytvárajúcim väzbu medzi systémami Pro/E a Windchill.

InPART (IP)

InPART je obrovská internetová knižnica, obsahujúca viac než 1 mil. 3D modelov a cca 13 miliónov technických popisiek, ktoré sú vytvárané a spravované výrobcami mechanických komponentov (pohony, vzduchotechnika a pod.).

B&W Mold Application

Aplikácia určená konštruktérom vstrekovacích foriem. Poskytuje nástroje pre konštrukciu zostavy rámu formy, uľahčuje výber rozmeru rámu, výber potrebných komponentov, vkladanie vodiacich kolíkov, puzdier, vyhadzovačov atď.

Production Machining Option (PMO)

PMO (známý aj ako NC Machining Option) predstavuje dnes najrozšírenejšiu aplikáciu obrábacích modulov pre podporu 3,5-osového NC frézovania, 2- a 4-osového sústruženia, 2- a

4-osového rezania drôtom a vŕtania. Okrem technologických nástrojov je súčasťou konfigurácie aj modul Pro/SURFACE – plošný modelár, umožňujúci používateľovi modelovanie parametrickej, tvarovo náročnej, plošne opísanej geometrie. Tým je Pro/E dokonfigurovaný aj pre oblasť technológie.

Complete Machining Option (CMO)

CMO (dodávaný pod názvom NC Advanced Machining Option) je súbor modulov, postavených na funkcionalite modulu Production Machining Option a rozširujúci jeho funkčnosť o tvorbu, verifikáciu a optimalizáciu NC programov pre všetky typy 5-osových frézovačiek a centier. NC programovacie prostredie je doplnené modulom Pro/NC-GPOST pre post-processing, nástrojmi pre tvorbu technologickej dokumentácie (Pro/PROCESS for MFG) a knižnicou nástrojov, držiakov, upínacích prípravkov (TOOLING Library).

Pro/MECHANICA Structural Simulation Package (PMS)

Integrovaný produkt Pro/MECHANICA do prostredia Pro/E. Umožňuje skúmať chovanie pri reálnom zaťažení, vykonať vyhodnotenie a optimalizáciu geometrického tvaru podľa zadáných kritérií. Okrem štruktúrálnej analýzy (statická analýza inkl. nelineárna analýza vplyvom zmeny polohy pôsobenia síl, modálna analýza, statická a modálna analýza s predpätím, vzper, kontakt, veľké deformácie) a optimalizácie obsahuje modul VIBRATION (dynamická odozva na budenie časové, frekvenčné, náhodné a otrasom), rozhranie pre post-procesor umožňujúci integrovanú komunikáciu s externými MKP produktmi.

DIVISION Mockup (DM)

Predstavuje kvalitatívne novú generáciu tzv. produktov Digital Mock-Up (digitálna maketa) určenú pre oblasť digitálnej verifikácie virtuálneho prototypu na úrovni funkcie, montáže, servisu, ergonómie atď. v oblasti heterogénnych konštrukčných údajov. Obsahuje priame rozhranie pre Pro/E, CADD5, Inventor, IGES translátor a translátory do interných dátových formátov, ďalších CAD systémov, ako CATIA, UG, I-DEAS, atď. Výstupy je možné sprístupniť v formátoch www.

VERICUT

Umožňuje pomocou simulácie procesu odoberania materiálu redukovať a eliminovať potrebu pokusného frézovania. VERICUT verifikuje presnosť dráh nástroja a pomáha zabezpečiť, že konečný výrobok korešponduje s modelom. Chyby, ktoré môžu spôsobiť kolízie výrobku či prípravku, alebo zlomiť nástroj, sú jednoducho identifikované a korigované predtým, ako je NC program uvoľnený pre výrobu. VERICUT pracuje priamo s objemovými modelmi zo systému Pro/E a podporuje všetky výrobné operácie podporované modulmi Pro/NC, vrátane 3 až 5-osého frézovania, sústruženia, programovania obrábacích centier a pod..

