

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta strojního inženýrství
Ústav konstruování

Concurrent Engineering
Optimalizace zavádění PLM systémů
do podniků pomocí genetických algoritmů

POJEDNÁNÍ KE STÁTNÍ DOKTORSKÉ ZKOUŠCE

Obor: Konstrukční a procesní inženýrství

Školitel: Doc. Ing. Josef ŠUPÁK, CSc.

Doktorand: Ing. Jiří ŠPAČEK

Počet stran: 26

V Brně 31. 5. 2006

OBSAH

1	SEZNAM ZKRATEK.....	3
2	ÚVOD DO PROBLEMATIKY	4
2.1	Konstruování ve 2D	4
2.2	Konstruování ve 3D	4
2.2.1	Simultánní konstruování řízené sestavou	5
2.2.2	Zachycení a sdílení návrhářských a výrobních zkušeností	5
2.2.3	Nástroje společné pro celý výrobní řetězec.....	5
2.2.4	Použití 3D modelů pro efektivní komunikaci	5
2.2.5	Propojení s informačními systémy podniku.....	6
3	NASAZENÍ PLM SYSTÉMU V PODNIKU	7
3.1	Co je PLM	7
3.2	Historie vzniku	7
3.3	Proč zavádět PLM do podniku	8
3.4	Úskalí procesu zavádění PLM.....	9
3.4.1	Technika	9
3.4.2	Procesy	9
3.4.3	Náklady	9
3.5	Návratnost investic do PLM systému.....	10
3.6	Vybrané firmy z oblasti vývoje PLM systémů.....	12
4	GENETICKÉ ALGORITMY	14
4.1	Historie vzniku	14
4.2	Principy a základní pojmy	15
4.3	Postup výpočtu	16
4.4	Vlastnosti GA a optimalizační metody	17
4.5	Operátory genetických algoritmů.....	18
4.5.1	Selekce	18
4.5.2	Křížení	18
4.5.3	Mutace	19
4.6	Možnosti aplikace genetických algoritmů.....	19
5	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	22
5.1	Definice cílů	22
5.2	Dosažené dílčí výsledky disertační práce.....	23
6	LITERATURA.....	25

1 SEZNAM ZKRATEK

Zkratka	Význam zkratky anglicky	Význam zkratky česky
BEP	Break Event Point	Bod zvratu
CAD	Computer Aided Design	Počítačová podpora konstruování
CAM	Computer Aided Manufacturing	Počítačová podpora výroby
CE	Concurrent Engineering	Paralelní inženýrství
DMS	Data Management System	System pro správu dokumentů
EDM	Engineering Data Management	Elektronická správa dokumentů
ERP	Enterprise Resource Planning	System pro řízení podniku
GA	Genetic Algorithm	Genetický algoritmus
MRP	Manufacturing Resource Planning	System pro plánování výroby
PDM	Product Data Management	Správa souvisejících dat k výrobku
PLM	Product Lifecycle Management	Správa životního cyklu výrobku
ROI	Return On Investment	Ukazatel návratnosti investic

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Všechny strojírenské konstrukční kanceláře pocítují v současnosti ze strany zákazníků velký tlak na vysokou kvalitu svých výrobků. Pro vytvoření požadované kvality však není dostatek času, jelikož návrhy musí být zpracovány ve velmi krátkém čase, přičemž zákazníci často požadují možnost sledovat svůj výrobek, případně do něj zasahovat i v rámci jeho návrhové fáze. To vše samozřejmě při co nejmenších vlastních nákladech a co nejnižší koncové ceně výrobku. Je zřejmé, že při použití tradičních metod se podniky dostávají do situace, kdy nemohou těmto novým požadavkům vyhovět a díky konkurenci se nezdědky ocitají na pokraji své ekonomické existence.

2.1 Konstruování ve 2D

Tradiční „prkno“ známé v minulých desetiletích již snad nemá cenu ani zmiňovat. Prakticky všechny podniky dnes disponují CAD programy, které zvládají minimálně 2D počítačové konstruování. Typickými programy pro tuto oblast jsou např. AutoCAD LT, DesignCAD Express, MicroStation, AutoCAD Mechanical, BricsCad, Solid Edge Layout nebo TurboCAD. Tyto programy jsou díky své „omezené“ funkčnosti orientovány zejména na vlastní 2D konstruování a sdílení dat a spolupráce v rámci konstrukčního týmu není jejich silnou stránkou. Využití naleznou typicky u samostatných konstruktérů nebo velmi malých firem.

2.2 Konstruování ve 3D

V oblasti 3D strojírenského konstruování se nacházejí více či méně sofistikované programy, které jsou většinou připraveny na práci v konstrukčním týmu. Složité sestavy se skládají z jednotlivých dílčích součástek, čímž je zajištěna jasná struktura sestav, omezení redundance stejných dílů na více místech, snadná modifikace atd. Na takových sestavách (např. frézka, automobil, či letadlo) pracuje většinou více konstruktérů, kteří si potřebují své dílčí návrhy sdílet (omezení redundance dat, zajištění aktuálnosti atd.) a potřebují pracovat paralelně kvůli urychlení návrhového cyklu. Pro konstrukci a vývoj to pak znamená především naplnění pěti základních trendů.

