

KONCEPCE CAD – PŘEDSTAVY NEDÁVNÉ MINULOSTI A SOUČASNÁ REALITA

F. Laryš¹, J. Havlíček², P. Janíček³

Summary: *This article deals with the importance of engineering activities and introducing computer support in the process of creating technical products. It speaks about their objectives and parts in engineering activities in the past of about 25 years period and reminds of long past ideas of future development after the year 2000. It compares the past and the present state, giving examples of use in routine design of engineering works, in engineering office, and in university practice. In conclusion it analyses present state and combines it with outlook of the near future.*

1 Úvod

Příspěvek se zabývá významem činností techniků a nasazením počítačových podpor v procesu tvorby technických objektů (Computer Aided Design). Charakterizuje jejich náplň a úlohu v období před cca 25-ti lety a uvádí tehdejší představy o jejich budoucím stavu po r. 2000. Srovnává minulost a současnou realitu na příkladu aplikace v projekčně – konstrukční praxi strojírenského podniku, v inženýrské kanceláři a ve vysokoškolské výuce. V závěru analyzuje současný stav a spojuje jej s pohledem do blízké budoucnosti.

2 Technický objekt, jeho poslání a hlavní problémy jeho tvorby

Smyslem práce techniků v jakékoliv odborné specializaci je navrhovat a v součinnosti s realizační sférou vytvářet technické objekty - díla, stroje, zařízení,...

Technický objekt (dále jen TO) je cílevědomě vytvářen lidmi pro plnění předem definovaných funkcí na základě společenské potřeby a objednávky. Ta je v současné společnosti definována převážně prostřednictvím mechanismů nabídky a poptávky tržního prostředí.

Po uvedení do provozu by měl každý TO vykazovat určité konkrétní vlastnosti, které naplňují cíle očekávané od jeho realizace. Ty lze rozřadit do tří skupin:

- Sociotechnické vlastnosti: potřebnost, funkčnost spotřebitelská, dostupnost, realizovatelnost, komerčnost, konkurenceschopnost, ekonomická efektivnost, sociotechnická přijatelnost.

¹ Ing. F. Laryš, U Pily 14, 591 02 Žďár nad Sázavou, f.larys@tiscali.cz

² Ing. J.Havlíček, AXIOM TECH s.r.o., Strojírenská 16, 591 01 Žďár nad Sázavou, jan.havlicek@axiotech.cz

³ Prof. Ing. P. Janíček, DrSc., VUT Brno, ÚMTMB, Technická 2896/2, 616 69 Brno, janicek@fme.vutbr.cz

- Technické vlastnosti: funkčnost technická, přijatelná spolehlivost za provozu (tj. přijatelná bezpečnost a životnost), provozní pohotovost, udržovatelnost, efektivní opravitelnost, efektivní likvidovatelnost.
- Ekologicko - ergonomicko - technické vlastnosti: ekologičnost, zdravotní nezávadnost, ergonomičnost, uživatelská vstřícnost.

Technický život TO, jako časový interval mezi první myšlenkou na jeho realizaci a jeho likvidací, má obvykle následující charakteristické úseky:

- Přípravná etapa: je to okamžik nápadu, myšlenky, poptávky, či zadání na dodávku TO. Tato etapa končí rozhodnutím organizovaně připravovat jeho vznik .
- Návrhová etapa: v rámci projektových a konstrukčních činností je námět na vznik TO detailně rozpracován tak, aby mohl být realizován (vyroben). V životě TO je to etapa nejdůležitější.
- Realizační etapa: TO je na základě vypracované dokumentace realizován, tj. vyroben a smontován.
- Předávací etapa: TO je předáván uživateli a jsou prokazovány jeho hlavní parametry a vlastnosti.
- Provozní etapa: TO plní svoji funkci.
- Likvidační etapa: TO z důvodů technické nebo morální zastaralosti přestává plnit svoje funkce a jeho materiálová část je zlikvidována.

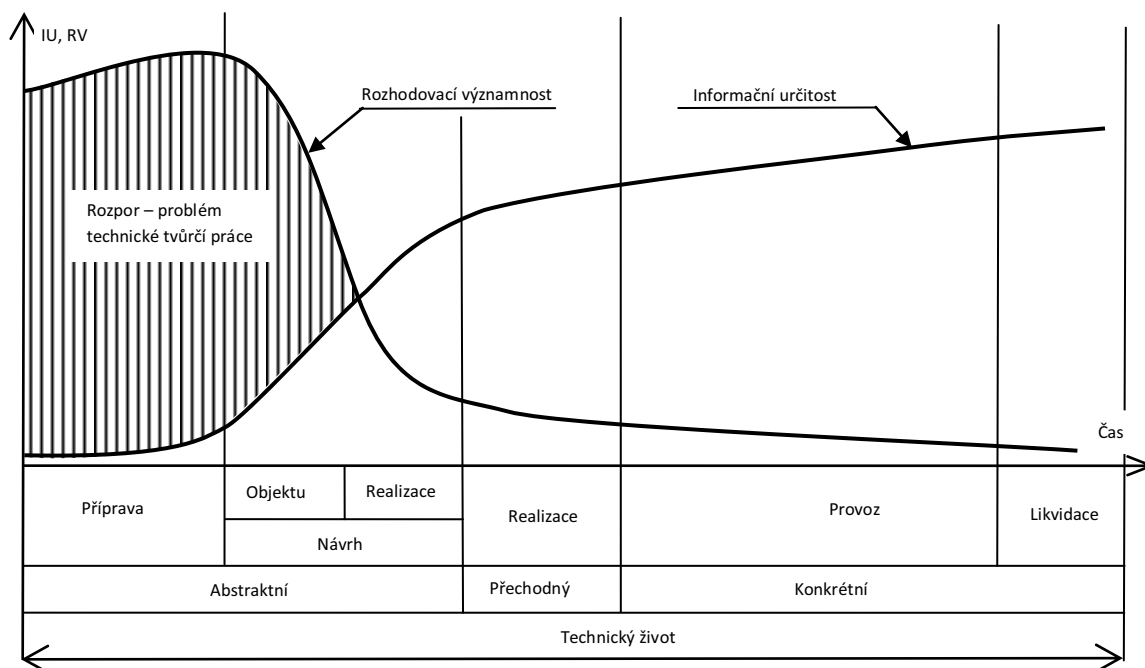
Na obr. č.1 je schematicky znázorněn technický život TO. Zároveň je do tohoto obrázku zahrnut průběh dvou důležitých závislostí - informační určitosti (IU) a rozhodovací významnosti (RV).

Informační určitost charakterizuje množství známých informací o TO v daném okamžiku (etapě) jeho technického života.

Rozhodovací významnost vyjadřuje význam rozhodnutí v daném okamžiku (etapě) na úroveň užitných vlastností TO, které se projeví až v etapě provozní.

Svislá "vzdálenost" mezi těmito křivkami v přípravné a návrhové etapě nám dovoluje charakterizovat **základní rozpor v činnosti pracovníků**, kteří TO navrhují. Největší vliv na budoucí parametry a kvalitu TO mají rozhodnutí v období přechodu mezi přípravnou a návrhovou etapou, protože v těchto okamžicích se rozhoduje o základní koncepci TO. Informační určitost v tomto místě se však pohybuje kolem svého minima a je převážně určena souborem informací plynoucích ze zadání, nebo požadavků např. z kontraktu.

S postupujícím detailním rozpracováním návrhu - a tedy se zvyšující se informační určitostí - mají další rozhodnutí klesající vliv na koncepční parametry TO. Jsou sice důležitá pro návrh detailů, řada drobnějších úprav se dá realizovat i průběhu provozní etapy, ovšem chyby v koncepci TO bez vynaložení větších nákladů a času napravit nelze.



Obrázek 1 Technický život technického objektu

Současné TO jsou charakteristické rostoucí složitostí svojí struktury, novými vlastnostmi při provozu, rostoucími požadavky na ergonomičnost a stále důsledněji i na ekologičnost. Na významu nabývá i vliv celosvětové kooperace při zajišťování v podstatě všech etap technického života stále většího počtu konkrétních TO.

Tržní prostředí vyvíjí neustálý tlak na přijatelnou cenu TO pro konečného uživatele a rychlost inovací. Subjekty, které navrhují, vyrábějí, dodávají a servisně obsluhují TO objekty musí neustále hledat přístupy, které zejména zkracují dobu na vývoj, návrh, realizaci a testování TO.

Ke splnění těchto požadavků se využívají různé metodické postupy a doporučení, např.:

- Kombinace jednotlivých typů činností - informačních, organizačních, výkonných, hodnotících, rozhodovacích a tvůrčích, což jsou základní činnosti při řešení problémů. Z nich činnosti tvůrčí jsou převažující, neboť z 80 - 90% předurčují příští parametry TO.
- Komplexní modelování v podobě efektivního propojení výpočtového, experimentálního, hybridního a znalostního modelování.
- Pokusy opouštět tradiční sériové inženýrství a nahrazovat jej inženýrstvím paralelním, které se snaží všechny činnosti vykonávané při vlastním návrhu TO, návrhu jeho realizace, montáže, testování, ..., i likvidace, soustředit právě do etapy návrhové.
- Použití **počítačových podpor** jednotlivých činností. Ty jsou v podstatě součástí všech předchozích třech postupů ve formě počítačového software a hardware různé úrovně a nasazení a podřízeného člověku - uživateli. Tato technika účinně pomáhá zvýšit informační účinnost právě v etapě návrhové.

Samozřejmě, že myšlenky a koncepce počítačových podpor CA (Computer Aided) se netýkají jen sféry návrhu a tvorby TO, tedy praxe, ale musí významně zasahovat i do výuky na středních a především na vysokých školách technického zaměření.

3 Vymezení pojmu CA a hlavní složky systému CAD

Na obecné úrovni lze pojem "počítačová podpora" definovat např. takto (Janíček, 2007):

Počítačová podpora je počítačová aktivita, která příznivě ovlivňuje určitou lidskou činnost tím, že ji zrychluje, zkvalitňuje, usnadňuje a zpříjemňuje, případně od ní člověka osvobozuje.

Můžeme snad jen doplnit, že CA, díky počítačovým postupům (algoritmům) a výkonnosti počítačového HW, v řadě situací umožňuje člověku daný problém vůbec v požadovaném reálném čase (termínu) řešit.

Počítačové podpory ve formě počítačových systémů se aplikují ve všech etapách technického života TO a k jejich modulům v současné době patří:

- CATH (Computer Aided Thinking): počítačová podpora tvůrčího myšlení.
- CAI (Computer Aided Innovation): počítačová podpora inovací technického objektu. Např. metoda TRIZ (Tvorba a řešení inovačních zadání) vychází z objektivních zákonitostí v procesu zdokonalování technické úrovně technických soustav, objevených při analýze patentů z oblasti techniky. Tato metoda má svoji počítačovou verzi s označením IM (Invention Machine), která je založena na expertním systému a pracuje s historicky ověřenou bází doporučení a údajů ve formě aktualizovaných informací z patentové literatury (blíže viz Janíček, 2007).
- CAD (Computer Aided Design): počítačová podpora navrhování. Je to prostředek, který slouží k vytvoření geometrického modelu TO. Zachycuje tvar, rozměry a topologii geometrických prvků.
- CAEA (Computer Aided Engineering Analysis): počítačová podpora inženýrských analýz zejména v těchto oblastech:
 - Inženýrská mechanika:
 - Mechanika těles (kinematická a dynamická funkčnost TO a jeho podsoustav, deformační a napěťové stavy, hodnocení mezních stavů těles – deformace, stability, trhlin, lomu, opotřebování povrchu).
 - Termomechanika (analýza teplotních polí, přestup, vedení a konvekce tepla).
 - Hydromechanika (rychlostní pole při proudění kapalin, tlakové ztráty, problémy kavitace,...).
 - Aeromechanika (rychlostní pole při proudění plynných medií, tlakové ztráty,...).
 - Technologické disciplíny:
 - Slévárenství.
 - Obrábění.
 - Objemové a plošné tváření.
- CADD (Computer Aided Design and Drafting): tento pojem zahrnuje složku tvorby geometrického modelu TO spolu s možností ručního, či téměř automatického generování

výkresové dokumentace a další doprovodné technické dokumentace, včetně výstupu na papírová media.

