

**2-5596 Mechanika viazaných mechanických systémov**  
pre špecializáciu Aplikovaná mechanika, 4.roč. zimný sem.  
Garant: doc.Ing.František Palčák, PhD., ÚAMM 02010

## **12. Teoretické východiská pre optimalizáciu a z odolňovanie VMS**

- Robustný VMS
- Deterministická optimalizácia
- Stochastické optimalizačné metódy
- Stochastické simulácie pre robustnú optimalizáciu výrobu
- Teória riešenia inovačných zadaní TRIZ
- Metódy riadenia kvality vlastností procesov a výrobkov
- Súčasné nástroje na podporu inovácií

### **Robustný VMS**

Výrobok je robustný ak má voči deterministickému optimu potrebnú mieru nadbytočnosti (predimenzovania) stanovenú zohľadnením štatisticky stanovenej pravdepodobnosti výskytu náhodných zmien svojich východiskových vlastností (vplyvom opotrebovania, deformácií, zmien teploty, degradácie materiálu...) a prevádzkového zaťaženia, prípadne má schopnosť prispôbovať sa zabudovaním adaptívneho riadenia. Robustný výrobok si tak počas svojej životnosti zachováva vyžadované prevádzkové vlastnosti v dovolenom rozsahu, pričom miera robustnosti je pomer žiadúcich a nežiadúcich vlastností S/N (Signal to Noise Ratio). Robustné inžinierstvo je zamerané na vývoj a uplatnenie inovačných metód celopodnikového riadenia kvality procesov vývoja a výroby výrobkov.

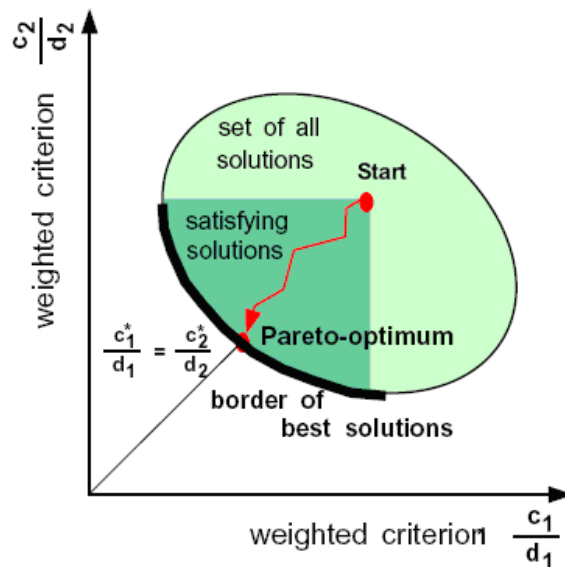
### **Deterministická optimalizácia**

V oblasti multikriteriálnej optimalizácie dynamických sústav a riadiacich systémov je k dispozícii celý rad optimalizačných metód a nástrojov. Reprezentantom v oblasti počítačových nástrojov je program MATLAB so svojimi nástrojmi ako je LMI (linear matrix inequality) Control Toolbox na návrh robustných riadiacich systémov pomocou konvexných optimalizačných techník, ďalej Nonlinear Control a Design Blockset na optimalizáciu nelineárnych riadiacich systémov, modul Simulink na návrh a časovo kontinuálnu a diskretnú simuláciu, ako aj Statistics Toolbox na aplikáciu štatistických algoritmov a modelov pravdepodobnosti.

Techniky multikriteriálnej optimalizácie dynamických systémov s veľkým počtom optimalizačných premenných (parametrov návrhu) umožňujú brať do úvahy multidisciplinárne hľadiská, ktoré vychádzajú zo súbežného sledovania odoziev mechanického systému, hydraulického obvodu a riadiaceho systému a poskytujú prijateľný kompromis pri splnení často protichodných požiadaviek na úrovni celého systému. Multikriteriálna optimalizácia je teda proces v ktorom sa algoritmus snaží súbežne maximalizovať splnenie optimalizačných kritérií tak, aby ďalšie zlepšenie jedného kritéria nezhoršilo ani jedno z ostatných.

