

Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní



APLIKACE NOVÝCH POSTUPŮ PRO ZEFEKTIVNĚNÍ PROCESU KONSTRUOVÁNÍ

Habilitační práce

František Borůvka

1998

APLIKACE NOVÝCH POSTUPŮ PRO ZEFEKTIVNĚNÍ PROCESU KONSTRUOVÁNÍ

Habilitační práce

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146071344

Autor: František Borůvka
Obor: Konstrukce strojů a zařízení

1998

U 326-3

KST
47A.
002.

Obsah

1	Úvod	3
2	Konstrukční software	6
2.1	Software pro CAD	7
2.1.1	AutoCAD	8
2.1.2	Mechanical desktop	11
2.1.3	Pro/ENGINEER, Pro-MECHANICA	12
2.2	Problematika výuky CAD	14
2.2.1	Základní výuka CAD na TU v Liberci	15
2.2.2	Výuka 3D modelování	18
2.3	Řešení netradičních konstrukčních úloh v AutoCADu	20
2.4	Návrh výrobku pomocí CAD systému Pro/ENGINEER	37
3	Software pro inženýrské výpočty - CAE	40
3.1	Algoritmizace klasických postupů	40
3.1.1	Program pro aproximaci funkcí	41
3.1.2	Program pro návrh šnekového převodu	45
3.1.3	Návrh uložení hřídel-náboj	48
3.1.4	Pevnostní kontrola hřídele	50
3.1.5	Program pro návrh a kontrolu ozubeného převodu	52
3.2	Software využívající MKP	56
3.2.1	Pevnostní výpočet desky HK-2-2386003 metodou konečných prvků	56
3.2.2	Optimalizace plošiny pro výtah osobních automobilů	59
4	3D periferie	64
5	Moderní prezentace konstrukční práce	69
5.1	Zpětné projektory	69
5.2	LCD projektory	70
5.3	Velkoplošné monitory	70
6	Internet/Intranet v konstrukční práci	72
7	Závěr	74

1 ÚVOD

Okolo roku 1960, krátce po objevení integrovaných obvodů, dochází k hromadnému nasazení počítačů v mnoha oblastech lidské činnosti. Důvodem jejich rychlého zavedení je úspora výrobních a nevýrobních časů a hlavně peněz. Velikost úspor ovšem závisí na jejich vybavení a vhodném zařazení. Jedna z nejlépe inovovaných oblastí ve věku počítačů byla oblast návrhu, projektování a kreslení ve všech technických oborech. V dnešní době již téměř neexistuje konstrukční pracoviště, které by nevyužívalo výpočetní techniku a software vhodný pro zpracování konstrukčních úloh.

Předložená práce si klade za cíl vytvořit vhodné podmínky pro urychlení rozvoje procesu konstruování pomocí výpočetní techniky a jeho výuky na strojní fakultě Technické univerzity v Liberci. V souvislosti s tímto vytyčeným cílem uvádí nové postupy a řešení, která vedou k zefektivnění procesu konstruování. Zabývá se vypracováním originálních přístupů k řešení některých speciálních konstrukčních úloh jejichž správnost je ověřena využitím v praxi. Práce se rovněž dotýká problematiky metodiky výuky předmětů souvisejících s konstruováním pomocí počítačů. V neposlední řadě chce ukázat na možnosti moderních prostředků, jichž je možné ke konstruování použít a na moderní prezentace konstrukčních řešení.

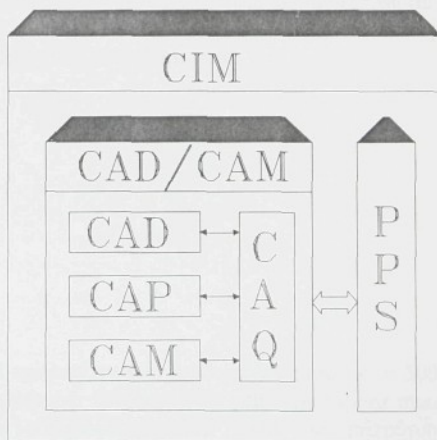
CAD, CAM, CAE, CIM jsou anglické zkratky čtyř různých, ale úzce souvisejících počítačových disciplín, vycházejících z počítačové grafiky a zabývajících se kompletním návrhem nových výrobků a jejich realizací. Společným jmenovatelem implementací těchto disciplín jsou především požadavky na enormní paměťové kapacity a na superrychlé procesory, které jsou bohatě vyváženy efektivním vývojem špičkových průmyslových produktů při redukci nákladů a času. Těto efektivity je dosaženo především automatizací a koordinací jinak velice rozdílných a komplikovaných návrhových a inženýrských postupů. Technologie CAD, CAM, ... je dnes zdrojem a zárukou růstu průmyslové produktivity především v ekonomické oblasti USA a Japonska. Pomocí počítače v procesu interaktivního konstruování vytváří konstruktér návrh výrobku. Díky digitalizaci veškerých dat lze výrobek nejen snadno nakreslit, uchovat, modifikovat, ale lze vytvořená data vhodně zpracovat a vhodně využít v dalších činnostech podniku počínaje skladovým hospodářstvím, přípravou výroby, výrobou až po odbyt. Takový integrovaný systém je nazýván **CIM** (Computer Integrated Manufacturing) - výroba integrovaná počítačem - je označení pro technologii automatické výroby, která ideálně ve všech krocích výroby využívá počítačovou podporu. Není žádné striktní vymezení, jak mají jednotlivé komponenty CAD/CAM/CAE pracovat, co je jejich vstupem a co výstupem. Ve většině případů je systém CAD nasazen jako první krok v počátečním návrhu nového či inovovaného produktu. Tento návrh je analyzován moduly CAE a vrácen zpět modulům CAD ke změně geometrie produktu dokud nejsou parametry návrhu úspěšně optimalizovány. Systém CAM pak následně využije výsledků předchozích kroků pro vytvoření programu pro automatickou výrobu produktu. V jiných situacích jsou však moduly CAE použity k analýze vlastností produktu, který je již vyráběn, ale u kterého se vyskytují nějaké problémy, či má být inovován. Existuje i opačný postup, kdy pomocí modulů CAE je fáze analýzy naopak provedena jako počáteční konceptuální krok návrhu, jehož výsledkem je soubor doporučení a omezení, ze kterých pak vychází vlastní návrhový proces podporovaný systémem CAD. Rovněž řada moderních návrhových systémů integruje moduly pro návrh a simulaci tak blízko, že funkce CAD a CAE jsou prováděny simultánně několika týmy návrhářů, dokonce se hovoří

o tzv. simultánním inženýrství (Concurrent Engineering). Technologie CIM tvoří pak jakési zastřešující prostředí, které spojuje všechny předvýrobní etapy vzájemně s vlastní problematikou konkrétní výroby, jejímž cílem je koordinovaný tok produkce a informací od myšlenky po realizaci produktu. Zatímco moduly CAD/CAM/CAE se zabývají automatizací a zvyšováním inteligence určitých specifických funkcí při vývoji nového produktu a při podpoře výrobního procesu, technologie CIM je určena k integrování všech těchto „ostrůvků automatizace“ dohromady do hladce běžícího podniku. CIM je tedy chápán jako zastřešující technologie, která se zabývá problematikou sdílení informací v celém procesu produkce od návrhu až po distribuci produktů a z toho vycházející problematikou efektivního toku a zpracování informací v celém výrobním podniku. I když je CIM v abstraktním smyslu moderní obecnou obchodní filozofií, v konkrétních případech se často jedná o otázky zpracování obrovského množství dat, která vznikají v různých fázích produkce. CIM se tedy dotýká z hlediska datových typů zcela rozdílných oblastí, jako např. návrhu, výkresové dokumentace, analýzy, simulace, testování v inženýrských odděleních, ale také numerického řízení, plánování procesů, struktury pružných výrobních jednotek, skladového hospodářství, zajištění kvality při výrobě, vytváření výstupní dokumentace, plánování rozvoje apod.

Jednotlivé dílčí etapy vývoje a výroby výrobku lze rozdělit podle řešení souvisejících úloh do oblastí podle Obr. 1. Toto rozdělení se používá nejčastěji, není však jediné. Postupem doby se tato terminologie dále rozvíjí, a vzhledem k tomu že dosud nebyla žádnou normou normalizována, je možno se v literatuře setkat s termíny, jejichž význam se od původního odlišuje. Rovněž v různých zemích světa mívají tyto termíny často různý význam.

CAD (Computer Aided Design) - počítačem podporovaný návrh - se v užším slova smyslu označuje jako prostředek pro popis geometrie mechanických součástek, struktur návrhů architekta, elektronických obvodů, návrhu staveb apod. Jedná se tedy o souhrn prostředků pro vytváření geometrických modelů navrhovaných produktů, práce a manipulace s nimi. Informace reprezentující geometrický model jsou uloženy v aplikačně orientované databázi, která je základem pro další kroky postupu.

V širším slova smyslu zahrnuje CAD také technické výpočty ať s grafickými vstupy/výstupy nebo bez nich. S touto zkratkou je možno se setkat zvláště v americké literatuře ve smyslu CAD - (Computer Aided Drafting), která znamená použití počítačů a periferních zařízení k tvorbě výkresové dokumentace. Pro činnost v širším slova smyslu se pak uvádí termín CADD - (Computer Aided Design and Drafting), který v sobě zahrnuje širokou oblast kreslení a navrhování technických součástí. CADD tedy zahrnuje oblast CAD a CAE, kde CAE - (Computer Aided Engineering) znamená počítačem



Obr. 1 Počítačové řízení výroby

podporované inženýrství zahrnující tvorbu součástí pro potřeby mechanických, pevnostních a jiných fyzikálních výpočtů. Tyto systémy nevytvářejí výkresovou výrobní dokumentaci, ale zabývají se analýzou geometrických dat získaných návrhem v systému CAD, umožňují simulovat a studovat chování navržených produktů tak, aby jejich vlastnosti byly v předpokládaných podmínkách realizace optimální. Z toho vyplývá, že simulační moduly CAE bývají v úzké vazbě s návrhovými moduly CAD a někdy je jen teoretickou otázkou, které moduly patří mezi moduly CAD a které mezi moduly CAE. Technologie CAE umožní návrhářům sledovat produkt v simulovaných extrémních situacích a již v průběhu návrhového cyklu tak eliminovat chyby produktu. Mezi nejrozšířenější metody modulů CAE patří zcela určitě *metoda konečných prvků* (finite elements method), dále pak programy pro simulaci *kinematiky*, *dynamiky* a rovněž i metody *reverzního inženýrství* a *rapid prototyping*, což lze přeložit jako přímé či rychlé prototypování.

CAP - (Computer Aided Planning) zahrnuje oblasti plánování technologické přípravy výroby z čistě technického hlediska, tedy úlohy vytváření technologických postupů.

CAM - (Computer Aided Manufacturing) zahrnuje úlohy bezprostředního počítačového řízení a sledování výrobních operací a výrobního procesu jako celku (včetně operačního transportu a skladování).

CAQ - (Computer Aided Quality Assurance). Úlohy komplexního prověřování všech aspektů výrobního procesu s cílem maximalizovat nejen kvalitu finálního produktu ale i kvalitu všech složek vlastního procesu výroby.

PPS - (Produktions Plannig Systems). Úlohy ekonomicko-hospodářského plánování a řízení výroby, tj. úlohy ekonomických kalkulací, vytváření optimálních výrobních plánů s ohledem na výrobní a kapacitní možnosti výrobních úseků apod.

Proces tvorby a návrhu nových zařízení (strojů) pomocí počítače se od klasického ručního kreslení (např. na rýsovacích stolech) liší především v tom, že ověřování etapy vývoje funkčních modelů a prototypů je prováděno počítačem ve třírozměrném prostoru. Tím se podstatně zkracuje etapa tvorby nového stroje. I ostatní etapy vývoje nového stroje se podstatně odlišují. Výhody počítačové podpory v tomto oboru jsou:

- přesnost,
- rychlost,
- upravenost,
- snadnost skladování,
- jednoduchost oprav,
- efektivní kontrola.

Například se uvádí, že CAD/CAM systémy zvyšují produktivitu práce až o 300% a mimo jiné snižují spotřebu materiálu ve výrobě. Projekty CIM přinášejí úsporu mnohem vyšší. Jsou oceňovány především pro schopnost výrobce rychle se přizpůsobovat požadavkům náročného trhu.

2 KONSTRUKČNÍ SOFTWARE

Základním softwarem osobních počítačů je především jejich operační systém. Zřejmě nejrozšířenějším je operační systémy MS-DOS firmy Microsoft, hlavně díky jeho rozsáhlému rozšíření firmou IBM pro osobní počítače IBM-PC, která ho zavedla pod označením PC-DOS. Jeho velkou předností je kompatibilita a možnosti dalšího rozšiřování. MS-DOS je dnes stále ve větší míře nahrazován novým operačním systémem Windows95 a Windows-NT rovněž od firmy Microsoft. Mimo MS-DOS jsou rozšířeny např. operační systémy OS/2 a na pracovních stanicích UNIX, jehož verze Linux je vhodná i pro počítače PC a nachází stále větší uplatnění především na akademické půdě.

V oblasti CAD je dnes možno softwarové produkty rozdělit na tzv. malé a velké CAD systémy. Jedním z nejčastěji používaných programových produktů na bázi osobních počítačů ze skupiny „malých“ CAD systémů patří beze sporu program firmy Autodesk, Ltd. AutoCAD, dnes prodáváný ve verzi 14. Vzhledem k jeho rychlému nástupu na náš trh je dnes již vybaven řadou nadstavbových produktů, které jeho efektivní využití ještě znásobují. Navíc disponuje velkou otevřeností systému, což ho předurčuje i k řešení nestandardních úloh, jejichž zpracování běžnými prostředky většiny CAD produktů není možné, dále programový produkt CADKEY od stejnojmenné firmy a MikroStation firmy Bentley. Do skupiny „velkých“ CAD/CAM systémů pak můžeme zařadit systémy Pro/ENGINEER, (Parametric Technology), Catia (Dessault Systems), I-DEAS (SDRC), UNIGRAPHICS (GM EDS), Euclid (*Marta Datavision*), patřící dnes ke světové špičce v oblasti CAD produktů, a na jejichž využití přechází dnes stále více konstrukčních pracovišť. Firma SDRC ve svém systému I-DEAS Master Series přinesla do oblasti CAD/CAM/CAE systémů nový pojem: „Concurrent engineering“ - týmově orientovaný, umožňující souběžné zpracování projektu. Možnost paralelního zpracování a řízená aktualizace dle provedených změn umožňují velice výrazně zkrátit dobu vývoje výrobku. Že je tento směr správný potvrzuje i vývoj ostatních produktů na trhu CAD. Mnoho současných firem slučuje dříve samostatné produkty do jednoho systému s jedinou databází. Systémy FEM se snaží zakomponovat kvalitní modeláře, tradiční CAD systémy integrují jednoduché FEM řešiče nebo NC a podobně.

Mimo tyto softwarové produkty používané pro konstrukční návrh zařízení z různých oblastí (strojírenství, stavebnictví, elektronika, apod.) je používán software podporující konstrukční návrh. Jedná se o programové produkty pro návrhové a kontrolní výpočty strojních uzlů a především o velké programové produkty využívající metody konečných prvků, kde se dnes dostávají do popředí produkty Pro/MECHANICA, MARK, COSMOS, ADAMS, ale i o produkty, které podporují návrh konkrétních zařízení např. valivých ložisek a většinou spolupracují s některým z grafických softwarů. V neposlední řadě je třeba se zmínit i o dalších softwarech využívaných v činnosti konstruktérů. Jedná se o programové produkty pro tvorbu a práci s databázovými soubory (DBase), textovými soubory (MS Word), tabulkové procesory MS EXCEL apod., dnes většinou pracujících v prostředí operačního systému MS Windows.

2.1 Software pro CAD

CAD systémy se neustále dynamicky rozvíjejí, problémem je dnes metodika výuky předmětů. Názor řady pracovníků byl, a často stále ještě je, že produktivita konstruování s pomocí počítače je nižší, než za pomocí klasických metod u rýsovacího prkna. Je to celkem logické tvrzení. Každý člověk dostal tužku a papír do ruky v prvních letech svého života, a od té doby se s tímto náčiním naučil celkem slušně zacházet. V produktivním věku samozřejmě již není nutno tyto návyky významně zdokonalovat. S počítačem se dnes většina lidí seznamuje daleko později, a pro produktivní práci je tedy potřeba jeho ovládní zvládnout podobně jako tužku. Navíc je nutno v řadě případů opustit návyky, které jsme si vytvořili při práci s tužkou a papírem, a využít předností, které práce s počítačem přináší. Jedině využitím nových vlastností počítačů a především programů, které jsou na nich instalovány, je možno docílit produktivity a efektivnosti práce vyšší než při klasické práci v případě konstruování tužkou na rýsovacím prkne.

V poslední době vnořuje řada producentů inteligentních technologií a tradiční producenti systémů CAD inteligentní postupy do posledních verzí svých systémů. Mezi nejznámější technologie inteligentních systémů CAD patří *parametrický návrh* (parametric design), *omezení* (constraints), *variantní geometrie* (variational geometry), *modelování založené na prvcích* (feature-based modeling) a *znalostních systémů* (knowledge-based systems).

Princípem *parametrického návrhu* je reprezentace geometrie navrhovaných produktů nikoli pouze konkrétními hodnotami, ale pomocí symbolického označení pomocí proměnných či výrazů. To umožní především zabudovat do návrhu geometrické vazby mezi jednotlivými částmi produktu, které lze pak jednotným způsobem měnit podle dalších podmínek v průběhu návrhu. Jednoduchým příkladem může být zadání poloměru díry jako jedné třetiny tloušťky materiálu. Tato vazba dvou parametrů produktu představuje vložení inteligence do návrhu a označuje se jako *omezení*. Soustavy těchto omezení mohou být velice přínosné při redukci nadbytečných a původní specifikaci produktu odporujících řešení. Uživatel může velice účinně generovat různé varianty návrhu a tyto varianty návrhu vyhodnocovat např. pomocí modulů CAE.

Variantní geometrie je jiným typem technologie, která zajistí, že geometrický model je automaticky přepočítán při změně některých rozměrů či parametrů návrhu. V tomto případě nejsou prioritními klíčové hodnoty, ale prioritními jsou naopak soustavy rovnic, obsahující jednak parametrické výrazy podobné jako u parametrického návrhu a jednak výrazy, které reprezentují i další omezení návrhu vycházející například z požadovaných fyzikálních vlastností navrhovaného produktu, které musí splňovat každá varianta navrhovaného produktu. Zdá se, že tento přístup k návrhu je řešením problematiky návrhu, ale není tomu tak. Jednak nelze předem vždy úplně specifikovat požadavky - omezení - na navrhovaný produkt a jednak řešení soustavy omezujících rovnic komplikovanějšího produktu v trojrozměrném prostoru bývá výpočetně zatím nezvládnutelné v rozumném čase. Variantní geometrie se prakticky spíše využívá v rovinných problémech.

Modelování založené na prvcích (feature-based modeling) se snaží nepopisovat geometrii navrhovaných produktů v terminologii geometrických pojmů (bod, úsečka, kružnice apod.), ale pomocí předdefinovaného souboru elementů příslušné aplikace, tzv. *prvků* (features), které ke svým geometrickým vlastnostem vážou i vlastnosti konstrukční, montážní informace pro zpracování, informace o typu povrchu apod. Tento přístup umožní systematicky popisovat produkt v terminologii aplikační, např. v oblasti strojírenství v pojmech jako díra, závit, vybrání apod. Zdá se, že vývoj CAD systémů půjde právě tímto

směrem, protože pro návrháře je tento způsob navrhování zcela přirozený a nemusí se rozptylovat při konstruování triviálními geometrickými detaily produktu. Konstruování pomocí prvků automaticky zajišťuje i kontrolu parametrických vazeb mezi prvky. Datové struktury, které podporují návrh pomocí prvků, mají rovněž přirozenější obsah pro návazné moduly CAM (např. pro programy pro číslíkové řízení), či moduly CAE (např. pro analýzu pomocí metody konečných prvků). Důvodem je i úzká vazba mezi jednotlivými prvky a příslušnými výrobními operacemi.

Seznamme se s představiteli jednotlivých skupin CAD systémů, které jsou využity jako nosné produkty pro výuku CAD na Strojní fakultě Technické univerzity v Liberci. V případě tzv. „malých“ CAD systémů se jedná o produkt AutoCAD, který je nejvíce rozšířeným CAD produktem nejen v ČR, z oblasti „velkých“ CADů jde o systém PRO-ENGINEER americké firmy PTC. Jedná se o mladý produkt, který se v posledních letech velmi dynamicky rozvíjí a zaujal jedno z předních míst z hlediska jeho nasazení spolu s několika dalšími špičkovými CAD systémy, jako je např. I-DEAS, Unigraphics, Euclid, Catia, které jsou rovněž na Strojní fakultě v menší míře nasazeny do procesu výuky na některých pracovištích.

2.1.1 AutoCAD

Jedná se o představitele tzv. „malých“ CADů. Přestože se instaluje na osobní počítače typu PC, jeho možnosti jsou značné a plně vyhovuje potřebám které souvisejí s 2D konstruováním, dnes však umožňuje i 3D modelování. Pokud budeme chtít vyzvednout jeho přednosti, lze ho označit za prostředek:

- **universální**, umožňuje nakreslit v podstatě vše, co je možno kreslit rukou, s větší přesností a po jeho zvládnutí rychleji. Je použitelný v řadě oborů a dostatečně otevřený pro spolupráci s jinými programovými produkty [23]. Pro AutoCAD byla v ČR vytvořena řada nadstavbových produktů pro různé oblasti použití.

- **přízpusobivý**, pod MS-DOSem, MS-Windows i pod operačním systémem UNIX. Vyjma požadavků na grafický displej nemá žádné specifické požadavky, periferní zařízení mohou být téměř libovolného typu.

- **lehce zvládnutelný**. Přestože množina příkazů je značně rozsáhlá, jsou jednotlivé příkazy většinou snadno srozumitelné, a jejich používání je snadné vzhledem k přehledné uspořádanému menu na obrazovce [24]. Od verze R. 14 je plně implementován do prostředí MS-Windows.

- **značně rozšířený** na celém světě i v ČR, existuje i v české verzi.

- **je stále rozšiřován a zdokonalován**, v současné době je distribuována verze č.14.

Prostředí AutoCADu

Produkt AutoCAD je universální produkt vhodný pro použití v různých oborech. Vzhledem k jeho velké otevřenosti je vhodné doplnit jeho prostředí pro konkrétní využití. Existuje sice řada nadstavbových produktů, pro použití ve strojírenství je to především nadstavba Profi. Ne vždy je však tato nadstavba k dispozici.

Na katedře částí a mechanismů strojů je AutoCAD autorem doplněn o některé příkazy které práci s produktem zefektivní. Úpravy AutoCADu jsou možné v několika

směrech. Jako nejschůdnější se jeví zpracování prototypových výkresů s předdefinovanými hladinami pro kreslení určitých typů entit (kótovací čáry, šrafování, obrysové čáry, osy apod.) samozřejmě spolu s dalšími prvky, jako jsou popisová pole, různé standardní popisy apod., následuje úprava menu, dále tvorba speciálních symbolů v podobě entit „tvar“ umožňující vložení specifických značek do výkresu, využití databáze ČSN a v neposlední řadě využití AutoLISPU pro vytváření nových příkazů AutoCADu. Všechny těchto možností bylo na katedře pro zefektivnění práce s AutoCADem využito.

Prototypový výkres

Prototypový výkres umožňuje předdefinovat všechny výchozí předpoklady pro kreslení strojírenských výkresů. Na katedře částí a mechanismů byly vytvořeny prototypové výkresy s předdefinovanými hladinami, ve kterých jsou nastaveny barvy a načteny potřebné typy čar. Jsou na nich vymezeny oblasti pro pozdější vložení popisových polí, načteny speciální tvary a jsou doplněny standardními popisy, které je nutno na většině strojírenských výkresů použít. Prototypové výkresy jsou vytvořeny pro formáty A4, A3, A2 a A1. Formát A0 není podporován vzhledem k tomu, že instalovaný plotr podporuje vykreslení výkresů max. do formátu A1. Pro úplnost jsou vytvořeny výkresová popisová pole, a popisová pole pro ozubená kola a pružiny, obsahující atributy pro vkládání všech údajů, které mají jednotlivá popisová pole obsahovat

Menu AutoCADu

Menu AutoCADu je dodáváno s produktem ve zdrojovém tvaru. AutoCAD toto

```
(defun C:zvzor ()
  (ssget)
  (setq vzor (entsel "Zvol vzorovou entitu"))
  (setq vzor (entget (car vzor)))
  (setq hl (cdr (assoc 8 vzor)))
  (setq tc (cdr (assoc 6 vzor)))
  (setq c (cdr (assoc 62 vzor)))
  (if (null tc) (setq tc "_bylayer"))
  (if (null c) (setq c "_bylayer"))
  (command "_chprop" "_p" "" "_c" c "_lt" tc "_la" hl ""))
)
```

Obr. 2 Program pro změnu vlastností entit v AutoLispu

menu kompiluje při startu systému, pokud došlo k jeho úpravě. Struktura tohoto zdrojového menu je velice přehledná a lze ho snadno upravovat. Standardní menu AutoCADu je universální, proto je vhodné ho pro konkrétní použití ve strojírenství upravit.

Pro použití ve výuce je toto menu doplněno příkazy, vytvořenými v programovacím jazyce AutoLISP, pro automatickou volbu příkazů podle zvolené entity a úpravou vlastností entit podle vybrané vzorové entity Obr. 2. Uvedený příklad implementuje do

AutoCADu příkaz **ZVZOR**, který umožní změnit vlastnosti vybraných entit podle entity, kterou vybereme jako vzorovou. Podle vzorové entity nastaví barvu, typ čáry a umístění entity v hladině. Dále menu obsahuje příkazy pro automatické přepnutí do hladiny podle typu kreslené entity s návazností na hladiny vytvořených prototypových výkresů a zjednodušenou volbu navolených hladin. Jsou doplněny příkazy pro kreslení některých entit přímo v konkrétních hladinách, např. roztečné kružnice, osy, obrysové čáry atd.

AutoCAD neobsahuje veškerý sortiment prvků používaných ve strojírenství. Proto byly doplněny některé, nejčastěji používané, do prototypových výkresů a zároveň do menu, aby bylo uživatelsky vyřešeno jejich použití. Tímto způsobem jsou doplněny značky pro označování drsností povrchu, tolerancí tvaru a polohy, svarů, označení řezů a pohledů atd. V oblasti kótování výkresů bylo doplněno menu pro snadnější tolerování kótovaných rozměrů. V neposlední řadě je aktualizována databáze strojírenských norem pro použití v nových verzích AutoCADu. Jedná se o nadstavbu navrženou pro verzi 10 a její použití ve vyšších verzích je možné pouze po příslušných úpravách právě v oblasti menu, zdrojových výkresů a programů v jazyce AutoLISP, prostřednictvím kterých AutoCAD s databází komunikuje. Od verze 13 je AutoCAD provozován v prostředí Windows, které umožňuje využití tlačítkových menu v nástrojových panelech. Samozřejmostí je doplnění prostředí AutoCADu o tyto možnosti.

Tvary

Tvary jsou speciální entity AutoCADu pro kreslení různých grafických symbolů. Součástí AutoCADu není dostatečný sortiment symbolů. Jejich výběr se liší podle oblasti ve které se AutoCAD používá. S AutoCADEm je však dodán nástroj pro jejich vytváření a

***1,11,DP**

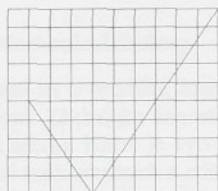
3,5,5,8,(6,10),6,8,(-3,5),0

***2,6,DPO**

7,1,8,(6,0),0

***3,18,DPNO**

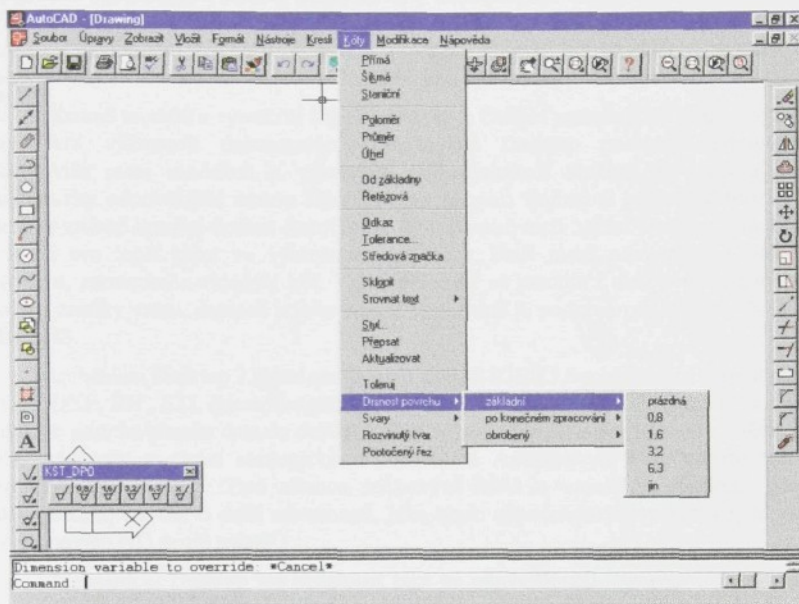
7,1,3,10,002,8,(30,0),001,00C,(0,-34,127),00C,(0,34,127),0



Obr. 3. Příklad popisu značek drsnosti povrchu pomocí tvarů

kompilaci do podoby, s kterou AutoCAD umí spolupracovat. Jedná se o jakýsi makrojazyk, ve kterém se pomocí kódů definují operace pro vytváření jednoduché kresby. Tímto makrojazykem jsou vytvořeny výše uvedené strojírenské značky (drsnost povrchu, značky svarů atd.) Jako příklad je na Obr. 3 uveden soubor tvarů pro vykreslení základních značek

drsnosti povrchu včetně jejich finální podoby. Popisy jednotlivých značek obsahují záhlaví (řádek začínající hvězdičkou) a samotný popis tvaru, který je uveden v dalším řádku. Pro vkládání do výkresu je možno prostřednictvím vhodně definovaných příkazů pod jednotlivými položkami menu doplnit značky vybraným textem pro označení drsnosti, případně využít přednastavených hodnot, jejichž nabídka byla sestavena s ohledem na nejčastěji používané způsoby označení jakosti povrchu (Obr. 4).