2.2.1 Simultánní konstruování řízené sestavou

Souběžné neboli paralelní inženýrství (Concurrent Engineering – CE) umožňuje výrazné zkrácení návrhových cyklů nových produktů a je proto jedním z nejvyhledávanějších návrhových procesů současnosti. Tímy konstruktérů, nezávisle na své geografické poloze (pobočky jedné firmy v různých městech či zemích, partnerské společnosti, vztah zákazník-zhotovitel atd.), mohou v reálném čase pracovat na stejných datech, koordinovat vývoj výrobku a ověřovat logické návaznosti. Případné nedostatky vycházejí najevo prakticky okamžitě, což znamená velkou úsporu času a finančních prostředků oproti jinému postupu, kdy by se na nedostatky přišlo v pokročilejší fázi návrhu, např. u již existujících fyzicky vyrobených prototypů.

2.2.2 Zachycení a sdílení návrhářských a výrobních zkušeností

Know-how, které je jednou vneseno do 3D digitálních modelů, je vhodné několikanásobně využít i při budoucích úpravách a vytváření variantních výrobních řad daného výrobku. Výhoda je především v úspoře časových a finančních prostředků. Tato zpětná využitelnost existujících vědomostí však vyžaduje použití specializovaných programů, které pomáhají udržet jednou vytvořené know-how společně s digitálními soubory. Jedná se např. o reference a vztahy mezi soubory, řízení verzí, pracovního toku dat (workflow), schvalování finálních verzí, zabezpečený přístup k datům atd.

2.2.3 Nástroje společné pro celý výrobní řetězec

Z hlediska minimalizace vzniku libovolných chyb (technických, procesních atd.) při používání 2D či 3D návrhových systémů v rámci podniku je přímo žádoucí, aby celý vývojový a výrobní řetězec používal stejné programové nástroje. V rámci popsaného řetězce se zejména jedná o konstruktéry, management, rozpočtáře, ekonomy, administrativní pracovníky, externí spolupracovníky, pracovníky ve výrobě, dodavatele, subdodavatele a zákazníky. Používáním vhodných kompatibilních programových nástrojů jak při konstrukci, tak při správě elektronických dat se zkracuje doba potřebná pro návrh, vývoj i výrobu, snadno se drží konzistentnost dat, snadno se data sdílejí, schvalují i archivují.

2.2.4 Použití 3D modelů pro efektivní komunikaci

Pořekadlo, že jeden pohled vydá za tisíc slov, se velmi dobře uplatňuje při 3D modelování nových výrobků. Vizualizace velmi dobře poslouží pro zjednodušení komunikace mezi konstruktéry i směrem k zákazníkům. Rovněž pro účely výroby není potřeba řady

doplňujících instrukcí vůči technicky či jinak méně nadaným pracovníkům. Opět je zde možné nalézt faktory vedoucí k omezení vzniku chyb, eliminace nepřesností v komunikaci a zrychlení doby návrhu součástí.

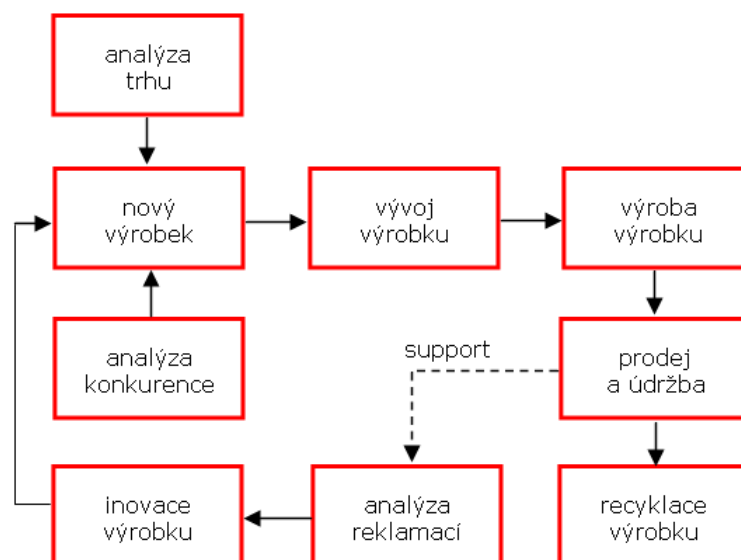
2.2.5 Propojení s informačními systémy podniku