Multikriteriálna optimalizácia vlastností virtuálneho modelu VMS prebieha ako cyklický proces dynamických simulácií a v kritických prevádzkových režimoch s cieľovou zmenou

optimalizačných parametrov  $p$  (súradnice polohy parametrizačných bodov, hmotnosti,...) v rámci predpísaných obmedzení po dosiahnutie optimalizačného kompromisu s minimálnou odchýlkou vlastností modelu systému od vyžadovaných vlastností. Jednotlivé cieľové funkcie  $c_i$ , ktoré musia byť  $c_i \geq 0$  váhujeme parametrami  $d_i$  ktoré sú väčšie ako východisková hodnota  $c_{start}$ , teda  $d_i \geq c_{start}$ . Optimalizačnou stratégiou je minimalizácia  $\frac{c_i(p)}{d_i(p)} \rightarrow 0$  najhoršieho kritéria. Vyhovujúce parametre  $p^*$  získame cieľenou zmenou ladiacich parametrov (optimalizačných premenných)  $p^* = \min_p (\max_{i \in G} \frac{c_i}{d_i})$  pre  $i \in C$ , kde  $C$  je súbor cieľových funkcií rešpektujúc predpísané ohraničenia. Optimalizácia končí v bode na Paretovej optimálnej hranici najlepším kompromisom po dosiahnutí maximálnych vážených kritérií.



Obr. 1 Paretova optimálna hranica

Tieto optimalizačné techniky však neberú do úvahy náhodný rozptyl veličín kvôli tomu, aby bolo možné stanoviť aproximačné plochy odoziev odpovedajúce jednotlivým cieľovým funkciám. Potom napriek tomu, že na takejto ploche nájdeme optimum, akonáhle ho aplikujeme na reálny výrobok, jeho prevádzkové vlastnosti budú vyhovovať len pre veľmi malý rozsah zmien vnútorných parametrov a vonkajších účinkov.

### Stochastické optimalizačné metódy

Častou úlohou je zlepšiť prevádzkové vlastnosti dynamického systému, aby spĺňal kritériá a ciele, ktoré sú stanovené buď vnútorne (podnikový predpis, podniková norma, ...), alebo externe (požiadavky zákazníka, legislatívne predpisy, ...). Zlepšenie môžeme dosiahnuť tak, že využijeme poznatky získané pri návrhovaní predchádzajúcich modelov, alebo uplatníme metódy optimalizácie, ktoré cielene vedú k lepším vlastnostiam systému.

Model vhodný na aplikáciu stochastickej optimalizačnej metódy charakterizuje množina vstupných premenných ( $x_i$ ) a množina výstupov ( $y_i$ ), pričom vstupné premenné podliehajú náhodnému rozptylu tolerancií a odchýlok (nepresností).

Hlavná myšlienka metódy stochastického zlepšenia vlastností dynamického systému je v tom, že celú množinu (mrak, cloud, cluster) vstupných premenných ( $x_i$ ) a množinu výstupov ( $y_i$ ) modelu premiestňujeme smerom k vyžadovanému stavu.

Jednotlivé kroky metódy stochastického zlepšenia:

1. Definujeme cieľové prevádzkové vlastnosti systému
2. Definujeme rozptyl (distribúciu) poruchových veličín a rozptyl pre maximálny povolený rozsah parametrov systému
3. Náhodne vygenerujeme vzorku behov a necháme prebehnúť simulácie
4. Pre každý beh vypočítame vzdialenosť odozvy od vyžadovanej hodnoty
5. Určíme minimálnu vzdialenosť a ak je dostatočne malá, proces ukončíme.
6. Modifikujeme rozloženie parametrov návrhu tak, že stredná hodnotu posunieme do hodnoty, ktorú sme použili pri behu s najmenšou vzdialenosťou.
7. Celý postup od bodu 3 opakujeme