Obr. 4 Implementace nových příkazů do menu AutoCADu

2.1.2 Mechanical desktop

Jedná se o produkt, který vznikl jako nadstavbový prostředek AutoCADu pro 3D modelování. Základním kamenem každého modelu je konstrukční prvek - Feature, který vzniká z náčrtu. Náčrt je vytvářen v kreslicí rovině. Pro vytvoření náčrtu je k dispozici kompletní sada kreslicích a editačních nástrojů typických pro AutoCAD. Kreslit je možno od ruky, bez nutnosti použití uchopovacích nástrojů. Náčrty lze dále kopírovat na jiné plochy nebo díly. Náčrt (Sketch) se vytvoří ze základního rovinného profilu, ke kterému jsou přidány kóty/vazby. Tyto omezují, respektive definují geometrii a rozměry profilu a uživatel je průběžně informován o tom, kolik kót/vazeb je ještě nutné přidat k úplnému popisu tvaru. Modelář podporuje návrh bez vazeb nebo s neúplnými vazbami, takže není nutné určovat všechny kóty/vazby. Pro lepší orientaci jsou Mechanical Desktopem zobrazovány vizuální symboly pro kontrolu již nadefinovaných vazeb a kót.

Při modelování tělesa se často vyskytne potřeba namodelování plochy. Nástroje pro snadné a přesné modelování hladkých ploch nabízí Mechanical Desktop v dalším modulu.

Tyto plochy jsou vytvářeny prostřednictvím technologie NURBS (non-uniformational B-spline).

Značné možnosti jsou i v tvorbě sestav. Sestava může obsahovat až stovky komponent a jednotlivé komponenty lze editovat přímo uvnitř sestavy. Sestavy mohou být organizovány graficky nebo logicky. Velmi užitečná je možnost vytvoření komponenty nebo podsestavy pouze jednou, a tu pak opakovaně umístit do většího počtu sestav. Při modifikaci součástí jsou sestavy aktualizovány automaticky. Velmi zajímavé jsou i vazby uvnitř sestavy, které jsou založeny na geometrii implicitních dílů. Lze vytvořit volnou sestavu s neúplnými vazbami. Známe a v praxi užitečné jsou rozložené sestavy. Jsou podporovány i v sestavách s vazbami, které mohou být asociativně propojené.

Kromě modelů a vytvoření logické sestavy je častým požadavkem praxe i vytvoření asociativní výkresové dokumentace. Mechanical Desktop poskytuje obousměrnou asociativitu mezi modelem a výkresem, takže jakákoli změna 3D modelu vyvolá automaticky odpovídající změnu 2D výkresu a naopak. Zajímavé je, že k dispozici jsou všechny známé kreslicí funkce AutoCADu R14. Kromě nich nabízí Desktop řadu dalších nástrojů pro lepší práci ve výkresovém prostoru. Patří mezi ně například přerušení, připojení, zarovnání a vkládání kót. Velmi příjemně se pracuje s dialogovými panely pro vložení značky svaru, drsnosti a tolerance. Zabudovaná je podpora pro normy ANSI, ISO, DIN a JIS.

Mechanical Desktop 2.0 podporuje nový formát IGES 5.3 a přenosové formáty DWF, DWG, DXF, IDF, STL (stereolitografie), VRML, SAT (ACIS), 3DS, WMF, EPS a BMP. Pokud je potřeba přenést data do dalších aplikací, je možno si vybrat některou z těch, které byly vytvořeny v rámci strategické aliance mezi Autodeskem a světovými vývojáři strojírenských aplikací. Tato aliance se nazývá MAI a umožňuje rozšíření procesu strojírenského návrhu o další návaznosti, jako např. výpočet metodou konečných prvků, programování NC strojů a další.

Mechanical Desktop lze instalovat také na sítích Novell. Správce licencí běží na serveru Novell, což umožňuje jeho provozování i na stávajících platformách. Velkým kladem je na instalaci také to, že je celá schovaná pod AutoCADEm r 14. Mechanical Desktop je velmi zdařilým mezičlánkem mezi tzv. malým a velkým CADem a lze ho doporučit uživatelům, kteří pracují s AutoCADEm r. 14 a nechtějí přecházet na jiný software.

2.1.3 Pro/ENGINEER, Pro/MECHANICA

Jedná se o moderní CAD/CAM/CAE systémy americké firmy Parametric Technology Corporation. Uvedené produkty jsou na TU zakoupeny v plné verzi včetně speciálních modulů a nadstavbových knihoven. Oba produkty jsou integrovány v jednotný programový systém a pracují s jednou databází dat. V obou případech se jedná o poslední, tedy nejnovější verze (Pro/ENGINEER i Pro/MECHANICA ve verzi 19).

Systém **Pro/ENGINEER** je představitelem „velkých“ CAD systémů. Jedná se o produkt, který zaznamenává v oblasti CAD systémů zřejmě nejdynamičtější rozvoj, jak v oblasti zdokonalování systému, tak v oblasti prodeje. Jedná se o systém především pro 3D modelování ve strojírenství a jeho použití je možné ve všech oblastech výroby. Je to tedy komplexní produkt pro konstruování a přípravu technologií strojírenské výroby. Je vhodný pro objemové a plošné modelování, přípravu forem a obrábění, fotorealistické zobrazování,

animace atd. Produkt vznikl pro použití na platformě UNIXových systémů. Systém je možno provozovat na většině hardwarových platform pracujících pod operačním systémem UNIX (SGI, HP), v poslední době je však kompilován i do prostředí Windows95 a Windows-NT, což je umožněno rychlým rozvojem komponentů, především procesorů, počítačů typu PC. Součástí distribuce je i národní prostředí a soubor normalizovaných prvků dle ČSN. Jedná se o plně parametrický CAD systém.

Systém **Pro/MECHANICA** je produkt pro analýzu a syntézu mechanických konstrukcí na bázi P-prvků a obsahuje moduly pro pevnostní analýzu v oblasti lineární statiky, statickou a modální analýzu, kontaktní analýzu, analýzu mezních stavů, řešení potenciálních problémů v oblasti stacionárního přestupu, vedení a proudění tepla a nástroje pro simulaci dynamické odezvy na různé způsoby buzení, dále nástroje pro simulaci pohybu mechanismů a syntézu profilu vaček.

V produktu je implementována generačně nová technologie pro analýzu a optimalizaci funkce softwarového prototypu, která se liší od dosud dostupných technologií tak zásadně, že lze právem hovořit o změně přístupu k vývoji nových výrobků.

Pro/MECHANICA STRUCTURE je ucelená technologie, která dovoluje konstruktérům a vývojovým pracovníkům systematicky sledovat chování konstrukce a průběžně optimalizovat její podobu tak, aby byly splněny požadavky na snížení hmotností, zvýšení tuhosti, snížení ceny, zvýšení životnosti atd. Tato technologie dává strojním inženýrům možnost porozumět chování budoucí konstrukce a tomu, jaký vliv budou mít budoucí změny v návrhu na výslednou funkci stroje. Umožňuje identifikovat ty z konstrukčních parametrů, které budou mít zásadní vliv na chování konstrukce. Dále dovoluje optimalizovat rozložení velikostí konstrukčních parametrů, aby chování budoucího výrobku splňovalo požadované vlastnosti. Tím vede konstruktéra při dimenzování konstrukčního návrhu k nalezení optimálního řešení.

Je zde přímá obousměrná vazba Pro/MECHANICA STRUCTURE se systémem Pro/ENGINEER a PT/Products, tzn., že všechny změny geometrie provedené v Pro/MECHANICA STRUCTURE jsou automaticky akceptovány v systému Pro/ENGINEER a PT/Products a naopak. Přímá integrace dovoluje ovládání funkce Pro/MECHANICA STRUCTURE přímo z prostředí systému Pro/ENGINEER.

Pro/MECHANICA STRUCTURE umožňuje automaticky vytvářet síť tzv. geometrických prvků, které exaktně vyplňují geometrii výpočtového modelu, čímž je zabráněno vzniku chyb, ke kterým dochází u klasických systémů aproximací tvaru v přechodových částech modelu. Zatížení a okrajové podmínky lze přímo aplikovat na geometrické entity nebo na entity sítě výpočtového modelu. Pro/MECHANICA STRUCTURE využívá "adaptivní P-technologie" vyznačující se rychlostí a kvalitou řešení. Tato technologie adaptivně zvyšuje stupeň polynomů báзовých funkcí po hranách geometrických prvků pouze tam, kde je to nutné, čímž dochází k výrazným úsporám času řešení. Zároveň automaticky kontroluje konvergenci a přesnost řešení. Kritéria přesnosti řešení jsou založena na lokální deformaci a energii napjatosti jednotlivých prvků, na globální intenzitě napjatosti celého modelu nebo uživatelem definovaných veličinách.

Pro/MECHANICA STRUCTURE dovoluje analyzovat chování konstrukce v oblastech lineární statiky (deformace, napětí, K-faktor, teplotně závislé materiálové vlastnosti), modální analýzy (vlastní tvary kmitů součástí a vlastní frekvence), statické a modální analýzy s předpětím (šroubové, svarové a nýtové spoje, tlakové nádoby apod.), lineárního vzpěru (ztráta vzpěrné stability) a linearity (2D a 3D geometrický kontakt).

Systém dovoluje uživateli sledovat, jaký efekt bude mít změna návrhového parametru na chování konstrukce. Výstupem jsou grafy odezvy chování na změnu návrhové proměnné. Tyto grafy citlivostní analýzy podporují konstruktéra v rozhodování co a jak změnit, aby bylo dosaženo požadované funkce výrobku.

Při optimalizaci návrhu posuzuje Pro/MECHANICA STRUCTURE cílovou funkci, omezující podmínky a hodnoty návrhových parametrů. Optimalizace souběžně mění všechny návrhové parametry tak, aby bylo dosaženo požadované cílové funkce při splnění definovaných omezujících podmínek, a to vše v jednom výpočtu. Cílová funkce a omezující podmínky mohou být veličiny typu: cena, hmotnost, deformace, napětí, reakce, poměrné prodloužení, frekvence, bezpečnost proti vzpěrné stabilitě apod. Řešení může probíhat nad všemi typy analýz souběžně. Dále lze výsledné řešení z Pro/MECHANICA STRUCTURE přímo přenést do Pro/MECHANICA MOTION a pokračovat v analýze a optimalizaci konstrukce jako celku.

Pro/MECHANICA MOTION tak představuje nástroj pro prostorovou simulaci pohybu mechanismu tuhých těles v oboru statické, kinetostatické a dynamické analýzy a inverzní dynamické úlohy. Na základě výsledků z těchto analýz je možné optimalizovat parametry mechanismu s cílem nalezení optimálního konstrukčního návrhu při splnění omezujících podmínek pohybu mechanismu. Pro/MECHANICA MOTION dále umožňuje analýzu a optimalizaci tvaru váček a podstavců mechanických uzlů.

2.2 Problematika výuky CAD

Problematika výuky CAD je specifická hned několika ukazateli. Na technických školách spadá problematika výuky technického zobrazování do nejnižších ročníků, tedy do oblasti výchovy, kdy počet studentů v ročníku je relativně vysoký. To souvisí s dalším faktorem a to vybavením pro výuku CAD. Tuto výuku nelze provádět bez aktivního přístupu studentů, tzn. každý student musí mít k dispozici jeden počítač a příslušný software. To klade značné finanční nároky na odpovídající vybavení. Programové produkty pro CAD se velmi rychle rozvíjejí a jejich nároky na hardware velmi rychle stoupají. V praxi to znamená, že pokud dochází k obnově softwarových produktů, je nutno minimálně po dvou letech obnovovat hardware. Další problém je v připravenosti pedagogů pro výuku CAD. Většina pedagogů na vysokých školách se s odpovídající výpočetní technikou setkala dost pozdě na to, aby měli prostor stát se špičkovými odborníky v této oblasti. Jejich zkušenosti s používáním výpočetní techniky většinou spadají do oblasti jednoduchého programování, což je oblast, která je dnes z hlediska CAD pouze okrajová. To souvisí s dalším problémem, kterým je obsah výuky. Základní výuka využívání CAD systémů se postupně přesouvá na střední školy a od vysokých škol se očekává spíše výuka praktického použití příslušného produktu při samotném konstruování a výuka dokonalejších CAD systémů, jejichž působnost zasahuje i do jiných oblastí vývoje výrobků, tedy nejen design (CAD) ale i problematika konstrukčních výpočtů (CAE) a v neposlední řadě i přechod na výrobu (CAM). To sebou přináší další nároky nejen na adaptibilitu pedagogů v oblasti této výuky ale samozřejmě i nároky na pořízení odpovídajícího softwaru a hardware. Zatímco v oblasti softwaru je situaci možno částečně řešit díky politice přístupu softwarových firem ke školám, otázku hardware se daří řešit velmi obtížně. Vzhledem k tomu, že by měla vysoká škola předat studentům to nejnovější v příslušných oblastech výuky, daří se toto poslání vysokých škol plnit jen velice obtížně.

2.2.1 Základní výuka CAD na TU v Liberci

Počátky výuky „Počítačové podpory konstruování“ na TU v Liberci spadají do školního roku 1990/91. Zavedení tohoto předmětu do výuky mělo několik důvodů. Jedním z hlavních byl zvyšující se zájem studentů o tuto problematiku. Výuka tohoto předmětu je však především svázána s odpovídajícím hardwarovým a softwarovým vybavením. V době, kdy se začalo o zavedení této výuky uvažovat, bylo vybavení školy resp. katedry částí a mechanismů strojů, která s touto výukou začínala, horší než nedostatečné. V oblasti použití výpočetní techniky byla katedra vybavena několika počítači PP01, které se pro výuku za pomoci CAD systémů nedaly použít. Podařilo se katedru zapojit do tehdy probíhající akce 2000 AIP. V rámci tohoto projektu získala škola čtyři pracoviště. Vzhledem k nepřipravenosti pedagogů bylo nutno tato pracoviště využít především na obsahovou a personální přípravu výuky. Zároveň však probíhala jednání o začlenění příslušných předmětů do osnov výuky. Tehdejšímu vedení fakulty se však zavedení tohoto předmětu do řádné výuky strojních inženýrů nezdálo jako opodstatněné. Proto byla výuka předmětu „Automatizace inženýrských prací“ (AIP), jak se v té době předmět jmenoval, zařazena do výuky jako nepovinný předmět v zimním semestru školního roku 1990/91 pro studenty 3.-5.ročníku. V této době rovněž probíhala diskuse nad volbou programového systému, který bude pro výuku použit. Na školu bylo zakoupeno několik instalací produktů AutoCAD, PC DOGS, CADKey. Po prvních zkušenostech s těmito programy byla výuka zahájena na programu AutoCAD r.10, což se později ukázalo jako ideální volba. Od začátku byl mezi studenty o tuto výuku velký zájem. Vzhledem k nedostatečnému vybavení však mohlo být ke studiu přijato pouze 12 studentů. Výuka probíhala téměř v primitivních podmínkách. Bylo zřejmé, že zájem studentů o tuto výuku poroste. V té době byla škola vybavena novými počítačovými učebnami s počítači v síti Novell. V těchto učebnách se podařilo získat několik hodin pro výuku AIP. To se projevilo především v nárůstu počtu studentů, kteří mohli výuku absolvovat, i když jejich počet ve skupině byl limitován 8 instalacemi produktu AutoCAD, které byly na školu zakoupeny. Zdaleka se však nepodařilo pokrýt zájem studentů, který se po prvních semestrech značně zvýšil. Od zimního semestru školního roku 1991/92 byl AutoCAD r.10 postupně vyměněn za AutoCAD r. 11 a začala se realizovat výuka předmětu AIP II. Náplní tohoto předmětu bylo seznámení s problematikou 3D modelování.

Byl zde však ještě další problém. Studenti, kteří měli zájem o studium tohoto předmětu, se často setkávali s počítačem kategorie PC poprvé v rámci této výuky. V průběhu základního vysokoškolského studia se naučili využívat počítačů pro algoritmicizaci a programování, ale většinou pomocí dávkového zpracování. Před klávesnicí a obrazovku počítače se posadili skutečně poprvé v životě. Bylo tedy nutno předat studentům alespoň základní informace o způsobech ovládání počítače, struktuře systému souborů, práce se soubory atd. V té době to souviselo především s nedostatkem ve vybavenosti školy počítači. Při návrhu metodiky výuky bylo tedy zřejmé, že nelze v časovém období jednoho semestru podat studentům základní informace o používání této techniky a především úplnou informaci o všech možnostech produktu AutoCAD, případně dalších produktů, které s ním velmi úzce spolupracují, a zároveň je naučit používat AutoCAD pro efektivní práci při konstruování a tvorbě výkresové dokumentace. Pro efektivní práci nestačí samozřejmě o možnostech počítačového programu vědět, ale je nutno umět je optimálně využívat. Do základní výuky byly tedy zahrnuty všechny možnosti AutoCADu pro základní vytváření klasické výkresové dokumentace, včetně možností nastavení prostředí výkresu a konfigurace AutoCADu. Výuka byla rozdělena na přednášky a cvičení v rozsahu 2+2. Přednášky probíhají v posluchárně, která je vybavena televizním okruhem, pomocí kterého

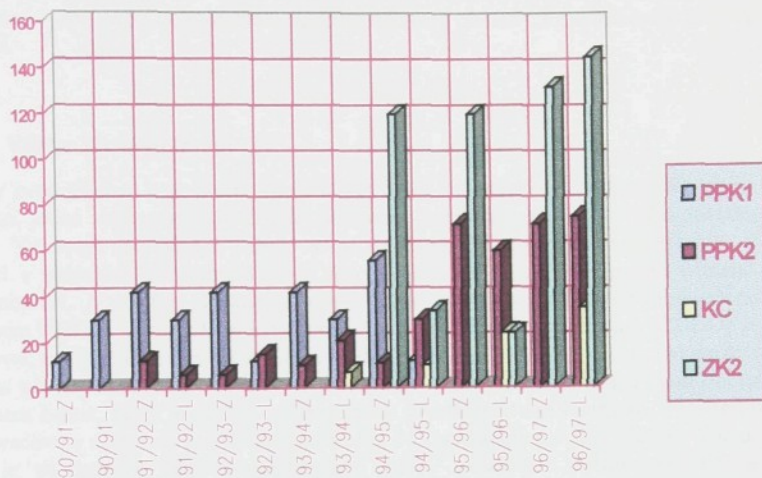
je možno přenášet obrazovou informaci z počítače za katedrou. Student zde nejen uslyší, ale i uvidí, jaké možnosti mají všechny příkazy AutoCADu. Rovněž je zde poukázáno na odlišné přístupy k řešení některých problémů při použití klasických metod konstruování a konstruování pomocí počítače. Na cvičení pak získávají studenti praktické návyky související s použitím AutoCADu při kreslení strojírenských výkresů. Po zvládnutí základních příkazů AutoCADu při kreslení běžných geometrických úloh začínají studenti s vytvářením výkresové dokumentace pro konkrétní strojní součásti, přičemž je kladen důraz na efektivní využití příkazů AutoCADu. Nejsou zde tedy procvičovány všechny možnosti jednotlivých příkazů AutoCADu, o kterých se studenti dozvěděli na přednášce. AutoCAD je velice otevřený a univerzální produkt, použitelný v různých oblastech činnosti. Proto se zde studenti učí využívat ty vlastnosti jednotlivých příkazů, které vedou k efektivní tvorbě výkresové dokumentace pro strojírenskou výrobu.

V průběhu dalších let se ukázalo, že takto zahájená výuka využití počítačů pro grafické zpracování řešených úloh, se stává nedílnou součástí vysokoškolského studia nejen v konstrukčních oborech. Stále častěji se ke studiu této problematiky hlásí studenti i jiných oborů a dokonce i někteří studenti textilní fakulty. Konečně se dostal i tento předmět do řádných studijních plánů pro studium na strojní fakultě jako volitelný předmět v oborovém studiu ve třetím a čtvrtém ročníku studia. Stále však byl zájem o toto studium i v pátém ročníku. Studenti, kteří končili studium, si začali uvědomovat nutnost zvládnutí této problematiky před odchodem do praxe, a proto byla i nadále vypisována tato výuka jako nepovinný předmět pro ostatní ročníky studia. Namísto názvu AIP se začal používat výstižnější název: „Počítačová podpora konstruování I a II“ (PPK I a PPK II). V předmětu PPK I probíhala výuka ve stejném rozsahu.

Nově se však začal utvářet předmět PPK II. Obsahová náplň předmětu vycházela z potřeb studentů, kteří se zajímali o tuto problematiku především za účelem přípravy na zpracování diplomové práce. V prvních semestrech výuky byla proto tato výuka zaměřena na problematiku tvorby jednoduchých třidimenzionálních výkresů především v souvislosti s animací a presentačními programy v AutoCADu. V neposlední řadě byl i zájem o základy programování v jazyce AutoLISP a výpočetní metody s použitím metody konečných prvků. Opět tedy oblast velice široká. Jedná se však o nepovinný předmět navazující na problematiku PPK I. Vzhledem k tomu, že se jedná o pokračovací studium, byl zájem přihlášených studentů vysoký a při rozsahu přednášek a cvičení opět 2+2 se celkem dařilo celou šíři zájmů obsáhnout. Později však bylo upuštěno od výuky MKP. Časový harmonogram, který byl na tuto výuku vyčleněn, neposkytoval dostatečný prostor pro podrobnější procvičení problematiky výpočtů pomocí MKP a jednalo se v tomto případě spíše o demonstraci řešení vzorových úloh. Výuka této problematiky byla rovněž zahrnuta do studijního programu jako samostatný předmět. V PPK II se touto úpravou vytvořil prostor pro podrobnější přístup k metodám objemového modelování. Objemový modelář se stal od verze AutoCAD r. 11 jeho součástí prostřednictvím modulu AME, čímž se značně rozšířily možnosti třidimenzionálního zpracování výkresů pomocí AutoCADu.

Se zvyšujícími se počty studentů se zájmem o výuku těchto předmětů se samozřejmě zvýšily i nároky na vybavení učeben. Od školního roku 1992/93 byla stávající učebna katedry částí a mechanismů strojů vybavena novými počítači zapojenými v síti Novell a plotrem. Tento krok byl již bezpodmínečně nutný vzhledem k tomu, že se výuka s pomocí výpočetní techniky značně rozšířila a přestávala vzrůstajícím požadavkům stačit. Vybavením nové učebny vznikla na VŠST konečně specializovaná učebna pro CAD, počet pracovních míst byl však omezen na šest.

Novým kvalitativním prvkem bylo i navázání kontaktů s firmou Autodesk. Katedra začala pracovat jako autorizované školicí středisko firmy Autodesk, která zajistila vybavení učebny příslušným softwarem. Do dnešního dne bylo v tomto středisku vyškoleno několik set pracovníků průmyslu. Tím se dostala výuka CAD na kvalitativně vyšší úroveň. Tendence v počtech studentů procházejících výukou CAD zajišťovanou katedrou částí a mechanismů strojů je zobrazena na Obr. 5. V letech 1992-1994 je zřejmá stagnace do té



Obr. 5 Rozvoj výuky CAD na katedře částí a mechanismů strojů

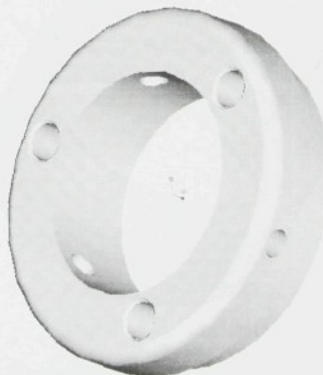
doby vzrůstající tendence, ovlivněná počtem pracovních míst. Učebna však začala být využívána studenty především v době mimo výuku i do pozdních večerních hodin. Značně se zvýšil zájem studentů o CAD i v nižších ročnících. Proto se začalo uvažovat o zavedení této výuky již do základního studia v předmětu "Základy konstruování". Tento předmět byl vyučován ve druhém a třetím semestru studia. Vzhledem k tomu, že nebylo možno rozšířit počet hodin pro výuku tohoto předmětu, bylo nutno přepracovat jeho osnovy. Do druhého semestru byly přesunuty všechny ruční grafické práce. Je zde kladen důraz především na skicování. Z osnov druhého semestru je vyjmuto tušové zpracování jednotlivých výkresů, které je požadováno v prvním semestru ve výuce „Základů strojního inženýrství“. Tím se uvolnil prostor ve třetím semestru v rozsahu 1+2 pro začlenění počítačové podpory tvorby výkresové dokumentace. Vzhledem k omezenému počtu hodin je výuka zaměřena pouze na základní tvorbu strojírenských výkresů. Nejsou zde podrobně probírány otázky nastavení a spolupráce AutoCADu s nadstavbovými programy. Studenti pracují na úlohách z předchozího semestru. Přednášková část je zkrácena a realizována v prvních sedmi týdnech semestru. Na cvičení pak studenti vytvářejí výkresovou dokumentaci ke skicovaným součástem z druhého semestru. Aby však bylo možno tuto výuku realizovat, bylo nutno zvýšit kapacitu učebny. Počet studentů ve druhém ročníku daleko převyšuje požadavky na počet pracovních míst oproti skutečnosti, která byla ve vyšších ročnících studia. Počet pracovních míst bylo nutno zdvojnásobit. Přesto se musela výuka rozdělit do dvou semestrů, přesněji řečeno, část studentů absolvovala výuku ve třetím semestru studia a část ve čtvrtém semestru. Pro řadu studentů byl předmět „Základy konstruování“ neoblíbený především z důvodu nutnosti ručního finálního zpracování výkresové

dokumentace. Po úpravě studijních plánů se díky počítačovému zpracování ukázal zvýšený zájem o tuto problematiku, přestože finální zpracování je v začátcích používání AutoCADu často časově ještě náročnější. Zvýšený zájem je možno dokumentovat i na tom, že někteří studenti volí pro vypracování úloh „Konstrukčního cvičení“ počítačové zpracování. Proto bylo v rámci tohoto předmětu v šestém semestru studia umožněno některým studentům realizovat tento předmět pomocí AutoCADu. Vzhledem k počtu pracovních míst byly v posledních dvou letech otevřeny vždy dva až tři kroužky studentů, kteří zpracovávají kompletní výkresovou dokumentaci tří konstrukčních zadání „Konstrukčního cvičení“ na počítači.

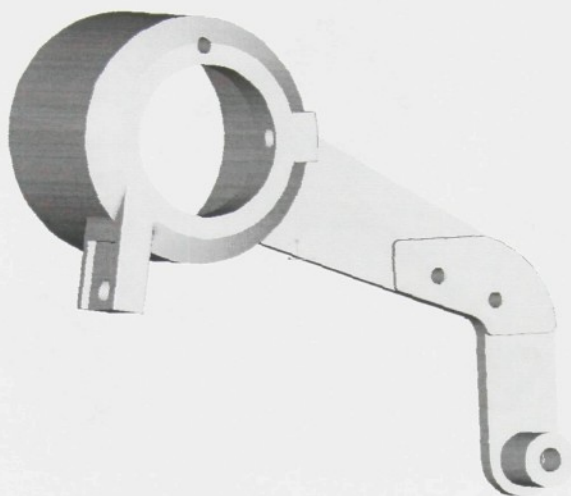
2.2.2 Výuka 3D modelování

V roce 1996 se podařilo na školu získat CAD software Pro/ENGINEER. Jak je výše uvedeno, jedná se o moderní špičkový software. Samozřejmostí bylo i jeho zavedení do výuky. Vybavení hardwarem nebylo však na dostatečné úrovni. První rok této výuky proběhl v primitivních podmínkách a bylo zřejmé, že je nutno stávající učebnu opět modernizovat. Vzhledem k tomu, že se jedná o software pracující pod operačním systémem UNIX a zároveň bylo nutno udržet základní výuku na platformě MS-DOS a MS-Windows, musel být proveden zásadní zásah do koncepce učebny. Byla zvolena varianta posílení učebny silnějšími PC, které bude možno využít jako X-terminály pod operačním systémem Linux, který je možno zdarma získat prostřednictvím Internetu. Tyto terminály spolupracovaly nejprve s pracovními stanicemi SGI umístěnými v jiné učebně. V současné době je na katedře částí a mechanismů strojů instalován dvouprocesorový server Origin 200 pořízený z grantových finančních prostředků, které katedra získala za účelem rozšíření výuky 3D modelování. Terminály v učebně nyní spolupracují s tímto serverem, což přispělo k dalšímu podstatnému zrychlení provozu. Ukázalo se, že zvolená varianta je při nedostatku finančních prostředků ve školství optimální. Postupné doplnění stávajícího vybavení učebny umožnilo instalovat OS Linux na další stroje a v současné době je možno provozovat CAD systém Pro/ENGINEER na 11 pracovištích v učebně a dalších čtyřech v laboratorii katedry. Celou problematiku provozu tohoto systému však bylo nutno zajistit pracovníky katedry částí a mechanismů strojů, kteří museli alespoň částečně zvládnout další odbornost [18], která je nutná k bezporuchovému chodu heterogení počítačové síti.