Pro/CZ Package

Softvérový balík vyvíjaný firmou AV ENGINEERING, a.s., obsahujúci národnú podporu (Pro/CZ Help, Pro/SYMBOL, Pro/STANDARDS).

Pro/STN

Obsahuje STN. Produkt vyvíja firma AXYZ, a.s.

9 Zoznam literatúry

- [1] Anand V. B.: Computer Graphics and Geometric Modeling for Engineers. John Wiley & Sons, 1993
- [2] Békés, J.-Kováč, J.-Vaský, J.: Automatizácia inžinierskych prác. VŠ skriptá, ES SVŠT Bratislava 1990
- [3] Jelínek, I.: Konstrukce systémů CAD. VŠ skriptá, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997
- [4] Medvecký, Š. a kol.: Konštruovanie so systémom Pro/ENGINEER. ES ŽU, Žilina 1997
- [5] Moravčík, O.-Vaský, J. a kol.: Základy informatiky I. VŠ skriptá, Vydavateľstvo STU, Bratislava 1988
- [6] Pro/ENGINEER 2000i2 Documentation. CD-ROM.
- [7] Pro/HELP 2001. CD-ROM (AXYZ)
- [8] Scholtz-Reiter, B.: CIM Interfaces. Concepts, standards and problems of interfaces in Computer Integrated Manufacturing. Chapman & Hall, London 1992
- [9] Šipoš, L.-Beňo, P.: Počítačom podporované konštruovanie. Skriptá TU Zvolen, 1999
- [10] Šooš, L.- Halaj, M.: Experimental Analysis of the Pressing Process. In.: Medzinárodná konferencia TOP 2001, Časť - Papiernička, 27-28. 6. 2001, SjF STU Bratislava, str. 233 – 239.
- [11] Utz, J.-Cox, W.R.: Inside Pro/ENGINEER. Profesionální průvodce systémem Pro/ENGINEER. ISICAD Přerov 1995
- [12] Vajna, S.-Weber, Ch.-Schlingensiepen, J.-Schlottmann, D.: CAD/CAM für Ingenieure. Vieweg 1994
- [13] Vaský, J.: Príspevok ku generovaniu technologických informácií z CAD súboru pre výmenu údajov. Habilitačná práca. MTF STU Trnava 1993

10 Zoznam obrázkov

Obr. 1.1 Komponenty CIM.....	9
Obr. 1.2 Model CIM podľa AWF (Ausschuß für Wirtschaftliche Fertigung).....	10
Obr. 1.3 Y-model CIM (A.-W. Scheer)	11
Obr. 1.4 Základné integračné reťazce v CIM	11
Obr. 1.5 Model CIM (ESPRIT).....	13
Obr. 2.1 Množina údajov pri rôznych spôsoboch integrácie CA systémov.....	18
Obr. 2.2 Integrácia v závislosti od podielu spoločných údajov	19
Obr. 2.3 Počet rozhraní pri rôznych spôsoboch integrácie	19
Obr. 2.4 Možnosti CAD/NC integrácie	20
Obr. 2.5 CAD/CAP integrácia	22
Obr. 2.6 Vývoj štandardov pre výmenu údajov	24
Obr. 3.1 Princíp stereolitografie.....	27
Obr. 3.2 Princíp SLS	28
Obr. 3.3 Princíp LOM	30
Obr. 3.4 Princíp metódy 3D Printing	30
Obr. 3.5 RP zariadenie STR 200 (Stratos).....	32
Obr. 3.6 RP zariadenie Helisys LOM 2030 E a fyzický model	33
Obr. 3.7 Postup spracovania informácií pri technológii RE	34
Obr. 3.8 Merací systém TriTop.....	36
Obr. 3.9 Použitie systému TriTop.....	37
Obr. 3.10 Systém ATOS II FireWire	37
Obr. 3.11 Fázový a súbežný model vývoja výrobku.....	41