Prínosom stochastických simulácií je, že umožňujú konštruktérom určiť mieru robustnosti dynamického systému s uvažovaním rozptylu parametrov čo odpovedá reálnej situácii, pretože skutočný systém nebude nikdy pracovať v ideálne deterministických podmienkach, ale v prostredí s náhodnými, neurčitými vplyvmi. Navyše aj vnútorné vlastnosti systému (materiálové vlastnosti, tvar, rozmery, ...) sa pri prevádzke čiastočne menia. Z tohto dôvodu zdanlivo optimálne parametre deterministického modelu sú málo odolné voči náhodnému výskytu zmien podmienok a vnútorných vlastností, teda systém má nedostatočný stupeň robustnosti.

### **Stochastické simulácie pre robustnú optimalizáciu výrobu**

Robustná optimalizácia vlastností modelu pre zachovanie funkčnosti výrobku v prípustnom rozsahu náhodných zmien zaťaženia a svojich vlastností počas životnosti výrobku je nová výzva pre CAE technológie v 21. storočí.

Aj keď konečno-prvková veda dosiahla v inžinierstve veľkolepé úspechy, stále nás čaká dlhá cesta poznania. Charakteristické znaky fraktálov, chaosu, či princípu neurčitosti z kvantovej mechaniky nájde inžinier v makrosvete vo forme rozptylu hodnôt parametrov výrobku v rámci predpísaných tolerancií.

Pri virtuálnych modeloch nemožno očakávať, že nám poskytnú viac ako do nich vložíme. Ak zakomponujeme do konečno-prvkového modelu neurčitosť vo forme súčiniteľov bezpečnosti, potom náhodný (stochastický) jav zdanlivo pretransformujeme na predvídateľný (deterministický). Lenže úzko optimalizované prevádzkové vlastnosti výrobku, určené podľa hrubého odhadu pásiem bezpečnosti sú príliš citlivé na neustále zmeny vonkajšieho zaťaženia a vnútorných vlastností výrobku.

Vieme, že príroda neponúka svoje tajomstvá zadarmo a tak sme doteraz poznali len následky neurčitosti. Ak niečo dôležité prehliadneme a nezahrnieme do vlastností modelu, čo sa vždy môže stať, potom náhodné a nepredvídateľné kombinácie zmien vlastností a podmienok môžu nakoniec viesť ku katastrofálnemu zlyhaniu výrobku a to nás núti nájsť príčiny

zlyhania a spôsob ako vlastnosti výrobku zmeniť, aby bol odolnejší voči zlyhaniu pri jeho používaní.

Vďaka veľkolepým pokrokom v oblasti počítačových technológií dnes už dokážeme pri vývoji virtuálneho prototypu brať neurčitosť do úvahy v takom zmysle ako sa prejavuje v prírode, v ktorej majú prvky neurčitosti jednak časovo závislé vlastnosti výrobku ako aj meniace sa prevádzkové podmienky. Hlavný prínos virtuálneho modelu, do ktorého zakomponujeme princípy neurčitosti spočíva v tom, že jeho vlastnosti sú blízke realite. Nový smer, ktorým sa nepochybne ubera vývoj CAE je virtuálne simulovanie reality. Táto deterministická vízia CAE postupne prechádza k oveľa prirodzenejšiemu stochastickému prístupu k porozumeniu a zvládnutiu narábania s neurčitosťou prostredníctvom stochastickej simulácie. Ide o vývoj virtuálneho výrobku pre skutočné prevádzkové podmienky v praxi. V inžinierstve je dôležitejšie rýchle nájsť prijateľné riešenie než stráviť kopu času a úsilia v snahe o perfekcionizmus.