V okamžiku, kdy bylo možno provozovat systém Pro/ENGINEER v učebně, byla zahájena výuka 3D modelování [25] jako nepovinná výuka. Vzhledem k malému počtu počítačů, na kterých systém pracoval, dokončilo první výuku 6 studentů. V letním semestru školního roku 1997/98 navštěvuje tuto výuku ve dvou skupinách 15 studentů. Domnívám se, že má tato výuka své místo ve vzorových studijních programech výchovy konstruktérů jako jeden z povinně volitelných předmětů.

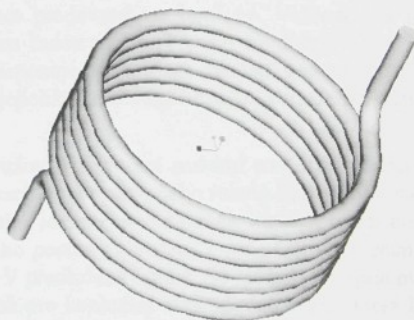


Obr. 6 Vytváření základních 3D prvků.



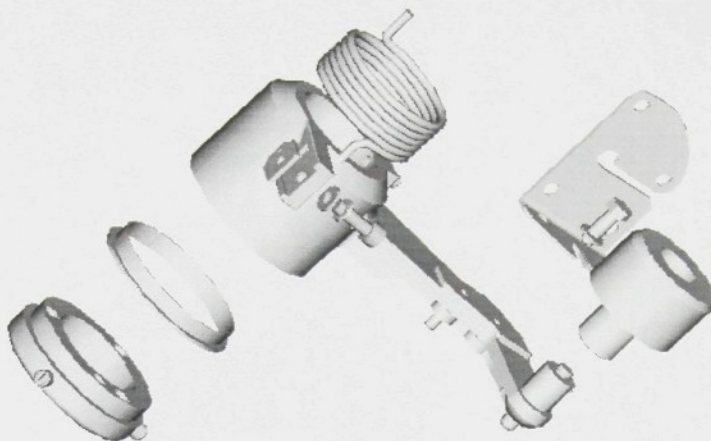
Obr. 8 Tvorba složitějších součástí

V rámci tohoto předmětu studenti získají základní dovednosti potřebné k zvládnutí 3D modelování pomocí objemů, vytváření sestav a výkresové dokumentace z objemového modelu. Výuka se realizuje v rozsahu 2+2. Vzhledem k tomu, že systém je provozován pod operačním systémem UNIX, jsou první přednáška a cvičení věnovány základům tohoto operačního systému. Studenti se seznámí se základními příkazy OS a možnostmi systému v oblasti dálkového připojení vzhledem k tomu, že dnes je možno systém provozovat pomocí X-terminálů na řadě pracovišť na fakultě. Dále získají základní znalosti modelování objemů pomocí tažení a rotací (*Obr. 6*) včetně použití vztažných prvků. Výuka pokračuje použitím dalších objemových prvků jako je díra, žebro, skořepina, sražení, zkosení, zaoblení atd., pomocí kterých se vytvářejí modely složitějších součástí (*Obr. 8*). Naučí se používat i některé složitější konstrukční prvky, jako je např. Helical sweep (*Obr. 7*) apod. Výuku v rámci jednoho semestru ukončuje vytváření sestav (*Obr. 9*) a základy tvorby výkresové dokumentace z 3D modelu nebo 3D sestavy.



Obr. 7 Helical sweep

Je připravena pokračovací výuka obsahující pokročilé modelování včetně práce s plochami, využití dalších modulů systému a analýzu pomocí modulu Pro/MECHANICA [26].



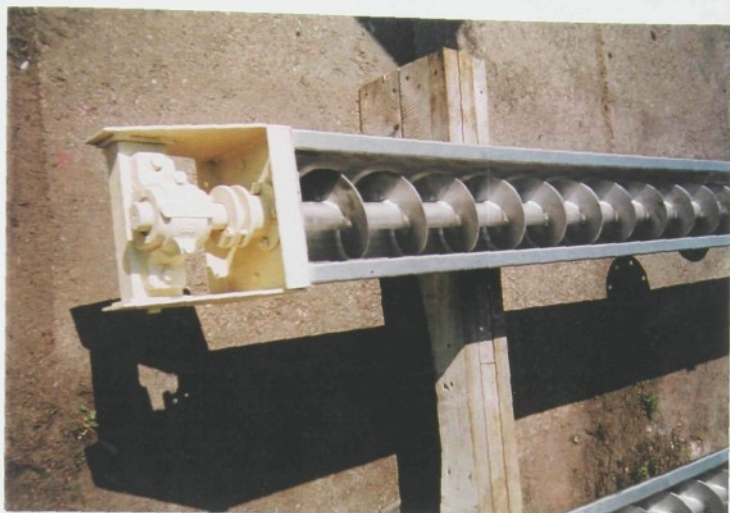
Obr. 9 Rozložená sestava v systému Pro/ENGINEER

Vybavení vysokých škol moderní výukovou technikou je stále řešeno s velkým zpožděním za potřebami, které před absolventy vysokých škol kladou potřeby praxe. Již dnes je zřejmé, že nebude škola schopna se stávajícím vybavením realizovat výuku na potřebné úrovni. Software pro konstruování na počítačích se zdokonaluje a přesouvá se na novou hardwarovou techniku pracující většinou na operačních systémech Windows-NT a Unix se silnou podporou grafiky a vybavení škol na této úrovni je nedostatečné.

2.3 Řešení netradičních konstrukčních úloh v AutoCADu

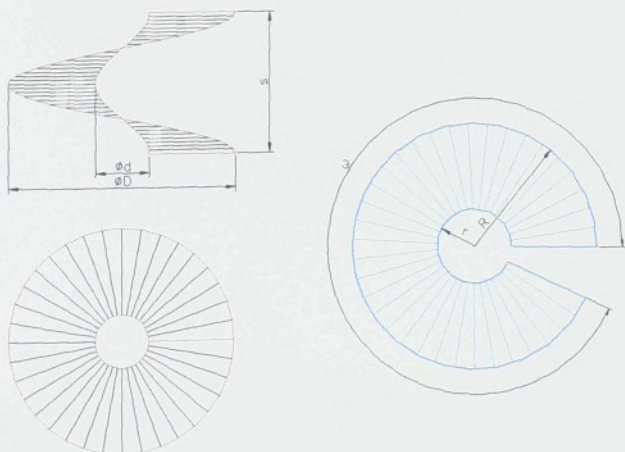
Jedním z nejčastěji používaných programových produktů na bázi osobních počítačů je program AutoCAD firmy Autodesk, dnes prodáváný ve verzi 14. Vzhledem k jeho rychlému nástupu na náš trh je již vybaven řadou nadstavbových produktů, které jeho efektivní využití ještě znásobují. Navíc disponuje velkou otevřeností systému, což ho předurčuje i k řešení nestandardních úloh, jejichž zpracování běžnými prostředky většiny CAD produktů je obtížné.

Za nestandardní úlohu je možno považovat vytvoření rozvinu součásti vyrobené z plechu. Pokud se jedná z hlediska tvaru o nenáročný rozvin nebo rozvin běžných rozměrů, není řešení tohoto problému složité a úlohu je možno realizovat klasickou cestou na rýsovacím prkně. V opačném případě je tento postup vzhledem k rozměrům a náročnosti na přesnost velice těžko proveditelný. V předložené práci se jedná o zpracování konstrukčních postupů pro vytvoření rozvinů pro konkrétní konstrukční řešení, která byla realizována v praxi.



Obr. 11 Šnekový dopravník

Jako první je zpracována úloha pro rozvinutí šnekové plochy. Podobná plocha se používá pro šnekové dopravníky (Obr. 11). Pro toto použití se běžně používají válcové šneky. Obrys rozvinuté plochy takového šnekového dopravníku má tvar výšece mezikruží podle Obr. 10. Rozměry tohoto mezikruží jsou dány vztahy / 1 /. V našem případě se však jedná o tzv kuželovou šroubovou plochu která má být součástí míchacího zařízení. Je zde zpracováno přesné matematické řešení uvedené úlohy a rovněž řešení pomocí prostředků AutoCADu.



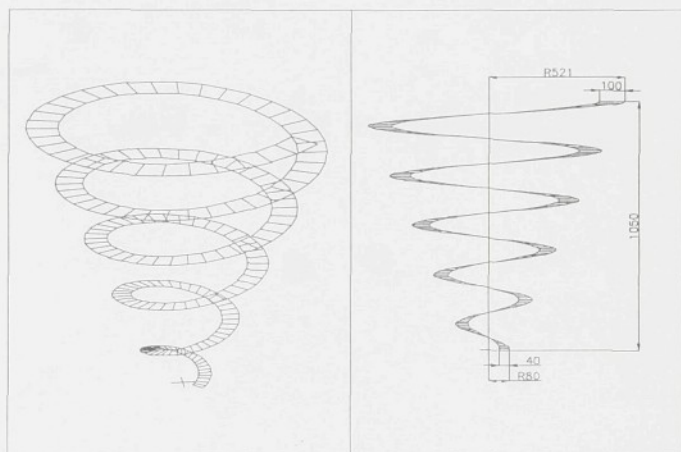
Obr. 10 Rozvin válcové šroubové plochy

$$r = \frac{\frac{D-d}{2} \cdot \sqrt{\pi^2 d^2 + s^2}}{\sqrt{\pi^2 D^2 + s^2} - \sqrt{\pi^2 d^2 + s^2}}$$

$$R = \frac{\frac{D-d}{2} \cdot \sqrt{\pi^2 d^2 + s^2}}{\sqrt{\pi^2 D^2 + s^2} - \sqrt{\pi^2 d^2 + s^2}} + \frac{D-d}{2} \quad / 1 /$$

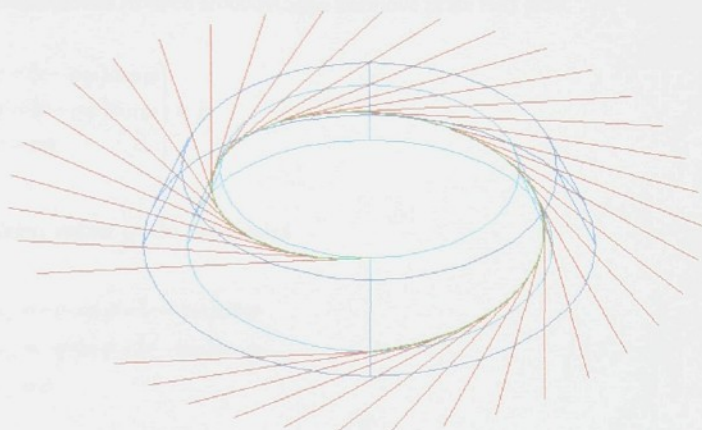
$$\omega = \frac{180 \cdot \sqrt{\pi^2 D^2 + s^2}}{R \cdot \pi} = \frac{180 \cdot \sqrt{\pi^2 d^2 + s^2}}{r \cdot \pi}$$

Úkolem zadání bylo vytvořit rozvin šroubové plochy pro míchací zařízení v nádobě kuželového tvaru. Šířka šroubové plochy je různá a zvětšuje se spolu s poloměrem. 3D model takové plochy je zobrazen na Obr. 12. Plocha která je na obrázku zobrazena vznikla rotací zkracujících se radiální úsečky po šroubovici na kuželu. Takto vytvořená plocha je však nerozvinutelná. Rozvinutelná šroubová plocha podle našeho zadání vznikne jako plocha vytvořená tečnami ke šroubovici nakreslené na kuželové ploše a omezená pláštěm a rovinami horní a dolní podstavy většího kužele (Obr. 13).



Obr. 12 3D model šnekového míchadla

V prvním kroku je nutno odvodit rovnici šroubovice na kuželi (Obr. 14). Předpokládáme, že z-ová souřadnice je úměrná pootočení a tedy $z = c \cdot \varphi$. Stoupání šroubovice nechť je S a tedy $2\pi c = S$ resp. $c = S/2\pi$. Podle Obr. 14 platí:

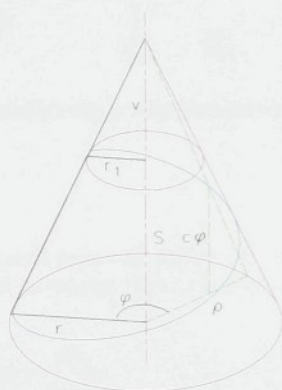


Obr. 13 Rozvratelá řroubová kuželová plocha

$$\frac{v}{r} = \frac{S}{r - r_1} \quad \rightarrow \quad v = \frac{S r}{r - r_1}$$

a tedy

$$\frac{v}{r} = \frac{c \varphi}{r - \rho}, \text{ odkud } \rho = r - \frac{c r}{v} \varphi = r - q \varphi, \text{ kde } q = \frac{c r}{v} = \frac{r - r_1}{2\pi}$$



Obr. 14 řroubovice na kuželové ploře

Parametrické rovnice šroubovice na kuželové ploše tedy jsou:

$$\left. \begin{aligned} x &= (r - q\varphi)\cos\varphi \\ y &= (r - q\varphi)\sin\varphi \\ z &= c\varphi \end{aligned} \right\} = \vec{p} \quad / 2 /$$

Tečný vektor je dán derivacemi

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_\varphi &= -q\cos\varphi - (r - q\varphi)\sin\varphi \\ \dot{y}_\varphi &= -q\sin\varphi + (r - q\varphi)\cos\varphi \\ \dot{z}_\varphi &= c \end{aligned} \right\} \quad / 3 /$$

Dráhový parametr označíme s a potom

$$ds = \sqrt{\dot{x}_\varphi^2 + \dot{y}_\varphi^2 + \dot{z}_\varphi^2} d\varphi = \sqrt{q^2 + (r - q\varphi)^2 + c^2} d\varphi = del.d\varphi ; \frac{ds}{d\varphi} = del(\varphi) \quad / 4 /$$

Jednotkový tečný vektor je tedy

$$\left[\begin{array}{c} (-q\cos\varphi - (r - q\varphi)\sin\varphi) / del \\ (-q\sin\varphi + (r - q\varphi)\cos\varphi) / del \\ c / del \end{array} \right] = -\vec{q} \quad / 5 /$$

Površka rozvinutelné plochy je tedy dána parametrickou rovnicí:

$$\vec{x} = \vec{p} + t\vec{q} \quad / 6 /$$

Dále je nutno stanovit průsečíky přímek / 6 / s větším kuželem (*Obr. 15*) Šířka pásu šroubové plochy se mění na jednom závitě z hodnoty a_v na hodnot a_m . Z *Obr. 15* vyplývá:

$$\frac{w}{r_r} = \frac{S}{r_r - r_{r1}} \quad , \quad w = \frac{S r_r}{r_r - r_{r1}}$$

Necht' (x,y,z) je bod na kuželi. Zřejmě platí:

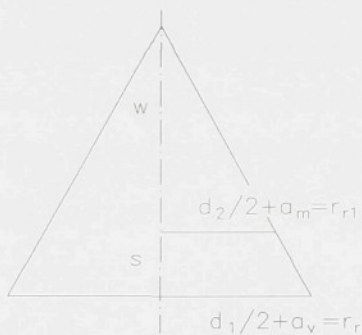
$$\frac{w-z}{\sqrt{x^2+y^2}} = \frac{w}{r_r} = \frac{S}{r_r-r_{r1}}$$

označme $g = \frac{r_r-r_{r1}}{S}$

potom rovnice kuželové plochy je dána vztahem

$$x^2 + y^2 - g^2(z-w)^2 = 0 \quad / 7 /$$

Průsečík přímky / 6 / s plochou / 7 / je tedy dán rovnicí:



Obr. 15 Kužel omezující šroubovou plochu

$$(p_1 + q_1 t)^2 + (p_2 + q_2 t)^2 - g^2(p_3 - w + q_3 t)^2 = 0 \quad / 8 /$$

Jedná se o kvadratickou rovnici pro neznámé t , (kladné řešení označíme tt)

$$tt = \frac{-bb + \sqrt{bb^2 - aa \cdot cc}}{aa} > 0, \quad / 9 /$$

kde

$$aa = q_1^2 + q_2^2 + g^2 q_3^2$$

$$bb = p_1 q_1 + p_1 q_2 + g^2 q_3 (p_3 - w)$$

$$cc = p_1^2 + p_2^2 - g^2 (p_3 + w)^2$$

tt udává délku úsečky od dotykového bodu na šroubovici na malém kuželi do průsečíku s větším kuželem. Průsečíky přímky s dolní a horní podstavou jsou dány ovšem vztahy

$$p_3 + q_3 t = 0 \quad , \quad \text{resp.} \quad p_3 + q_3 t = S \quad / 10 /$$

Při rozvinutí se vytvářející křivka (v daném případě kuželová šroubovice) rozvine v rovinnou křivku, přičemž si zachová křivost. Tečny vytvářející (prostorové) křivky při rozvinutí přejdou v tečny rovinné křivky a délky úseček zůstanou zachovány.

Je tedy nutno stanovit křivost dané kuželové šroubovice pro každou hodnotu parametru φ .

Z diferenciální geometrie je známo:

Je-li $\vec{x}(s)$ (prostorová) křivka, kde s dráhový parametr, je $\vec{x}_s(s) = \frac{d\vec{x}(s)}{ds}$ tečný vektor jednotkové délky, $\vec{x}_{ss}(s)$ je vektor hlavní normály a $|\vec{x}_{ss}| = kr$ je křivost v bodě s a tedy $\frac{1}{|\vec{x}_{ss}(s)|}$ je poloměr křivosti. V našem případě je φ parametr obecně nikoliv dráhový a křivka je dána parametrickou funkcí $\vec{x}(\varphi) = \vec{x}(\varphi(s))$; je třeba derivovat $\vec{x}(\varphi(s))$ podle s jako složenou funkci. Při tom používáme $\frac{d\varphi}{ds} (= \frac{1}{del(\varphi)})$ pro daný konkrétní případ.

Výsledkem úprav je formule

$$kr = \frac{|\vec{x}_\varphi \times \vec{x}_{\varphi\varphi}|}{|\vec{x}_\varphi|^3} \quad / 11 /$$

Podle / 3 / dostaneme derivováním

$$\vec{x}_{\varphi\varphi} = \begin{cases} x_{\varphi\varphi} = 2q \sin \varphi - (r - q\varphi) \cos \varphi \\ y_{\varphi\varphi} = -2q \cos \varphi - (r - q\varphi) \sin \varphi \\ z_{\varphi\varphi} = 0 \end{cases} \quad / 12 /$$

Podle / 3 / , / 12 / , / 10 / dostaneme

$$\begin{aligned} kr(\varphi) &= \frac{|\vec{x}_\varphi \times \vec{x}_{\varphi\varphi}|}{|\vec{x}_\varphi|^3} = \frac{abs \begin{pmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_\varphi & y_\varphi & z_\varphi \\ x_{\varphi\varphi} & y_{\varphi\varphi} & z_{\varphi\varphi} \end{pmatrix}}{del(\varphi)^3} = \\ &= \frac{\sqrt{(y_\varphi z_{\varphi\varphi} - z_\varphi y_{\varphi\varphi})^2 + (x_\varphi z_{\varphi\varphi} - z_\varphi x_{\varphi\varphi})^2 + (x_\varphi y_{\varphi\varphi} - y_\varphi x_{\varphi\varphi})^2}}{del(\varphi)^3} = \\ &= \frac{\sqrt{c^2 [4q^2 + (r - q\varphi)^2] + [2q^2 + (r - q\varphi)^2]^2}}{del^3} \end{aligned} \quad / 13 /$$

Nyní je nutno řešit úlohu najít rovinnou křivku $\vec{x}(\varphi) = \begin{bmatrix} x(\varphi) \\ y(\varphi) \end{bmatrix}$ resp. $\vec{x}(s) = \begin{bmatrix} x(s) \\ y(s) \end{bmatrix}$, která má danou křivost $kr(\varphi)$. Vzhledem k tomu, že vektor $\vec{x}_{ss}$ je kolmý na $\vec{x}_s$ (který je jednotkový), a $abs(\vec{x}_{ss}) = kr$ dostáváme

$$\begin{aligned} x_{ss} &= y_s \cdot kr \\ y_{ss} &= -x_s \cdot kr \end{aligned} \quad / 14 /$$

a označíme-li $x(s) = u$, $y(s) = v$ kde $u^2 + v^2 = 1$ dostaneme podle /14/

$$\begin{aligned} u_s &= v \cdot kr \\ v_s &= -u \cdot kr \end{aligned}$$

Přejdeme-li k parametru φ dostaneme:

$$u_s = u_\varphi \cdot \varphi_s \text{ a tedy}$$

$$u_\varphi \frac{d\varphi}{ds} = v(\varphi) \cdot kr(\varphi)$$

$$v_\varphi \frac{d\varphi}{ds} = -u(\varphi) \cdot kr(\varphi)$$

neboli podle / 4 /

$$\begin{aligned} u_\varphi &= v \cdot kr \cdot del \\ v_\varphi &= -u \cdot kr \cdot del \end{aligned}$$

jelikož dále $u = x_s = x_\varphi \frac{d\varphi}{ds}$ je tedy

$$x_\varphi = u \cdot del$$

$$y_\varphi = v \cdot del$$

Dostáváme tedy soustavu 4 diferenciálních rovnic pro neznámé funkce $x(\varphi)$, $y(\varphi)$, $u(\varphi)$, $v(\varphi)$:

$$u_\varphi = v \cdot kr \cdot del$$

$$v_\varphi = -u \cdot kr \cdot del$$

$$x_\varphi = u \cdot del$$

$$y_\varphi = v \cdot del$$

/ 15 /

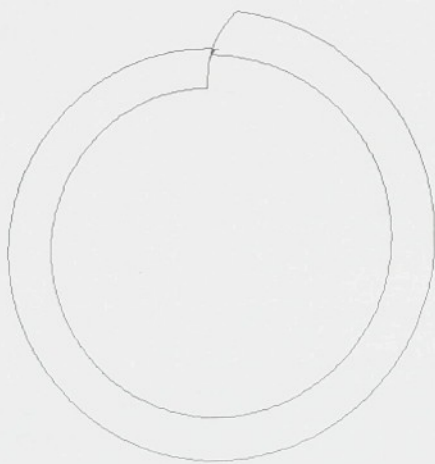
kr , del jsou dány vztahy / 13 / resp. / 4 /.

Uvedených vztahů bylo použito při zpracování programu jehož výsledkem jsou souřadnice bodů jejichž spojením dostaneme hranici rozvinuté šroubové kuželové plochy.

Volíme počáteční podmínky např. $x(0)=0$, $y(0)=0$, $u(0)=1$, $v(0)=0$, $(u^2+v^2=1)$. Metodou Runge-Kutta je dále řešena soustava rovnic /15/. Pro každé φ dostáváme funkční

hodnoty $x(\varphi)$, $y(\varphi)$, $u(\varphi)$, $v(\varphi)$. Podle /2/ resp. /5/ stanovíme pro dané φ vektory $\vec{p}$ resp. $\vec{q}$ a hodnotu tt . V rovině vynášíme postupně body $(x(\varphi)$, $y(\varphi)$), (bod na rozvinuté šroubovici a hraniční bod $\begin{pmatrix} x(\varphi) \\ y(\varphi) \end{pmatrix} + tt \begin{pmatrix} u(\varphi) \\ v(\varphi) \end{pmatrix}$) (průsečík s větší kuželovou plochou v rozvinutí). Podobně jsou vyneseny body průsečíků s podstavami. Hotový rozvin plochy je možno vykreslit na obrazovce počítače. Pro praktické použití výsledků je program doplněn podprogramem který z vypočítaných souřadnic vytváří soubor ve formátu DXF. Jedná se zde o formát, který slouží k výměně dat mezi AutoCADem a ostatními programy. Prostřednictvím tohoto souboru jsou do AutoCADu přeneseny rozviny šroubovice na kuželu, průsečíků tečen s větším kuzelem a horní a dolní podstavou. Pomocí přenosu DXF jsou v AutoCADu vytvořeny čtyři entity typu křivka. Na Obr. 16 je zpracován výsledek celého postupu pro první závit výše řešené šroubové kuželové plochy.

Uvedený postup řešení je sice přesný, avšak pro praktické použití v kusové výrobě nevhodný především pro svoji teoretickou náročnost a neposlední řadě náročnost programového zpracování pro výrobu jednoho kusu podobného výrobku. Prakticky byla tedy odzkoušen a realizován postup přibližného řešení daného problému pomocí prostředků CAD programu AutoCAD. Pro řešení bylo použito programovacího jazyka AutoLispu. Plocha byla nejprve vymodelována v 3D prostoru, poté rozdělena na krátké segmenty jejichž rohové body byly převedeny do roviny. Problém byl s ověřením správnosti řešení. Celý míchací šnek měl být vyroben z kvalitního materiálu a tedy nepřesný návrh by přinesl velké ztráty. Vzhledem k tomu, že se jedná o nerozvinutelnou plochu, byl postup ověřen nejprve na rozvinu válcové šroubové plochy podle a vztahů / 1 /. Ukázalo se však, že po vytvoření rozvinu pomocí navržené metody byly odchylky ve výsledcích řešení tak malé, že se z praktického hlediska ukázaly jako zanedbatelné.



Obr. 16 Jeden závit šroubové kuželové plochy po rozvinutí do roviny

Programové řešení bylo rozděleno na dvě části. V první byl vytvořen program, který vymodeluje šnekovou plochu. Program v AutoLispu kopíruje základní povrch plochy, kterou byla šířka plochy v místě minimálního poloměru. Potřebné posuny ve směru osy šneku a kolmém na osu byly stanoveny z potřebného stoupání a změny průměrů šneku. Po zkopírování povrchy byla zvětšena její velikost v měřítku, které bylo stanoveno z minimálního a maximálního poloměru plochy a min. a max. šířky plochy. Nakonec byla povrch otočena kolem osy šneku o stanovený krok. Program v jazyce Autolisp je uveden na Obr. 17. Po vykreslení všech povrchů byly jejich konce spojeny křivkami.

V další fázi byl vytvořen program, který postupně sklápí jednotlivé povrchy do roviny. Dále odměří vzdálenosti jednotlivých vrcholů segmentové plošky a poloměry přenesl do roviny (Obr. 19). Jednotlivé průsečky jsou poté spojeny kruhovými oblouky. Celý rozvin je rozdělen na segmenty a vykreslen na plotru v měřítku 1:1 v podobě šablon. Celý rozvin prvního a posledního segmentu šnekové plochy je uveden na Obr. 20

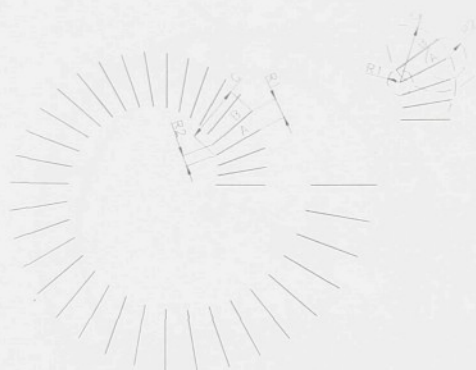
Pro představu o přesnosti jednotlivých postupů řešení daného problému je na Obr. 21 uvedeno porovnání grafických výsledků přesného matematického řešení (černě) a grafického řešení přibližnou metodou, kdy je pomocí prostředků AutoCADu rozvinuta plocha která vznikla rotací přímky po kuželové šroubovici (zeleně). Jedná se tedy z matematického hlediska o nerozvinutelnou plochu.

```
(defun c:SNEK ()
  (setq s (getpoint "oznac stred sneku"))
  (prin1 "/ vyber tvorici usecku")
  (setq ka (osnap (getpoint) "kon"))
  (setq a (ssget ka))
  (setq uhel 10)
  (setq mdv (/ 441.0 1050))
  (setq mdm (/ 381.0 1050))
  (setq i 0)
  (setq u 10)
  (setq z (/ 1050.0 180))
  (setq x (* mdm z))
  (while (< uhel 180)
    (setq i (+ i 1))
    (setq x1 (* x i))
    (setq z1 (* z i))
    (setq b (list x1 0 z1))
    (command "_copy" a "" b "")
    (setq a1 (entlast))
    (setq kx (+ (car ka) x1))
    (setq ky (cadr ka))
    (setq kz (+ (caddr ka) z1))
    (setq kb (list kx ky kz))
    (setq mx (/ (+ (- 40 (* z1 mdm)) (* z1 mdv)) 40))
    (command "_scale" a1 "" kb mx)
    (command "_rotate" a1 "" s uhel)
    (setq uhel (+ uhel u))
  )
)
```

Obr. 17 Program pro generování kuželové šroubové plochy

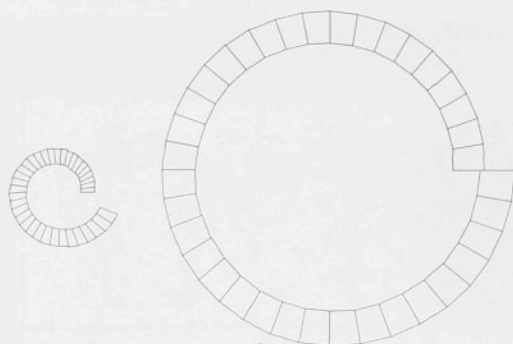
```
(defun c:rozv1 ()
  (setq a1 (getpoint "Prvni bod"))
  (setq a2 (getpoint "Druhy bod"))
  (setq b (distance a1 a2))
  (setq c 96.0711)
  (setq b1 (getpoint "Stred male"))
  (setq c1 (getpoint "Stred velke"))
  (command "_circle" b1 c)
  (setq e1 (entlast))
  (command "_circle" c1 b)
  (setq e2 (entlast))
  (setq a1 (getpoint "Prusecik"))
  (command "_line" a1 c1 "")
  (entdel e1)
  (entdel e2)
)
```

Obr. 18 Program pro přenos jednotlivých segmentů plochy do roviny



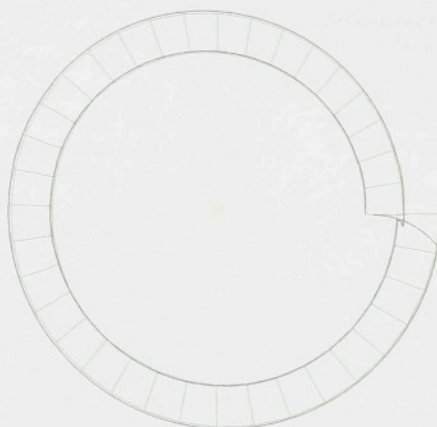
Obr. 19 Sklápění površek do roviny

Jednotlivé segmenty byly po vypálení svařeny a roztažením do potřebné výšky dostalo šnekové míchadlo konečnou podobu. Po zasunutí do kuželové nádoby se ukázalo, že míchadlo bylo navrženo i vyrobeno s dostatečnou přesností a bude správně plnit svoji funkci.