Obr. 3.12 Dátová rukavica DataGlove	46
Obr. 3.13 Projekčná prilba (Sim Eye XL 100A)	48
Obr. 3.14 Dátový oblek DataSuit	49
Obr. 4.1 Logický model konštrukčného procesu (Archer)	60
Obr. 4.2 Modely telies	65
Obr. 4.3 Nejednoznačnosť hranového modelu	66
Obr. 4.4 Schematické zobrazenie BREP modelu	70
Obr. 4.5 Schematické zobrazenie CSC modelu	72
Obr. 4.6 Schematické zobrazenie voxelového modelu	73
Obr. 4.7 Relácie medzi prvkami	79
Obr. 5.1 Označovanie osí a pohybov pre NC riadenie	93
Obr. 5.2 Vstupné informácie pre CNC program	94
Obr. 5.3 Štruktúra bloku NC programu	95
Obr. 5.4 Postupnosť vykonávania NC programu	96
Obr. 5.5 Postup zhotovenia NC programu pomocou Pro/NC	102
Obr. 6.1 Architektúra PDM systému	106
Obr. 6.2 Pozícia systému CADIM v podnikovom informačnom systéme	111
Obr. 8.1 Režimy práce systému Pro/E	123
Obr. 8.2 Používateľské rozhranie	125
Obr. 8.3 Roletová ponuka Toolchest	127
Obr. 8.4 Pole pre vstup údajov z klávesnice	127
Obr. 8.5 Multifunkčný dialógový panel (View>Spin/Pan/Zoom...)	129
Obr. 8.6 Dialógový panel Customize	135
Obr. 8.7 Dialógové panely pre definovanie makier (Utilities>Mapkeys)	136

Obr. 8.8 Mapkeys v dialógu Customize (karta Commands).....	138
Obr. 8.9 Sketcher s aktívnym modulom Intent Manager.....	142
Obr. 8.10 Sketcher s vypnutým modulom Intent Manager.....	143
Obr. 8.11 Nastavené geometrické väzby (Utilities>Sketcher Preferences...).....	146
Obr. 8.12 Skica so zobrazením kót a väzieb.....	149
Obr. 8.13 Vyhodnotenie grafu.....	153
Obr. 8.14 Zadávanie relácie.....	156
Obr. 8.15 Prezeranie relácií pomocou Pro/TABLE.....	162
Obr. 8.16 Podobné skratky vytvorené tabuľkou podobnosti.....	168
Obr. 8.17 Tabuľka podobnosti.....	169
Obr. 8.18 Dialóg Family Table.....	171
Obr. 8.19 Dialóg Family Items.....	172
Obr. 8.20 Pridanie inštancie editovaním tabuľky.....	175
Obr. 8.21 Dialóg na tvorbu znásobenia.....	176
Obr. 8.22 Tabuľka so znásobenými inštanciami.....	176
Obr. 8.23 Zamknutie a odomknutie inštancie.....	178
Obr. 8.24 Výber inštancie.....	179
Obr. 8.25 Generický model a jeho inštancie.....	179
Obr. 8.26 Family Table v režime ASSEMBLY.....	180
Obr. 8.27 Výber položiek z tabuľky.....	180
Obr. 8.28 Generický model a jeho rôzne inštancie.....	181
Obr. 8.29 Možnosti API Pro/Toolkit.....	222
Obr. 8.30 Začiatočný tvar modelu kľukového hriadeľa a Model Tree.....	234
Obr. 8.31 Zadanie hodnôt pre analýzu.....	235

Obr. 8.32 Správanie sa parametrov pri optimalizácii a kľukový hriadeľ po optimalizácii	235
Obr. 8.33 Dialóg analýzy uskutočniteľnosti.....	236
Obr. 8.34 Tvar kľ. hriadeľa po analýze a graf s výsledkom.....	236
Obr. 8.35 Príklad pre porovnanie riešenia klasickou metódou a BM	237
Obr. 8.36 Výsledok s použitím metódy BM.....	237

11 Zoznam tabuliek

Tabuľka 5.1 Zoznam adresových znakov.....	97
Tabuľka 5.2 Kódovanie prípravných funkcií	97
Tabuľka 8.1 Režimy práce Pro/E	124
Tabuľka 8.2 Základné funkcie tlačidiel myši	130
Tabuľka 8.3 Objektové a objektovo-závislé súbory	131
Tabuľka 8.4 Súbory pre export údajov	132
Tabuľka 8.5 Význam tlačidiel dialógu Mapkeys	136
Tabuľka 8.6 Symboly väzieb v režime Sketcher.....	148
Tabuľka 8.7 Implicitné pravidlá pri vyhodnocovaní skice.....	148