Optimálnosť je v skutočnosti synonymom pre krehkosť a zraniteľnosť. Inými slovami ide o to, že hoci dokážeme vyvinúť aj vyrobiť výrobky s optimálnymi vlastnosťami v reálnych prevádzkových podmienkach nebudú dostatočne „zdravé“. Optimálnosť nie je najpravdepodobnejší stav výrobku a optimálne výrobky majú vrodenu tendenciu spontánne opustiť svoj optimálny stav a prejsť do prevádzkového stavu s menšou krehkosťou a zraniteľnosťou.

Inými slovami, čím má model viac interagujúcich prvkov so zakomponovanou možnosťou zmeny v rámci predpísaných inžinierskych tolerancií, s tým menšou presnosťou sme schopní povedať ako sa bude model správať. Nezáleží na tom s akou presnosťou poznáme vstupy pre model, zvyšovaním presnosti vstupov nezvýšime presnosť výstupov, teda takto sa nedá dosiahnuť predpísaná presnosť výstupov. Je to dôsledok vzájomného vplyvu zložitosti modelu, neurčitosti vstupov, neurčitosti vlastností prostredia a presnosti výstupov, tak ako to je aj v reálnom živote. Existuje hranica, za ktorou zvyšovanie presnosti vlastností modelu prestane prinášať viac poznania.

V uplynulých rokoch sa potvrdilo, že optimálnosť a robustnosť nemôžu kráčať spolu, lebo optimálnosť a robustnosť modelu sú vzájomne sa vylučujúce pojmy.

CAE technológie poskytujú nielen kvantitatívne informácie o vlastnostiach modelu, ale stali sa zdrojom poznania o ich podstate a možných zmenách. Poznanie sa tak zhmotňuje do schopnosti dávať veci do súvisu, formulovať hierarchiu požiadaviek, podmienok a pravidiel, sústrediť rôznorodé informácie, sformulovať závery o hlavných prínosoch a operatívne prijímať správne rozhodnutia.

Realistické deterministické konečno-prvkové stochastické modely sú cenným vlastníctvom podniku, predstavujú investíciu, ktorá obsahuje celopodnikové duševné vlastníctvo (know-how) a skúsenosti. Stochastické simulácie poskytujú príležitosť usporiadať a zjednotiť toto poznanie do formy meta-modelov a vydolovať z nich ďalšie často neočakávané informácie o prevádzkových vlastnostiach výrobku. Meta-modely umožňujú inžinierom odhaliť a spoznať vlastnosti ich výrobku v najrozmanitejších súvislostiach, na čo by boli potrebné roky testovania a získavania skúseností.

Je pozoruhodné, ako relatívne maličké tolerancie v konečno-prvkovom modeli dokážu často vyvolať neočakávané makroskopické zmeny v správaní sa modelu. Tieto zmeny voláme motýlie efekty a vyskytujú sa oveľa častejšie ako by si hocikto myslel. Najhodnotnejším výsledkom stochastických simulácií je získanie realistickejších, „zdravších“ a preto aj dôveryhodnejších modelov. Stochastické simulácie s takýmito modelmi umožňujú zvýšiť

robustnosť výrobku, teda jeho odolnosť voči štatisticky pravdepodobným zmenám vonkajších vplyvov a vnútorných vlastností a obmedzujú náchylnosť výrobku k vzniku rizika poškodenia a zlyhania.

Stochastické simulácie utvárajú racionálne a filozofické základy syntézy abstraktného a praktického poznania, pretože tradičný empirický, pravdepodobne najlepší spôsob utvárania poznania, má základy položené na skúsenostiach z experimentovania, než a stochastické simulácie podľa techník metódy Monte Carlo sú vlastne počítačovým experimentom.

### Modelovaním neurčitosti dostať riziko zlyhania výrobku pod kontrolu

MSC. Robust Design je stochastický simulačný nástroj firmy MSC. Software, ktorý využíva pre stochastické simulácie najjednoduchšiu a najvšestrannejšie použiteľnú numerickú techniku Monte Carlo.