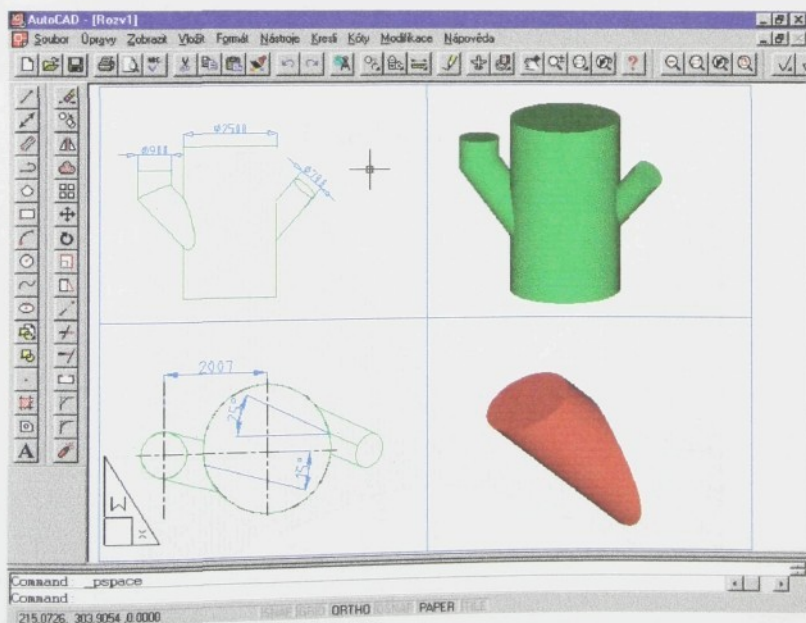
Obr. 20 Rozvin krajních segmentů šroubových ploch míchadla

Za další nestandardní úlohu lze považovat vytvoření rozvinu rozvětveného potrubí velkých rozměrů. V uvedeném případě se jedná o potrubí pro odvádění spalin, u kterých je nutno snižovat jejich koncentraci při vypouštění do ovzduší. To je realizováno vpouštěním vzduchu do odtahového potrubí. Jeho vířením se dosáhne dostatečného snížení koncentrace v místě vypouštění do ovzduší, kde je koncentrace měřena. Aby bylo dosaženo potřebného



Obr. 21 Porovnání přibližného a přesného řešení

víření obsahu potrubí, je vzduch vhnán do potrubí dvěma tangenciálními vstupy, každým pod jiným úhlem. Potrubí je realizováno z nerezavějící oceli. Vzhledem k tomu, že se jednalo o výrobu jen jednoho kusu zařízení opět z velmi kvalitního materiálu pro zahraničního zadavatele (průměr hlavního potrubí je 2,5 m), nebylo možno si dovolit ztráty, které by vznikly případnou nepřesností rozvinu.



Obr. 22 3D model potrubí kolína ve výřezích AutoCADu

Pro řešení tohoto problému byl použit produkt AutoCAD r. 12 s nastavbou AME, která umožňuje 3D modelování dílů, avšak dnes lze bez závažných úprav použít novější verze AutoCADu r.13 a 14 viz Obr. 22. Potrubí se vstupy bylo vymodelováno a z modelu byly odděleny jednotlivé díly, tedy tangenciální vstupy a samotné hlavní potrubí s otvory pro vstupy. Na Obr. 22 je znázorněn model potrubí, nárys a půdorys sestavy a oddělená přechodová část vstupního potrubí ϕ 900 mm ve výřezech displaye AutoCADu. Z rozměrů potrubí je zřejmé, že vytvoření rozvinu v měřítku 1:1 nelze realizovat v běžné konstrukční kanceláři.

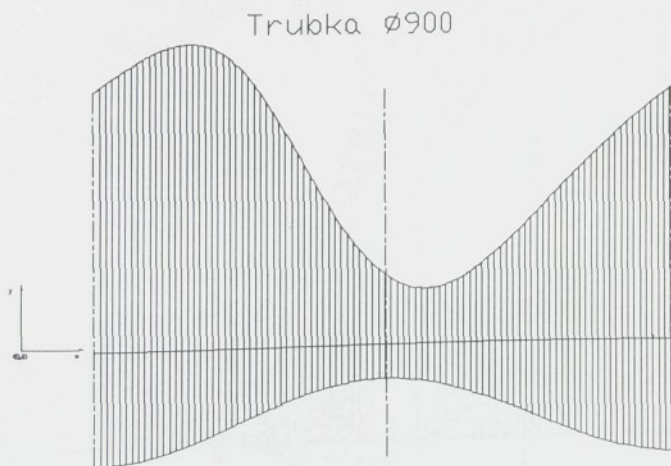
Na takto vytvořených modelech jednotlivých komponentů (Obr. 22) sestavy komína lze pomocí modulu AME vytvořit řez rovinou procházející osou potrubí a poté změřit délky površek pláště na tomto řezu. Jedná se v podstatě o automatizaci klasického postupu pro tvorbu rozvinů. Uvedený postup je nutno opakovat při otočení řezné roviny o dostatečně malou hodnotu, aby výsledný rozvin sestavený z jednotlivých délek površek měl potřebnou přesnost. Vzhledem k tomu, že potrubí

```
(defun c:rez ()
  (prin1 "vyber objekt k rezu")
  (setq a (ssget))
  (setq uhel 0)
  (setq u 3.81972)
  (while (< uhel 360)
    (solsect a "xy" "")
    (command "UCS" "y" u "")
    (+ uhel u)
  )
)
```

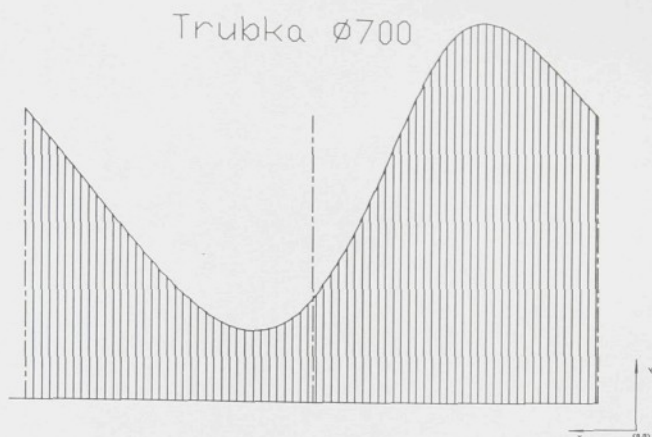
Obr. 24 Program v AutoLispu pro vytvoření řezů tělesem

```
(setq file "tab1.txt")
(setq f (open file "w"))
(repeat 71
  (setq a (getpoint "oznac bod"))
  (setq x (rtos (nth 0 a) 2 1))
  (setq y (rtos (nth 1 a) 2 1))
  (setq b (strcat x " " y))
  (write-line b f)
)
(close f)
```

Obr. 23 Program pro snímání dat z výkresu a zápis do souboru



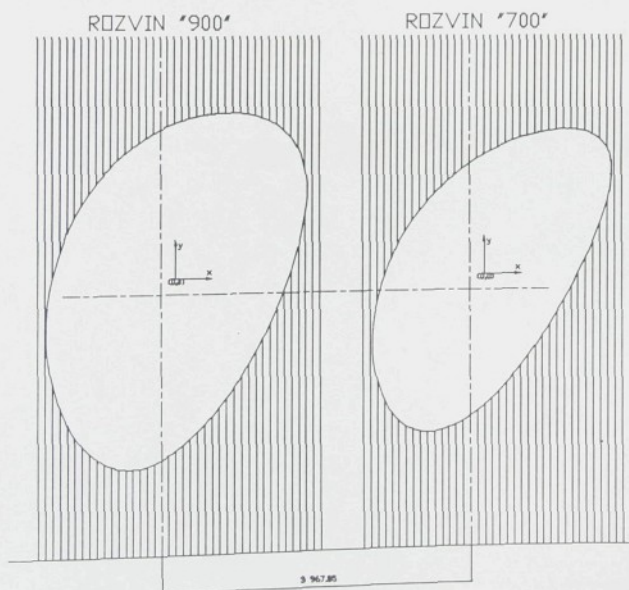
Obr. 25 Rozvin vstupního potrubí ϕ 900



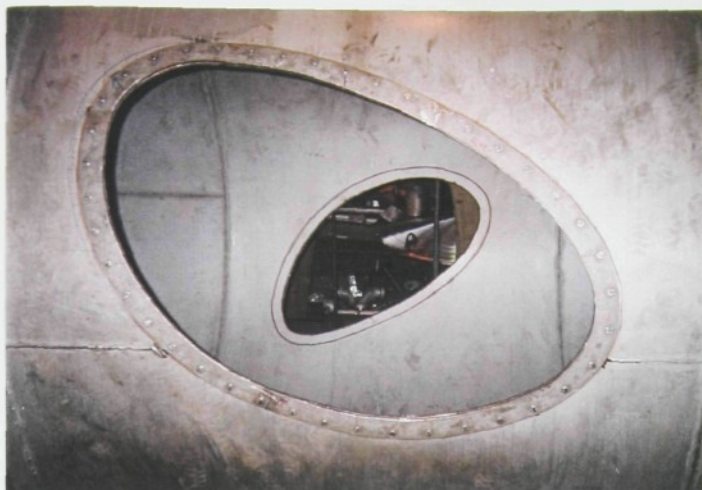
Obr. 26 Rozvin vstupního potrubí $\varnothing 700$

vstupuje tangenciálně do hlavního potrubí, vede i malá nepřesnost na vnějším okraji vstupního potrubí k značným změnám v rozvinu potrubí.

Realizace tohoto postupu by byla při ručním provedení velice časově náročná. Proto byly vytvořeny jednoduché programy v programovacím jazyce AutoLisp, který je součástí produktu AutoCAD. Pomocí prvního programu byly automaticky vytvořeny řezy rovinami



Obr. 27 Rozvin hlavního tělesa komínového potrubí



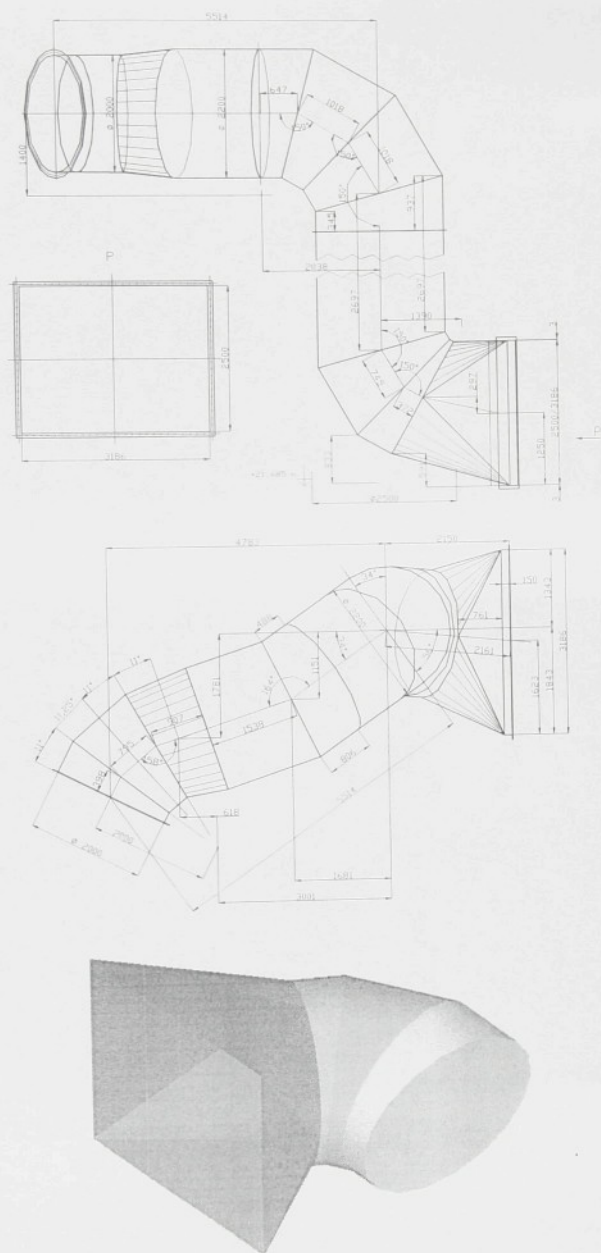
Obr. 29 Pohled do otvorů na svařeného komínu

příslušného 3D modelu po zvoleném kroku. Rotace řezné roviny byla zvolena tak, aby vzdálenost mezi površkami na plášti těles byla 30mm. Program, který provádí sekvenci řezů, je uveden na *Obr. 24*. Délky površek vzniklých na plášti byly opět pomocí programu v AutoLispu přeneseny do roviny. Površky jednotlivých řezů byly vyneseny na základnu, aby mohl být řez vykreslen alespoň v měřítku pro vizuální kontrolu tvaru rozvinu.

V poslední fázi byl pro každý plášť vytvořen v AutoCADu souřadný systém a souřadnice konců jednotlivých površek byly zpracovány pomocí dalšího programu v AutoLispu (*Obr. 23*) do datového souboru ve formátu běžného textového souboru. Z tohoto souboru je možno jednotlivé souřadnice vygenerovat v podobě tabulky. Tato data byla přímo vynesena na jednotlivé tabule plechu.



Obr. 28 Pohled na smontovaný komín



Obr. 30 Potrubi s 3D modelem jeho vstupní části



Obr. 31 Smontované těleso potrubí



Obr. 32 Vstupní část potrubí

Na Obr. 25 je rozvin potrubí $\phi 900$ mm, na Obr. 26 je uveden tvar rozvinu vstupního potrubí $\phi 700$ mm a Obr. 27 obsahuje rozvin hlavního potrubí $\phi 2500$ mm, kde jsou vyneseny površky pouze v okolí otvorů a kótou je uvedena vzdálenost jejich výchozích os.

Dostatečnou kontrolou metody je fakt, že po vystřížení jednotlivých částí a svaření jednotlivých dílů bylo potrubí bez problému smontováno.

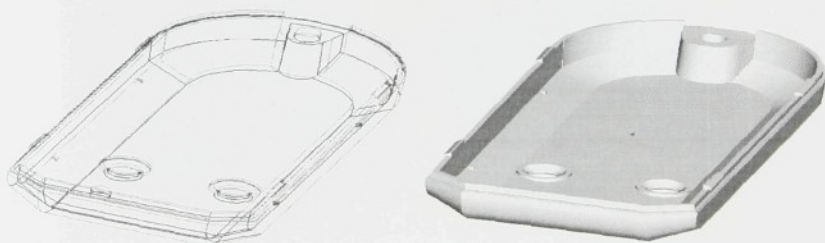
Ve výše popsaných případech jsou uvedeny dvě metody tvorby rozvinutých ploch z 3D těles AutoCADu. První vycházela z odměření délek na prostorovém tělese a jejich přenesení do roviny, druhá přenáší do roviny délky površek vytvořených na 3D tělese. Každou z těchto metod je vhodné použít pro jiný typ rozvinu. První z uvedených metod je pracnější, má však široké pole uplatnění na rozvinu které lze klasickými metodami jen těžko realizovat, zatím co druhá metoda je jednodušší avšak její použití je omezeno na rozvinu pravidelných rotačních těles. Kombinací těchto metod je však možno vytvořit rozvin libovolného prostorového tělesa. Navržených metod bylo využito při realizaci rozvinů několika dalších úloh jejichž rozměry opět neumožnili požití klasických metod tvorby rozvinů.

V následujících příkladech jsou uvedeny výsledky řešení rozvinu problematických dílů potrubí velkých rozměrů. Na *Obr. 30* je uvedena celková sestava celého potrubí a 3D model jeho vstupní části která byla pomocí výše uvedených metod řešena. Na *Obr. 31* je fotografie vyrobeného potrubí a na *Obr. 32* je fotografie z montáže jeho vstupní části.

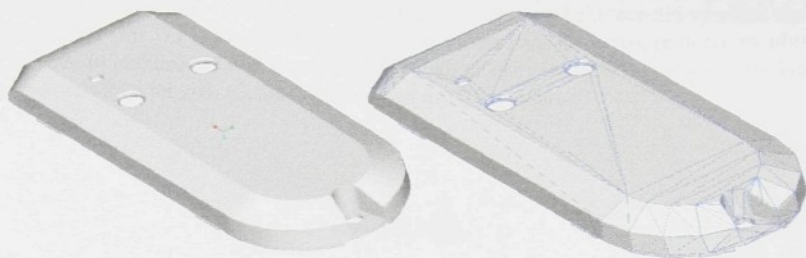
Z uvedeného výsledků je zřejmé, že produkt AutoCAD disponuje dostatečně širokou škálou nadstandardních prostředků a je vhodný i pro řešení netradičních konstrukčních úloh bez dalších nadstavbových programů.

2.4 Návrh výrobku pomocí CAD systému Pro/ENGINEER

Základem práce v systému Pro/ENGINEER je interaktivní způsob modelování tvaru a rozměrů navrhovaného produktu ve velmi přátelském uživatelsky orientovaném dialogu. Intuitivní způsob ovládání konstrukčních pomůcek umožní velice rychle posouvat, otáčet, zmenšovat, zvětšovat, kopírovat, mazat, zrcadlit či jinak modifikovat postupně navrhovaný model produktu. Systém obsahuje jednoduché prostředky pro přizpůsobování vývojového prostředí modelování v konkrétní aplikaci. Při použití aplikačních procedur a vlastních modelovacích prostředků systému může uživatel vybudovat *geometrický model* navrhovaného produktu. Geometrický model je reprezentován vhodnou datovou strukturou a jeho interpretace na obrazovce dosahuje dnes kvality fotografie (*Obr. 33*).



Obr. 33 Drátový a vystínovaný model víka dálkového ovladače model v systému Pro/ENGINEER



Obr. 34 Vystínované víko ovladače a plochy vygenerované na tělese po vygenerování .stl souboru

Mezi nejznámější typy modelů používaných v systémech CAD patří *drátový model* (wire-frame model), *plošný* či *povrchový model* (surface model) a *model objemový* (solid model). *Drátový model*, který je tvořen pouze reprezentací hran a vrcholů objektů, je sice úsporný, ale pro praktické účely velice omezující a příliš zjednodušující. *Plošný model* precizně definuje tvar ploch, které tvoří povrch objektů (ten může mít matematicky i velice komplikovaný průběh), ale problém nastává při nutnosti vzájemně kombinovat různé objekty. Plošný model totiž nepodporuje jednoduše reprezentaci informace o prostoru uvnitř objektů. Pro/Engineer podporuje objemové i plošné modely. *Objemový model* však překonává uvedená omezení reprezentace trojrozměrných těles charakteru modelů objektů v počítači. Potom není problémem provádět spojování těles, jejich průnik či rozdíl, je možné provádět fezy těles rovinou či jinými plochami.

Další velkou předností objemového modelu je názorná vizualizace či animace



Obr. 35 Hotový výrobek a prototyp vyrobený technologií Rapid prototyping

trojrozměrné scény na obrazovce včetně simulace vjemu různých typů povrchů objektů v prostoru osvětleném různými typy světél včetně „realistických“ stínů.

Jednou z předností 3D modelování je možnost vytvoření prototypu navrženého výrobku. To je umožněno snadným vygenerováním souboru pro sterolitografii (.stl)

a vytvořením funkčního prototypu pomocí technologie Rapid Prototyping. Pomocí této technologie (viz kapitola 4) je možno vyrobit model, který se od skutečného výrobku téměř neodlišuje. Na *Obr. 35* je vlevo hotový výrobek ovladače, vpravo je pak prototyp vyrobený výše uvedenou technologií. Od skutečného výrobku se liší pouze bělavým povlakem který zmizí po očištění a lehkém přebroušení jemným brusným plátnem.

3 SOFTWARE PRO INŽENÝRSKÉ VÝPOČTY - CAE

Dnes si už lze těžko představit konstrukci bez využití programů pro inženýrské výpočty. Jedná se buď o programy, které algoritmizují klasické výpočetní postupy a jejichž využití při práci konstruktéra je stále ještě častější, a dále o programy využívající metodu konečných prvků pro různé analýzy, ať už se jedná o statické, dynamické či jiné problémy, jejichž použití je vázáno na často velice nákladný hardware. Jejich použití je vhodné pro řešení speciálních úloh s vysokými nároky na přesnost nebo pro optimalizaci konstrukčních řešení.

3.1 Algoritmizace klasických postupů

Při algoritmizaci klasického postupu výpočtu je naším cílem vytvořit program, s jehož pomocí bude možno rychle provádět potřebné konstrukční výpočty. Výsledky těchto výpočtů slouží jako podklady pro konstrukci strojů. Programy by měly být zpracovány tak, aby s jejich pomocí bylo možno rychle opakovaným výpočtem provádět jednoduchou optimalizaci řešeného konstrukčního problému. Neoddělitelnou součástí algoritmizace je kvalita zpracování uživatelského rozhraní. Přívětivost programu k uživateli, která je tímto rozhraním z velké části definována, podstatně ovlivní užitou hodnotu programu. Při práci s programem musí být uživatel veden problémem, měl by mít k dispozici příslušnou nápovědu buď interaktivně zobrazovanou nebo snadno vyvolatelnou na obrazovku. Program by měl v možném rozsahu zabránit chybným zadáním vstupních dat a jejich snadnou případnou opravu. Zobrazované výsledky by měly být zobrazitelné v požadovaném rozsahu a měly by umožnit uživateli jejich další zpracování buď dalšími programy, příp. textovým procesorem, který je užíván pro vypracování odborných zpráv, které jsou neoddělitelnou součástí navrhovaných řešení problému. Cílem autora bylo provést algoritmické zpracování výpočetních postupů často se opakujících při konstrukčních řešeních s ohledem na jejich využití v pedagogickém procesu při konstrukčních cvičeních. Tyto postupy jsou pak pomocí programovacího jazyka Pascal zpracovány do finálních programů. V úvodním kroku bylo nutno vypracovat řadu podprogramů pro realizaci často se opakujících operací (např. zadávání vstupních parametrů, menu pro větvení programů, zobrazení výsledků, zobrazení pomocných textů apod.). Většina konstrukčních výpočtů pracuje s hodnotami, které jsou popsány v podobě grafů jedné nebo více závisle proměnných. Aby bylo možno tyto graficky zpracované hodnoty použít při algoritmizaci, bylo rovněž nutno provést jejich aproximaci tak, abychom získali jejich matematické vyjádření. Všechny programy jsou vypracovány pro operační systém MS DOS. Přestože se na osobních počítačích stále více prosazuje operační systém MS Windows, řada pracovišť je stále vybavena OS MS-DOS, vzhledem k tomu, že nespĺňují hardwarové požadavky pro bezporuchovou funkci moderních operačních systémů osobních počítačů, kterými jsou Windows 95 nebo Windows NT. Programy napsané pro MS DOS však lze bez problémů na těchto platformách provozovat.

3.1.1 Program pro aproximaci funkcí

Při návrhu a kontrole strojních součástí i celých uzlů pomocí výpočetní techniky je často třeba definovat řadu různých součinitelů. České státní normy však nejsou dosud na tuto skutečnost v dostatečné míře připraveny. V řadě případů je třeba hodnoty součinitelů potřebných k návrhu strojních součástí vyhledávat v tabulkově či graficky zpracovaných podkladech. Jindy je třeba použít experimentálně získaná data graficky zpracovaná. To však nevyhovuje současnému trendu automatizace inženýrských prací. Pro efektivní počítačový návrh je třeba tyto součinitele vyčíslit pomocí matematických vztahů. Pro vytvoření systému programů pro výpočet strojních uzlů bylo nutno tento stav překonat. Proto byl vytvořen program, který metodou nejmenších čtverců provádí aproximaci funkce n nezávisle proměnných. Je tedy možno vyjádřit formou polynomu libovolný graficky nebo tabulkou vyjádřený součinitel. Takto získané polynomy je pak možno využít při algoritmizaci úloh souvisejících s návrhem nebo kontrolou strojních součástí nebo celků. Jako příklad řešení pomocí uvedeného programu je uvedena aproximace součinitele vrubové citlivosti.

Aproximační funkce

Většina součinitelů, které je třeba aproximovat, je funkcí dvou nezávisle proměnných. V uvedeném programu je tedy zpracována metoda aproximace takovéto funkce a to ve tvaru mocninného polynomu [1], [2], [3], [15]. Je však možno program využít i pro funkci více proměnných, resp. aproximaci jiného typu jednoduchou úpravou příslušného podprogramu (DATA). Pro naše potřeby tedy předpokládáme aproximaci funkcí ve tvaru polynomu:

$$P(x, y) = a_0 u_0(x, y) + a_1 u_1(x, y) + \dots + a_n u_n(x, y)$$

kde $u_0 \dots u_n$ jsou známé funkce proměnných x a y , které neobsahují žádné neznámé parametry a tvoří tzv. bázi funkcí dvou proměnných. Jejich volba je značně složitá a je závislá především na zkušenosti realizátora. V uvedeném programu byla zvolena báze funkcí podle schématu na Obr. 36 v uvedené bázi je každému součinu $x^\alpha y^\beta$ přiřazen bod o souřadnicích α, β . Volba α a β je určena vztahy

$$\alpha + \beta \leq n \qquad \alpha \geq 0 \qquad \beta \geq 0$$

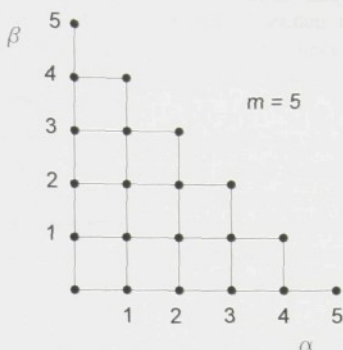
Při výpočtu koeficientů polynomu uvedeným programem se postupně po jednotlivých krocích přibírají do aproximace jen ty uzly zadané báze, které vedou k nej přesnější aproximaci. V každém kroku se přibírá pouze jeden uzel dané báze. Volba probíhá tak dlouho, dokud se nedosáhne požadované přesnosti. Jednotlivé kroky jsou postupně zobrazovány na obrazovce nebo tiskárně jako výsledky výpočtu.

Program je zpracován v programovacím jazyce TurboPascal pro osobní počítač pod operačním systémem MS-DOS. Součástí programu je podprogram DATA.PAS,

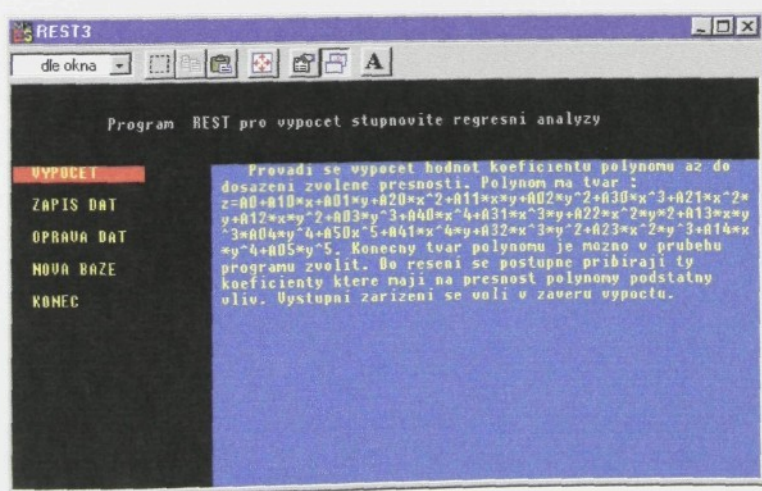
prostřednictvím kterého se vytváří zvolená báze funkcí. Změnou tohoto podprogramu je možno zvolit libovolné báze. Používání celého programu je velmi jednoduché vzhledem k tomu, že veškerá činnost je řízena pomocí nabízeného menu. Po spuštění programu se objeví základní menu na levé straně monitoru, přičemž na pravé straně monitoru se k právě zvolené položce menu zobrazené inverzně vypisuje doplňující text (Obr. 37) popisující činnost počítače při následné volbě, resp. doporučení pro danou volbu.