V dnešní době je prakticky používaná celá řada počítačových systémů, které obsahují v různé kombinaci, rozsahu, možnostech, výkonnosti a také ceně uvedené moduly, či jejich části, např. AutoCad, NX, Solid Edge, Ansys, Nastran,...

Uživatelskou charakteristiku těchto systémů je možné shrnout do těchto bodů:

- Musí být využitelné v etapě návrhu.
- Musí věrohodně a podloženě zvyšovat informační určitost navrhovaného TO.
- Musí být pohotově k dispozici pro opakované využití zcela podle potřeb uživatele.
- Musí být – s výjimkou specializovaných činností – použitelné přímo návrhářem, tedy nezprostředkovaně.
- Jejich aplikace může mít za následek zvýšení nákladů na návrhovou etapu, nesmí ji však časově prodloužit.

Těžištěm tohoto příspěvku je porovnání stavu koncepce CA před zhruba 25-ti lety a tehdejších odhadů její úrovně po r. 2000 (označeno jako „**nedávná minulost**“) s realitou dneška (označeno jako „**současnost**“).

Následující odstavce se pokusí konkretizovat toto srovnání prostřednictvím popisu vybraných událostí, dějů, úvah, ..., které doprovázely vývoj koncepce CA a tím také i změnu metod a prostředků v činnosti konstruktéra.

4 Revoluce v technických činnostech

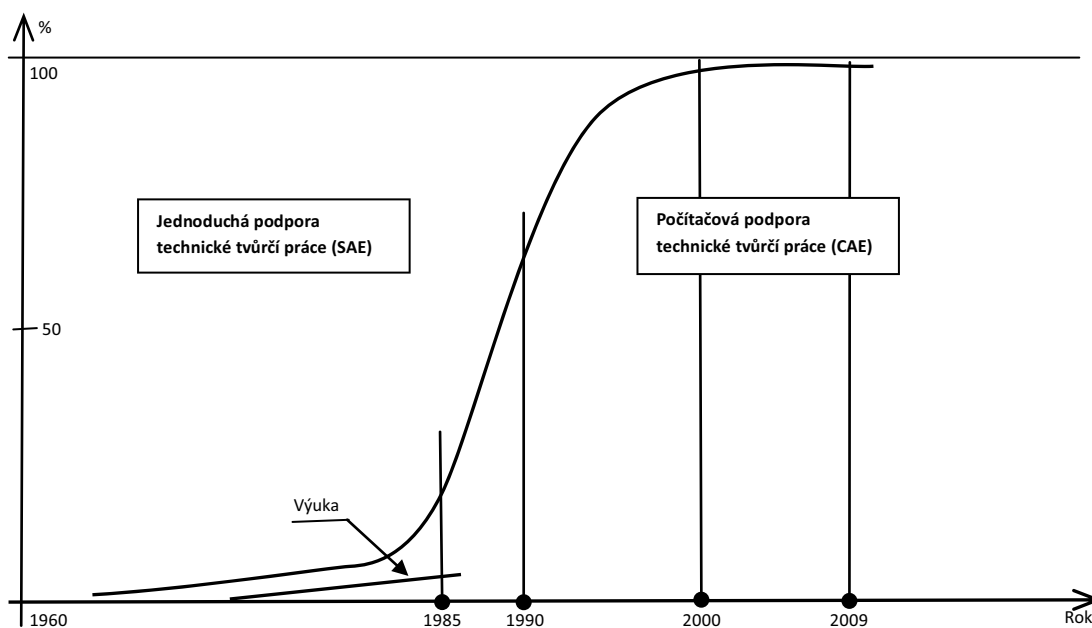
4.1 Nedávná minulosti

Pro charakterizování stavu minulých představ čerpáme především ze třech publikací (Ondráček, 1985, 1986, 1987), které zachycují stav v tehdejší státním strojírenském podniku (nynější ŽĐAS a. s., Žďár nad Sázavou) a na vysoké škole technické (FSI VUT v Brně).

Zásadní průlom do stylu klasické inženýrské práce přinesly změny kolem r. 1950, které se všeobecně označovaly jako vědeckotechnická revoluce. Tyto změny nastaly důsledkem:

- Elektronizace: objev tranzistoru kolem r. 1947 a zvládnutí jeho hromadné výroby, zásadní zvrát nastal objevem mikroprocesoru firmou Intel v r. 1971.
- Kybernetizace: vznik kybernetiky jako vědecké disciplíny, teorie informace, teorie systémů a umělé inteligence kolem r. 1950.
- Komputerizace: široké nasazování počítačů do všech oborů lidských aktivit.

Zhruba po r. 1950 se činnosti, které se dají algoritmizovat, automatizují a pro tvůrčí činnosti dostává člověk nové prostředky, které jeho práci usnadňují a výrazně zefektivňují. Vliv vědeckotechnické revoluce na technické činnosti je znázorněn na obr. č. 2.



Obrázek 2 Revoluce v inženýrských činnostech - pohled nedávné minulosti

Křivka zobrazuje odhadovaný trend, kterým se bude měnit podíl tvůrčích činností jednoduše podporovaných (SAE = Simply Aided Engineering), tedy klasického inženýrství a činností počítačově podporovaných (CAE = Computer Aided Engineering) - počítačového inženýrství.

Pro pochopení je nutné si definovat to, co se rozumělo pod pojmem jednoduchá podpora, nejlépe na příkladu práce konstruktéra.

Ten měl pro svoji činnost při tvorbě TO, a to v podstatě nezávisle na jeho velikosti, složitosti a významu, tyto prostředky:

- Klasické rýsovací prkno s pohyblivými pravítky, papír, kružítko, tužku, gumu.
- Logaritmické pravítko jako univerzální výpočetní prostředek.
- Matematické (algebraické a grafické) metody, z nichž mohl využívat jen elementární, zvládnutelné na logaritmickém pravítku, nebo graficky pravítkem a kružítkem, a to dostatečně rychle.
- Příručky, tabulky, katalogy,... v papírové formě jako operativní zdroj informací se všemi výhodami (levné, trvanlivé, laciné) a nevýhodami (obtížné a dlouhé hledání, problematická aktualizace).
- Nejjednodušší modely - elementární výpočtové modely, přičemž elementárnost byla dána elementárností výpočetních prostředků (logaritmické pravítko a jednoduché grafické konstrukce) a výrobně, experimentálně a časově náročné fyzické modely.
- Klasický telefon a papírovou poštu jako dálkové komunikační prostředky.

Charakteristika SAE v námi definované "nedávné minulosti" je jistě i z dnešního pohledu nezpochybnitelná.

Uveďme si, v souladu s obr. č. 2, odhad stavu v r. 2000. Ten předvídal, že v tomto roce bude mít konstruktér všude (po celém světě) místo (tedy ne souběžně) uvedených dřívějších prostředků tyto možnosti pro výkon své práce:

- Problémově dostupnou, hierarchicky uspořádanou soustavu počítačů jako prostředek pro výpočty, operace s logickými veličinami, daty a informacemi, vybavené alfanumerickými a grafickými (barevnými) terminály.
 - Způsob práce pořízený přirozeným schopnostem člověka. Tím se rozumělo:
 - Forma vstupu a výstupu: numerická, či grafická dle potřeb uživatele.
 - Problémová přiřazenost: podle požadované úrovně řešení problému zvolíme úroveň vlastností výpočetního prostředku.
 - Dostupnost výpočetních prostředků: v podstatě pro každého.
 - Interaktivně dostupné programy realizující i složité matematické algoritmy zpracované pro uživatelské využívání.
 - Operativně přístupné, rozsáhlé a trvale aktualizované datové základny obsahující potřebné informace pro tvůrčí, hodnotící a rozhodovací činnosti.
 - Celou strukturu počítačových modelů a počítačem řízených a zpracovávaných modelů.
- Pro názornost uveďme prostředky SAE a CAE dle představ "nedávné minulosti" přehledně v tabulce č. 1:

Tabulka 1 Prostředky SAE a CAE

Prostředek ...	SAE	CAE
... výpočetní, zobrazovací	Log. pravítko, rýsovací prkno, tužka, papír	Soustava počítačů, grafický terminál (barevný), hardcopy, kreslicí zařízení
... ke zobrazování	Klasická geometrie	Počítačová grafika 2D, 3D
... k výpočtům	Klasická matematika	Matematický software
... pro operativní informace	Příručky, katalogy, tabulky	Počítačová datová základna
... k uchování informací	Výkres, text	Počítačová paměťová média
... k řízení	Člověk	Počítač ve standardních situacích a člověk
... modelování	Fyzické a elementární výpočtové modely	Počítačové a počítačově orientované modely

4.2 Současnost

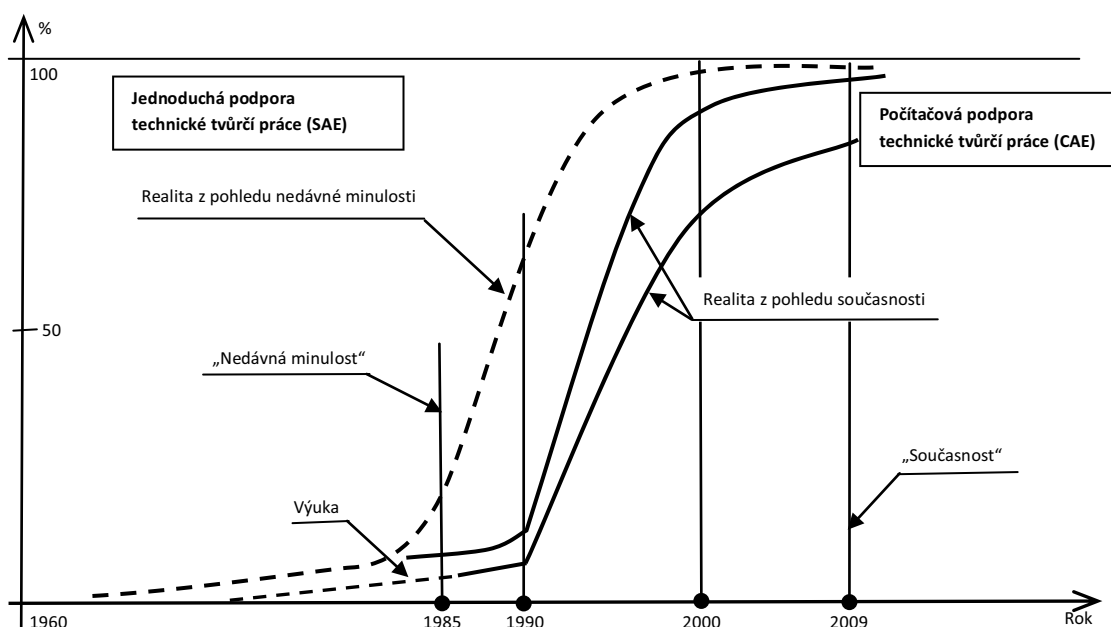
Z hlediska všeobecného (kvalitativního) odhadu představy nedávné minulosti korespondují s dnešní realitou.