Uvažujme vo všeobecnosti  $N$  náhodných bodov  $(x_1, \dots, x_N)$  rovnomerne rozdelených v multidimenzionálnom objeme  $V$ . Metóda Monte Carlo odhaduje integrál funkcie  $f$  na objeme  $V$

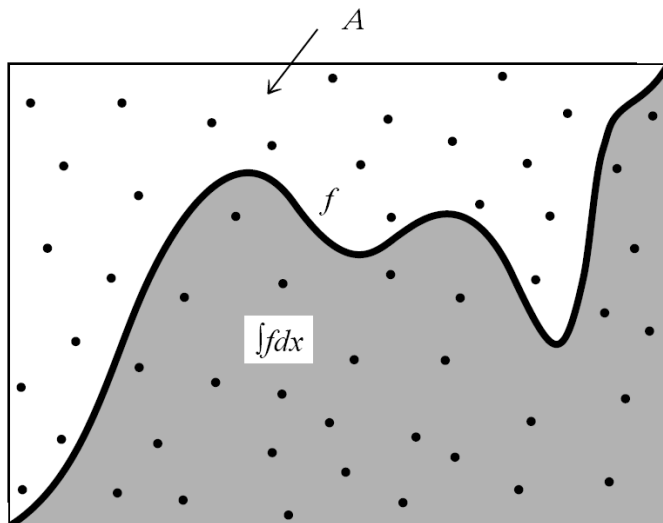
$$\int f dV \approx V \langle f \rangle \pm V \sqrt{\frac{\langle f^2 \rangle - \langle f \rangle^2}{N}}$$

kde uhlové zátvorky znamenajú, že uvažujeme aritmetický priemer zo vzorky  $N$  bodov

$$\langle f \rangle \equiv \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(x_i), \quad \langle f^2 \rangle \equiv \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f^2(x_i)$$

Člen  $\pm$  je približný odhad štandardnej odchýlky nepresnosti (error) integrálu, lebo nemá Gaussove rozdelenie.

Na obr. 2 s funkciou  $f$  sú v oblasti  $A$  náhodne vygenerované body. Odhad integrálu funkcie  $f$  metódou Monte Carlo získame tak, že oblasť  $A$  s náhodne vygenerovanými bodmi vynásobíme podmnožinou náhodných bodov, ktoré sú pod krivkou funkcie  $f$ .



Obr.2 Odhad integrálu funkcie  $f$  metódou Monte Carlo.

Hlavné priaznivé črty techník Monte Carlo metódy:

- sú všeobecne použiteľné na lineárne aj nelineárne modely
- sú efektívne aj pri veľkom počte stochastických premenných
- vyžadujú vyšší výpočtový výkon pri vyžadovanej vyššej presnosti výsledkov

MSC.Robust Design využíva Monte Carlo simuláciu (MCS) pri ktorej algoritmy náhodne generujú náhodné hodnoty pre náhodné premenné a cyklicky simulujú stavy, ktoré sa v realite môžu vyskytnúť.

Hlavným prínosom modulu MSC.Robust Design pre inžiniera sú rozhodovacie mapy (Decision Maps, DM), ktoré poskytujú nový, intuitívny, mimoriadne žiadúci a prehľadný spôsob zobrazenia výsledkov z desiatok behov riešiča (solvera) na jedinej stránke vo forme meta-modelu.

Výsledkom stochastických simulácií je meta-model vo forme matice, v ktorej je počet riadkov rovný počtu Monte Carlo štatistických výberov + 1 a počet stĺpcov je rovný počtu vstupných a výstupných premenných. Meta-model môže byť zobrazený vo forme 2D, alebo 3D mravenísk.