Je možno volit následující položky menu:

- **výpočet** - po této volbě je třeba na výzvu počítače uvést celé jméno datového souboru včetně označení mechaniky, na které je příslušný datový soubor uložen. Dále je třeba uvést přesnost, při jejímž dosažení bude výpočet ukončen. Následuje volba funkcí dvou proměnných z dané báze. Volba se provádí zadáním symbolu podle instrukcí zobrazených ve spodní části obrazovky. Zvolené symboly se po zadání vždy objeví pod příslušnými báзовými funkcemi $x, y, x^2, xy, y^2, \dots$ atd. Při ukončení výpočtu je nutno opět prostřednictvím menu zvolit výstupní zařízení. Je možno volit buď obrazovku monitoru nebo připojenou tiskárnu.



Obr. 36 Schéma uzlových bodů aproximačního polynomu



Obr. 37 Ovládací menu programu pro výpočet regresní funkce

- **zápis dat** - při této volbě je možno vytvářet datový soubor. Každý řádek obsahuje dvě položky nezávisle proměnných a jednu závisle proměnnou. Jednotlivé proměnné musí být odděleny minimálně jednou mezerou. Po ukončení zápisu datového souboru prostřednictvím tlačítka ENTER provedeme zápis datového souboru na disketu pod jménem, které jsme uvedli v úvodu zápisu datového souboru.
- **oprava dat** - po zavedení názvu datového souboru se na monitoru objeví první stránka datového souboru. Klávesami pro pohyb kurzoru je možno umístit kurzor na místo opravy a příslušná čísla přepsat novými znaky. Je možno používat pouze znaky potřebné pro vytváření datových souborů. Klávesou ENTER se obrací stránka, případně ukončí oprava, jsme-li na poslední stránce datového souboru. Opravený soubor se zapisuje na disk pod stejným jménem, pod nímž byl vyvolán.
- **nová báze** - Zde se provádí výpočet se stejným datovým souborem jako při volbě "výpočet", ale máme možnost vybrat jiné báze funkce zvolené báze. Této volbě musí vždy předcházet volba "výpočet".

Výsledky výpočtu se zobrazují po všechn kroky postupně od nejjednodušší aproximace až po nejpřesnější. U každého kroku se zobrazuje tvar báze funkce s příslušným koeficientem a rovněž se vyčísluje standardní chyba odhadu. Pro názornost je možno aproximovanou funkci vykreslit v podobě prostorového grafu na obrazovce monitoru. Na konec je vypsána tabulka zadaných a aproximovaných hodnot včetně diferencí v jednotlivých zadaných bodech.

Aproximace součinitele vrubové citlivosti

Při výpočtech bezpečnosti dynamicky zatížených součástí je třeba stanovit mez únavy materiálu pro součásti s vrubem dle vztahu

$$\sigma_c^* = \sigma_c \frac{\eta \cdot v}{\beta},$$

kde η je součinitel jakosti povrchu,

v je součinitel velikosti,

β je vrubový součinitel, který určujeme ze vztahu

$$\beta = 1 + q(\alpha - 1),$$

kde α je tvarový součinitel,

q je součinitel vrubové citlivosti.

Součinitel vrubové citlivosti materiálu $q_{1,2}$ podle Lejkina-Serensena se určuje pro střídavý tah-tlak a ohyb dle vztahu

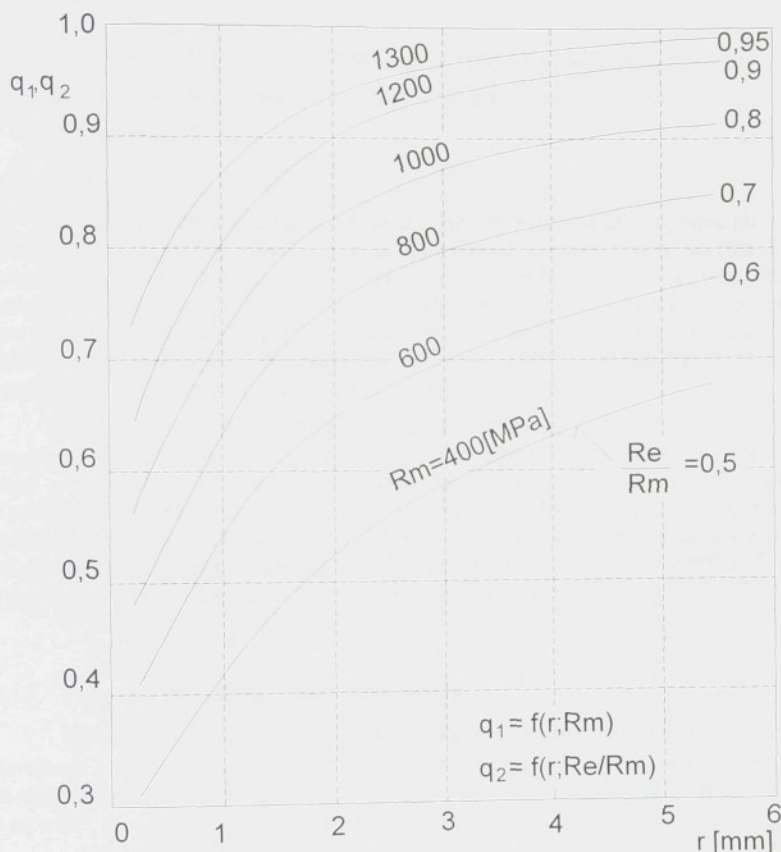
$$q = 0,5(q_1 + q_2)$$

a pro krut

$$q = q_2,$$

přičemž q_1 je funkcí poloměru křivosti v kořeni vrubu r , a meze pevnosti v tahu R_m a q_2 je rovněž funkcí poloměru křivosti r a poměru meze kluzu a meze pevnosti R_e/R_m . Při klasickém řešení se součinitele q_1 a q_2 odečítají z nomogramu [4] podle Obr. 38.

Pro aproximaci se odečtením z grafu podle Obr. 38 vytvořily dva datové soubory pro



Obr. 38 Součinitel vrubové citlivosti materiálu q podle Lejkina-Serensena

výpočet koeficientů aproximačních polynomů pro součinitele q_1 a q_2 . Řešením pomocí uvedeného programu byly vypočteny příslušné koeficienty a součinitelé. Uvedeným výsledkům odpovídají následující polynomy.

$$q_1 = 6,1139457648 \cdot 10^{-2} - 1,18191231 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 \cdot y - 1,67037006 \cdot 10^{-12} \cdot x^3 \cdot y^2 + \\ + 4,71624667 \cdot 10^{-4} \cdot x + 2,47592331 \cdot 10^{-1} \cdot y - 5,73934931 \cdot 10^{-1} \cdot y^2 + \\ + 4,9001959 \cdot 10^{-3} \cdot y^3,$$

kde $x = R_m$ a $y = r$,

$$q_2 = -1,5689163042 \cdot 10^{-1} - 1,06848319 \cdot 10^{-1} \cdot x^3 \cdot y + 6,52609874 \cdot 10^{-2} \cdot x^3 \cdot y^2 + \\ + 8,71241974 \cdot 10^{-1} \cdot x + 6,62391036 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 \cdot y^3 + 3,6540883 \cdot 10^{-1} \cdot x \cdot y - \\ - 1,37463483 \cdot 10^{-1} \cdot x^2 \cdot y^2,$$

kde $x = R_e/R_m$.

Polynomů v tomto tvaru můžeme nyní použít při vypracování programu pro výpočty dynamicky namáhaných součástí kde je nutno při klasickém řešení odečítat hodnoty jednotlivých součinitelů z grafu. Uvedená metoda řešení je, co se týče přesnosti, srovnatelná s klasickou metodou. Změnou podprogramu DATA je možno využít program pro aproximaci funkcí více proměnných, případně zvolit jinou bázi funkce. To dále rozšiřuje možnosti uvedeného programu. Při praktických výpočtech byl tento program využit např. v [7], [8] a [10] pro funkci tří nezávisle proměnných

Obdobným způsobem byla řešena řada dalších úloh. Společným rysem programových řešení jednotlivých problémů je jednotný přístup k uživatelskému rozhraní, který se u jednotlivých řešení liší pouze dokonalostí grafického ztvárnění, které se v průběhu tvorby programového systému zdokonalovalo díky rychlému rozvoji hardwaru. Dále je uveden výčet řešených úloh s ukázkou uživatelského rozhraní představující hlavní přínos daného problému. Samotná algoritmizace jednotlivých úloh vychází z klasických výpočetních postupů a není nutno je dále podrobně rozpracovávat [10].

3.1.2 Program pro návrh šnekového převodu

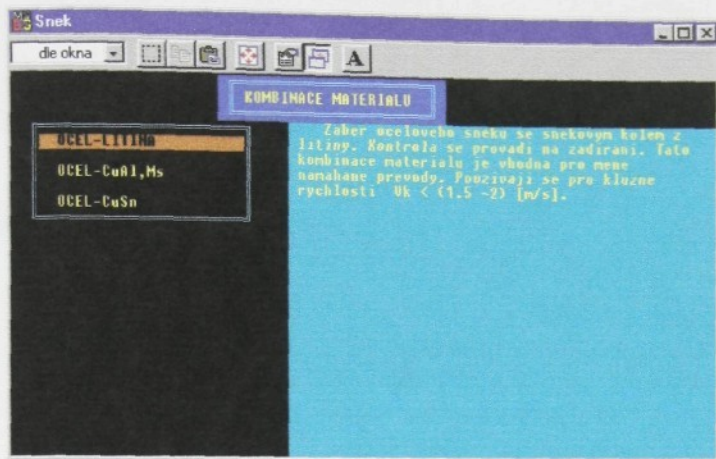
Při návrhu geometrie šnekového soukolí se s ohledem na jeho únosnost určuje z pevnostní podmínky pro dotykové napětí velikost modulu. Podle ČSN 01 4756 jsou moduly normalizované v osovém směru. Pro spirální šneky potom platí, že $m = m_x$, a $\alpha_x = 20^\circ$, pro obecné šneky $m = m_n = m_x \cos \gamma$, a $\alpha_n = 20^\circ$

Programové zpracování

Návrh modulu probíhá podle výše uvedených vztahů s použitím vstupních parametrů mezi které patří:

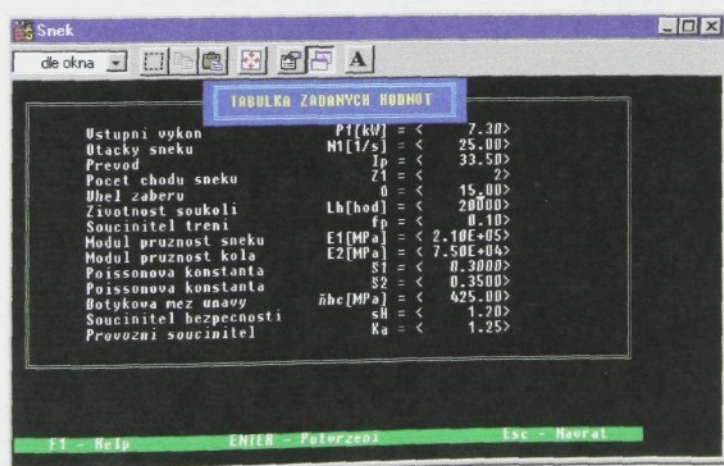
– výkon šneku	P [kW]
– otáčky šneku	n [s ⁻¹]
– převod	i
– počet chodů šneku	z
– úhel záběru nástroje	$\alpha [^\circ]$
– životnost soukolí	L [h]

- materiál šneku a jeho základní parametry μ, E [MPa]
- materiál šnekového kola a jeho základní parametry μ, E [MPa]

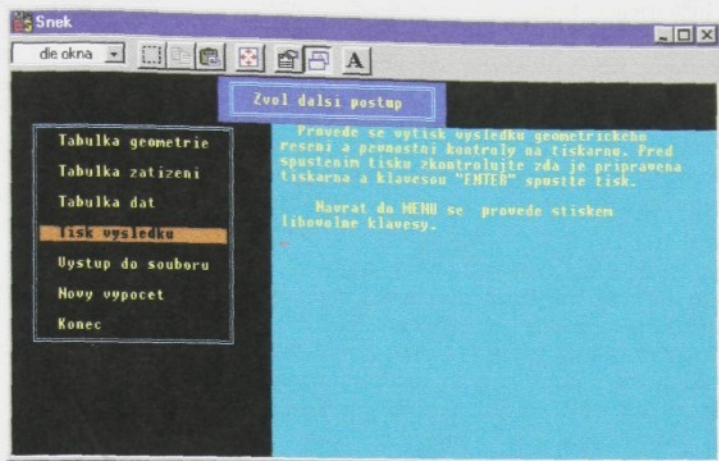


Obr. 39 Volba kombinace materiálů šneku a šnekového kola

Zadáání vstupních dat je opět realizováno pomocí dialogu, který je možno v případě potřeby (nesprávně zadaná data) zopakovat (Obr. 40). S ohledem na snadnější volbu těchto vstupních parametrů byl zpracován soubor nápovědy SNEK.HLP, ve kterém jsou uvedeny vztahy z příslušných ČSN a další doporučení umožňující jednodušší obsluhu programu. Tento soubor je přístupný uživateli během zadávání vstupních parametrů a aktivuje se stiskem klávesy F1 (Obr. 40). Volba vhodné kombinace materiálů se provádí opět prostřednictvím menu. Jsou zde obsaženy běžně užívané kombinace materiálů. Pro každou



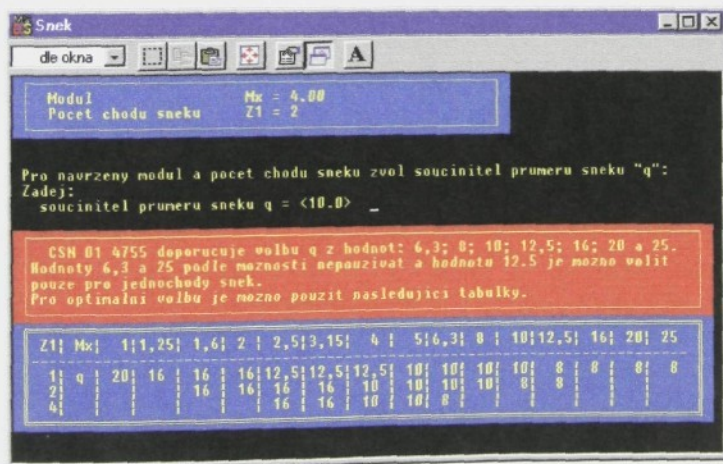
Obr. 40 Zadáání vstupních parametrů šnekového soukolí



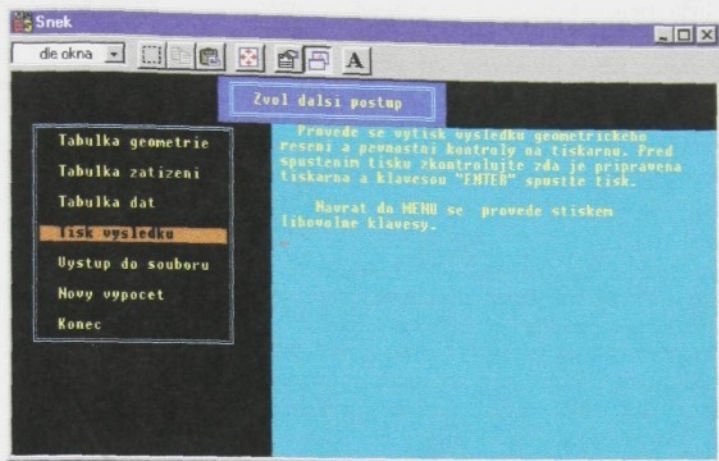
Obr. 41 Volba postupu řešení, zobrazena volba pro tisk výsledků

kombinaci je uveden doprovodný text (Obr. 39), který blíže specifikuje volenou dvojici materiálů. Zadávání vstupních parametrů je zpracováno tak, aby bylo možno v případě chyby celé zadání zopakovat. Při předběžném výpočtu modulu se volí nejbližší vyšší modul z řady modulů doporučených ČSN 01 4756 (1; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5). Je však umožněno konstruktérovi volit dle vlastního uvážení jiny modul.

Dále je třeba zadat správnou hodnotu součinitele průměru šneku, který až do této doby byl zadán "natvrdo" $q=10$. Jeho správná volba závisí na modulu, který byl v průběhu chodu programu určen, a dále na počtu chodů šneku (Obr. 42). Následuje zadání jednotkové korekce šnekového kola. S ohledem na novou hodnotu součinitele průměru



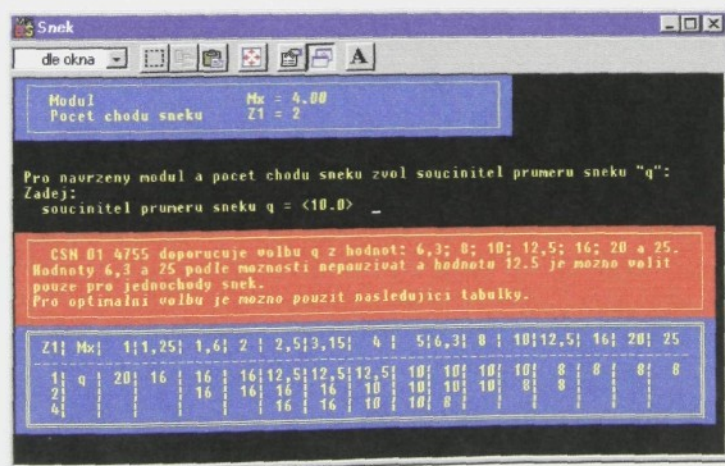
Obr. 42 Zadávání součinitele velikosti šneku q



Obr. 41 Volba postupu řešení, zobrazena volba pro tisk výsledků

kombinaci je uveden doprovodný text (Obr. 39), který blíže specifikuje volenou dvojici materiálů. Zadávání vstupních parametrů je zpracováno tak, aby bylo možno v případě chyby celé zadání zopakovat. Při předběžném výpočtu modulu se volí nejbližší vyšší modul z řady modulů doporučených ČSN 01 4756 (1; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5). Je však umožněno konstruktérovi volit dle vlastního uvážení jiny modul.

Dále je třeba zadat správnou hodnotu součinitele průměru šneku, který až do této doby byl zadán "natvrdo" $q=10$. Jeho správná volba závisí na modulu, který byl v průběhu chodu programu určen, a dále na počtu chodů šneku (Obr. 42). Následuje zadání jednotkové korekce šnekového kola. S ohledem na novou hodnotu součinitele průměru



Obr. 42 Zadávání součinitele velikosti šneku q

šneku je třeba přepočítat úhel stoupání šroubovice γ . Na základě znalosti úhlu γ je možno volit typ šneku. Volba se provádí pomocí nabízeného menu obdobně jako při volbě materiálů šneku a šnekového kola. I zde je pro příslušnou volbu zpracována stručná informace o daném typu šneku. S ohledem na kluznou rychlost, která je v programu rovněž počítána se provádí kontrola optimálního využití kluzných vlastností zvolené kombinace materiálu. V případě, kdy vypočítaná kluzná rychlost není optimální pro zvolený materiál, je uživatel programem na tuto skutečnost upozorněn a je mu umožněn návrat k volbě materiálu a ostatních vstupních parametrů. Toto doporučení však není nutno akceptovat a je možno dále pokračovat ve výpočtu.

Při výpočtu zatížení převodu je dále třeba zadat součinitele vnitřních dynamických sil. Jeho volba závisí na kluzné rychlosti a přesnosti ozubení. Pro usnadnění správné volby jsou příslušné veličiny opět tabulkově zpracovány obdobně jako v případě volby součinitele průměru šneku. Obdobným způsobem je zpracována i závislost součinitele deformace šneku Θ na počtu chodů šneku z a součiniteli průměru šneku q . Silové poměry jsou částečně ovlivněny též charakterem zatížení, který volíme opět prostřednictvím nabízeného menu. Vypočítané výsledky související s návrhem šnekového převodu lze zobrazit na monitoru nebo na připojené tiskárně. Příslušný postup může uživatel zvolit opět prostřednictvím menu (*Obr. 41*). Odtud je možno vyvolat na obrazovku výsledkové tabulky obsahující silové poměry, geometrii šnekového soukolí a pevnostní kontrolu ozubení. V případě, že není splněna požadovaná bezpečnost, je uživatel na tuto skutečnost výrazně upozorněn. Dále je možno zobrazit tabulku vstupních dat. Veškeré výsledky je možno vytisknout na připojené tiskárně. Předkládané menu ještě umožňuje zopakovat celý výpočet a ukončit program.

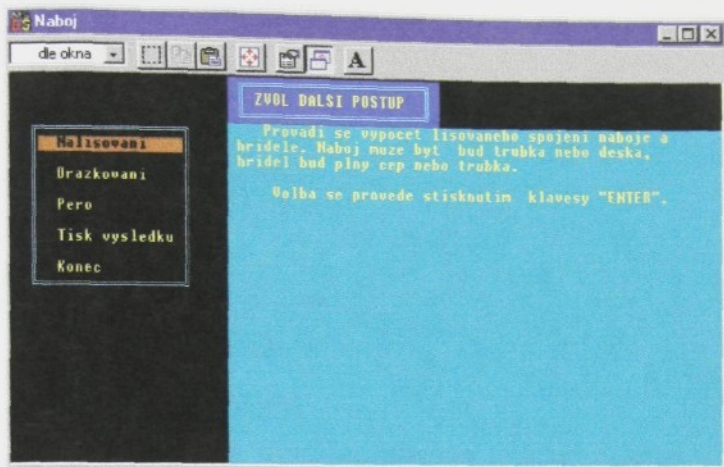
Program je sestaven do uživatelské formy tak, aby i uživatel s minimálním seznámením s příslušnou výpočetní technikou byl schopen jeho využití.

3.1.3 Návrh uložení hřídel-náboj

Další úloha, kterou potřebuje konstruktér často řešit, je spojení hřídele s nábojem. Spojení hřídele s nábojem se nejčastěji provádí pomocí per, drážkování či nalisovaným spojením. Pro realizaci těchto výpočtů byl rovněž sestaven program. Byla zvolena stejná koncepce programového zpracování jako v předchozím případě. Záměrem bylo vytvořit systém programů pro inženýrské výpočty tak, aby jejich použití bylo co nejjednodušší. To lze řešit právě jednoduchou koncepcí a stejným nebo alespoň velmi podobným uživatelským rozhraním. V úvodu programu uživatel zvolí, který z výpočtů chce provádět (*Obr. 43*). Nabídka je rovněž provedena pomocí uživatelského menu, pomocí kterého je možno použít následující volby:

- **Nalisované spojení.** Umožní řešit nalisovaný spoj ve tvaru plný hřídel-náboj, dutý hřídel-náboj, plný hřídel-deska (náboj s velkým vnějším průměrem), dutý hřídel-deska.
- **Pero.** Je možný výpočet spojení pomocí podélných i úsečových per.
- **Drážkování.** Provádí návrh evolventního nebo rovnobokého drážkování.

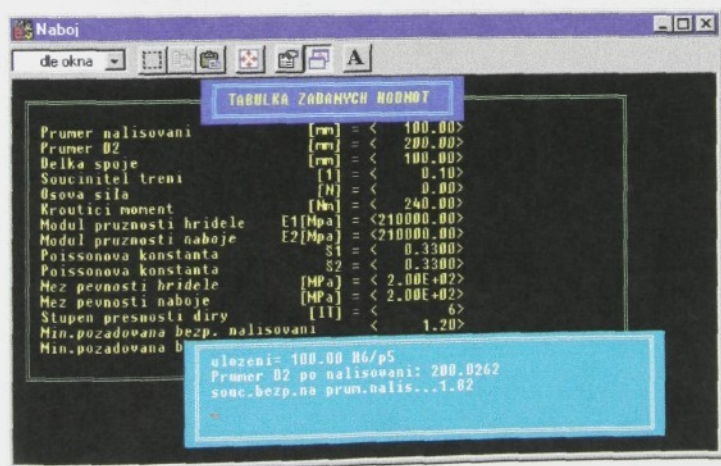
Po provedení příslušné volby je uživatel dotázán na vstupní hodnotu. Ve všech případech je to přenášený krouticí moment a průměr hřídele. Pro výpočet per a drážkování



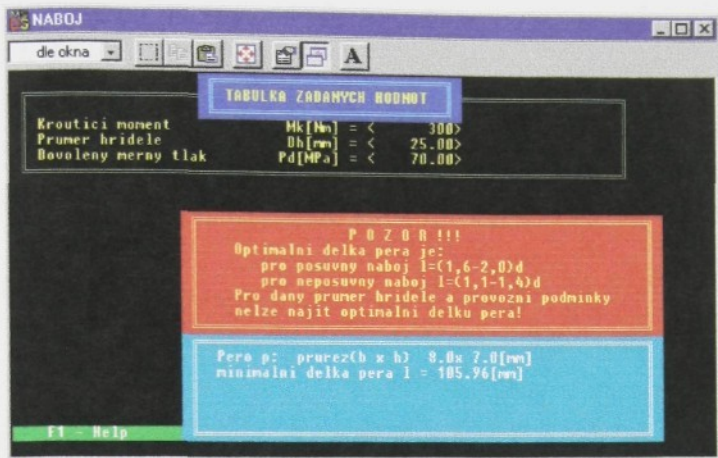
Obr. 43 Volba následného postupu

je to rovněž dovolený tlak. Opět je zde k dispozici nápověda, kterou vyvoláme stiskem klávesy F1. Po zadání potřebných údajů, program vybere vhodný průřez pera nebo řadu drážkování podle velikosti hřídele a vypočítá jeho potřebnou délku (Obr. 45). Provede kontrolu optimální délky pera nebo drážkovaného náboje, a v případě, že vypočítaná délka je odlišná od optimálního rozsahu, upozorní na tuto skutečnost výstražným hlášením.

Řešíme-li nalisovaný spoj, je nutno zadat rovněž případné osové zatížení, dále materiálové vlastnosti hřídele a náboje, požadovaný stupeň přesnosti výroby a požadovanou bezpečnost spojení. V případě nesprávného zadání některého ze vstupních parametrů provede opět program varovné hlášení a umožní nové opravy v zadání vstupních



Obr. 44 Vstupní data a výsledky výpočtu nalisovaného spoje

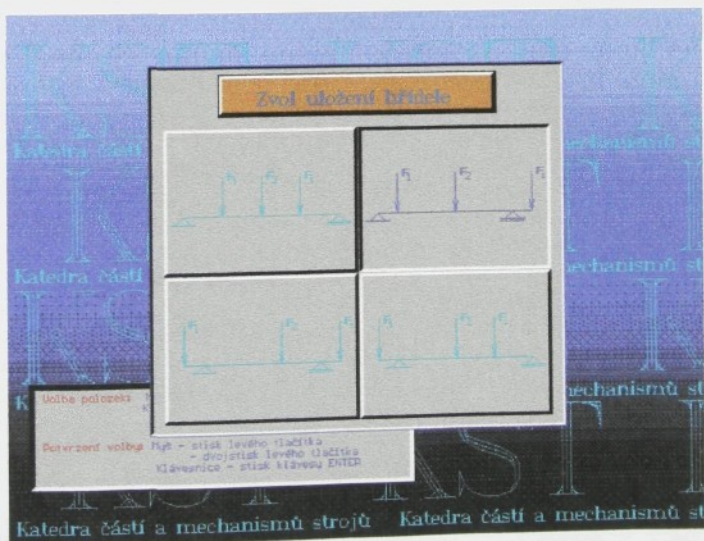


Obr. 45 Vstupní data a výsledek výpočtu spojení pomocí pera

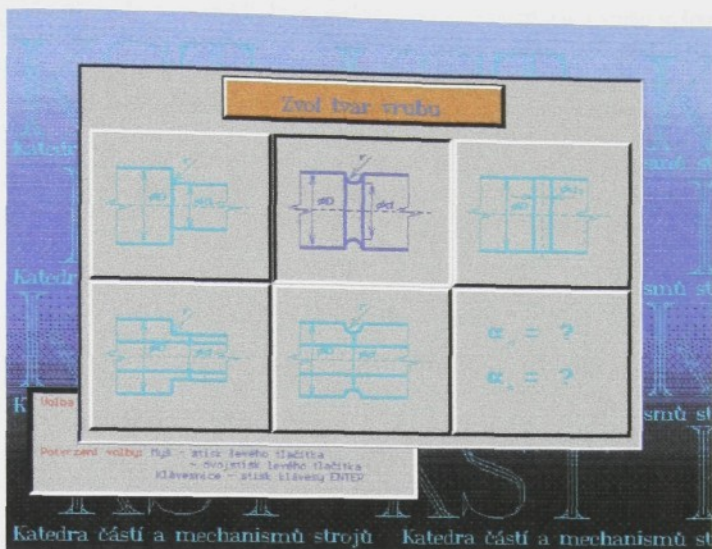
parametrů. Jsou li všechna data zadána správně, provede výpočet a zobrazí výsledky výpočtu (Obr. 44, Obr. 45). Výsledky obsahují návrh vhodného uložení, bezpečnost na vnitřním i vnějším průměru nalisování a změnu obou průměrů po nalisování.