Na obrázku č. 3 je uveden dnešní pohled na přechod od SAE k CAE v našich podmínkách a odraz této změny i na způsobu a náplni výuky na vysoké škole.

Z tohoto obrázku je patrný zlom v trendech v r. 1990 (společenská změna), uvolnění trhu s počítači a software, vznik soukromých podnikatelských subjektů,...

Můžeme však uvést několik významných skutečností, prostředků, parametrů, pracovních postupů, ..., které překročily i odvážné odhady nedávné minulosti. K nim lze např. zařadit:

- Nasazení faxových služeb v 90-tých letech pro přenos grafických informací, které jsou dnes téměř nahrazeny komunikací pomocí počítačových sítí.
- Vybudování celosvětové sítě počítačů, vznik internetu jako zcela svobodného komunikačního media, hromadné rozšíření mobilních telefonů a komunikátorů, které stále častěji již připomínají počítače.
- Hromadná výroba univerzálně použitelných osobních počítačů o výkonnosti, která v nedávné minulosti se nedala ani odhadnout a cenovou relací, která je činí dostupnou v podstatě každému. Můžeme bez nadsázky říci, že dnes ten, kdo ke své práci potřebuje počítač, tak si jej bez problémů pořídí podobně jako v nedávné minulosti si pořídil logaritmické pravítko, tabulky, nebo v zápětí elektronickou kalkulačku.
- Existence cenově dostupného, ale velmi často i zdarma šířeného, programového vybavení ze všech oborů.
- Výkonnost a komplexnost současných systému pro CAD.



Obrázek 3 Revoluce v inženýrských činnostech v ČR – pohled současnosti

5 Pohled na strukturu výpočetních prostředků

5.1 Nedávná minulost

Výpočetní technika byla rozdělována do dvou hlavních skupin:

- Samočinné počítače.
- Kalkulačky.

Podle státních koncepcí se u nás nasazovaly především výrobky našeho elektronického průmyslu, doplňované sestavami a periferiemi z ostatních zemí tehdejší Rady vzájemné hospodářské pomoci.

Rozvíjela se řada sálových počítačů JSEP (Jednotný systém elektronických počítačů) a minipočítačů SMEP (Systém malých elektronických počítačů), které doplňoval český minipočítač ADT. Dále se dodávaly interaktivní grafické systémy ISAP a IGS, které byly určeny pro technickou tvůrčí práci. Začaly se vyvíjet československé osobní počítače s označením IQ, PMD a PP.

Nutno dodat, že téměř všechny produkty byly více, či méně zdařilé kopie západních výrobků, včetně např. i operačního systému. Jejich provozní výkonnost a spolehlivost zaostávala za svými originálními vzory, o čemž se mohla přesvědčit ta pracoviště, která si zahraniční výrobky za devizové prostředky mohla pořídit.

Velkým problémem byla tvorba aplikačního software, která byla podporována i snahou organizovat mezinárodní spolupráci (styky volně jmenovaných skupin sestávajících z pracovníků některých podniků, výzkumných ústavů a vysokých škol z bývalého Československa s podobnými skupinami z Berlína, Moskvy, Sofie,..), ovšem bez valného výsledku.

Do roku 1990 se očekávalo masovější rozšiřování minipočítačů řady SMEP a ADT a jejich propojení s velkými počítači JSEP.

V odborném tisku se sporadicky objevovaly údaje, které dokreslovaly tehdejší situaci, např.: „... celková vybavenost našeho národního hospodářství elektronikou dosahuje jen třetiny v porovnání s vyspělými státy, které mají podobnou strukturu ekonomiky. Rovněž míra nasazení je nepříznivá, např. v USA připadá jeden počítač na 11 obyvatel, v ČSSR na 200 až 300 obyvatel...“.

5.2 Současnost

Zlom nastal právě po r. 1990. Velmi rychle se začalo přecházet na daleko spolehlivější a výkonnější zařízení západní produkce. K tomu přistoupila i možnost nakupovat licenčně uvolněný aplikační software.

Během krátké doby byla koncepce počítačů SMEP, JSEP,... odsouzena k zániku a v dnešní době jsou to jen historické zkratky, které současným uživatelům již nic nepřipomínají.

Zásluhou společenské změny v r. 1989 se tak představa "nedávné minulosti" na dodavatelskou strukturu počítačového vybavení v současnosti absolutně minula s realitou.

6 Počítačová podpora vs. počítačová automatizace

6.1 Nedávná minulost

Úvahy o roli a míře počítačové automatizace a počítačové podpory v činnosti techniků byly v „nedávné minulosti“ velmi frekventovaným námětem odborné literatury, seminářů a konferencí věnovaných nasazování počítačů. Diskuse byly důležité jak pro průmyslovou praxi, tak i pro výuku na školách technického zaměření. Zdůvodněná hranice mezi oběma koncepcemi silně ovlivňovala názor tehdejší společnosti na schopnosti člověka – technika a možné náhradě jeho mozkových činností strojem.

V té době byla jakákoliv počítačová aktivita považována za automatizaci. Vznikaly pojmy jako Automatizace fyzických a duševních prací, Automatizace inženýrských prací (AIP), Automatizace tvůrčích činností, atd. Byla to přejímaná módnost, zaklínadlo pokroku, aniž by se pečlivě analyzovalo to, co lze z mozkových činností algoritmizovat a následně vykonávat strojem.

Z dnešního pohledu to vypadá bizarně, ale představa o vzniku programu, projektu, ..., který by měl za cíl v dohledné době stoprocentně nahradit konstruktéry počítači nepatřila tehdy mezi utopie.

Můžeme konstatovat, že tento střet vyústil ještě v „nedávné minulosti“ v dodnes uznávaný názor na to, že počítačové automatizace se uplatňují v oblasti řídicích, informačních a výkonných činností člověka, zatímco doménou počítačových podpor jsou činnosti tvůrčí, rozhodovací a částečně řídicí.

Dovolíme si také uvést, že k definování a obhájení této koncepce přispěli i někteří pracovníci současné a. s. ŽDAS, Žďár nad Sázavou a současného Ústavu mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky FSI VUT v Brně.

6.2 Současnost

Současnost potvrzuje to, co vykristalizovalo v nedávné minulosti. Anglický termín Computer Aided se zcela vžil a je uznáváno, že tvůrčí inženýrské činnosti automatizovat nelze. Možná, že dnes je typický spíše opačný výkmit: každá činnost, při které spolupůsobí počítač, je považována za počítačovou podporu.

7 Prostředky a metody pro počítačové navrhování TO

7.1 Nedávná minulost

Systémy pro počítačový návrh musí zabezpečovat různé činnosti, které se vyskytují při projekčně - konstrukčním návrhu a pro něž je třeba mít k dispozici příslušné softwarové prostředky. V nedávné minulosti se rozeznávaly tyto jejich složky:

- Počítačové informace (databanky různých druhů vědeckotechnických i jiných informací, zpracování rešerší, ...).
- Počítačové zpracování zkušeností (rozvíjející se expertní a znalostní systémy, počítačem zpracované údaje z experimentů, ...).
- Počítačové prostředky pro usnadnění představy (zobrazení pohybu mechanismů, animace, ...).

- Počítačové prostředky pro vytváření struktury (uspořádání geometrických prvků v prostoru a ve vzájemných vazbách).
- Počítačové prostředky pro výpočtové modelování (chování TO a jeho dílů za provozních podmínek - deformace, napětí, životnost,...).
- Počítačové prostředky pro návazné činnosti (přívodní dokumentace, generování souborů pro NC výrobní stroje,...).
- Počítačové prostředky pro optimalizaci a rozhodování.

Pro strojírenské obory byly považovány za dominantní složky pro vytváření struktury a výpočtové modelování. Bez nich se nedalo hovořit o systému pro počítačový návrh.

Doplňme, že v nedávné minulosti se systémy pro počítačový návrh dělily do pěti úrovní:

- **Úroveň 0:** Pomocí počítače se graficky prezentuje přesně to, co vzniká na kreslicím prkně. Použití počítače neznamená žádný přínos ke kvalitě TO. Tímto počítačovým kreslením, či spíše překreslováním, můžeme vyprodukovat i zmetek. Hlavním cílem je dosáhnout přesnosti, preciznosti a opakovatelnosti. Chybí spojení a návaznost na další složky.
- **Úroveň 1:** Zahrnuje jen složku týkající se výpočtových modelů, a to těch, které realizujeme dodatečně po návrhu struktury. Jde jen o kontrolní výpočty, struktura se navrhuje odděleně na prkně konstruktéra.
- **Úroveň 2:** Využívá se modelování struktury i výpočtové modelování v jejich vzájemném vztahu, ale úroveň algoritmů obou složek zůstává stejná, jako při klasickém návrhu. Jde v podstatě jen o racionalizaci vykonávání obou složek, bez vlivu na kvalitu TO.
- **Úroveň 3:** Jde o lokální počítačový návrh. Algoritmus výpočtových modelů chování i vytváření struktury je počítačově orientovaný. Uživatelský SW obsahuje i počítačové informace a počítačové prostředky pro návazné činnosti, které jsou však zaměřené jen na navrhovaný výrobek. Lokální počítačový návrh obvykle vznikl v prostředí početnějšího útvaru konstruktérů, který zajišťoval návrhy většího počtu TO rozdílného posílání. Jedno iniciativní pracoviště navrhující konkrétní TO si však zajistilo přístup k výpočetním prostředkům, obvykle vlastními silami provedlo algoritmizaci vybraných činností a často i sestavení samotných programů a samozřejmě i uživatelský provoz. Bylo běžné, že na tomtéž pracovišti pak existovaly konstrukční činnosti počítačové i klasické.
- **Úroveň 4:** Obsahuje všechny, nebo téměř všechny složky, s vazbami na podnikové systémy řízení, databanky,... V této úrovni se stává počítačové navrhování součástí integrovaného nasazení počítačů v daném podniku, či instituci a můžeme hovořit o systému CIM.

V nedávné minulosti se konstatovalo, že je žádoucí rozvíjet a nasazovat systémy počítačové úrovně 3 s cílem dosáhnout úrovně 4. Je třeba připomenout, že označení "počítačový návrh" se přisuzoval systémům úrovně 3 a výše.