Pri stochastických simuláciách náhodne meníme všetky vstupné stochastické premenné podľa funkcie rozloženia výskytu ich hodnôt v rámci predpísaných tolerancií. Tento proces vychádza z techník metódy Monte Carlo. Meta-model z výsledkov, zobrazených vo forme mrakov bodov v 2D, alebo 3D grafoch, umožňuje získať prehľad o závažných dôsledkoch zmien vstupných hodnôt. Tieto poznatky môžeme priamo využiť pri predpísaní požiadaviek na kvalitu výroby a montáže výrobku z pohľadu tolerancií. Technika stochastického zlepšenia vlastností modelu si nekladie za cieľ dosiahnuť optimálne prevádzkové vlastnosti modelu. Cieľom je model, ktorý má malú náchylnosť k zlyhaniu a vzniku poškodenia, čo umožní zvýšiť robustnosť výrobku, teda jeho odolnosť voči možným zmenám vonkajších vplyvov a vnútorných vlastností.

Modul MSC.Robust Design umožňuje podnikom pretansformovať ich deterministické konečno-prvkové modely na odpovedajúce ekvivalentné stochastické modely, dostať doterajšiu počítačovú podporu inžinierskych činností na vyššiu úroveň a súčasne urobiť veľký krok v oblasti nového poznania. Zároveň takto inžinierska komunita prechádza od doterajšieho cieľa minimalizovať náklady na vývoj výrobku k novému cieľu znížiť garančné náklady a maximalizovať jeho úžitkovú hodnotu.

Virtuálny experiment so stochastickým modelom nahradil reálny experiment v etape skúmania vplyvov zmien jednak z ekonomického hľadiska, ale aj preto, že mnohé javy s tým istým prototypom sú v realite neopakovateľné, preto reálny experiment používame hlavne na testy korelácie a verifikácie vlastností reálneho a virtuálneho prototypu. Modul MSC.Robust Design umožňuje zúročiť roky investícií do poznania konečno-prvkových modelov a pomáha zvýšiť mieru dôvery v jej prínosy v súčinnosti s využívaním MSS technológií dynamických simulácií VMS.

## **Teória riešenia inovačných zadaní TRIZ**

Pokus-omyl na úrovni poznania riešiteľa v danej oblasti je prirodzene najčastejšia metóda riešenia úloh. Súčasný výzvy na kvalitu výrobkov však vyžadujú brať do úvahy poznatky z viacerých oblastí, čo predstavuje pre riešiteľa vedomostnú bariéru. Východisko ponúka teória riešenia vynálezeckých úloh TRIZ (teória riešenia inovačných zadaní), ktorú

vybudoval v r. 1946 Altshuller zovšeobecnením štatistického vyhodnotenia podstaty úspešných riešiteľských postupov v patentoch. Od r. 1995 poskytuje metóda TRIZ informácie a odporúčania pre vhodný výber metód, postupov a roztiedkov, ktoré s vysokou pravdepodobnosťou vedú k cieľu. Metóda TRIZ je multidisciplinárny prostriedok pre rozvíjanie tvorivosti pri inovácií procesov a výrobkov vhodný pre technikov, inžinierov a vedcov, ktorí hľadajú riešenie technických úloh, ale aj pre učiteľov na prípravu budúcich tvorcov novej techniky.

Keď používateľ metódy TRIZ analyzuje technické zadanie, tak ho preformuluje do podoby inovačnej úlohy s modelom konfliktov a technických funkcií. Potom získava odporúčania na prekonanie rozporov v podobe osvedčených heuristik, postupov, vzorcov a efektov, technických patentovaných a reprezentatívnych aplikácií na ich zjednotenie rozkladom v čase, v priestore a zmenou štruktúry, ako aj kombináciami javov známych z prírodných vied. Metóda TRIZ využíva na hľadanie riešenia úlohy princíp zjednotenia protikladov využitím 40 tvorivých princípov namiesto doterajších kompromisov. Matica protikladov má 39 riadkov inžinierskych parametrov, ktoré treba zlepšiť a 39 stĺpcov inžinierskych parametrov, ktoré sú s nimi v protiklade.