3.1.4 Pevnostní kontrola hřídele

Návrh a pevnostní kontrola hřídele patří k nejčastěji prováděným pracem



Obr. 46 Varianty uložení a zatížení hřídele



Obr. 47 Volba tvaru vrubu

konstruktéra při návrhu různých zařízení. Pro řešení této úlohy byl opět zpracován program v programovacím jazyce Turbo Pascal. Program je sestaven tak, aby s jeho pomocí bylo možno řešit namáhání hřídelů běžně uložených v ložiskách. Jedná se tedy o statické řešení nosníků na dvou podporách. Možné varianty uložení (Obr. 46) jsou rozděleny do čtyř základních úloh, z nichž je možno jednoduchým způsobem jednu vybrat a doplnit ji o potřebné údaje, týkající se především zatížení a umístění ložisek a působících sil. Prostředí je zde graficky dokonalejší a uživatelsky příjemnější. Je zpracováno do podoby „oken“ a podporuje použití myši. Je to dána obdobím kdy program vznikl a stavem ve vývoji výpočetní techniky jak bylo výše uvedeno. Po specifikaci úlohy je třeba zadat hodnoty týkající se materiálu, ze kterého má být hřídel vyroben. Jedná se především o mez pevnosti (R_m) a mez kluzu (R_e) v tahu. Dále materiálovou konstantu c a hodnoty dovoleného napětí, podle toho, o jaké namáhání hřídele jde. V případě statického namáhání se jedná o meze kluzu v krutu a ohybu, u dynamického namáhání o meze únavy v krutu a ohybu. Programem je možno řešit výpočet bezpečnosti pro namáhání ohybem i krutem, statické i dynamické. Bezpečnost pro každé z namáhání je stanovena zvlášť podle požadavku řešitele jednoduchou volbou z menu programu. Na závěr je potom z těchto dílčích bezpečností stanovena výsledná bezpečnost. Při kontrole se předpokládá hřídel s různými konstrukčními prvky (osazení, drážka apod.). Uživatel je dotazován na tvar vruby v místě, kde je právě prováděna kontrola. Opět je možno vybrat z několika nejběžněji používaných prvků (Obr. 47). Velikost součinitele tvaru, který obsahuje informaci o tvaru vrubu, je stanovena buď pomocí vztahu

$$\alpha = 1 + [2A \frac{r}{D-d} + 2B \frac{r}{d} (1 + 2 \frac{r}{d})^2 + C (\frac{r}{D-d})^2 \frac{d}{D}] J^{0.5}$$

převzatého z [4], nebo aproximací křivek popsanych v různé literatuře, pomocí výše uvedeného programu (kap 3.1). S pomocí tohoto programu byly sestaveny aproximační polynomy většinou ve tvaru prostorových funkcí. Obdobným postupem byly určeny i

hodnoty součinitelů vrubové citlivosti. Je možno zadat součinitel tvaru vrubu individuálně, v případě že v kontrolovaném místě není žádná z programem nabízených možností.

Výsledkem výpočtu je stanovení statické a dynamické bezpečnosti ohybu a krutu. Vzhledem k tomu, že při namáhání rotujících hřídelů se jedná o kombinované namáhání, je stanovena i výsledná bezpečnost. Bezpečnost proti únavovému porušení hřídele je dána podmínkou $\sigma_{hm}/\sigma_{mn} = konst$. Programem se stanoví dílčí i výsledná bezpečnost navrženého hřídele. Vzhledem k tomu, že při návrhu hřídel je nutno řešit i jeho uložení v ložiskách, jsou ze zadaného zatížení určeny i reakce v podporách a celkový průhyb hřídele.

3.1.5 Program pro návrh a kontrolu ozubeného převodu

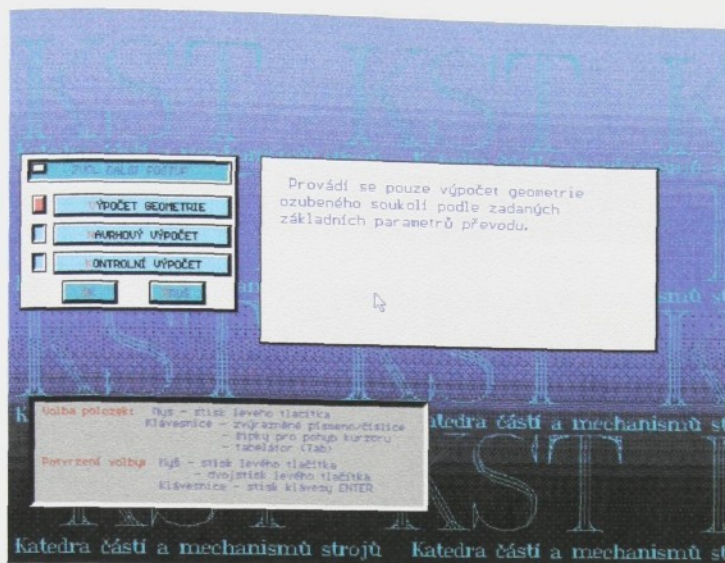
Dále je stručně popsán program pro návrh převodu ozubenými koly dle ČSN 01 4686. Návrhový výpočet je doplněn možností výpočtu kompletní geometrie ozubených kol a kontrolní pevnostní výpočet.

Program je opět vytvořen v programovacím jazyce TurboPascal pro PC pod operačním systémem MS DOS. Obsahuje algoritmus pro výpočet geometrie, návrh a pevnostní kontrolu běžně užívaných čelních ozubených soukolí. Nabízí použití několika různých způsobů korekcí ozubených kol. Je tedy možno provést návrh ozubeného převodu tak, aby splňoval požadavky na soukolí kladené. V programu jsou rovněž zpracovány různé poznámky a doporučení příslušných ČSN, které se uživateli zobrazují na monitoru při použití příslušných voleb. Umožňují uživateli programu snadnější volbu zadávaných parametrů.

V průběhu výpočtu je prováděna kontrola, zda některé volené nebo vypočítané parametry nepřesahují kritické hodnoty. Tento stav je uživateli oznamován spolu s nabídkou dalšího možného postupu.

Struktura programu

Celý algoritmus je sestaven tak, aby uživatel mohl co nejjednodušším způsobem provádět volby požadovaného typu ozubeného soukolí včetně vhodné korekce ozubených kol. Volba se provádí prostřednictvím menu, které se objeví na obrazovce po spuštění programu. K předkládanému menu je zobrazován text, který blíže určuje příslušnou volbu, případně obsahuje doporučení umožňující uživateli snadnou orientaci v nabízených možnostech řešení (Obr. 48). Program se skládá ze tří částí. V první části se provádí výpočet geometrie ozubení podle geometrických parametrů zadaných uživatelem. V druhé části probíhá návrhový výpočet ozubení. Zde program provede návrh geometrických rozměrů jednotlivých ozubených kol podle zadaných provozních parametrů (přenášený výkon, otáčky apod.). Třetí část obsahuje pevnostní kontrolu ozubených kol na ohyb a otláčení. Kontrolu je možno provést pro nově zadané rozměry soukolí, nebo je možno provádět kontrolu předem vypočítané geometrie nebo geometrie, která vyšla jako výsledek návrhového výpočtu. V těchto případech jsou uživateli nabízeny při zadávání vstupních parametrů výsledky předchozích řešení pomocí uvedeného programu, které je možno ponechat jako vstupní data, případně lze provádět požadované změny v geometrii nebo provozních parametrech soukolí. Výsledky je možno zobrazit na obrazovce, vytisknout na tiskárně, nebo je možno vytvořit na disku soubor, který je možno dále použít při vypracování průvodní zprávy k příslušnému řešení.



Obr. 48 Menu programu pro výpočet ozubených kol

Možnosti řešení

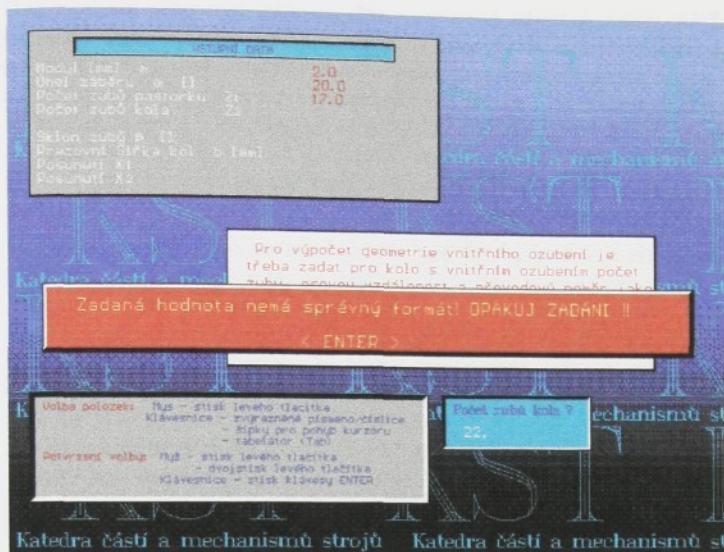
Po spuštění programu se na obrazovce po úvodní stránce objeví menu, s jehož pomocí provádíme volbu typu výpočtu. Zde je možno volit jednu z níže uvedených alternativ (Obr. 48), které program umožňuje použít:

- **Výpočet geometrie ozubení.**
- **Návrh ozubení.**
- **Pevnostní kontrola ozubení.**

Pro první dvě volby je možno zadat způsob korekce ozubených kol. Je možno zvolit následující korekce (Obr. 50):

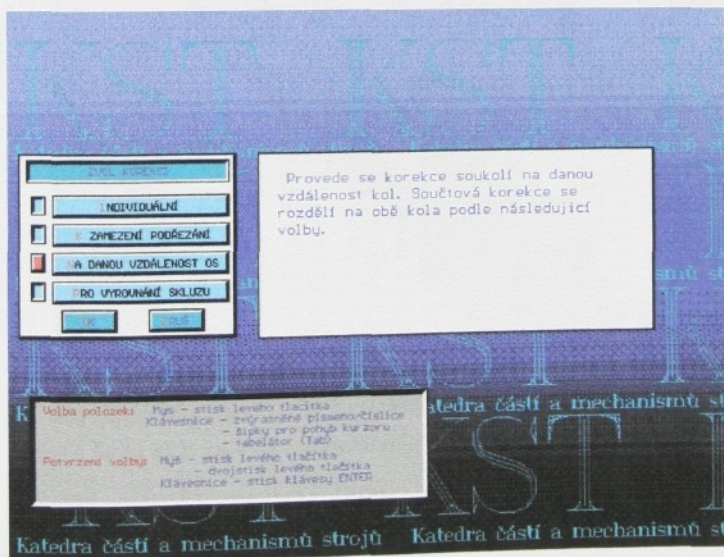
- **Individuální korekce** - umožňuje zadat individuálně korekci pro každé ze spoluzabírajících kol.
- **K zamezení podřezání** - provádí takovou korekci obou kol, při které nedojde k podřezání paty zubů, resp. povoluje minimální podřezání kol.
- **Na danou osovou vzdálenost** - provádí výpočet součtové korekce a její následné rozdělení podle následující volby. Rozdělení korekcí se stanoví buď podle reciproké hodnoty převodového poměru, nebo řešením rovnice pro dosažení vyrovnání měrných skluzů
- **Pro vyrovnání měrných skluzů** - vyrovnává měrné skluzy při odvalu boků zubů

Po provedení příslušné volby se zadávají vstupní parametry ozubení (počty zubů, modul, převodový poměr, úhel záběru atd.) podle toho která alternativa byla zvolena. Jednotlivé parametry se zadávají na základě výzvy které se objeví na obrazovce. Každá



Obr. 49 Zadávání vstupních dat v programu pro výpočet ozubených kol

zadaná hodnota se objeví v příslušném okně zadaných hodnot na obrazovce. Uživatel má tedy stále přehled o jednotlivých zadaných hodnotách.



Obr. 50 Volba korekcí v programu pro výpočet ozubených kol

Program má vytvořenu ochranu, která nedovolí uživateli zapsat jakýkoliv znak neodpovídající právě zadávanému parametru. V případě že je takovýto znak zadán, je uživatel upozorněn na chybu zadání a je mu umožněno provést příslušnou opravu (*Obr. 49*). Při zadávání příslušných parametrů je samozřejmě uživatel informován o jednotkách ve kterých je daná hodnota zadávána. Při výpočtu korekce pro vyrovnání měrných skluzů se korekce stanoví řešením klasických rovnic [12]. Řešení se provádí metodou půlení intervalu jejíž přesnost i rychlost je v uvedených případech dostatečná.

Bez ohledu na zvolený typ korekce se provádí kontrola, zda nedochází k podžezání zubů či zmenšení šířky zubů na hlavě profilu pod 0,4 mm, kterou je nutno zachovat pro kalená ozubená kola. V případě, že některé z kritérií není splněno, ohlásí program nedodržení podmínek příslušné volby a nabídne buď novou volbu celého soukolí, nebo novou volbu parametrů již zvoleného soukolí, případně umožní pokračování výpočtu i za nedodržení příslušných podmínek. V úvodu se provede výpočet kontrolních hodnot rozměrů a mezního počtu zubů. Využívá se zde vztahů, které jsou dostupné v běžné technické literatuře, např. v [12], [13]. V případě kontrolního nebo návrhového výpočtu je možno vybrat z nabízeného menu materiál pro pastorek i kolo (*Obr. 51*). Nabídka materiálů kol odpovídá doporučeným materiálům z ČSN 01 4656. Pokud je třeba zvolit jiný materiál, je možno hodnoty potřebných veličin zadat opět pomocí dialogu, ve kterém je uživatel přehledně informován o právě zadávané veličině, případně jsou nabízeny potřebné předvolené údaje.



Obr. 51 Volba resp. zadávání materiálových vlastností kol

Vypočítané hodnoty parametrů ozubení je možno zobrazit buď na obrazovce, na připojené lokální nebo síťové tiskárně, nebo je možno výsledky uložit do datového souboru, což je vhodné pro další použití při vypracování protokolu výpočtu. Podle typu prováděného výpočtu lze zobrazit nezávisle výsledky geometrického výpočtu a výsledky pevnostního výpočtu.

3.2 Software využívající MKP

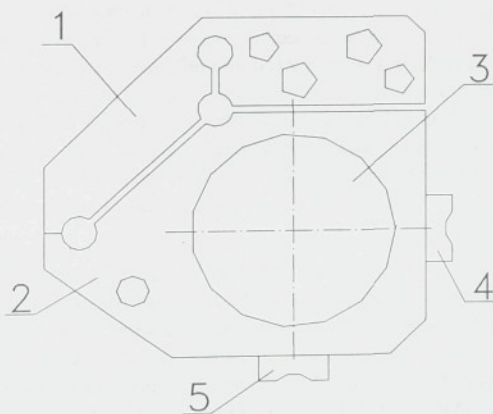
Software využívající metodu konečných prvků našel rozsáhlejší využití až s rozvojem výpočetní techniky na bázi PC a pracovních stanic a s dostupností této techniky při běžné konstrukční práci. V oblasti využití na PC byl nejdříve vyvíjen software, který byl schopen řešit pouze rovinné problémy. Bylo to dáno především malou výkonností těchto počítačů. Typickým představitelem této doby byl tuzemský produkt ADAM. S rozvojem hardwaru však bylo možno řešit i prostorové úlohy pomocí zahraničních programů např., TPS10, COSMOS atd.. Dnešní výpočetní systémy pracují většinu na pracovních stanicích pod OS Unix. Umožňují řešit rozsáhlé prostorové úlohy včetně jejich optimalizace. Jedná se např. o produkty ANSYS, MARC, Pro/MECHANICA apod., které již dnes na technických univerzitách existují v univerzitních licencích.

3.2.1 Pevnostní výpočet desky HK-2-2386003 metodou konečných prvků

V uvedené ukázce je uveden postup řešení při výpočtu namáhání pružné desky HK-2-2386033 pro uchycení ložisek válců tiskových strojů a výsledky tohoto řešení. Výpočet byl proveden na 16-ti bitovém PC IBM s pomocí programového produktu ADAM.

Výpočtový model

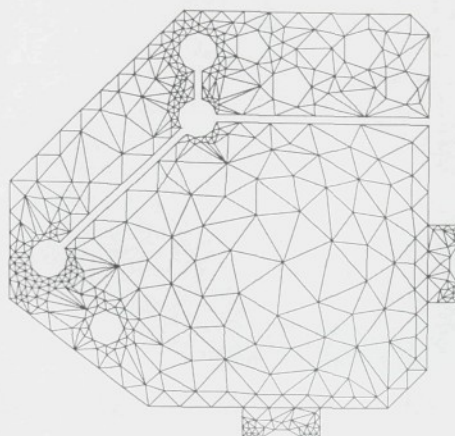
Pomocí uvedeného programového produktu lze modelovat rovinná nebo rotačně symetrická tělesa. Vzhledem k tvaru řešené desky bylo možno uvedený produkt použít. Součástí programu ADAM je jednoduchý grafický editor, s jehož pomocí byla deska nakreslena spolu s opěrnými destičkami. S ohledem na složitost tvaru bylo nutno celou desku rozdělit na podtělesa (Obr. 52). Deska samotná je rozdělena na dvě podtělesa (1,2), ložisko uvnitř velkého otvoru v desce je nahrazeno plným kusem jako další podtěleso (3) a opěrné destičky tvoří další dvě podtělesa (4,5).



Obr. 52 Pružina rozdělená na podtělesa

Na takovémto tělese byla vygenerována síť. Jednotlivé obrysy byly rozděleny na určitý počet dílků, přičemž v místech, kde bylo možno předpokládat zvýšené napětí, byly

příslušné úseky rozděleny na více dílků, aby bylo dosaženo jemnější sítě a tedy přesnějšího průběhu napětí. Vygenerovaná síť má 469 uzlů a 781 prvků a je vyobrazena na Obr. 53.

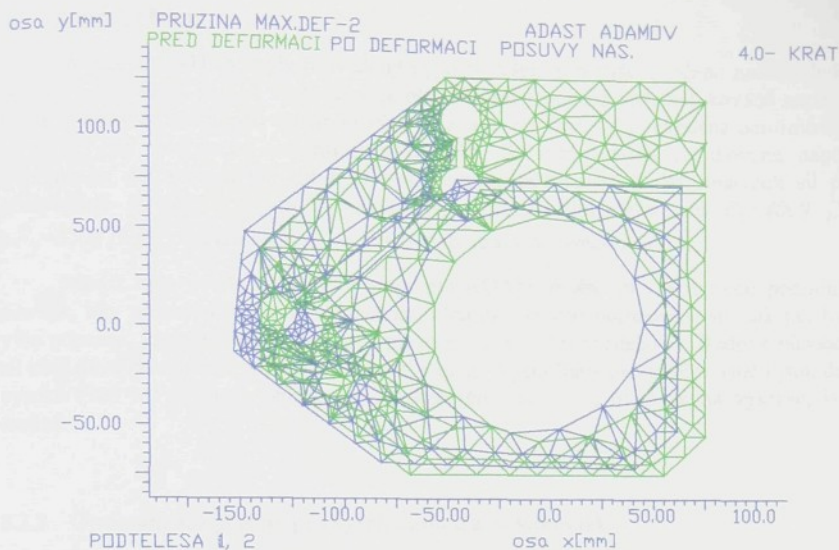


Obr. 53 Vygenerovaná síť

Namáhání desky

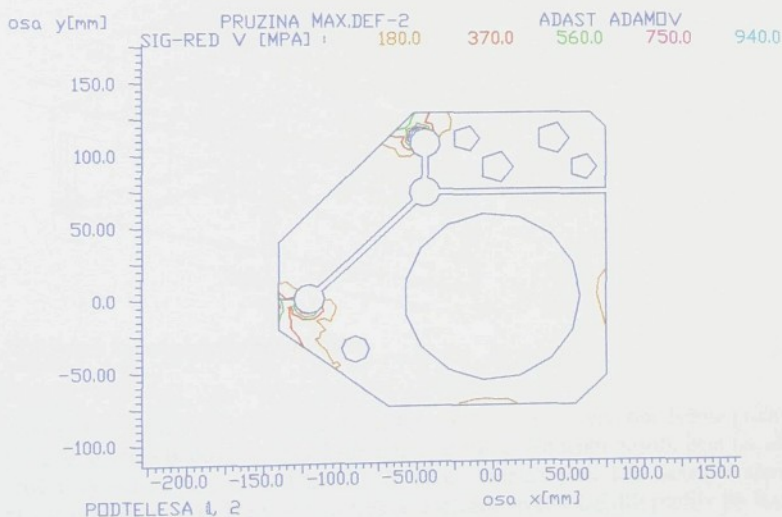
Při řešení tohoto problému nás zajímala napětí a deformace desky v předpruženém a plně zatíženém stavu. Při výpočtu programem ADAM je třeba popsat zatížení jednotlivých úseků na obryse tělesa. V našem případě byla deska upevněna zadáním nulových posunutí ve směrech x a y ve čtyřech otvorech, pomocí kterých je deska na stroji přichycena šrouby a kolíky. V prohlubních přitlačných destiček (podtělesa 4 a 5) byla zadána deformace v příslušném směru, resp. ve směru působení přitlačných šroubů. Ve směru kolmém na směr deformace byla zadána vždy nulová síla, aby byl vystižen způsob deformace přes válečky, které umožňují pohyb ve směru kolmém na deformaci. Ostatní úseky na obrysu tělesa byly zatíženy nulovým tlakem. Výpočtem je stanovena deformace desky a průběhy napětí ve tvaru uvedeném na Obr. 54 a Obr. 55. Na obrázcích jsou zobrazeny výsledky řešení pro maximální deformaci. Deformace desky je vždy přiměřeně zvětšena s ohledem na snadnější rozlišitelnost deformovaných sítí.

Dalším úkolem bylo stanovení sil, které je nutno vyvinout přitlačnými šrouby pro získání příslušné deformace. Program ADAM nemá možnost výpočtu sil ze zadané deformace. Bylo tedy nutno zatěžovat vytvořený model desky v osách přitlačných šroubů takovými silami, aby bylo dosaženo deformace, která byla stanovena předchozím výpočtem. Je zřejmé, že takovýto výpočet nebude naprosto přesný, především vzhledem k bodovému působení sil při výpočtu. Z tohoto důvodu byl výpočet proveden vždy dvakrát, avšak namísto síly byl na příslušných úsecích zadán tlak ve směru působení síly. Po dosažení potřebné deformace byla z plochy a tlaku určena výsledná síla. Porovnáním takto získaných výsledků řešení byl zjištěn maximální rozdíl 5%.



Obr. 54 Deformovaná síť

Podle požadavků zadavatele byla pružina zatížena deformací, která odpovídá předpružení pružiny, ve směru x 1,2 [mm] a ve směru y 0,6 [mm] a dále deformací odpovídající maximálnímu zatížení. Maximální deformace je zadána určitým rozmezím a výpočet byl tedy proveden pro krajní hodnoty tohoto rozsahu a to ve směru x pro 2,7 [mm] a 3,2 [mm], ve směru y 1,1 [mm].



Obr. 55 Napětí při maximální deformaci

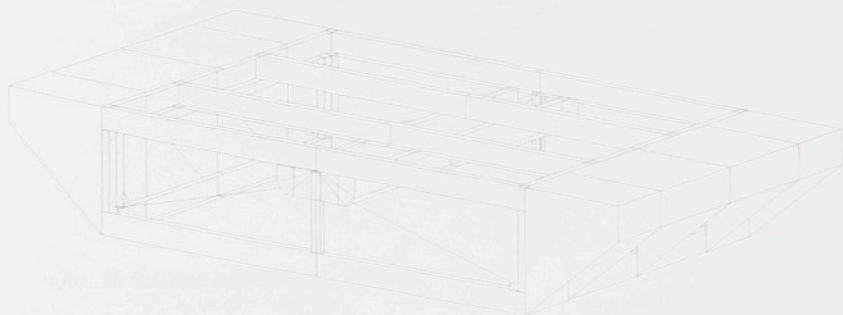
Výsledky řešení

Programem ADAM byly provedeny výpočty řešení pro výše uvedená zadání. Jedná se tedy o šest úloh, jejichž výsledkem je obrázek deformované sítě, redukovaná napětí v tělese pružiny a dále napětí v jednotlivých směrech. Na *Obr. 54* je uvedena deformovaná síť desky při maximální deformaci a na *Obr. 55* odpovídající redukovaná napětí. Porovnáním deformovaných sítí byly stanoveny rovněž velikosti deformačních sil pro předpružení $F_x=1850$ [N] a $F_y=3800$ [N] a maximální deformaci $F_x=4000$ [N] a $F_y=8500$ [N]. Podrobné výsledky s jejich rozbořem jsou uvedeny v [19].

Jak již bylo uvedeno, nelze v programu ADAM zavést jako okrajovou podmínku sílu tak, aby přesně popisovala skutečnost. Metoda výpočtu potřebných sil, tak jak byla výše popsána, zřejmě vede s uvedenou přesností k reálným výsledkům. Bodové působení sil však dává zkreslené výsledky o velikosti napětí. Vypočítaná maximální napětí jsou dost vysoká (940 MPa), ale s ohledem na zušlechtnění materiálu, uvedené na výkrese, jsou možná.

3.2.2 Optimalizace plošiny pro výtah osobních automobilů

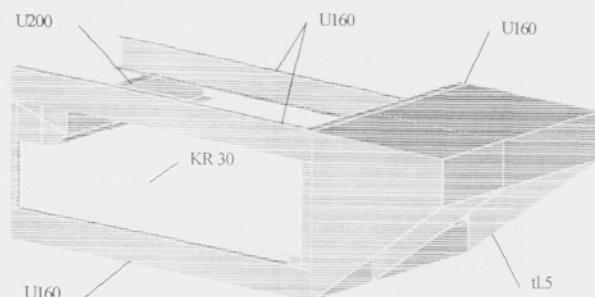
Předmětem další ukázky využití metody konečných prvků pro optimalizaci konstrukčního řešení je kontrolní výpočet konstrukce plošiny výtahu pro přepravu osobních automobilů. Jedná se o konstrukci, která se skládá z roštu svařeného z „U“ profilů a dvou nájezdů svařených z plechu. Nájezdy jsou k roštu připojeny šroubovými spoji. Zařízení má přepravovat vozidla o maximální hmotnosti 3300 kg. S ohledem na předpis platný pro obdobná zařízení je však nutno provést kontrolu pro 150% maximálního zatížení. Plošina je zvedána pomocí hydraulického válce, opřené pod těžištěm roštu. Na rozích roštu je vytvořeno vedení umožňující pohyb plošiny pouze ve svislém směru.



Obr. 56 Schéma konstrukčního řešení rámu

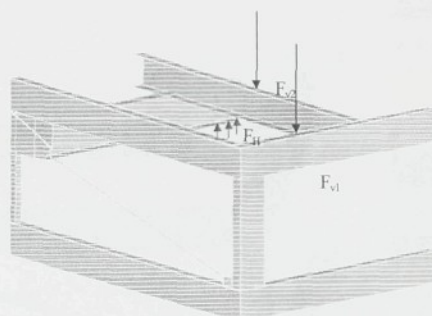
Konstrukce roštu byla navržena zadavatelem úkolu. Rošt je vytvořen dvěma příčnými profily U200, o které bude opřen píst hydraulického válce. Na tento nosník jsou navařena žebra roštu vytvořená z profilů UE160. Na obou koncích jsou tato žebra svařena s obdélníkovým rámem, přes který je konstrukce doplněna dvěma UE160 profily po bocích roštu. Na bocích roštu je konstrukce ještě zpevněna v úhlopříčkách pruty kruhového

průřezu o průměru 20 mm. Na tyto obdélníkové rámy jsou šrouby připevněny nájezdy ve tvaru „U“ z plechu tl. 5 vyztužené pěti žebry, rovněž z plechu tl. 5 (Obr. 56).



Obr. 57 Schematické znázornění výpočtového model čtvrtiny roštu s polovinou nájezdu.

Výpočet byl realizován pomocí softwarového produktu Pro/MECHANICA. Vzhledem k tomu, že se jedná o symetrickou konstrukci, byl výpočet proveden pouze pro jednu čtvrtinu tohoto roštu. Samostatně byly rovněž řešeny nájezdy. I zde vzhledem k

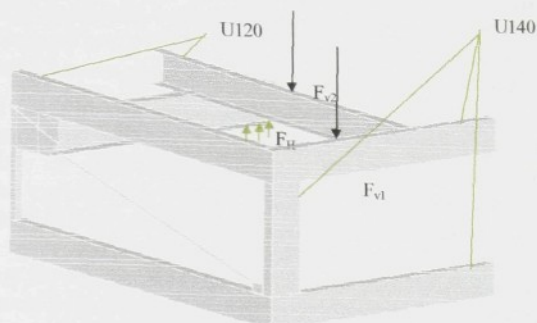


Obr. 58 Schéma zatížení rámu plošiny

symetrickému uspořádání, byla řešena pouze polovina nájezdu příslušející k řešené čtvrtině roštu. Uspřádání výpočtového modelu je uvedeno na obrázku Obr. 57. Vzhledem k tomu, že nájezd je namáhán pouze při nájždění vozidla, byl řešen samostatně. Rovněž samostatně byl řešen rošt, který je naopak namáhán až při njetí vozidla na plošinu. Nájezd zvyšuje zatížení na plošině, ale zároveň ji částečně vyztužuje.