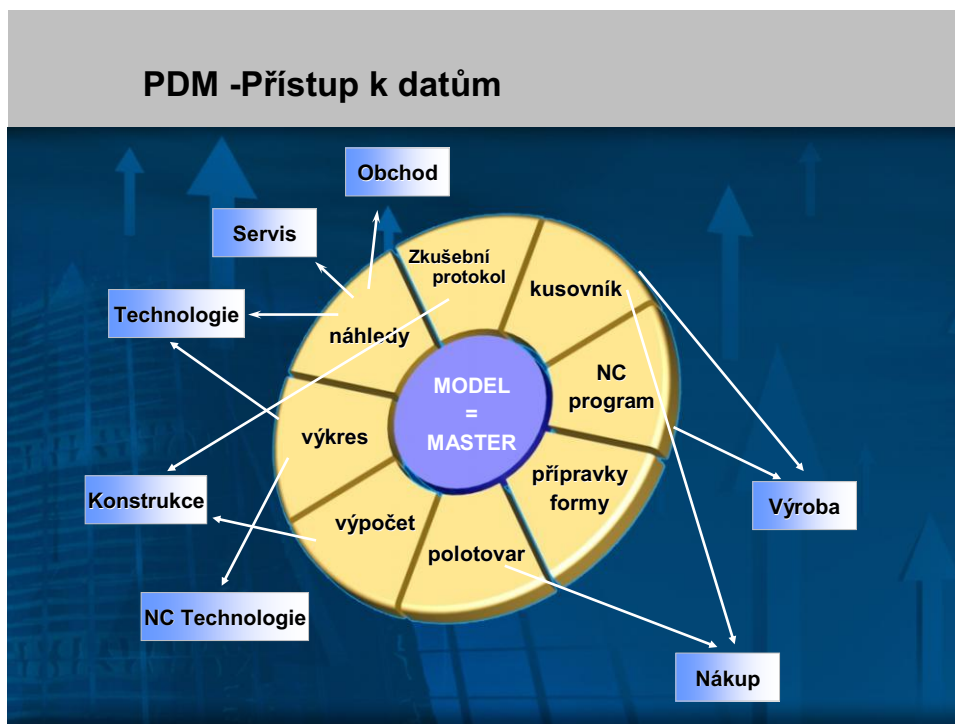
7.2 Současnost

Současné trendy ve stavbě software pro počítačové navrhování mají své kořeny na počátku devadesátých let minulého století a jsou typické tím, že jsou velmi často ovlivňovány představami a technickými a obchodními strategiemi jednotlivých producentů programových systémů. S tvorbou různorodých programových balíčků vznikla a vzniká také řada nových termínů, nebo modifikací obsahu pojmů starších, které přispívají k pojmové nejednotnosti v počítačových podporách (viz Janíček, 2007, str. 505). K tomu také přistupuje někdy i nepřesný a podstatu nepostihující překlad z angličtiny, či němčiny, do českého jazyka, jehož výsledkem je pak určitá „hantýrka“ zažitá v určitém výrobním odvětví, nebo konkrétní firmě. To je situace, která platí i pro tento odstavec, v němž je současnost přibližována na zkušenostech s konkrétním programovým systémem (NX6) v konkrétní inženýrské kanceláři (Axiom Tech). Nutno však doplnit, že i přes formální pojmovou odlišnost lze bezpečně v těchto moderních systémech najít obsah, který odpovídá obsahu většiny složek termínu CIM (Computer Integrated Manufacturing). Jak je konstatováno v literatuře (Janíček, 2007, str. 506) není vymezení pojmu CIM ukončeno. Pro úplnost a snadnější pochopení některých pojmů a formulací v tomto odstavci si ocitujeme jednu z možných definic termínu CIM z posledně uvedeného zdroje: *CIM je informační technologie, která se zabývá sdílením informací v celém procesu tvorby TO s cílem podílet se na zajištění konkurenceschopnosti podniku na světovém trhu.*

Všichni vedoucí producenti software pro počítačové navrhování však dodržují jeden základní koncept. Tím je plná integrace všech specializovaných modulů software na jednom datovém základě. Systémy označované jako PDM (Product Data Management), PLM (Product Lifecycle management), nebo také cPDM (colaborative Product Development management), udržují všechny informace o navrhovaných TO a jejich částech a vazbách mezi nimi a obsahují také řadu nástrojů k tvorbě, úpravám a manipulaci s těmito daty. Při těchto přístupech dochází k zásadnímu odbourání oborové organizace dat a přechází se na produktově orientovanou. Technický objekt jako celek i jeho jednotlivé díly jsou sledovány po celou dobu technického života a shromážděné informace jsou k dispozici všem zainteresovaným profesím. Tento postup, umožňující konfrontovat představy na počátku návrhových prací se skutečností je také unikátním zdrojem ověřených informací pro vývoj inovovaného, nebo nového TO.

Dalším současným trendem je využití modelů struktury TO, vytvořených při vývoji a konstrukčním zpracování také v oblasti kapacitního a časového plánování a simulace výrobního procesu. Jedná se o modelování výrobních, svařovacích a montážních linek, řízení robotizovaných pracovišť, ověřování ergonomie ovládání TO, jeho servisu,... Tyto přístupy jsou označovány také jako DM (Digital Manufacturing).

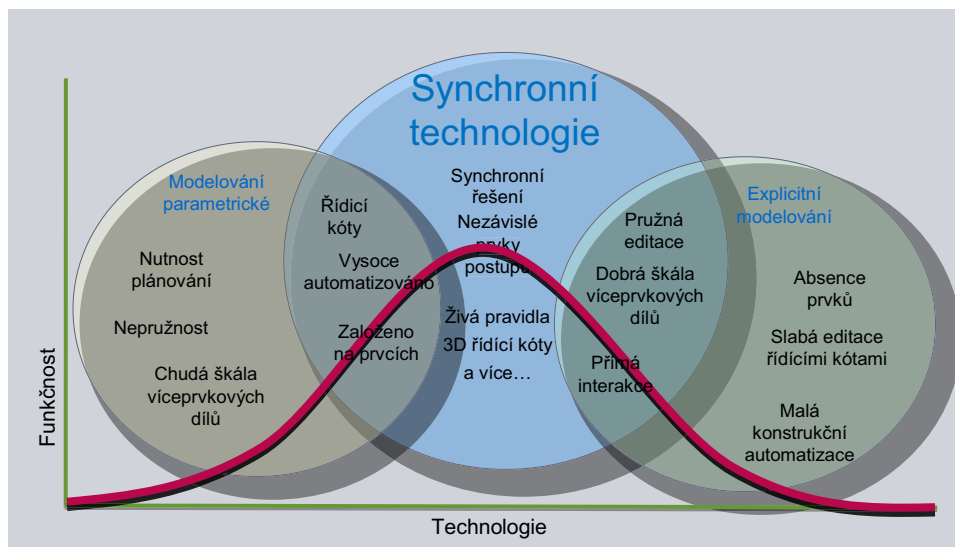
Současným primárním prostředkem pro modelování struktury TO jsou třírozměrné (3D) systémy, jejichž rozšíření v oblastech vývoje strojírenských TO vyšší složitosti je prakticky stoprocentní. Je to lidskému myšlení a představivosti nejpřirozenější forma modelu a také nejvhodnější pro jeho další vícenásobné použití. Označuje se také jako Master Model koncept a jeho vztahy k „okolí“ a navazujícím činnostem přibližuje obr. 4.



Obrázek 4 Master Model Concept v produktovém pojetí

V některých oblastech strojírenství se již částečně opouští i tvorba výkresové dokumentace, 3D modely jsou nositeli informací pro výrobu a kontrolu s pomocí prvků PMI (Product Manufacturing Information).

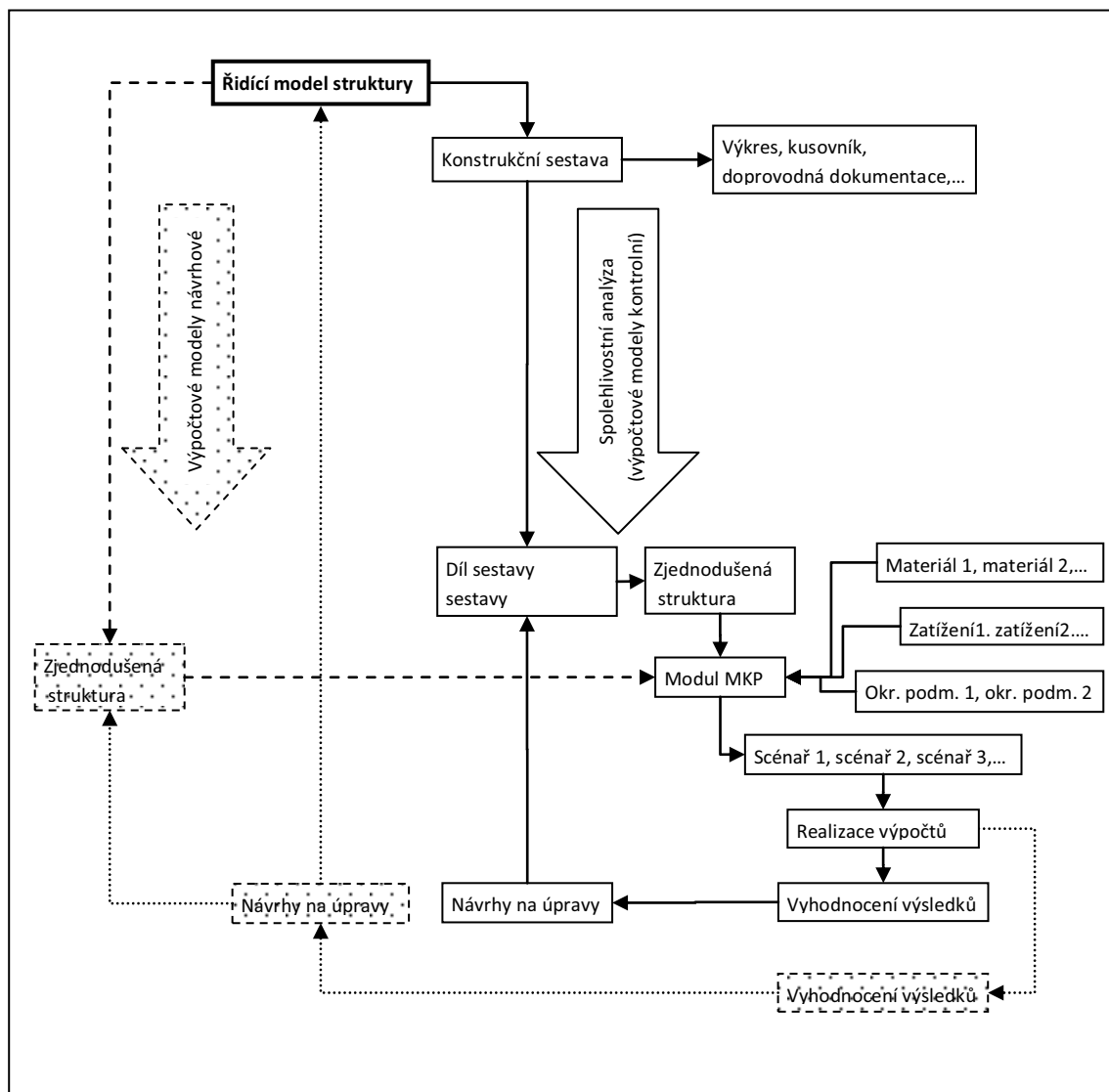
Vlastní strategie tvorby geometrických modelů je zpravidla odlišná u různých producentů systémů a stále se vyvíjí. Může vycházet z exaktní definice geometrie (explicitní modelování), pokročilejší je parametrické modelování. Hybridní metody spojují obě možnosti a nejnovější jsou metody intuitivní - tzv. synchronní technologie přímého modelování. Jednou z jejich významných vlastností je např. možnost úprav 3D modelu struktury bez nutnosti respektovat historii její tvorby. Zásahy se provádí na konečné verzi modelu (změna rozměrů, přidávání a ubírání geometrických prvků,...), systém respektuje při úpravách intuitivní vlastnosti (např. „osa šroubu je vždy v ose otvoru“), nalezenou symetrii,..., nebo předem definované vazby. Fa Siemens, která systém NX6 vyvíjí, celosvětově distribuuje a sama samozřejmě široce využívá, odhaduje, že tato technologie zvyšuje výkonnost při návrhování o 20%. Obrázek 5 zobrazuje schematicky pohled na funkčnost současných přístupů k 3D modelování.