Prvým krokom je formulácia cieľa inovácie výrobku, alebo procesu pomocou inžinierskych parametrov. V riadkoch matice protikladov vyberieme inžiniersky parameter, ktorý treba zlepšiť a v stĺpcoch matice protikladov vyhľadáme inžiniersky parameter, ktorý sa pri zlepšovaní vybraného parametra zhoršuje, teda je v protiklade s vyhľadaným inžinierskym parametrom, ktorý treba zlepšiť. V odpovedajúcej bunke sú čísla zo skupiny 40 tvorivých princípov vyextrahovaných z doterajších patentov, ktoré treba skúsiť aplikovať pri hľadaní riešenia úlohy.

### **Metódy riadenia kvality vlastností procesov a výrobkov**

V r. 1981 Deming uviedol do automobilového priemyslu metódu štatistického riadenia procesu výroby (Statistical Process Control and Manufacturing Process Capability).

V r. 1982 Taguchi uplatnil metódy riadenia kvality v priemysle. Spoznal, že náhodné kolísanie vlastností procesov a výrobkov je nežiadúce z pohľadu kvality a spoľahlivosti. Robustnosť je odolnosť voči náhodným vonkajším aj vnútorným zmenám vlastností procesov a výrobkov. Miera robustnosti je pomer žiadúcich a nežiadúcich vlastností (Signal-to Noise (S/N) Ratio). Čím vyššia je miera robustnosti, tým bližšie k vyžadovanému prevádzkovému optimu sú vlastnosti procesov a výrobkov. Miera úbytku kvality (Quality Loss Function) je z ekonomického hľadiska kritérium posudzovania kvality procesov a výrobkov.

Od r. 1982 sa datuje uplatnenie celopodnikového riadenia kvality procesov a výrobku QFD (Quality Function Deployment). QFD je systematický proces, ktorý umožňuje podnikom rýchle porozumieť potrebám zákazníkov a integrovať tieto potreby do výrobku a služieb.

V r. 1982 vznikla metóda Six Sigma na hodnotenie spôsobilosti procesov. Proces považujeme za spôsobilý z pohľadu dosiahnutia vyžadovanej akosti metódou Six Sigma (6 sigma), ak sa vo vnútri predpísaného tolerančného pásma vyskytuje maximálne počet 0.002 ppm (part per million) nezhôd na milión pokusov (príležitostí) pre sledovaný parameter akosti. Metóda Six Sigma slúži na eliminovanie nedostatkov, strát a ťažkostí v riadení akosti vo všetkých ukazovateľoch procesov výroby, služieb a obchodných aktivít pomocou

kombinácie techník štatistického riadenia akosti, metód analýzy dát a systematického školenia zamestnancov organizácie.

### **Súčasný nástroje na podporu inovácií**

Proces globalizácie pokračuje a najlepší spájajú sily, aby vyhovel požiadavkám na používateľsky priateľskú počítačovú podporu inžinierskych činností, ktoré majú čoraz širší multidisciplinárny charakter. Spoločnosť MSC.Software Corp. významný poskytovateľ SW produktov a služieb v oblasti vývoja virtuálnych produktov (VPD) uzavrela koncom roka 2005 strategickú dohodu o spolupráci so spoločnosťou Engineous Software Inc. poskytovateľom infraštruktúry pre počítačové nástroje, aby pri vývoji výrobku mohli využívať princíp neurčitosti (Robust Design tools).

Spolupráca sa týka jednak začlenenia programu iSIGHT určeného na integráciu SW a procesov, vyhodnotenie vývojových alternatív, optimalizáciu a z odolňovanie budúcich výrobkov a programu FIPER poskytujúceho integračnú infraštruktúru zameranú na organizovanie prístupu, vykonávanie výpočtov a opätovné využívanie nástrojov a procesov do širokého portfólia SW produktov spoločnosti MSC.Software, ale aj ďalšieho vývoja v oboch spoločnostiach s cieľom dosiahnuť bezbariérové prepojenie všetkých produktov a umožniť rýchle zdieľanie dát pri riešení lokálnych inžinierskych úloh ako aj v rozsiahlych vnútro podnikových inžinierskych procesoch. V zmysle dohody bude výsledky spoločného vývoja oboch partnerov primárne poskytovať spoločnosť MSC.Software.