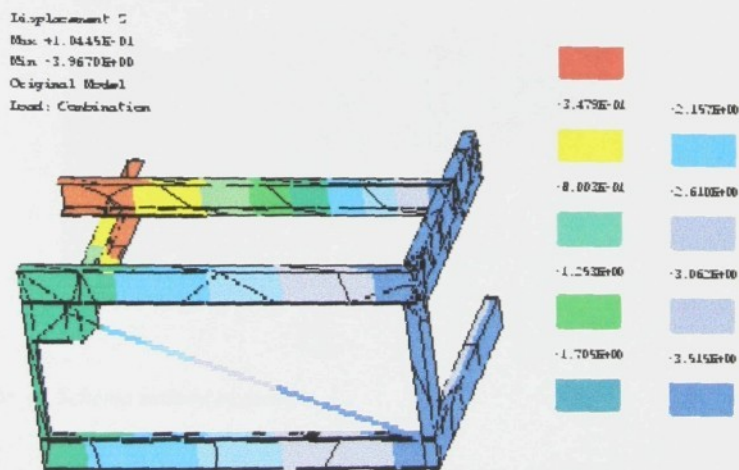
Při řešení konstrukce plošiny byl rám zatížen silou F_v odpovídající předpokládanému zatížení. Při stanovení tohoto zatížení se vycházelo z předpokladu, že více zatížená náprava

bude přenášet dvě třetiny celkového zatížení. Vycházíme-li ze zadaného max. zatížení 3300 kg, bude více zatížená náprava zatížena hmotností 2200 kg.



Obr. 59 Schéma upraveného rámu

Vzhledem k tomu, že je řešení provedeno pro čtvrtinu rámu s ohledem na jeho symetrii a dále k požadavku na 150% zatížení, bude výsledná síla od kola automobilu zatěžující výpočtový model 16 500 N. Podepření rámu je na Obr. 58 znázorněno silami F_H . Proto byl výpočet proveden jednak pro sílu F_{v1} , kdy bude rošt namáhán největším ohybovým momentem, a dále pro sílu F_{v2} , kdy bude nejvyšší namáhání podélných profilů.



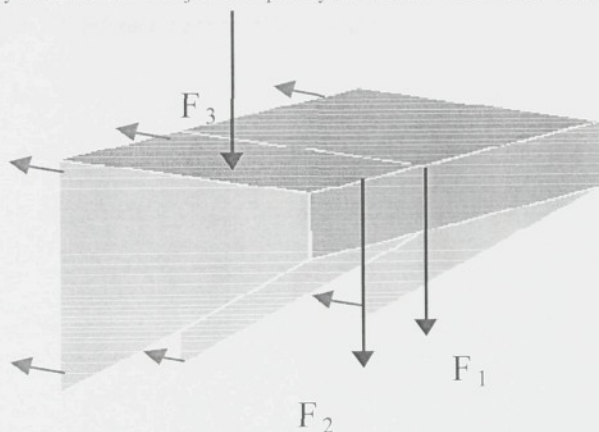
Obr. 60 Deformace zatíženého rámu

Konstrukce roštu byla navíc zatížena hmotností nájezdu, který představuje přidavné zatížení silou cca 1000 N. Při výpočtu navrženého konstrukčního řešení byla po zatížení stanovena maximální deformace rámu. Maximální spočtená deformace ve svislém směru na volném konci rámu nepřesahuje hodnotu 5,3 mm. Ukázalo se rovněž, že relativně velkou část zatížení přenáší úhlopříčná výztužná tyč z profilu kruhového průřezu. Výsledné napětí v tomto profilu je 108 MPa. Napětí v ostatních místech konstrukce je téměř

zanedbatelné. Vzhledem k požadavku zadavatele úkolu, týkající se optimalizace navrženého řešení, byla provedena úprava konstrukce (Obr. 59). Příčný profil U20 byl ponechán, podélné profily UE160 byly změněny na UE120 a profily rámu, na který je uchycena konstrukce nájezdu, byly zmenšeny na UE140 a namísto výztužné kruhové tyče byl použit obdélníkový profil 12x40. Po provedení výpočtu byla stanovena max. deformace ve svislém směru 5,2 mm a maximální napětí ve výztuži se zmenšilo na 87 MPa.

Při řešení nájezdu bylo nutno určit reakce v místech uchycení šrouby. Proto byly zvažovány tři možnosti zatížení. Jednak na nájezdové hraně v místě žebra (F_1) a mezi žebry (F_2) a dále na ploše mezi žebry (F_3). Při výpočtech se vycházelo ze stejných předpokladů jako v předchozím případě. Zatěžující síla byla tedy 16 500 N. Výpočtem bylo nutno určit maximální deformace nájezdu a maximální reakce v místech uchycení. Pro výpočet reakcí bylo použito síly F_1 , resp. F_2 (Obr. 61). Deformace při tomto zatížení vzhledem k tomu že, síly působí v místě žeber, byly zanedbatelné, max. 0,17 mm. Reakce v místech uchycení byly rozdílné, maximální reakce namáhající šrouby na tah však byla 8000 N a napětí max. 40 MPa. Z hlediska těchto reakcí a vypočítaných napětí je konstrukce vyhovující. Situace se však zásadně zhorší, použijeme-li při výpočtu sílu F_3 . V tomto případě vyrostou deformace horní nájezdové plochy na hodnotu 26 mm a napětí na cca 1000 MPa, což jsou hodnoty, které nelze připustit.

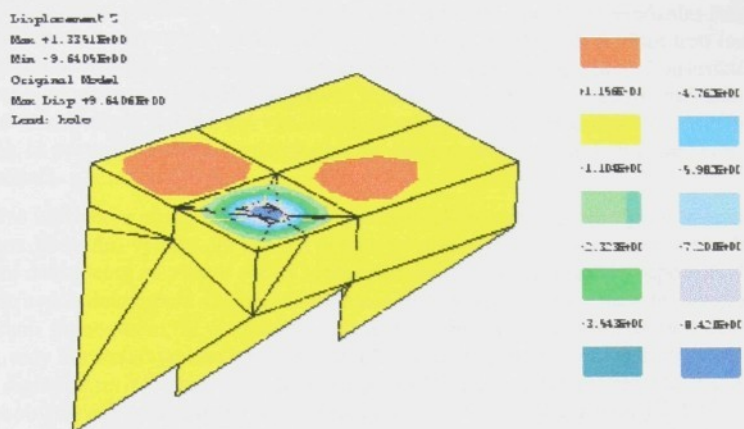
S ohledem na požadavek optimalizace byly provedeny některé úpravy. Tloušťka plechu byla mimo horní nájezdové plochy zmenšena z 5 mm na 4 mm a konstrukce byla



Obr. 61 Schéma zatížení nájezdu

doplněna po délce nájezdu jedním žebrem. Výška žebra byla 125 mm a tloušťka rovněž 4 mm. Zatěžující síla byla přesunuta do středu plochy mezi žebry. Touto úpravou se dosáhlo snížení deformací na hodnotu max. 9 mm a napětí na hodnotu 580 MPa (Obr. 62). I přesto jsou vypočítané hodnoty dost velké. Lze však předpokládat, že skutečné zatížení koly vozidla bude ve větší ploše a reálné napětí bude tedy nižší. Dalšího zlepšení by se dosáhlo doplněním konstrukce dalšími žebry. Jak vyplývá z uvedených výpočtů, má konstrukce rámu jisté rezervy a je možno navrhnout optimální řešení za účelem snížení hmotnosti rámu. V konstrukci nájezdu je možno snížit tloušťku plechu žeber což by rovněž

vedlo ke snížení hmotnosti. Avšak pro zabezpečení potřebné tuhosti nájezdu je nutné jeho doplnění dalšími žebry. Podrobné zhodnocení výsledků je uvedeno např. v [21].



Obr. 62 Deformace upraveného nájezdu

4 3D PERIFERIE

3D periferie v našem pojetí nejsou žádným módním hitem, ale seriózním řešením praktických potřeb uživatelů - profesionálů v oblasti CAD/CAM. Zde je dnes třetí rozměr naprosto samozřejmým pojmem a stále dokonalejší nástroje umožňují konstruktérům navrhovat a modelovat v člověku intuitivně blízkém prostoru - ve třech rozměrech. Jak známo, svět kolem nás se i bez nás vyvinul do tří reálných rozměrů, a je proto samozřejmé, že člověk si postupně s dostatkem tvůrčích nástrojů vytváří obdobný virtuální svět i ve svém počítači.

Pro každého z nás je běžné, že při vytváření jakéhokoli významnějšího dokumentu provádíme kontrolní výtisky. Je pro nás přirozené přesvědčit se o správnosti a vhodnosti provedení dokumentu na vlastní oči - v reálné podobě. Stejně tak se nikdo nepozastaví nad tím, že do svých dokumentů vkládáme informace (jedno, zda obrazové nebo textové), které jsme získali skenováním, tj. z existující reálné předlohy. A stejně důležité jsou obdobné procesy, tedy kontrola výrobku v reálné podobě (prototyp, případně malosériové využití) a naopak digitalizace informací z existujících předmětů i pro CAD projektanta. Ve 3D je řešení obou procesů pochopitelně nesrovnatelně komplikovanější a náročnější. I když jsou v současné době k dispozici výborné 3D designerské systémy, nedá se v dohledné době počítat s tím, že se nebudou ve fázi návrhu nového produktu využívat fyzikální modely a prototypy. V této souvislosti je však velmi důležité, aby byla maximální měrou urychlena jejich výroba. Kdo přijde na trh pozdě, ocitá se snadno v roli nešťastníka dohánějícího peloton. Každý týden zpoždění může znamenat bezprostřední finanční propad při uvádění nových výrobků. Je proto nutno hledat nová řešení k urychlení cesty mezi CAD návrhem a finálním výrobkem. Řešením, které má přívlastek rychlý přímo v názvu, jsou technologie označované jako rapid prototyping (rychlé prototypování).

Prostorový model je při tomto procesu vytvářen přímo podle dat, která přicházejí z počítače a na rozdíl od modelování na NC frézce, vzniká 3D objekt obvykle postupným přidáváním materiálu namísto jeho odebrání. Rapid prototyping je možno realizovat několika technologiemi, jejichž společným jmenovatelem je využití laseru, respektive UV záření pro vytváření nebo tvrzení jednotlivých vrstev modelovacího materiálu. Jednotlivé technologie rapid prototypingu jsou označovány jako:

- stereolitografie,
- výroba objektů laminováním,
- solid ground curing (SGC),
- selective laser sintering (SLS),
- fused deposition modelling (FDM).

Nejpřesnější z uvedených metod je stereolitografie, při které se vytváří model postupným vytvrzováním fotopolymeru (plastické hmoty citlivé na světlo) pomocí UV laseru, který je na základě dat přicházejících z počítače směřován poměrně složitou optickou soustavou. Stereolitografie je nejstarší z technologií rapid prototypingu a kromě už zmíněné přesnosti vyniká také velkým množstvím použitelných materiálů. Její nevýhodou je především pomalý proces tvrzení polymeru a také malá tepelná odolnost vzniklého modelu. Naopak velmi pevné jsou modely vyrobené nejnovější metodou selective laser sintering, při kterém je laserovým paprskem spékán do určitého tvaru

nylonový, voskový nebo kovový prášek. Oproti předchozím metodám, které pracují relativně pomalu, je pro rychlé zhotovení prototypu vhodná technologie laminátové výroby, při níž se model sestavuje z mnoha vrstev papíru nebo plastu, které jsou oříznuty do správného tvaru laserem. Velmi zajímavým kompromisem odolnosti modelu, rychlosti a přesnosti tvorby je pak poslední uvedená metoda FDM. Tato zařízení jsou určena pro rychlou výrobu fyzického prototypu přímo na základě CAD informací. Modely a prototypy se vytvářejí extruzní metodou (narůstáním) krok po kroku z různých netoxických termoplastů nebo vosků. Z tohoto důvodu může být zařízení využíváno také v běžném kancelářském prostředí, neboť byla odstraněna práce s toxickými materiály a s citlivými zařízeními pro laserové snímání. Všechna zařízení FDM se vyznačují malými rozměry, při kterých se však mohou vyrábět plastové díly až do rozměru 508 x 610 mm. Pro modelování metodou FDM musí být konstrukční modely vytvořené v CAD aplikacích nejprve rozřezány pomocí tzv. Slice - Software. Jeho výstupní formát STL obsahující údaje o jednotlivých vrstvách může být poté přímo naprogramován do modelovacího zařízení. Zde je polotekutý termoplastický materiál vytlačován tryskou na plochu do tvaru daného řezu modelem, který je vytvářen po tenkých, po sobě následujících vrstvách. Když je jedna vrstva dokončena, model poklesne o její výšku a začne se vytvářet vrstva nová. Výška vrstvy se pohybuje obvykle okolo 0.25 mm, může však klesnout až na 0.05 mm. Dosažitelná přesnost dílce u této metody činí podle zkušenosti ± 0.13 mm. Opakovaná maximální přesnost udávaná výrobcem je ± 0.025 mm. Jako vstupní mohou být zpracována IGES, VDAFS nebo DXF data, která po převedení do STL formátu a zpracování procesem Slice jsou přímo využita k výrobě modelu. Software také automaticky vytvoří podpůrné konstrukce. Rozhodující výhodou této technologie je relativní rychlost a operativnost. Protože nejsou potřebné žádné dodatečné úpravy, může konstruktér rychle a jednoduše vyhotovit rozličné verze návrhu součástky pro designové a funkční studie. Metoda pracuje při relativně nízkých teplotách a to podle typu materiálu mezi 70 až 140 °C. Protože se nemusí pracovat ani s toxickými chemikáliemi, ani s laserem nebo tekutými polymery, je tato metoda zcela vhodná i do kancelářského prostředí. Nemusí se manipulovat s práškovými materiály ani není potřebné dodatečné čištění nebo vytvrzování. Odpadají problémy s látkami ohrožujícími životní prostředí. Zařízení pracuje zcela automaticky bez obsluhy, takže může být v chodu přes noc nebo přes víkend, čímž je postaráno o dobré vytižení zařízení. V současné době mohou být použity v technologii FDM následující materiály:

- Plast ABS - Nejčastěji používaným materiálem pro výrobu prototypů je ABS. Jedná se o velmi pevný materiál, který se především hodí pro výrobu technických funkčních vzorků. ABS splňuje důležité technické požadavky jako je rázová pevnost, houževnatost, tepelná a chemická odolnost.
- Vosk pro přesné odlévání - Tento materiál se dá velmi dobře dále zpracovávat běžnou metodou přesného lití a umožňuje dosáhnout velmi dobré kvality povrchu (povrchový vzhled). Právě proces přesného lití je podstatnou výhodou metody FDM, protože zařízení umožňuje vyrobit tzv. ztracená jádra bez předcházejících mezikroků.
- Plast MABS - Metylmetakrylát-akrylonitril-butadien-styrén nalézá uplatnění ve zdravotnictví. Odolává sterilizaci gama paprsky a je dobře chemicky odolný.
- Elastomery podobné polyolefinům - Od poloviny roku 1996 jsou tyto materiály dostupné i pro metodu FDM. Některé z nich vynikají zvýšenou teplotní odolností.

Specifická a poměrně nákladná zařízení rapid prototypingu si cestu do našich konstrukčních kanceláří teprve hledají. Nespornou výhodou, mimo výše uvedené vlastnosti je i možnost nasazení těchto 3D printerů přímo do kancelářského prostředí díky použití bezpečných materiálů, velmi tichého, bezprašného a bezpečného způsobu modelování. Rovněž na Strojní fakultě TU v Liberci je vyvíjena snaha o získání takového zařízení, které by výuku konstruování pomocí technologií 3D modelování opět vyzvedlo na vyšší úroveň. Snahy o získání grantových prostředků na takové zařízení případně nákup staršího použitého zařízení zatím ztroskotávají.

Další technologii, která do této oblasti patří, je i tzv. reverzní inženýrství. Jedná se o oblast, ve které se spojuje svět fyzických prototypů a designérských studií s virtuálním světem počítačových modelů. Dobrý design nově uváděného výrobku na trh, je v dnešní době stejně tak důležitý jako je jeho zaručená funkčnost. Navzdory rozvoji 3D CAD systémů zůstává stále řada prvotních návrhů designérů a výtvarníků realizována klasickou cestou, tzn. ručně zhotovenými modely. Dnešní technologie a materiály umožňují designérům realizovat velmi komplexní geometrické tvary výrobků, které byly před nedávnem jen stěží vyrobitelné. Pro vývojové týmy, vybavené prostředky 3D modelování tak vzniká nemalý úkol, jak rychle a věrohodně přenést geometrii fyzického návrhu do digitálního modelu pro další inženýrské posouzení. Ve své podstatě se jedná o technologii, která si klade za cíl převést informace o fyzickém objektu do podoby trojrozměrného počítačového modelu, na kterém pak mohou být prováděny rychle a efektivně další úpravy. Takovýto způsob modifikace již hotového fyzického modelu je při dnešním tempu výroby jednoznačně nejrychlejší a mnohdy i nejlevnější, obzvláště tehdy, jedná-li se o úpravy rozsáhlejšího charakteru. Při určitých vývojových úkolech se v mnoha případech jedná o jedinou možnou cestu.

Proces reverzního inženýrství volíme, máme-li jako vstupní hodnotu:

- fyzický model, například dílo výtvarníka, část lidského těla apod.,
- součástku, například konkurenční dílo, které chceme kopírovat nebo modifikovat,
- nástroj, opotřebený nebo nový, u kterého došlo k poruše a požadujeme obměnu,
- specifický případ, kdy máme například dopracovat součást ve vztahu k okolí, které není geometricky definováno,

Technologie snímání dělíme:

- podle rychlosti, která je závislá na metodě snímání a rozděluje proces na digitalizaci a skenování,
- podle dotyku, kdy snímáme buď kontaktními nebo bezkontaktními metodami,
- podle zařízení, kdy použijeme speciální skenovací stanici nebo standardní CNC obráběcí stroj se skenovací hlavicí, eventuálně sondu vodíme rukou.

Každé takové zařízení je ovládáno počítačem, který řídí proces snímání a zabezpečuje zpracování dat až do určité fáze. Pokud jsme spojeni s řídicím systémem stroje, počítač přebírá většinu jeho funkcí - řídicímu systému zůstane přenesení informací na pohony stroje. Případné zpracování modelu na velkém CADu následuje vždy až po sběru dat a tak CAD aplikace nastupuje v závěrečné fázi celého procesu. Software dodávaný výrobcí měřicích a skenovacích strojů nabízí většinou mnoho funkcí pro editaci

nasnímaných informací a jejich export, je ale nutno se s nimi důkladně seznámit, protože poskládání bodů do VDA nebo IGES ploch může být úskalím. Správné strategii digitalizace se nelze naučit bez praxe, nelze ji vyčíst. Nejlépe vstřebávají problémy 3D skanování a reverzního inženýrství lidé, kteří pochopili stavbu a budování těles systémem ploch v některém z CADů. Strategie sejmутí tělesa pomocí nasnímaní dílčích celků tělesa je totiž vždy nejlepší metodou, která je velmi podobná stavbě plochy reprezentující určitou část tělesa. Odpadnou i následné problémy při zpracování v CADu. Vlastní skanovací stroj nabízí jen metody snímání. Rozdělení tělesa na části, upnutí, určení polohy pro měření každé části a hustotu bodů musí udělat člověk. Můžeme mluvit o štěstí, pokud se podaří sejmout komplikovaný model najednou. Pokud musíme kus otáčet, je nutné přesné polohování a ustavení pro složení modelu zpět. Pustit sondu na téměř kolmou stěnu rovnoběžně s hranou je nesmysl. Proto výsledky některých projektů nejsou dobré, a proto firmy, které mají tuto technologii dostatečně zvládnutou, si své znalosti velmi hlídají.

Technologicky náročné řešení procesu reverzního inženýrství nabízí ve většině případů velmi renomované firmy, k nimž bez pochyby patří i francouzská firma Kréon Industrie. Ta ve spolupráci s Matra Datavision (výrobce CAD systému STRIM) nabízí komplexní technologii rekonstrukce povrchů jako ucelené řešení orientované do oblasti rekonstrukce povrchů rozsáhlých a tvarově složitých součástí. Právě vzhledem ke specializaci na snímání velkých a členitých povrchů není možné při tomto řešení použít pro digitalizaci klasický kontaktní princip snímání, ale bezkontaktní technologii založenou na snímání odrazu laserového paprsku CCD kamerou. V porovnání s kontaktními způsoby digitalizace se jedná o podstatně nákladnější řešení, které je však o řád rychlejší (především při scanování složitých tvarů, kde je u kontaktních scannerů nutno snižovat rychlost posuvu pro zvýšení hustoty snímaných bodů) při zachování stejné nebo dokonce vyšší přesnosti. Dalšími výhodami bezkontaktní digitalizace laserovými sondami je její možnost digitalizovat bez předchozí úpravy i takové materiály, jako jsou měkký polyuretan, sklo nebo křehké materiály. Tento způsob digitalizace je využíván v automobilovém, leteckém a plastikařském průmyslu (výroba forem), při designérských návrzích, ve zdravotnictví (zubní protězy a protězy vůbec), při získávání podkladů pro animace apod.

Celá technologie Kréon se skládá ze dvou částí. Ze snímacího zařízení schopného snímat až 15000 bodů za vteřinu a ze softwarové aplikace, která tyto body zpracovává a vytváří korektní rekonstruované plochy. Proces digitalizace je založen na "triangulární laserové rovině" promítané na povrch součástí. Tak vzniká řezová křivka, jejíž délka je podle typu snímací hlavy 25 nebo 75 milimetrů. Na jeden snímací cyklus, který se podle druhu snímaného materiálu opakuje jednou až dvacetkrát za vteřinu, je zaznamenána jedna řezová křivka rozdělená na 600 bodů. Množství zaznamenaných bodů se tak pohybuje v rozmezí 600 - 15000 za jednu sekundu. Stereoskopické snímání promítané roviny pomocí dvou CCD kamer zajišťuje kvalitní a detailní zaznamenání digitalizovaných bodů ze všech úhlů, čímž odpadá problém zastíněných ploch. Přesnost digitalizace se pohybuje podle použité snímací hlavy v oblasti 10 - 45 mikrometrů. Laserovou snímací hlavu spolu s řídicí elektronikou lze připojit v podstatě k libovolnému CNC stroji. Jako nosič poslouží buď tři, čtyři nebo pětiosý obráběcí stroj, měřicí stolice nebo speciální polohovací zařízení s více stupni volnosti. Řídicí jednotka zabezpečuje komunikaci mezi laserovou snímací hlavou, řídicím systémem stroje a počítačem, který vyhodnocuje a ukládá digitalizované body. Mozkem celého zařízení je tzv. Reporter software, který provádí zpracování informací získaných senzorem, generování bodů a jejich vizualizaci. Software umožňuje provádět na digitalizovaných bodech drobné úpravy, zrcadlení a změnu měřítko. Lze též provádět rychlou digitalizaci a přímo generovat NC programy.

Vygenerované soubory bodů je možno exportovat do mnoha různých formátů běžně čitelných nejrozšířenějšími CAD systémy.

Ze získaných souborů bodů je nyní nutno efektivním způsobem a s požadovanou přesností zrekonstruovat plochu, což je asi nejnáročnější. Velmi účinný nástroj pro tuto činnost nabízí integrovaný CAD/CAM/CAE systém STRIM, jehož modelář umožňuje velice elegantní a efektivní metodu rekonstrukce povrchů. Aplikace načte získané soubory bodů, které mohou být i velmi objemné (až miliony bodů). Z načtených bodů systém automaticky vytvoří jakousi předběžnou plochu, na které rozpozná ostré hrany, zaoblení nebo šikmé plochy. Na této získané ploše pak uživatel v interakci se systémem vytváří charakteristické křivky, které napomáhají lepšímu a přesnějšímu definování rekonstruovaného povrchu. Z vyhlazených křivek je vytvořena síť, do které systém generuje povrchový model. V konečném stadiu lze provést optimalizaci získaných tvarů. Výchozím prvkem pro tuto činnost je barevná mapa odchylek vygenerovaného povrchu od sítě původních bodů. Optimalizovaný model tvořený výhradně z Beziérových patchů vyššího řádu je pak plně modifikovatelný v povrchovém modeláři. Podle potřeby lze tento modul doplnit o vhodný interface a upravený CAD model exportovat do výstupů pro stereolitografii a tímto způsobem rychle a jednoduše vytvořit nový fyzický model.

Společným prvkem všech systémů je digitalizace na principu triangulární laserové roviny (stejně jako u Kréonu) promítané na povrch skenované součásti. Plocha vytvořená laserovým světlem se projeví na snímaném povrchu jako tenká červená linka, která je snímána pomocí kombinovaného CCD čidla. To umožňuje současné a precizní snímání a měření mnoha bodů při zachování vysoké přesnosti.

5 MODERNÍ PREZENTACE KONSTRUKČNÍ PRÁCE

Nad důležitostí mezilidské komunikace se není třeba dlouze pozastavovat. Již dávno je pryč doba, kdy se prezentace připravovali téměř výhradně v “papírové” formě. Příprava takových materiálů byla velice pracná a vzhledem k často se měnícím informacím také neefektivní. Díky rozvoji počítačového softwaru máme možnost si práci značně ulehčit a prezentaci doplnit o objekty, které se ještě nedávno zdály jako téměř nemožné. Velice jednoduše ji můžete obohatit o obrázky, grafy, zvuky či videosekvence. Díky spojení všech typů informací (multimediální prezentace) upoutáte účastníky tak, že si odnesou daleko větší množství sdělených informací. Naplnění tohoto trendu však není vůbec snadná záležitost, neboť kvalita vizuálního sdělení je přímo závislá na kvalitě zařízení, které optickou informaci vytváří. Se vzrůstajícím počtem informací, které je třeba zobrazit a vizuální cestou předat, přestávají tradiční prostředky obrazové komunikace mnohdy splňovat svůj účel a je třeba přistoupit k hledání jiných, alternativních možností se zcela jiným principem. Ať už se jedná o komunikaci při řízení a monitoringu procesů, nebo problematice sdělení při prezentacích, školeních a poradách, narazíme určitě při přemýšlení o možnostech řešení vizuální komunikace na některé z moderních způsobů obrazové komunikace. Patří mezi ně informační tabule a panely, zpětné projektory, vizualizéry, velkoplošné obrazovky a telestěny, velkoplošné projekční systémy z LCD panelů a LCD nebo CRT projektorů. Nastává tedy otázka jak co neefektivněji přinést připravené materiály většímu počtu posluchačů. A právě toto je úlohou velkoplošné projekce.

5.1 Zpětné projekторы

Tradičním prostředkem prezentace, se kterým se setkala většina z nás už ve školních lavicích jsou zpětné projekторы. Přestože by se někomu mohlo zdát, že na tomto zařízení s poměrně jednoduchým principem už není co zlepšovat, není to tak docela pravda. Jednou ze zásadních změn bylo prosazení malých a lehkých zpětných projektorů s horním zdrojem světla a reflexním principem projekce (žárovka nebo výbojka je nahoře u objektivu a světlo se odráží od zrcadla pod průsvitnou předlohou). U těchto projektorů totiž odpadla nutnost aktivního chlazení a tím i hluk obtěžující při prezentaci a díky svým malým rozměrům a hmotnosti kolem 5 kg se staly nezbytnou pomůckou každého prezentátora, který se rozhodl obejít bez on-line prezentace počítačových dat.

Paradoxně právě rozmach prezentace dat z počítače způsobil další zásadní krok kupředu i u zpětných projektorů. Vzhledem k tomu, že stále více prezentací stejně v počítači vznikalo, začalo být nesmyslné prezentaci připravenou v počítači tisknout na fólie a pak promítat. Ve světě, kterému vládnu informační technologie, začalo být také samozřejmě prezentovat dynamická data nebo data, jejichž tisk na fólie není vhodný (plnobarevné snímky, obrazovky Windows...). Kupodivu však zpětné projekторы nerezignovaly, ale nabídky zajímavé řešení ve spojení s LCD panely. Ty však požadovaly od zpětných projektorů daleko vyšší světelný výkon než projekce fólií. Rovněž velké množství tepla, které mohutný světelný zdroj zpětného projektoru produkuje nebylo pro choullostivý LCD panel přijatelné. A proto se objevily speciální projekторы “LCD ready”, které jsou vybaveny několika halogenovými nebo v lepším případě metal-halidovými výbojkami, mají víceočkovou optiku a výkonnější modely už

se pro projekci pomocí fólií příliš nehodí, neboť pro ně nabízejí příliš velký světelný výkon. Přiměřeně ovšem stoupla i jejich cena

5.2 LCD projektory

Jedním z typů projekčních systémů vhodných pro tyto aplikace je LCD projekce. Jedná se zřejmě o nejstarší technologii. Od té doby došlo k mnohým inovacím ve výrobních technologiích a kvalita i nabídka dostupných zařízení několikanásobně vzrostla. Kvalitu a spolehlivost projektoru lze těžko vyjádřit v číslech, ale jestliže uvažujeme o koupi takového zařízení, budou nás zajímat i parametry, jako je světelný výkon, rozlišení, velikost obrazu, mobilita, komfort ovládání a v neposlední řadě také cena.