Obrázek 5 Funkčnost současných přístupů k 3D modelování

Modely struktury TO je možné vytvářet hierarchicky v různých úrovních složitosti a zároveň mezi sebou vázaných. Řídící model (Master Model) je výchozím pro modelování chování TO i jeho dílů i pro detailní konstrukční zpracování.

Dostupnost výkonného počítačového vybavení a techniky řídicích modelů je základem přístupu „WHAT IF“ v počítačovém modelování. V systému NX6 se tato možnost přímo nazývá „Scenarios“, čímž jsou myšleny scénáře různých projevů (deformace, přetvoření, napjatost, teplota,...) za různých podmínek (zatěžování objektu, ovlivňování objektu, druh materiálu,...). Tyto scénáře umožňují modifikovat strukturu vstupních modelů, aniž by se např. vlastní model používaný pro konstrukci měnil, vyhodnocovat výsledky výpočtových modelů a iterační cestou dospět ke konečnému návrhu. Samozřejmě je možné realizovat i výpočtové modely na konstrukčně hotových dílech. Na obr. 6 je předvedeno zjednodušené schéma takového postupu spolu se začleněním výpočtového modelu na bázi metody konečných prvků.



Obrázek 6 Úloha řídicího modelu struktury

Na závěr můžeme pouze konstatovat, že představy nedávné minulosti o kvalitativní struktuře systémů pro počítačové navrhování, a trendu, totiž rozvíjet a nasazovat systémy „úrovně 4“, se naplnila. Počítačové navrhování tam, kde se budovalo na základě pečlivé analýzy a podařilo se nadchnout pracovníky pro tento styl práce a samozřejmě byl k dispozici dostatek financí na vybavení a pokrytí všech činností, přináší svoje výsledky v podobě úspěšnosti na trzích.

8 Systémy CAD a ekonomika

8.1 Nedávná minulost

V "nedávné minulosti" se usuzovalo, že návrh TO s využitím náročných počítačových soustav (CAE) bude proti klasickému navrhování (SAE) podstatně dražší. Místo levného prkna, papíru a logaritmického pravítka používáme nákladný počítačový hardware a software a práce v CAE vyžaduje i kvalifikovanější pracovníky.

Výsledkem této úvahy je konstatování, že je omylem předpokládat, že nasazením počítačů návrh TO bude levnější.

Očekávaný vliv CAE je znázorněn na obr. č. 7. V něm jsou schematicky znázorněny náklady na návrh a efekty z provozu (přínos) v průběhu technického života TO, především však ve fázi návrhu, realizace a provozu.

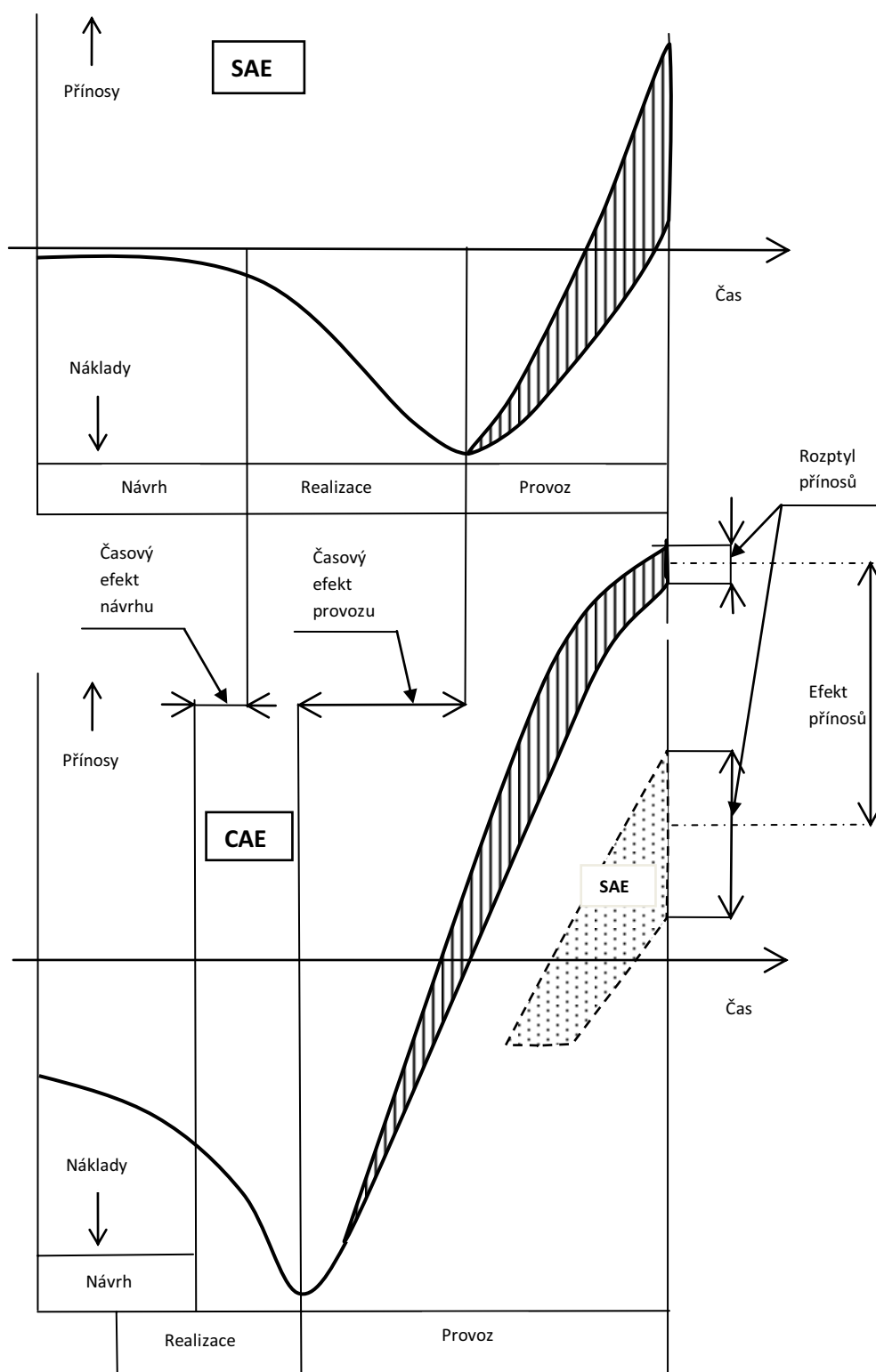
Cílem a efektem CAE není ušetřit při návrhu, ale vytvářet podstatně rychleji efektivnější a kvalitnější TO. Prostředky CAE tak měly ve srovnání s prostředky SAE vykazovat tyto hlavní efekty:

- Zkrácení doby návrhu TO („časový efekt návrhu“).
- Dřívější uvedení TO do provozu („časový efekt provozu“).
- Vyšší přínosy za provozu TO a menší rozptyl jejich hodnoty („rozptyl přínosů“ a „efekt přínosů“).

Úvahy nad ekonomikou v „nedávné minulosti“ přiblížíme ještě na příkladu použití výpočtových modelů (modelů chování TO), které se začaly uplatňovat v procesu návrhu daleko dřív, než modely struktury.

Z hlediska souběhu s činností konstruktéra byly v tehdejší používané terminologii rozčleňovány do tří kategorií:

- **Výpočtové modely kontrolní:** TO a jeho prvky (jednotlivé díly, svařence, odlitky), které se měly kontrolovat, byly detailně navrženy, popř. již i výrobně zabezpečovány. V podstatě každá realizace výpočtového modelu v této situaci ukázala na *možnosti změn* (např. vylehčení při nízkých napětích), nebo na *nutnost změn* (vysoká koncentrace napětí a z toho plynoucí nebezpečí předčasné poruchy). Zásahy byly vždy obtížné a byly spojeny s viditelnými náklady. Častým výsledkem bylo také konstatování, že *je vše v pořádku*.



Obrázek 7 Efekty přístupu SAE a CAE

- **Výpočtové modely návrhové:** Realizace výpočtových modelů probíhala souběžně s prací konstruktéra, či vývojáře. Jsou typické opakováním řady variant a jejich hodnocením. Většina z nich s postupujícím návrhem pozbývá na aktuálnosti a dá se o nich se zpětnou platností prohlásit, že byly zbytečné. Obvykle značně vzrostou náklady na realizaci výpočtových modelů – odhad se pohyboval mezi čísly tři až šest. Vše však silně záviselo na konkrétní úrovni programového vybavení, výkonnosti a přístupu k počítačům, zkušenosti výpočtářů, efektivnosti spolupráce konstruktéra a výpočtáře. Při skončení návrhu TO bylo také skončeno výpočtové modelování. Všechny podstatné úpravy, které výpočtář s vývojářem průběžně hodnotili, byly v konečné verzi technické dokumentace již zahrnuty. Poslední verze výpočtového modelu návrhového byl vlastně výpočtový model kontrolní, ovšem bez následku vyšších nákladů na dodatečnou realizaci změn.
- **Výpočty havarijní:** Při výrobě součásti, nebo uvedení stroje do provozu, vznikl defekt, havarie. Výpočtové modelování mělo pomoci rozhodnout o vině, nápravě, zmetkování. Rozhodnutí v tomto případě musí být obvykle rychlé. To však vyžaduje, aby použitý software, metodika, ... byla zpracována a ověřena předem a získány s ní praktické zkušenosti. Doloží-li výpočet např. vinu výrobce, pak realizace výpočtu jen vzniklou škodu zvyšuje. V opačném případě teprve havarie vede k „objevení“ ekonomického účinku prací, které byly provedeny dávno předem a v té době mohly být považovány za zbytečné, tedy neekonomické.

Ekonomický účinek výpočtového modelu kontrolního se dal přibližně odhadnout cenou možných následků poddimenzování a následnou poruchou, výší nákladů na dodatečné úpravy, ... Účinek výpočtového modelu návrhového v podstatě unikál, všechny úpravy se udály před jakoukoliv detailní cenovou a hmotnostní kalkulací TO. Dal se postihnout jen mírou dosažení zadaných užitných hodnot TO (hmotnost, tuhost, hnací energie, ...), tj. cílů, před které byl postavem tým návrhářů na počátku své společné práce.

Realizace výpočtových modelů v podstatě vždy zvyšovala cenu návrhové fáze TO a snaha o zdůvodnění jejich ekonomické návratnosti během této fáze měla mizivou naději na úspěch. To bylo velmi časté bojiště, na kterém probíhaly koncepční střety zastánců nasazování počítačů obecně jen jako zdroje přízemních „úspor“ a těch, kteří v nich rozpoznali úžasný prostředek k řešení zcela nových, nebo doposud nevládnutelných problémů.