12 Obsah

0 Predslov.....	3
1 Počítačom integrovaná výroba (CIM).....	5
1.1 Historický prehľad a základné pojmy	6
1.2 Systémové modely CIM.....	8
1.3 Funkcie a postavenie technických podsystémov v CIM (CAD, CAP, CAM).....	12
1.4 Životný cyklus výrobku	15
1.5 Model výrobku (Product Model)	15
2 Integrácia CA systémov	17
2.1 Integrácia CAD/NC.....	20
2.2 Integrácia CAD/CAP	21
3 CA technológie pre vývoj výrobkov.....	25
3.1 Rapid Prototyping	25
3.1.1 Princíp technológie RP.....	26
3.1.2 Hardvér a softvér pre RP.....	32
3.1.3 Hlavné oblasti využitia technológie RP	32
3.2 Reverse Engineering	33
3.2.1 Princíp technológie RE	33
3.2.2 Hardvér a softvér pre RE	35
3.2.3 Hlavné oblasti využitia technológie RE.....	39
3.3 Concurrent Engineering	40
3.4 Virtuálna realita a virtuálny vývoj výrobkov.....	43
3.4.1 Princíp a klasifikácia virtuálnej reality	44

3.4.2 Hardvér a softvér pre virtuálnu realitu	46
3.4.2.1 Dátové rukavice	46
3.4.2.2 Stereoskopické okuliare a prilby	47
3.4.2.3 Zariadenia na sledovanie polohy a priestorovej orientácie	48
3.4.2.4 Integrované systémy	49
3.4.3 Hlavné oblasti využitia VR	50
4 CAD systémy	53
4.1 Klasifikácia CAD systémov	54
4.2 Konštruovanie	55
4.2.1 Klasifikácia konštrukčných úloh	57
4.2.2 Modely konštrukčného procesu	58
4.3 Modelovanie telies	65
4.3.1 Objemové modelovanie	67
4.3.2 Parametrické modelovanie pomocou tvarových prvkov	74
4.3.3 Behavioral modeling (BM)	75
4.4 Základné funkcie CAD systému (Pro/ENGINEER)	76
5 CAP a CAM systémy	81
5.1 Klasifikácia technologických úloh	81
5.2 Modely technologického procesu	86
5.3 Programovanie NC strojov	90
5.3.1 Prehľad vývoja číslicového riadenia	90
5.3.2 Základné poznatky k programovaniu	91
5.3.2.1 Analýza vstupných informácií	94
5.3.2.2 Zhotovenie NC programu	95

5.3.2.3 Zápis NC programu.....	97
5.3.3 APT	98
5.4 Základné funkcie CAM systému (Pro/ENGINEER)	100
6 PDM systémy	103
6.1 Hlavné funkcie PDM systému	104
6.2 Architektúra PDM systému.....	105
6.3 Platformy PDM systémov	108
6.4 Implementácia PDM systémov	109
6.5 Požiadavky na moderný PDM systém	110
6.6 Charakteristika vybraných PDM systémov.....	111
6.6.1 CADIM	111
6.6.2 IMAN	111
6.6.3 WorkManager	112
6.7 Základné funkcie PDM systému (Pro/ENGINEER).....	112
7 Charakteristika vybraných CAD/CAM systémov.....	115
7.1 EUCLID	115
7.2 EDS UNIGRAPHICS	116
7.3 I-DEAS.....	117
7.4 CATIA	118
7.5 Pro/ENGINEER a CADDSS5.....	120
8 Pro/Engineer.....	121
8.1 Princíp práce	121
8.2 Používateľské rozhranie.....	124
8.2.1 Práca s myšou.....	129