Prepojenie programov iSIGHT a FIPER s produktami balíka MSC.SimOffice (MSC.Nastran, MSC.ADAMS, MSC.Patran a MSC.Marc) a s vnútro podnikovými dátami bude zabezpečovať infraštruktúra programu MSC.SimManager. Používatelia tak získajú lepší prehľad o vlastnostiach budúceho výrobku, budú lepšie rozumieť na aké zmeny vnútorých vlastností a vonkajších podmienok je výrobok citlivý. Bezprostredné prepojenie nástrojov virtuálneho experimentu a vývoja výrobku tak poskytne súhrnné poznanie vývojových alternatív a kompromisov čo umožní mať pod kontrolou riziká poškodenia a odhaliť rezervy na zvýšenie kvality, bezpečnosti a výkonu výrobku.

Jedným zo súčasných nástrojov na podporu inovácií je program IM (Invention Machine) vyvinutý podľa metódy TRIZ, ktorý podporuje používateľa v etape analýzy i syntézy, a to odporúčaniami a informáciami jednak z databázy IM, ale i vyhľadávaním ďalších relevantných informácií dostupných na internete. Na základe odporúčaní, informácií a uvažovania používateľ nachádza varianty riešenia úlohy. Nájdené varianty riešenia rozporov, konfliktov a funkcií môže používateľ overiť simuláciami a výsledky opäť konfrontovať so stavom techniky pomocou IM a prostredníctvom kľúčových slov vyhľadať ďalšie relevantné informácie z elektronicky spracovaných dát (www stránky, databáza patentov,...).

### **Záver**

Ukázalo sa, že vyspelí výrobcovia dosahujú úspechy pri vývoji výrobkov aplikáciou **robustnej optimalizácie pri syntéze** najnovších technologických princípov z viacerých oblastí, pri ktorých treba skombinovať lokálne myslenie na úrovni komponentov a subsystémov s globálnym prístupom, keď už od začiatkových fáz vývoja pracujeme na systémovej úrovni a sledujeme ako lokálne vlastnosti vplývajú na vlastnosti celku.



Výrobcovia si uvedomujú, že **vedomostný priemysel** poskytuje najväčší potenciál pre hľadanie cesty ako vyrábať lepšie, lacnejšie a rýchlejšie a pritom dodržať záväzné celosvetové dohody o ochrane životného prostredia. Kľúčovým faktorom konkurencieschopnosti aj ekonomicky vyspelých štátov budú poznatky o nových materiáloch, o novej koncepcii nástrojov a výrobných technológií, teda o novom tvarovom, konštrukčnom a topologickom usporiadaní súčiastok v mechanizmoch strojov s ambíciou prehĺbiť poznanie o nových materiáloch, technológiách, princípoch, procesoch, nástrojoch, trendoch a zdrojoch.

Cieľom bude znížiť nežiadúce emisie plynov a hluku, znížiť spotrebu energie a surovín a zároveň zvýšiť efektívnosť výroby, kvality a životnosť výrobkov.

Predpokladom pre zrod kvalitného, odľahčeného, odolného a ekologického výrobku je **interdisplinárny a technologický prienik výskumu, vývoja a výroby**. Týka sa to nových materiálov, výrobných technológií a testovacích zariadení, nových nástrojov počítačovej podpory inžinierskych činností pri výpočtoch, simuláciách a vizualizácii.

Z výsledkov kvalifikovaných rozborov rýchlych zmien v strojárstve z dôvodu nestability trhu, nástupu e-obchodu, ako aj všadeprítomnej globalizácie vyplýva, že vývoj výrobkov ovplyvní najmä **matematizácia inžinierskych činností** a celopodnikové nasadenie vyspelej **technológie virtuálnych prototypov**. Tento proces zjednotí odborníkov z rôznych zameraní a umožní im spoločne lepšie porozumieť budúcemu výrobku, partnerom ako aj sebe.