Nedávná minulost byla charakteristická také tím, že pořizování počítačového hardware i software bylo nutno úporně ekonomicky zdůvodňovat - samozřejmě v rámci tehdejších předpisů a měřítek. Převažujícím důvodem pro tyto zdlouhavé postupy byla i nedostupnost tohoto zařízení, protože výkonné sestavy bylo možné dovézt pouze ze západních států za nedostatkové devizové prostředky, dále silná licenční omezení (embargo) a ve srovnání s dnešní dobou vysoké ceny.

8.2 Současnost

V dnešním pojetí dřívějším výpočtovým modelům kontrolním odpovídá pojem spolehlivostní analýza, tj. posuzování bezpečnosti (okamžité mezní stavy) a životnosti (kumulativní mezní stavy).

Výpočtové modely návrhové, se svým iteračním cyklem „návrh struktury – výpočtový model – úprava struktury – výpočtový model - ...“ mají i dnes stejné poslání a praktický průběh.

Výpočty havarijní odpovídají dnešním inverzním úlohám, resp. identifikaci systémů (viz Janíček, 2007).

Současný odlišný pohled na vlastní ekonomickou stránku naznačují i konstatování uvedená v odstavci 4.2. V dnešní době, kdy se téměř 100% konstrukční dokumentace pořizuje počítačově, a tržní prostředí působí na všechny výrobce všestranným a permanentním tlakem, úvahy o rozsahu, ceně, kvalitě a odbornosti použití prostředků se musí řešit rychle a rozhodně.

Ekonomický efekt se neposuzuje zvláště, snad až na výjimky specializovaných, a tedy i dnes drahých počítačových sestav, ale jako konečný úspěch, či neúspěch v dodávce TO a splnění jeho užitečných hodnot dle požadavků zákazníka. V tomto současném pohledu na ekonomiku technologií CA se zcela naplnily představy „nedávné minulosti“.

9 Koncepce CA a její souvislost s obsahem i formou studia na VUT Brno

9.1 Nedávná minulost

Při přípravě náplně moderní formy studia se vycházelo z nutnosti respektovat tato základní stanoviska:

- Komplexní počítačovou vzdělanost.
- Nadoborový přístup.
- Pochopení rozhodující úlohy navrhování v procesu tvorby TO.
- Problémové, individuálně týmové pojetí studia.

V klasické formě studia se navrhování chápalo a interpretovalo především jako subjektivní nealgoritmizovatelná schopnost, která je založena na nadání a zkušenostech. Navrhování za pomoci techniky CA je však spočívá na cílevědomé spolupráci člověka s počítačem. To však vyžaduje analyzovat lidské činnosti při navrhování, odlišit ty, které jsou výhradně „lidské“ a ty, které může provádět počítačové hardware ve spolupráci s člověkem na základě sestavených programů.

Toto pojetí bylo východiskem pro návrh osnov mezioborového studia. Problémy pak začleněny do předmětů např. s těmito názvy: Teorie strojních soustav, Počítačové navrhování, Metody hodnocení a optimalizace, Inženýrská psychologie,...

V koncepci mezioborového studia se realizovala individuálně týmová i problémová výuka.

Problémová výuka se projevuje především v tom, že ve skupině max. 20-ti studentů se praktikuje především seminární forma výuky za přímé účasti studentů a hodnocení studentů ne jenom podle formálních znalostí, ale v první řadě podle předloženého zpracování problému.

Individuálně týmová práce se realizuje tak, že skupina studentů je rozdělena do tříčlenných týmů s určeným vedoucím. Tým zpracovává část společnou a část individuální. Hodnotí se nejen individuální výkon, ale i přínos týmu.

U diplomových prací převažovalo zadání typu „Počítačový návrh...“. Prosazení nebylo vždy jednoduché a bylo nutno překonávat řadu právních i psychologických bariér. Jednou z nich byl např. názor, že diplomová práce typu Počítačový návrh... bez několika ručně nakreslených výkresů formátu A0 nebude mít dostatečnou úroveň a bude se obtížně obhajovat.

První obhajoby důsledně počítačově orientovaných diplomových prací vyvrátily všechny pochybnosti a měly vysokou odbornou i formální úroveň.

9.2 Současnost

To, co bylo „naplánováno“ v předchozím odst. 9.1, se plní a dále rozvíjí.

Pro vývoj ve výuce na Ústavu mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky (dále jen ÚMTMB) Fakulty strojíního inženýrství VUT v Brně jsou charakteristické tyto tři trendy (Janíček, 2007):

9.2.1 Trendy v oblasti pedagogického procesu

a) Trend sjednocování oborů

Vývoj vědy v době minulé vedl ke vzniku specializovaných oborů. Z fyziky se osamostatnila mechanika, optika, elektromagnetismus, ... atd. Pak se začala členit mechanika na termodynamiku, hydromechaniku, aeromechaniku a mechaniku tuhé fáze. V každém z těchto oborů vznikaly „specializované“ analytické teorie a metody pro řešení specifických problémů. S rozvojem numerických metod, které mají nadoborovou platnost, byl započat zpětný proces integrace, minimálně mechaniky. Na ÚMTMB je respektováno to, že se na společném základě přednáší mechanika těles, mechatronika a biomechanika. Umožňuje to systémově rozpracované pojetí různých oborů. Sjednocení ostatních předmětů inženýrské mechaniky naráží zejména na organizační a personální problémy.

b) Trend problémově orientované výuky

Zdrojem inspirace pro tento způsob výuky byla nejen vědecká, odborná a společenská praxe, ale i běžný život, v němž se vyskytují problémové situace, jejichž řešení vyžaduje formulace problémů a jejich řešení. Život nepotřebuje memorování naučeného.

Současná doba vyžaduje *realizaci problémově orientované výuky*, pro níž je charakteristický přechod od výuky faktů k výuce vycházející z existujících problémových situací a na základě nich formulovaných problémů. Problémově orientované by měly být přednášky i semináře a problémově by se mělo i zkoušet.

- Problémové přednášení – na první pohled se může zdát dosti problematické, jak problémově přednášet existující poznatky. Jestliže se poznatky přednášejí jako pouhá fakta a při zkoušce se žádá jejich reprodukování, pak je to *klasická výuka faktů*. Posluchači při ní nebyvá sděleno, proč byl realizován určitý poznávací proces, jehož výsledkem jsou přednášená fakta, obvykle není ani formulován problém, který se v poznávacím procesu řešil, a není uvedeno, proč k jeho řešení byla použita příslušná metoda. Posluchač by při přednášce měl být „spoluřešitelem“ problému, i když tento byl již předtím vyřešen. Tím se „přiučuje“, jak řešit problémy, které doposud nebyly vyřešeny, a připravuje se tím na řešení problémů v praxi, buď v oblasti technické vědy, nebo technické praxe.
- Problémové vedení seminářů (cvičení) – mělo by být *kombinací řešení úloh* (proces řešení je rutinní – řešením úloh se procvičuje odpřednášená látka) a *řešení problémů* (proces řešení vyžaduje využití informačních, tvůrčích a rozhodovacích činností). Po-

sluchači musí tvůrčím způsobem aplikovat na přednáškách získané poznatky k řešení pro ně doposud neznámého problému.

- Problémové zkoušení – u zkoušky je formulován *úkol* k vyřešení. Zda to bude rutinně řešitelná *úloha*, nebo *problém řešitelný* s využitím znalostí získanými studiem, nebo *problém neřešitelný* s využitím toho, co posluchači studium poskytlo, to je podstata problémového zkoušení. Tento způsob zkoušení se přibližuje situacím v technické praxi: i v ní existují jak rutinní úlohy, tak i problémy řešitelné a neřešitelné. Problémové zkoušení je velkým protikladem vůči faktografickému způsobu zkoušení, tedy reprodukci naučených faktů.

c) Trend komplexnosti struktury předmětů

To znamená, že struktura předmětu má všechny následující vlastnosti (detailněji Janíček, 2007):

- *dialektickou logiku předmětu* – jednotlivé statě předmětu vykazují racionální návaznost,
- *úplnost* – struktura předmětu obsahuje všechny podstatné prvky charakterizující daný obor,
- *otevřenost* – existují vazby a interakce předmětu na své okolí,
- *dynamičnost* – struktura předmětu je potenciálně v čase proměnná,
- *flexibilita* – struktura je aplikovatelná pro různé časové možnosti a různá oborová zaměření.
- *novost* – obsahová náplň předmětu je kontinuálně obnovována o nové poznatky v oboru,
- *hierarchičnost* – struktura je tvořena moduly s různými úrovněmi podrobnosti,
- *pojmová čistota* – všechny předměty by měly být přednášeny v podmínkách pojmové vyjasněnosti.

9.2.2 Trendy v oblasti počítačových podpor a inženýrských analýz

❶ Trend komplexity v oblasti počítačových podpor

Metoda konečných prvků se v tomto trendu využívá v těchto dvou úrovních:

- Vytvoření počítačové podpory na úrovni konstruktéra, realizujícího kontrolní výpočty při řešení konstruktivního problému. Tato podpora obsahuje programové systémy nejen pro deformačně-napjatostní, stabilitní a spolehlivostní analýzy s využitím výpočtového modelování, ale i pro simulační a optimalizační modelování a pro citlivostní analýzy.
- Propojení počítačových podpor CAD, CAEA a CADD.

❷ Trend komplexity v oblasti inženýrských analýz

Tento trend spočívá v propojení programových systémů metody konečných prvků pro komplexní řešení problémů mechaniky kontinua. Využívá se přitom tzv. *sdrůžených polí*, přičemž výpočty jsou ovládány ze stejného rozhraní a přenos dat mezi programovými systémy pro jednotlivé problematiky mechaniky kontinua je zcela automatický. Konkrétně se jedná

o sdružování těchto oblastí mechaniky kontinua: ① mechanika tekutin \Leftrightarrow mechanika těles \Leftrightarrow termomechanika \Leftrightarrow aeromechanika \Leftrightarrow elektromagnetická pole.

③ Trend zavádění nových prvků do výpočtového modelování

a) Měkké výpočty

Myšlenka realizace tzv. měkkých výpočtů (*soft computing*) se poprvé objevila v roce 1990 na konferenci v Berkeley. Podle tohoto amerického města dostaly měkké výpočty i zkratku *BISC* (Berkeley Initiative in Soft Computing).

Název „*měkké výpočty*“ vznikl jako protipól „*tvrdých výpočtů*“ ve smyslu jejich determinističnosti, zejména vzhledem ke vstupním údajům do jejich algoritmů. Metoda konečných prvků, jako jedna z metod tvrdých výpočtů, sice umožňuje zpracovávat i intervalové vstupní údaje, musí se ovšem využít metoda Monte Carlo. Algoritmy měkkých výpočtů umožňují zpracovávat data obsahující nepřesnosti, data s určitou mírou neurčitosti a částečně platné údaje, tedy vše, co není deterministické. Platí: charakteristikami měkkých výpočtů je tedy flexibilita na kvalitativní i kvantitativní stránku vstupních údajů, což znamená, že tyto výpočty jsou robustní a taktéž nejsou nákladné.