8.2.2 Súbory.....	130
8.2.3 Úprava používateľského rozhrania.....	132
8.2.3.1 Konfiguračné súbory	132
8.2.3.2 Ponuka Utilities	134
8.3 Režim Sketcher.....	141
8.3.1 Základné pojmy	141
8.3.2 Intent Manager.....	142
8.3.3 Používateľské rozhranie	142
8.3.4 Tvorba geometrie v režime Sketcher.....	144
8.3.5 Kótovanie skice	145
8.3.6 Geometrické väzby (Constraints).....	146
8.3.7 Relácie	149
8.3.7.1 Typy relácií a symboly parametrov	150
8.3.7.2 Operátory a funkcie	151
8.3.7.3 Komentáre	155
8.3.7.4 Vyhodnotenie výrazu.....	155
8.3.7.5 Pridanie relácie do modelu a poradie vyhodnotenia.....	155
8.3.7.6 Zobrazenie symbolov kót	156
8.3.7.7 Súčasné vyhodnotenie rovníc	156
8.3.7.8 Podmienky v reláciách	158
8.3.7.9 Priradenie reťazcov parametrom	159
8.3.7.10 Editovanie relácie	160
8.3.7.11 Prezeranie relácií	161
8.3.7.12 Triedenie relácií.....	163

8.3.7.13 Cyklické rovnice	164
8.4 Režim Part.....	164
8.4.1 Klasifikácia prvkov	165
8.4.2 Pridávanie prvkov	166
8.4.3 Základné metódy modelovania prvkov.....	167
8.4.4 Tabuľky podobnosti (<i>Family Tables</i>)	168
8.4.5 Editovanie C programu	182
8.5 Režim Assembly	185
8.5.1 Modul Pro/Assembly	186
8.5.2 Používateľské rozhranie a nastavenie zobrazenia.....	187
8.5.3 Vytvorenie zostavy	189
8.6 Režim Drawing	196
8.7 Pro/PROGRAM	203
8.7.1 Ponuka <i>WHICH DESIGN</i>	203
8.7.2 Prehliadanie štruktúry modelu	204
8.7.3 Editovanie štruktúry modelu.....	205
8.7.4 Príkazy	205
8.7.4.1 Príkazy IF-ELSE.....	207
8.7.4.2 Použitie vstupných premenných	209
8.7.4.3 Príkazy EXECUTE	210
8.7.4.4 Hierarchia spracovania zostavy	212
8.7.4.5 Potlačenie prvkov.....	214
8.7.4.6 Preusporiadanie a zrušenie prvkov	214
8.7.5 Použitie komentárov	215

8.7.6 Zadávanie hodnôt vstupných premenných	215
8.7.7 Chyby súboru.....	216
8.7.8 Vytvorenie inštancií modelu pomocou modulu Pro/PROGRAM	217
8.7.9 Pripojenie aplikácie Pro/J.Link k modelu	220
8.8 Pro/TOOLKIT	221
8.8.1 Vzťah medzi Pro/TOOLKIT a Pro/DEVELOP.....	221
8.8.2 Základné vlastnosti Pro/T	222
8.8.3 Prístup do databázy CAD/CAM systému Pro/E.....	223
8.8.4 Princíp práce Pro/T	224
8.8.5 Tvorba Pro/T aplikácií.....	225
8.8.6 Štruktúra Pro/T aplikácie.....	227
8.8.7 Jadro Pro/T aplikácie	227
8.9 Behavioral Modeling	229
8.10 Moduly systému Pro/E.....	239
9 Zoznam literatúry	245
10 Zoznam obrázkov	246
11 Zoznam tabuliek	249
12 Obsah.....	250

Doc. Ing. Jozef Vaský, CSc. – Ing. Eduard Nemlaha – Ing. Ladislav Masár

CAD/CAM
systémy

Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve STU, Bratislava,
Vazovova 5.

Rozsah 255 strán, 75 obrázkov, 9 tabuliek, 18,802 AH, 19,157 VH, 1. vydanie,
náklad 150 výtlačkov, edičné číslo 5049, tlač Vydavateľstvo STU v Bratislave, rok vydania 2003.

85 – 238 – 2003

ISBN 80-227-1882-3