Prezentační technika není ve světě sdílení informací zdaleka takovou novinkou jako moderní síťové technologie nebo nové telekomunikační systémy, a není ji proto také dopřáno tolik popularity a prostoru v médiích. To však nic nemění na skutečnosti, že s prudkým rozvojem technických možností projekční techniky, pádem cen a se všeobecným rozšířením počítačové techniky se i tato oblast dostává na výsluní zájmu uživatelů. Mnohým firmám a institucím totiž přestává být "jedno" jak a čím prezentují sebe a výsledky své práce a nabývá u nich na významu kvalita komunikace s vlastními zaměstnanci, s obchodními partnery, se svými zákazníky. Absolutní většinu svých vjemů a poznatků o okolním prostředí vnímáme prostřednictvím zraku. Naše oko je nesmírně citlivý nástroj s neuvěřitelnou rozlišovací schopností, která je do značné míry omezována jen kapacitou našeho mozku neschopného zpracovávat tak obrovský datový tok. Většinu informací v mnoha oblastech lidské činnosti, ať už se jedná o výrobní a řídicí procesy, obchodní sféru, školství a výcvik nebo kulturní sféru, není možné předat jiným způsobem, než právě obrazem. Je proto více než logickým trendem v komunikaci, dávat vizuální informaci stále větší prostor.

Spektrum těchto zařízení je i na našem trhu velmi bohaté a mnohdy nebývá snadné se v tak široké nabídce orientovat.

5.3 Velkoplošné monitory

Zařízením, které má podobně jako LCD panel a LCD nebo CRT projektor své nezastupitelné místo ve spektru vizualizační techniky, jsou velkoplošné monitory. Monitory jsou bezkonkurenční při nasazení v místech s vysokou hladinou okolního osvětlení a tam, kde je požadována extrémní ostrost a kontrast obrazu. Kvalita obrazu je bezesporu nejlepší ze všech dostupných alternativ. Omezení tkví v dosažitelné velikosti obrazu. Velkoplošný monitor o úhlopříčce 39" je velmi drahé a robustní zařízení, a přesto poskytuje jen zlomek obrazové plochy nabízené projektory. Spolupráce několika monitorů přes splitter je možná, výsledná sestava však díky nezbytným velkým okrajům nikdy nedosáhne takové kompaktnosti jako kombinace projektorů nebo retroprojektorů. Možnosti zpracování vstupního signálu jsou většinou stejné, poskytované maximální rozlišení je někde mezi technologiemi LCD a CRT.

V aplikacích řízení a monitoringu jsou dnes v praxi nejčastěji užívaným způsobem vizualizace informační tabla, která jsou však rovněž poměrně nákladná a poskytují zlomek informace v porovnání se všemi ostatními technologiemi. Přenos informací je velmi

statický, spolupráce s počítačem, videem a dalšími obrazovými zdroji je daleko za obzorem možností tabla. Jedná se o zastaralou technologii, u níž lze za výhodu považovat snad značnou robusnost, někdy nezbytnou pro nasazení v agresivnějším průmyslovém prostředí.

6 INTERNET/INTRANET V KONSTRUKČNÍ PRÁCI

Internet je fenomén, který se v dnešní době skloňuje ve všech pádech v různých oblastech našeho života. V nedávné době jsme o širším uplatnění Internetu v každodenním životě slyšeli většinou ve vztahu ke kolébce Internetu, USA. V tehdejší ČSFR se Internet uchýtil pouze na některých vysokých školách. Dnes se běžně s tímto pojmem setkáváme v denním tisku, rozhlase i televizi. Na různých reklamách se objevují internetovské adresy nejen firem zabývajících se vším možným, ale i např. kulturních a sportovních pořadů. Svoje adresy na Internetu má řada měst, politické strany, cestovní kanceláře, rekreační střediska atd. Řada informací je dnes na Internetu přenášena on-line. Běžný je dnes přenos aktuálního počasí z horských rekreačních středisek apod. Pro toho, kdo se dnes naučil využívat služby Internetu, kterých je dnes celá řada, je jejich využívání nepostradatelnou součástí života. Mezi základní služby dnes patří:

- **Telnet** umožní emulaci unixového terminálu pod jiným operačním systémem. Pomocí tohoto programu je možno využít osobní počítač k přihlášení k vzdálenému počítači. Dnes je tento software běžnou součástí většiny operačních systémů.
- **FTP** Služba sloužící k přenosu souborů mezi počítači. V začátcích Internetu bylo FTP jediným prostředkem pro získávání souborů z internetovských archívů, s její pomocí tedy uživatelé získávají data do svého počítače. Program pro službu FTP je dnes rovněž součástí vybavení operačních systémů počítačů, např. MS Windows a Unix.
- **Elektronická pošta** slouží ke vzájemné komunikaci uživatelů po počítačových sítích. Jedná se o službu, která se díky svým přednostem dostává na jedno z předních míst mezi komunikačními systémy.
- **Vyhledávací služby** (Archie, NoseyParker,...) Služba Archie dokáže hledat v FTP archívech. K Archie přistoupíme za pomoci telnetu. Archie na základě našich požadavků provádí hledání souborů v FTP archívech. Vypíše adresy serverů a umístění nalezených souborů v nich a pošle výsledky posledního hledání na zadanou adresu pomocí elektronické pošty (okénko telnetu nemusí být dost dlouhé, aby byly vidět všechny výsledky). Pro pohodlnější přístup jsou k dispozici Archie klienti, ale dnes je možné ještě další řešení prostřednictvím WWW rozhraní, které je o hodně pohodlnější, prakticky se neliší od moderních hledačů. Typ hledání vybereme ze seznamu, klíčové slovo napíšeme do vstupní řádky a hledání může začít. Českou obdobou služby Archie je liberecký NoseyParker. Specializuje se na české FTP servery a umí tolik, co jeho kolega Archie. Stejně jako on podporuje přístup skrze telnetovské připojení i přes WWW bránu.
- **Gopher** relativně zastaralá služba postavená na propojení mezi dokumenty za pomoci odkazů. S touto vymožeností přišla právě internetovská služba Gopher. Gopher pracuje s textovými dokumenty, obrázky, binárními soubory. Jsou uspořádány do struktury menu. Po přechodu na jednu z položek menu se objeví další menu nebo příslušný dokument.

Každý, kdo používá elektronickou poštu, tzv. E-mail, vidí její nesporné přednosti oproti např. klasické poště nebo komunikaci pomocí telefonu. Spočívá především

v rychlosti přenášných informací (dopis pomocí E-mailu je přenesen k adresátovi za několik sekund téměř z libovolného místa na zeměkouli) a dále především ve formě použití. Existuje samozřejmě řada dalších služeb, které nám jsou prostřednictvím Internetu nabízeny. Jednou z nejrozšířenějších je dnes služba **World Wide Web**. Klasické služby tedy dosud stále žijí, ale pod vládou WWW, jak se tato služba dnes označuje. Jeho významným rysem je především jeho grafické rozhraní. Používání se redukuje na radu "Jdi na URL to a to, tam se dozvíš víc". Pro ostatní služby Internetu existují rovněž grafičtí klienti, WWW přístup je ale ještě jednodušší a intuitivnější. Vývoj směřuje k integraci všech služeb Internetu do jediné, a tou je WWW s jeho dynamickými možnostmi. Data soborů, které se zobrazují pomocí prohlížečích programů na Internetu, jsou ve formátu „html“. Jedná se o jednoduchý formát dat, s jehož pomocí lze popsat textové i grafické informace. Řada softwarových firem využívá tento formát ve svých produktech pro systémy nápovědy apod.

Dnes má Internet rovněž své místo v konstrukční práci. Dnešní činnost konstruktéra často spočívá v zakomponování hotových součástí stroje do jeho celkového konstrukčního řešení. A to nejen klasických normalizovaných dílů, jako jsou např. ložiska, spojovací materiál, motory apod., ale dnes vyrábí řada firem např. speciální převodové skříně, spojky, hydraulické a pneumatické prvky apod. S rozvojem Internetu a především služby World Wide Web nabízejí výrobci těchto komponentů své produkty na Internetu. Konstruktér má tedy možnost nejen vybrat pomocí Internetu nejvhodnější díl pro jeho potřeby, ale je možno tento díl prostřednictvím Internetu i objednat. Na WWW stránkách jsou běžné základní strojírenské informace, v databázích firem jsou k dispozici výkresy nabízených prvků, které má možnost konstruktér pouze převzít do svého výkresu. Nezanedbatelná je i možnost publikování na Internetu.

V poslední době se v souvislosti s Internetem hovoří o dalším prvku, Intranetu. Pod slovem Intranet se skrývá informační systém podniku (organizace), který funguje na stejných principech jako veřejný informační systém známý jako Internet. Intranet představuje určitou revoluci v informačních systémech. Jejich základní společná vlastnost je jednoduché a intuitivní ovládání, neboť používá stejné softwarové prostředky. S toho vyplývá i stejný formát přenášných datových souborů. Na rozdíl od Internetu, kde firmy publikují informace, které se mají dostat k co největšímu počtu lidí, v Intranetu jsou k dispozici pouze vnitropodnikové informace a často musí být přístupné jen omezenému počtu lidí. V Intranetu mohou být k dispozici mimo běžných databází např. veškeré výrobní a montážní postupy. Software, který se dnes pro konstrukci používá, je stále častěji vybaven příslušnými moduly. Systém Pro/ENGINEER při vytváření sestav strojů je schopen zaznamenat celý montážní postup do podoby WWW stránek. Každý krok montáže je zpracován včetně seznamu potřebných montážních prvků a slovního doprovodu. Na montážní hale je pak možno pomocí přenosného počítače s nainstalovaným standardním prohlížečem, např. Netscape, zobrazit celý montážní postup. Rovněž rekvalifikační školení je možno provádět pomocí stejných nástrojů. Nový konstruktér se s výrobními a konstrukčními technologiemi podniku může seznámit, aniž by se mu musel věnovat některý ze zaměstnanců. Prohlížečí nástroje Internetu umí spustit např. CAD program, pomocí kterého je konstruktér seznámen s používanými postupy při návrhu konkrétního zařízení. Tím se samozřejmě sníží náklady na zaškolení nových pracovníků.

7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo vytvořit podmínky pro využití výpočetní techniky při konstruování a především zavedení počítačem podporovaného konstruování do výuky. S tím souvisí i návrh některých nových nestandardních metod při konstruování pomocí výpočetní techniky a vytvoření systému programového vybavení pro inženýrské výpočty vyznačující se především novým přátelským uživatelským rozhraním. Začátky tohoto procesu můžeme sledovat již koncem osmdesátých let, kdy se v našem školství objevily první, tenkrát ještě osmibitové osobní počítače. V té době byly vytvořeny základy pro tuto činnost vytvořením projektu přestavby učeben, které jsou pod správou katedry částí a mechanismů strojů. Učebny byly od základu přebudovány tak, aby v nich mohla probíhat kompletní výuka konstruování s podporou výpočetní techniky. Úpravy byly realizovány s výhledem na možné inovace s ohledem na modernizaci instalované techniky. Do dnešní doby byla tato technika několikrát inovována. Na místě osmibitových počítačů kterými byla učebna vybavena při jejím vzniku, jsou dnes instalovány moderní 32-bitové počítače, splňující nároky na výuku konstruování na vysoké úrovni. Do dnešního dne patří učebna k nejlepším na TU nejen svým počítačovým vybavením, ale především vybavením dalšími audiovizuálními pomůckami a komfortem obsluhy. Učebna je vybavena televizním okruhem, pomocí kterého je možno zobrazovat veškerou počítačovou výuku bez ohledu na používaný operační systém. Samozřejmostí je videokamera a videorekordér. Vše je ovládáno elektricky z místa pedagoga. Dnes se uvažuje o vybavení moderní velkoplošnou projekční technikou. Bohužel pro nedostatek finančních prostředků je fakulta schopna udržovat na slušné úrovni pouze instalovanou výpočetní techniku, která je však základním kamenem při výuce CAD.

Dalším krokem bylo vybavení potřebným programovým vybavením. V začátcích šlo o software pro základní inženýrské výpočty související s konstrukcí strojů. Vzhledem k tomu, že na trhu v té době takový programový systém neexistoval, přistoupilo se k jeho vytvoření. I ten doznal během svého vývoje řady změn, především díky platformě, na které se provozoval. Vývoj výpočetní techniky je dnes velmi rychlý a snahou bylo udržet tento trend ve vybavení učebny. Z toho důvodu byl i software několikrát přepracován. Dnes je v učebně instalován veškerý základní software pro inženýrské výpočty. Snahou autora je, aby instalovaný software byl do jisté míry nezávislý na platformě. Je ho tedy možno provozovat i na počítačích pod operačním systémem MS DOS i Windows 95. Dalším cílem bylo zachovat pokud možno jednotný uživatelský interface tak, aby ovládání programů bylo intuitivní a nekladlo zvláštní nároky na uživatele z hlediska znalosti operačního systému počítače. To se podařilo vyřešit rozsáhlou knihovnou uživatelských podprogramů, které jsou v jednotlivých programech použity. Z hlediska konstrukčního softwaru byl na fakultu zakoupen produkt AutoCAD. Katedra se stala autorizovaným výukovým střediskem firmy Autodesk, což přispělo k pravidelné aktualizaci instalovaného softwaru s minimálními finančními nároky. V posledních letech je v učebně rovněž provozován systém Pro/ENGINEER. Zatím probíhá nepovinná výuka, ale světový trend v přechodu na 3D modelování je nezastavitelný a v procesu výuky konstruování je katedra připravena v tomto smyslu upravit studijní programy.

Nedá se dnes prohlásit, že stanoveného cíle bylo plně dosaženo, přestože nelze postupu, který byl na začátku zvolen, téměř nic vytknout. Některá autorem navržená řešení a postupy byly ověřeny v praxi a s jejich pomocí bylo realizováno několik zařízení. Proces

konstruování pomocí výpočetní techniky se velice dynamicky rozvíjí. Jeho cíl se přes technologie virtuální reality stále ztrácí někde v nedohlednu. Autor se však spolu s kolektivem pracovníků katedry částí a mechanismů strojů snaží tento trend sledovat a udržovat celý proces výuky konstruování na vysoké úrovni. Bohužel je dnes tato úroveň limitována prostředky, které je nutno investovat do hardwaru, jehož vývoj je velmi rychlý a v neziskové organizaci je jeho pravidelná obnova těžko realizovatelná.

Literatura

- [1] LEGRAS, J.: Metody a použitie numerickej matematiky. 9. vyd. Bratislava, Alfa 1978.
- [2] RALSTON, A.: Základy numerické matematiky. 2. vyd. Praha, Academia 1978.
- [3] REKTORYS, K. aj. : Přehled užité matematiky. Praha, SNTL 1968.
- [4] PRASIL, L. - OLEHLOVA, M.: Části strojů a mechanismů /cvičení/. 1.vyd. Liberec, VSST 1984.
- [5] MAZÁK, E.: Počítačové řízení a podpora výuky. 1. vyd. /Skripta/. ČVUT Praha, 1987
- [6] BORŮVKA, F.: Aproximace prostorových funkcí. In: Zborník prací II. konferencie o zavádzaní AIP v strojárstve. Žilina, 1988.
- [7] BORŮVKA, F. - MALÝ, M.: Tepelná bilance převodu. (Simulační program pro PC IBM). Liberec, VŠST 1989.
- [8] BORŮVKA, F. - MALÝ, M.: Energetická bilance HSP. (Výzkumná zpráva). Liberec, VŠST 1990.
- [9] BRODSKÝ, J. – SKOČOVSKÝ, L.: - Operační systém Unix a jazyk C. 1. Vyd. Praha, SNTL 1989.
- [10] BORŮVKA, F. aj.: Programy pro podporu výuku na katedře částí a mechanismů strojů. In" Sborník prací XXXI. vědecké konference kateder částí a mechanismů strojů. Žilina 1990.
- [11] CHARUZA, J. – WALTER, J.: Konstrukce a výpočty ozubených soukolí pro převodovky. SNTL Praha, 1967
- [12] BOHÁČEK, F. aj.: Části a mechanismy strojů III. Převody. (Skripta). ES VUT Brno, 1982.
- [13] BUREŠ, V.: Vlastnosti korigovaných čelních soukolí. In. Sborník referátů X. celostátní konference kateder částí strojů. Plzeň, VŠSE 1969, s. 43.
- [14] HLOŽEK, J. - BOBEK, A. - MAŠEK, K.: Technické kreslení. 2.vyd. Praha, SNTL 1965.
- [15] BŮHM, J.-RADOUCH, V.: Vyrovnávací počet. 2. vyd. Praha, Kartografie 1978.
- [16] OLEHLA, M. - VĚCHET, V. - OLEHLA, J.: Řešení úloh matematické statistiky ve FORTRANU. Praha, NADAS 1981.
- [17] GRANÁT, L. - SECHOVSKÝ, H.: Počítačová grafika. Praha SNTL 1980.
- [18] BRODSKÝ, J. – SKOČOVSKÝ, L.: - Operační systém Unix a jazyk C. 1. Vyd. Praha, SNTL 1989.

- [19] BORŮVKA, F.: Modelování napjatosti a deformací pružného uložení tiskového válce metodou konečných prvků. In: Sborník přednášek XXXII. celoštátní konference kateder částí strojů a mechanismů, TU Košice, Herlany 1991.
- [20] BORŮVKA, F.: Zkušenosti ze zavádění výuky CAD v Základech konstruování. In: Sborník prací XXXVI. konference kateder částí a mechanismů strojů, Brno 1995.
- [21] BORŮVKA, F. BERAN, J.: Optimalizace plošiny pro výtah osobních automobilů. Sborník prací XXXVII. konference kateder částí a mechanismů strojů, Plzeň 1996.
- [22] BORŮVKA, F.: Rozviny těles pomocí AutoCADu. Sborník prací mezinárodní konference „Nové trendy ve strojárstve na prahu tretieho tisícročia“. Košice, 1997.
- [23] AutoCAD Release 12. Průvodce otevřenou architekturou AutoCADu. CCB Brno, 1992.
- [24] AutoCAD Release 13. Customization guide. Autodesk, Inc. 1994.
- [25] Pro/ENGINEER, Part Modeling User's Guide. Release 18.0. Parametric Technology Corporation, 1997.
- [26] Pro/MECHANICA, Usig Structure with Pro/ENGINEER. Release 18.0. Parametric Technology Corporation, 1997.

Výběr publikovaných prací a realizovaných projektů

A) Příspěvky ve vědeckých sbornících a na konferencích

1. BORŮVKA, F.: Návrh matematického modelu k výpočtu pružného uložení strojů pomocí pneumatických pružin. In: Zborník referátov XXIII. konferencie katedier časti strojov. Zvolen, VŠLD 1982.
2. BORŮVKA, F. - DANČA, J.: Vyjádření efektivní plochy příčně zatěžovaných pneumatických pružin aproximačním polynomem. In: Sborník prací Vysoké školy strojní a textilní v Liberci, sv. XV, Liberec, VŠST 1982.
3. BORŮVKA, F.: Výpočet kmitavého pohybu mobilního pneumatického uložení tiskových strojů. In: Zborník referátov a XXIV. konferencie katedier časti strojov a mechanizmov. Košice, VŠT 1983.
4. BORŮVKA, F.: Stanovení tuhosti vakových pružin při dynamických výpočtech. In: Sborník XXV. konference kateder částí a mechanismů strojů. Ostrava, VŠB 1984.
5. BORŮVKA, F.: Řízení dávkovače mikropočítačem. In: Sborník prací Vysoké školy strojní a textilní v Liberci, sv. XVII. Liberec, VŠST 1984.
6. BORŮVKA, F. - PEŠÍK, L. - PRÁŠIL, L.: Optimalisation Federeienenschaften von pneumatischen Federn. In: Wissenschaftliche Beitrage der Ingenierhochschule Zwickau. Zwickau 1988.
7. BORŮVKA, F. - PEŠÍK, L. - PRÁŠIL, L.: Projektirovanije pnevmatičeskoj resory balonovo tipa s pomoščju EBM. In: Sborník prací Vysoké školy strojní a textilní v Liberci, sv. XXI. Liberec, VŠST 1988.
8. BORŮVKA, F.: Polynomické vyjádření součinitele vrubové citlivosti. In: Sborník referátů semináře o využití výpočetní techniky ve výuce. Lodž, PL 1988.
9. BORŮVKA, F.: Aproximace prostorových funkcí. In: Zborník prací II. konferencie o zavadzani AIP v strojárstve. Žilina, 1988.
10. BORŮVKA, F.: Řešení dynamických zatížení náhonu stroje pomocí PC- AT. In: Sborník prací VII. vědeckého symposia VŠST Liberec - TU Dresden 1989.
11. BORŮVKA, F. aj.: Programy pro podporu výuky na katedře částí a mechanismů strojů. In: Sborník prací XXXI. vědecké konference kateder částí a mechanismů strojů. Žilina 1990.
12. BORŮVKA, F.: Modelování napjatosti a deformací pružného uložení tiskového válce metodou konečných prvků. In: Sborník přednášek XXXII. celoštátní konferencie katedier časti strojov a mechanizmov, TU Košice, Herlany 1991.
13. BORŮVKA, F.: Zkušenosti ze zavádění výuky CAD v Základech konstruování. In: Sborník prací XXXVI. konference kateder částí a mechanismů strojů, Brno 1995.
14. BORŮVKA, F., BERAN, J.: Optimalizace plošiny pro výtah osobních automobilů. In: Sborník prací XXXVII. konference kateder částí a mechanismů strojů, Plzeň 1996.
15. BORŮVKA, F.: Použití AutoCADu k řešení netradičních konstrukčních úloh. In: Sborník prací XXXVIII. konferencie katedier časti a mechanizmov strojov. Bratislava, 1997.

16. BORŮVKA, F.: Rozviny těles pomoci AutoCADu. In: Sborník prací mezinárodní konference „Nové trendy ve strojárstve na prahu tretieho tisícročia“. Košice, 1997.
17. BORŮVKA, F.: Výuka 3D modelování na FS TU v Liberci. In: Sborník prací XXXIX. konference kateder částí a mechanismů strojů. Liberec, 1998.
18. BORŮVKA, F.: Moderní počítačové technologie a problémy s jejich provozováním na FS TUL. In: TUNl měsíčník TU v Liberci č.8. Liberec, 1998.
19. BORŮVKA, F.: Presentace konferencí kateder částí a mechanismů strojů na Internetu.. In: Sborník prací XXXIX. konference kateder částí a mechanismů strojů. Liberec, 1998.

B) Vědeckovýzkumné zprávy

20. BORŮVKA, F.: Algoritmizace návrhu geometrie ozubených kol. /Výzkumná zpráva KST 87-24/. Liberec, VŠST 1987.
21. BORŮVKA, F.: Matematické vyjádření součinitelů. /Výzkumná zpráva KST 88-19/. Liberec, VŠST 1988.
22. BORŮVKA, F.: Dynamika náhonu torzních soustav. /Výzkumná zpráva KST/. Liberec, Elitex 1988.
23. BORŮVKA, F. - PRÁŠIL, L.: Návrh šnekového převodu. (Výzkumná zpráva KST 89-30). Liberec, VŠST 1989.
24. BORŮVKA, F.: Počítačový návrh spojení hřídel-náboj. (Výzkumná zpráva KST 89-31). Liberec, VŠST 1989.
25. BORŮVKA, F.: Pevnostní výpočet desky HK-2-2386033 metodou konečných prvků. (Výzkumná zpráva KST 90-24). Liberec, VŠST 1990.
26. BORŮVKA, F. - PRÁŠIL, L.: Pevnostní kontrola hřídelů. (Výzkumná zpráva). Liberec, VŠST 1990.
27. BORŮVKA, F. - PRÁŠIL, L.: Pevnostní výpočet šnekových převodovek výtahových strojů. (Výzkumná zpráva) Liberec, TU 1995.
28. BORŮVKA, F. - PRÁŠIL, L.: Kontrolní výpočet alternativních šnekových převodovek výtahových strojů. (Výzkumná zpráva) Liberec, TU 1995.
29. BORŮVKA, F. - BERAN, J.: Kontrolní výpočet deformací plošiny pro výtah osobních vozidel. (Výzkumná zpráva) Liberec, TU 1996.

C) Závěrečné vědecké práce

30. BORŮVKA, F.: Pružné uložení strojů pomoci pneumatických pružin. /Písemná část odborné zkoušky kandidátského minima/. Liberec 1980. Vysoká škola strojní a textilní. Fakulta strojní.
31. BORŮVKA, F.: Výpočet pneumatického uložení hmot s aplikací na podložky tiskových strojů. /Kandidátská disertační práce/. Liberec 1982. Vysoká škola strojní a textilní. Fakulta strojní.
32. BORŮVKA, F.: Modernizace výuky konstrukčních předmětů. /Závěrečná práce studia vysokoškolské pedagogiky/. Liberec 1988. Vysoká škola strojní a textilní. Fakulta strojní.

D) Vývojové a konstrukční práce, odborné studie

33. BORŮVKA, F. - PEŠÍK, L.: Pružné uložení pneumatického bucharu. Liberec, VŠST 1985.
34. BORŮVKA, F.: Modernizace učeben E7, E8. Liberec, VŠST 1986.
35. PRÁŠIL, L. aj.: Diamantová kopírovací bruska. (Výkresová dokumentace HČ 62 046/340). Liberec, VŠST 1992.
36. BORŮVKA, F. - PRÁŠIL, L. - ŠEVČÍK, L.: Rekonstrukce pohonu stolu kopírovací diamantové brusky hran plochého skla SPL 11.41. (výkr. dokumentace.). Liberec, VŠST 1993.
37. BORŮVKA, F. - PRÁŠIL, L. - ŠEVČÍK, L.: Ruční řezačka plochého skla SPL. (Výkr. dokumentace.). Liberec, VŠST 1994.
38. BORŮVKA, F. Návrh koncepce inovace výpočetní techniky pro CAD ve VÚTS Liberec. (Odborná studie). Liberec, VŠST 1994.
39. BORŮVKA, F. - ŠEVČÍK, L.: Kontrolní výpočet převodovky ruční elektrické vrtačky NAREX. Liberec, TU 1995.
40. BORŮVKA, F. - ŠEVČÍK, L.: Výrobní dokumentace monturových dílů ve formě heterogenní databáze. Liberec, TU 1996.
41. BORŮVKA, F. - ŠEVČÍK, L.: 3D model a výkresová dokumentace automobilového ovladače. Liberec, TU 1996.
42. BORŮVKA, F.: Konstrukce rozvinů odtahu zplodin pomocí CAD. Liberec, 1997.
43. BORŮVKA, F. - ŠEVČÍK, L.: Výrobní dokumentace drtičů skleněných přířezů. Liberec, 1997.
44. BORŮVKA, F. - ŠEVČÍK, L.: 3D zpracování výrobní dokumentace bezvřetenového doprřadacího stroje. Liberec, 1997.
45. BORŮVKA, F.: Grafické zpracování rozvinů pomocí CAD. Liberec, 1998.
46. BORŮVKA, F. - ŠEVČÍK, L.: 3D zpracování odlítu spojky osobního automobilu Škoda Octavia. Liberec, 1998.
47. BORŮVKA, F. - ŠEVČÍK, L.: The calculation of stress of arm KVM 39 X. Liberec, 1998.

E) Odborné přednášky

48. BORŮVKA, F. - ŠEVČÍK, L.: Cyklus přednášek a cvičení z AutoCADu pro zaměstnance VŠST. Liberec, VŠST 1991.
49. BORŮVKA, F. - ŠEVČÍK, L.: AutoCAD r.11-základní kurs. (Cyklus přednášek ATC Autodesk pro VÚSB Jablonec n. N., 15.10. - 23.10. HČ 12 135/340). Liberec, VŠST 1992.
50. BORŮVKA, F. - ŠEVČÍK, L.: Modelování broušených skleněných kamenů pomocí modulu AME AutoCAD r.12. v Preciose Jablonec n. N. Liberec, VŠST 1994.
51. BORŮVKA, F. - LUFINKA, A., - M. ŠEVČÍK, L.: Objemové modelování pomocí AutoCADu release.12. Liberec, VŠST 1994.
52. BORŮVKA, F.: Software pro konstrukční výpočty strojních uzlů. Konference „CAD a jeho jarní novinky“. Liberec, TU 1995.

53. BORŮVKA, F.: Výuka CAD na TU v Liberci (Přednáška na semináři Autodesk Open). Praha, 1997.
54. BORŮVKA, F. – ŠEVČÍK, L.: Internet pro malé a střední podniky. (Přednáška na odborném kursu Regioinfo, s.r.o.) . Liberec, TU 1997.
55. BORŮVKA, F. - ŠEVČÍK, L. - LUFINKA, A.: Kursy používání CAD systémů AutoCAD r.14 +a AutoCAD-LT. Liberec, TU 1998.

F) Grantové projekty

56. ŠEVČÍK, L. - BORŮVKA, F.: Zavádění parametrického a objemového modelování do výuky. /Grantový projekt FRVŠ 154/1995/. Liberec, TU 1995.
57. ŠEVČÍK, L. - BORŮVKA, F. - LUFINKA, A.: Zavedení objemového a parametrického modelování do výuky. /Grantový projekt FRVŠ 1996/. Liberec, TU 1996.