Výchozí myšlenkou pro měkké výpočty bylo vytvoření algoritmu, který bude obsahovat tuto flexibilní *množinu metod, přístupů a teorií*: ① fuzzy logiku, ② neuronové sítě, ③ pravděpodobnostní usuzování, ④ genetické algoritmy, ⑤ teorii chaosu, ⑥ teorii učení, ⑦ případně další entity. Který prvek z uvedené množiny se použije na řešení problému, to závisí od jeho charakteru. Měkké výpočty nevyužívají uvedenou množinu metod, přístupů a teorií jako pouhou „směs metod“, ale jedná se o jejich účelovou kombinaci, která vykazuje v konečném výsledku (v kvalitě řešení problému) synergický efekt.

Charakteristickými aplikačními oblastmi jsou: ① fuzzy-logické řízení, ② neurofuzzy systémy v různých aplikačních modifikacích, ③ výkonové soustavy, ④ počítačové podpory pro rozhodovací procesy, ⑤ architektonické návrhy, ⑥ komprese dat, ⑦ image processing, ⑧ automotive systems and manufacturing, ⑨ ověřování rukopisu atd. Např. velmi efektivní se jeví výpočtový fuzzyneuronový systém využívaný jako expertní systém v oblasti obchodu (zejména ve spotřební elektronice), ale i v průmyslových aplikacích.

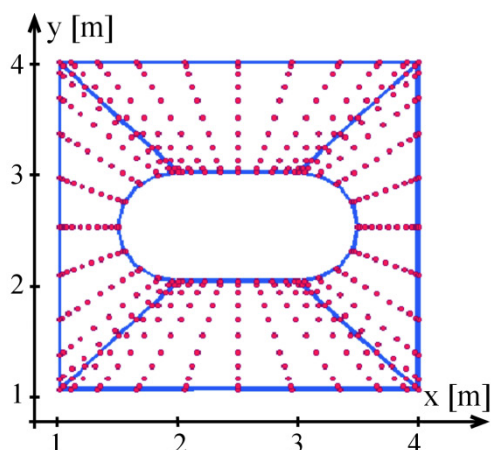
Měkké výpočty lze považovat za *specifické modelování*, protože je prostředkem k řešení problémů, a to specifických, ve smyslu vysoké náhodnosti vstupních dat do algoritmů modelování. *Modelovým objektem je množina různých abstraktních teorií*, tedy množina různých dílčích abstraktních modelových objektů, takže ho lze označit za *modelování hybridní*. Pojem hybridní byl taktéž použit pro ty případy (podobnostní a analogové modelování, identifikace systémů), u nichž je materiální modelový objekt propojen s abstraktním modelovým objektem. Tato modelování byla komplexně označena jako *materiálně-abstraktní hybridní modelování*. Je tedy potřebné odlišení, pro které může být použita ta skutečnost, že podstatnou charakteristikou měkkých výpočtů je, že se modelování realizuje s využitím kombinací různých typů abstraktních modelových objektů (teorie fuzzy logiky, teorie neuronových sítí, teorie genetických algoritmů, teorii chaosu, teorii učení atd.). Zdá se tedy přirozené a logické považovat měkké výpočty za *abstraktní hybridní modelování*.

b) Metoda spektrálních prvků

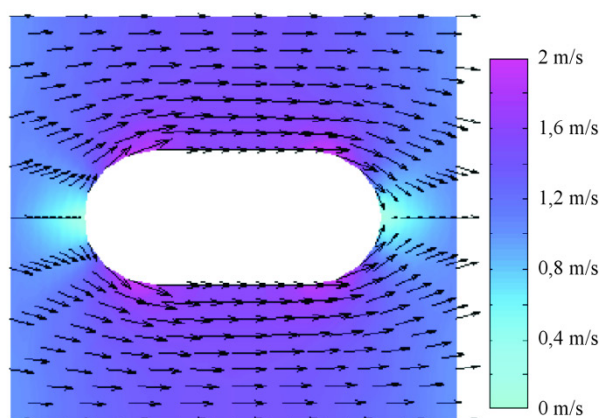
Metoda spektrálních prvků (Spectral Element Method – SEM) kombinuje výhody spektrálních metod a metody konečných prvků. Vede na řešení parciálních diferenciálních rovnic, k čemuž využívá Galerkinův princip. Teorie SEM je budována s využitím Legendrových, resp. Čebyševových ortogonálních polynomů. Geometrie prvku i přibližné řešení na něm se aproximuje pomocí čtyřúhelníkového Lagrangeova izoparametrického prvku. Každý prvek je zobrazen na referenční oblasti, kde jsou jako uzly interpolace zvoleny uzly Gauss-Legendre-Lobattových součinitelů kvadraturních formulí (zkratka GLL). Tytéž formule se používají pro numerický výpočet integrálů. Vysoké přesnosti aproximace se dosahuje volbou vysokých řádů kvadraturních formulí.

Na obr. 8 je příklad oblasti, která je rozdělena na čtyři prvky (silnějšími přímkami). Červené body jsou řídicí body, pomocí kterých je sestaven Lagrangeův interpolační polynom, Tyto řídicí body jsou obrazy uzlů GLL formulí na reálném prvku. Získány jsou pomocí transfinite interpolace. To je technika pro práci se zakřivenými čtyřúhelníky. Tou se pomocí analytického popisu hranice určí souřadnice vnitřních bodů oblasti.

Na obr. 9 je vypočtené potenciální proudění na oblasti dle obr. 8. Metoda spektrálních prvků se používá především při řešení problémů proudění kapalin.



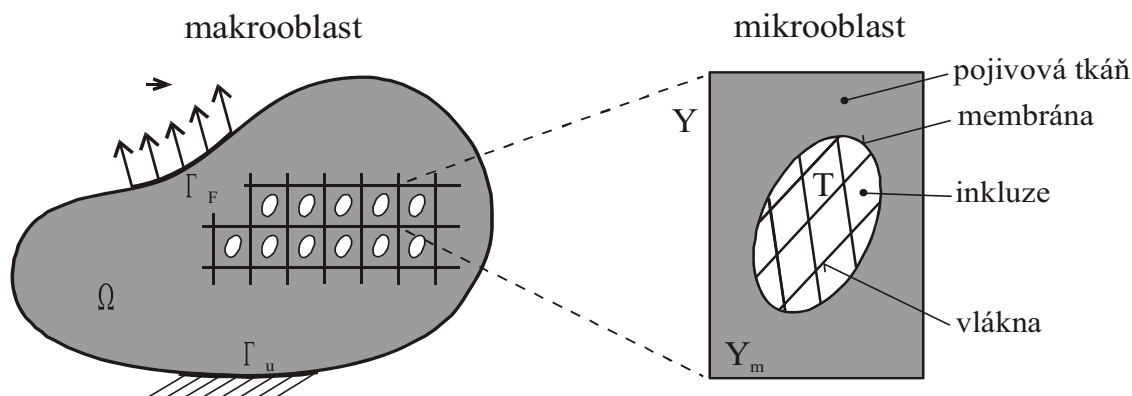
Obrázek 8



Obrázek 9

c) Metoda homogenizace v mechanice kontinua

Metoda je vhodná pro výpočtové modelování mechanického chování těles (např. deformačně-napětových stavů), u nichž se vyskytují oblasti s odlišnými materiálovými vlastnostmi: Tyto oblasti Y (obr. 10) jsou označovány jako mikroskopické a odpovídající úroveň je mikroskopická; celé těleso je považováno za makroskopickou oblast Ω .



Obrázek 10 Makroskopická a mikroskopická oblast

Jako ilustraci takových těles lze uvést nárazníkovou vrstvu pneumatiky automobilu (je to oblast vyztužená např. kovovými vlákny), vrstvy stěny tepny (skládají se z kolagenních a elastických vláken a z hladkých buněk), tělesa z kompozitních materiálů, textilie, porézní stavební materiály apod. Metoda homogenizace je schopna respektovat na mikroúrovni různé procesy, např. chemické procesy (difúze), mechanické (kontrakci vláken u biologických materiálů). Procesy probíhající v tělesech mohou být realizovány na lineárních i nelineárních strukturách (nelineární vlastnosti prvků a vazeb), na malých či velkých posuvech a přetvořeních, což vede na lineární či nelineární chování těles.

9.2.3 Trendy v oblasti odpovědnosti za výsledky počítačových podpor a výpočtového modelování

Tyto trendy jsou detailně analyzovány v (Janíček, 2007) a jsou zde členěny do těchto skupin:

- a) Odpovědnost za výsledek výpočtového modelování dobrovolně konaného.
- b) Odpovědnost za výsledek výpočtového modelování smluvně konaného.
- c) Odpovědnost za využití výsledků výpočtového modelování.
- d) Odpovědnost za výsledek výpočtového modelování ve znalecké činnosti.

10 Shrnutí, závěr a pohled do blízké budoucnosti v jednom

Hned v úvodu závěru je vhodné uvést, že tuto stat' napsal poslední z trojice autorů. Jsou to jeho názory, které si nečiní nároky na komplexnost a na úplnou kompatibilitu s názory jiných.

Vyrobít rychle a ekonomicky přijatelně technický progresivní a spolehlivý technický objekt vyžaduje průnik těchto skutečností: efektivní propojení ① počítačově orientovaných technických prostředků pro konstrukční návrh objektu, ② roboticky orientovanou výrobu s počítačově orientovanou organizací, ③ programové systémy pro různé typy inženýrských analýz, zejména ve vztahu ke spolehlivostní a tím i funkčnosti technických objektů a ④ znalostně a kreativně erudovanou „obsahu“ všeho uvedeného.

První tři skutečnosti by v současnosti měla zajišťovat počítačově integrovaná výroba (CIM), zahrnující integraci všech počítačových podpor v rámci paralelního inženýrství vybudovaném na informačních sítích, správu informací a dat produktů využívanou při plánování výrobních procesů, ve výrobě, při kontrolách a montáži, systémově strategické řízení organizace, inteligentní skladování, veškeré procesy podřízené logistice a managementu respektující existenci rizikového inženýrství.

Čtvrtou skutečnost by mělo zajišťovat vysoké technické školství, respektující systémové pojetí vzdělávání především v rámci uceleného víceletého magisterského studia.

V duchu toho příspěvku analyzujeme změny v úrovních, které nastaly v bodech ①, ③ a ④ od dob, kdy jsem dostali do rukou nejmocnější nástroj vývoje, v podobě počítače.

A. V oblasti ① nastal nejrazantnější pokrok, jak je zřejmé z obsahu tohoto příspěvku. Ve způsobu navrhování technických objektů nastala revoluční změna, protože vznikla zcela nová kvalita řešení návrhového problému technického objektu, která výrazně ovlivnila i rychlost a kvantitu všech činností souvisejících s řešením tohoto problému. Byla to revoluce, protože v propadlišti historie zmizel téměř celé století existující způsob návrhu technických objektů. Minulostí se stalo „konstruktérské prkno“ i logaritmická pravítka, zanikla profese kreslíček výkresů, rozmnožovací oddělení atd. Byla to sice revoluce, ale ne skoková, která měla svůj historický vývoj, jehož některé části jsou analyzovány a ilustrovány i v tomto příspěvku.

Prognostikovat další vývoj procesů v oblasti navrhování technických objektů nelze, a to zákonitě. Jedná se totiž o procesy dynamické, nelineární, s neexistujícím rovnovážným stavem (tedy stále vzdálené od rovnovážného stavu), s trvalým výskytem fluktuací (odchylek od existujícího stavu v podobě nových nápadů a přístupů), což jsou potenciální vlastnosti procesů podmiňující existenci synergických jevů v podobě vzniku nových struktur. Pro takové procesy (obdobně jako v ekonomice či meteorologii) končí platnost dlouhodobých prognóz v okamžiku jejich vyslovení (detailně viz Janíček, 2007).

B. Velké změny nastaly i v oblasti inženýrských analýz spojených s chováním technických objektů. Existence počítače umožnila realizovat numerické metody, což vedlo ke vzniku téměř univerzálních metod pro určování chování kontinua v podobě metody konečných prvků, metody konečných objemů a hraničních integrálů. Zejména metoda konečných prvků uskutečnila dávný sen „výpočtářů“ v podobě určování chování (pole deformací, napětí, proudění, teplot, elektromagnetických polí, atd.) těles libovolného tvaru s obecnými okrajovými podmínkami. Gabrieli Lamému se tak, po více než jeden a půl století, splnil sen „určit deformačně-napěťové stavy u obecného tělesa“, sice trochu jinak než zamýšlel, ale přece. Slavné Lamého rovnice (soustava tří homogenních parciálních diferenciálních rovnic druhého řádu z roku 1852), s okrajovými podmínkami ve tvaru matic, dodnes nemají obecné matematické řešení. Našla se jen analytická řešení pro elementární tělesa, numerická řešení jsou sice možná, ale jsou numericky nestabilní. Lamého rovnice jsou krásnou ilustrací toho, že i když existuje matematická teorie, tak pro praktické výpočty, v důsledku matematické neřešitelnosti, je nepoužitelná.

Do inženýrských analýz ovšem patří i problematika posuzování spolehlivosti technických objektů, tedy vymezení takových jejich chování, které nepovedou ke vzniku mezních stavů. Ty jsou zde uvažovány jako stavy znemožňující technickému objektu plnit své funkce, buď z důvodů interních (technické mezní stavy), nebo externích (např. ekologické mezní stavy pro technické objekty). Technické mezní stavy jsou různých druhů: deformační (nepřípustné

deformace tělesa), stabilitní (vzpěrná a deformační stabilita, boulení nosníků a stěn, stabilita skořepin atd., související s porušováním soudržnosti těles, nestabilní šíření trhlin, lomy houževnaté, křehké, únavové, cyklický a vysokoteplotní creep, teplotní ratcheting, atd.), nepřijatelné změny kvalit funkčních povrchů těles (eroze, koroze, kavitace, abraze, adheze, kontaktní únava, koroze za napětí, atd.).

K určování mezních stavů je nutno znát mezní podmínky, tj. podmínka popisující přechod z „normálního“ stavu tělesa do stavu mezního, v němž tento nemůže plnit svou funkci.

U okamžitých mezních stavů (mezní stavy deformace, stability a pružnosti) jsou mezní podmínky obvykle známé. To znamená že deformační a stabilitní mezní stavy jsou snadno řešitelné. Úroveň jejich určování přímo souvisí s úrovní s jakou se určují deformačně-napětíové stavy těles. Pokrok v jejich určování tedy znamená i pokrok ve zvyšování úrovně okamžitých mezních stavů.

U kumulativních mezních stavů, u nichž mezní stav není určen okamžitými hodnotami těch veličin, které tento stav vyvolávají, ale kumulací změn ve vlastnostech struktury materiálu, jsou k popisu mezních stavů potřebné zákony kumulace poškození. Matematický popis těchto zákonů je možný u jednoduchých napjatostí v bodě tělesa. Pro obecný případ, u něhož se v bodě tělesa mění s časem jak hodnoty, tak i směry hlavních napětí (obecně u každého ze tří hlavních napětí různě), zákony kumulace poškození nejsou známé. K jejich objevení zvyšování úrovně znalostí o deformacích a napětích v tělesech nepomůže. Znalost deformačně-napětíové stavů těles je pro určování kumulativních mezních stavů podmínka nutná, ale nedostačující. Existuje tedy určitá úrovněová nevyváženost mezi vysokou úrovní určování deformačně-napětíové stavů těles a nízkou (nebo dokonce žádnou) věrohodnou úrovní popisu zákonů kumulace. V uvedené situaci žádná revoluční změna v poslední době nenastala. Určování kumulativních mezních stavů zůstává stále slabým článkem určování životnosti těles. Jediným pokrokem je to, že nastalo informační propojení mezi deformačně-napětíovými stavy těles a mezními podmínkami.

Prognostikovat stav, kdy poznatky z fyziky kovů, materiálového inženýrství, lomové mechaniky a teorií mezních stavů pokročí tak, že budou k dispozici algoritmy pro věrohodné určování spolehlivosti u těles s potenciálním výskytem kumulativních mezních stavů není reálné.

C. Jakákoli úroveň programových systémů pro návrhy technických objektů a jejich inženýrské analýzy je „mrtvá“, pokud není na patřičné úrovni „oživena“ znalostně a systémově erudovanými jedinci. Tím se přesouváme do oblasti, kde se získávají znalosti a systémové pojetí skutečnosti, tedy do oblasti školství. Nelze v pár větách vytvořit koncepci našeho technického vysokého školství, o což se snaží již mnoho roků dokonce týmy pracovníků na vysokých školách a na ministerstvu, které se zabývá i školstvím.

Technické vysoké školství by mělo vycházet ze systémového pojetí vzdělávání v rámci uceleného víceletého magisterského studia, při minimalizaci studia bakalářského. Jedině takové studium umožňuje vyprodukovat systémově orientované absolventy, nejen s technickými, ale i ekonomicky a humanitně orientovanými znalostmi. Bakalářské studium je při snaze vychovat kvalitní inženýry (ingenium znamená mimo jiné i tvořit) skalpelem, který „rozřezává“ kontinuitu vzdělávání.

Systémové pojetí školství znamená respektovat ve vzdělávacím procesu atributy systémového přístupu (strukturovanost, podstatnost, otevřenost, dynamičnost, hierarchičnost,

komplexnost, stochastičnost, úrovnovou vyváženost, deterministický chaos, synergičnost procesů atd., viz Janíček, 2007), systémové myšlení a systémové metody. Jsou to nadoborové metody, zejména tyto: teorie systémů, logika, experiment, modelování, teorie chyb, logistika, mezní stavy, statistika, rizikové inženýrství, deterministický chaos, logistika, teorie tvorby technických objektů, inženýrské analýzy, atd. Tyto metody by měly být ztvárněny do jednotlivých nadoborových předmětů a přednášeny v součinnosti s předměty teoretického základu (matematika, fyzika, mechanika, materiálové inženýrství). Vše by mělo být doplněno odbornými předměty dotvářejícími profil absolventa. Uvedené představuje stručný makropohled na vzdělávací proces na technických univerzitách.

Mikropohled představuje způsob realizace jednotlivých předmětů. Především je to v hlavním textu zmíněná komplexní problémová výuka (přednášení, vedení cvičení a zkoušení) a taktéž zmíněná komplexnost struktury předmětů (dialektická logika předmětu, jeho úplnost, otevřenost, dynamičnost, flexibilita, novost, hierarchičnost, pojmová čistota), úzce spjata se systémovým pojetím vzdělávacího procesu, detailněji viz Janíček, 2007. Realizovat tuto vizi je především problematika „chtění“ na všech hierarchických úrovních školství, od rektorů až po vedoucí praktických cvičení. Nutnou podmínkou ovšem je, aby všichni zainteresovaní jedinci měli „předpoklady a danosti“ systémově a problémově orientovanou výuku zvládnout. V tomto směru je to problematika systémové gramotnosti jedinců, kterou ovšem lze zvládnout.

Vše uvedené lze shrnout do pojmu systémové integrace vysokoškolského vzdělávání, nikoli desintegrace, která se stala v našich podmínkách nesystémovým až módním trendem. Pro všechny módní trendy je však charakteristické, že mají časově omezená trvání.

D. V souvislosti s úrovní poznatků jedinců je zde ještě jedna zajímavá skutečnost. Díky počítačům nastal další revoluční skok, a to v možnostech šíření informací prostřednictvím Internetu. Žádné slovo, žádný pojem není pro nikoho z nás nedostupný. Stačí např. ve vyhledávači Google napsat jakýkoli slovní termín a jsme zahrnuti někdy až statisíci odkazů a článků. Někdejší problém s nedostatkem informací byl nahrazen problémem s přemírou informací.

Uvedené je pro každého z nás samozřejmostí. Podívejme se na zmíněnou skutečnost poněkud z odlišného pohledu. To, že jsem schopni získat detailní informace o čemkoli, je z pohledu logických metod analýzou. Pronikáme stále do hlubších detailů a jaksi nevědomě se vzdalujeme od další logické metody a to syntézy. K té nám Internet poskytne velmi málo, možná nějaký článek, pokud ho někdo napsal. Příklon k analýzám a odklon od syntézy pozoruji i v rámci své pedagogické činnosti. Posluchačům dělá těžkosti syntetizovat poznatky a hledat souvislosti, v čemkoli. To byla i inspirace k sepsání publikace o hledání souvislostí (Janíček, 2007).

Nebývá častým zvykem provádět podobné srovnávací analýzy úrovně určitých procesů za dvě časová, jednogeneračně vzdálená, období. V předloženém příspěvku tak bylo učiněno pro oblast tvorby technických objektů. Pokud to vyprovokovalo alespoň úvahy o tom, co se vlastně kolem nás změnilo za posledních třicet let a případně, jaké změny nás čekají v budoucnu, pak představy autorů splnily svůj účel.

Je také možné, že prezentovaná konstatování a úvahy vyprovokují někoho ze současníků k tomu, aby podobné historické srovnání se pokusil provést v blízké budoucnosti, tedy po uplynutí dalšího čtvrtstoletí.

11 Literatura

- Janíček, P. (2007) Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky, hledání souvislostí, učební texty I. a CERM s.r.o. Brno, VUTIUM Brno, 2007
- Janíček, P. (1989) Počítačové navrhování – směr výuky studentů strojního inženýrství, *Technický týdeník* č. 34, 1989
- Janíček, P., Ondráček, E. (1998) Řešení problémů modelováním - téměř nic o téměř všem, *učební text*, VUT v Brně, Fakulta strojní, PC - DIR Real, s. r. o. , Brno 1998)
- Kratochvíl, C., Laryš, F., Ondráček E. (2000) Spolupráce VUT Brno se ŽĎAS, a. s., Žďár nad Sázavou – historie a současnost, *mezinárodní konference Inženýrská mechanika, Svratka*, 2000
- Laryš, F. (1989) Vyhovuje současná vysokoškolská příprava konstruktérů?, *Technický týdeník* č. 34, 1989
- Ondráček, E., Laryš, F. (1985) Výpočtové modely a počítačové konstruování I. , *Český výbor Strojnické společnosti ČSVTS, Dům techniky ČSVTS*, Praha 1985
- Ondráček, E., Laryš, F. (1986) Výpočtové modely a počítačové konstruování II. , *Český výbor Strojnické společnosti ČSVTS, Dům techniky ČSVTS*, Praha 1986
- Ondráček E., Laryš F. (1987) Výpočtové modely a počítačové konstruování III. , *Český výbor Strojnické společnosti ČSVTS, Dům techniky ČSVTS*, Praha 1987
- Ondráček E., Laryš F. (1986) Vědeckotechnické výpočty, počítače a automatizace, *Mechanizace a automatizace administrativy*, č. 10, 1986