Řada specializovaných izolovaných programů v rámci podniku dokáže určitým způsobem ušetřit práci a zdokonalit jisté izolované úlohy. Nicméně jednoznačným trendem je systémová integrace, což znamená, že snahou je propojit všechny vnitropodnikové systémy do jednoho fungujícího virtuálního organismu. Veškerá data, která vstupují do podniku, by měla být zanesena do libovolné části systému pouze jednou na jedno místo. Ostatní související aplikace by měly mít připravené takové programové můstky, aby tato data dokázaly přijmout a použít bez lidského zásahu. Příkladem výše uvedeného tvrzení je řada společností majících integrované ERP (podnikové informační systémy), MRP (systémy pro plánování výroby) a PDM (systémy pro správu dokumentace) řešení s ostatními používanými programy včetně CAD aplikací. Globálně vzato, vhodně integrované klíčové systémy pro 3D navrhování v rámci podniku tvoří systém pro sledování celého životního cyklu produktu, od jeho návrhu, přes provoz až po jeho recyklaci. Takové systémy nesou označení PLM (řízení životního cyklu produktů). [2,4,5,6,13,14,19,21]

3 NASAZENÍ PLM SYSTÉMU V PODNIKU

3.1 Co je PLM

PLM (Product Lifecycle Management) systémy jsou obecně určeny pro řízení životního cyklu výrobku, projektu, investičního zařízení, nebo rozsáhlé dokumentace. Řízení životního cyklu probíhá ve všech jeho fázích, od prvotní představy, přes jeho definici, vlastní likvidaci, včetně řízení změn a inovací. PLM je komplexním přechodem ze systémů PDM / EDM, u kterých se jedná převážně o kompletní správu dokumentace. Jedná se o nástroje pro týmovou spolupráci pracovníků ve firmách s celoživotní správou dat o výrobku. Zajišťují spolupráci mezi jednotlivými odděleními, pobočkami, dodavateli, včetně řízení projektů s uvažováním vnitřních i vnějších zdrojů.



Obr. 1: Blokové schéma PLM systému [26]

3.2 Historie vzniku

První úvahy o CAD/CAM systémech, které umožňují konstruktérům zázračně vyvinout výrobek, který zákazník chce, se objevily v 60. letech minulého století. Postupem času se ukázalo, že něco takového není jednoduché. V 80. letech si technologové začali stěžovat na konstruktéry, kteří k nim přehazují svou práci bez předchozí komunikace nad výrobkem. Začal se zavádět pojem Concurrent Engineering (paralelní inženýrství, někdy označováno jako CE), tedy souběžná spolupráce konstruktéra a technologa, což představovalo

zahrnutí výrobních útvarů do tvorby výrobku co nejdříve na počátku jeho vzniku. Tím se podařilo zahrnout potřeby výroby do konstrukce.

Ze stejného období pocházejí úvahy výrobců o tom, že by bylo lépe zeptat se zákazníků, jaký výrobek chtějí, než nechat konstruktéry vyvinout výrobek, který si oni myslí, že zákazník bude chtít. Začalo se tak mluvit o zaměření na zákazníka. Servisní pracovníci si dále začali stěžovat, že konstrukce nerespektuje udržitelnost a opravitelnost, výkresy jsou jednoduše do servisu přehozeny. Dodavatelé si stěžovali, že nemohou reagovat na změny prováděné v konstrukci, protože s nimi nejsou včas a jasně projednány. Zákazníci si stěžovali, že výrobky, které používají, jsou konstruovány bez ohledu na provozní náklady, mají vysokou spotřebu vody, energie, apod. Uvedené příklady ukazují, jak lidé v jednom podniku (případně i mimo podnik – dodavatelé a zákazníci) „trpí“, pokud nejsou zahrnuti nějakým vhodným způsobem do ostatních činností spojených s výrobkem. A následek tohoto nedostatku součinnosti se rychle mění v mrhání časem a náklady, v problémy kvality, apod

3.3 Proč zavádět PLM do podniku

Jedna z posledních zpráv americké analytické společnosti Aberdeen Group nazvaná „Nákup při vývoji nových produktů: jak si zajistit zisk z inovace“ zdůrazňuje roli PLM technologie při plánování vývojového procesu. Právě díky včasné rozvaze je možné zajistit efektivní a úsporný nákup materiálů a součástek potřebných k vývoji nového produktu. Podle studie lze s pomocí PLM technologie výrazně ušetřit na finančních nákladech a až o dvacet procent, snížit dobu potřebnou k uvedení nového produktu na trh. Studie dále zdůrazňuje, že PLM řešení používají nejúspěšnější firmy ve svých oborech, které díky němu dokáží nejen naplánovat případné náklady velice záhy ve vývojovém cyklu, ale rovněž díky lepší spolupráci mají větší šanci objevovat nové zdroje inovace. Pravděpodobnost, že nejúspěšnější společnosti na trhu používají systémy na automatizaci svých procesů a integraci dat je čtyřikrát vyšší než u méně úspěšných společností.

Jejich výzkum ukázal, že přední společnosti ve svém oboru činí rozhodnutí ohledně nákupu a zajištění zdrojů na samém počátku vývojového procesu a že tato rozhodnutí tvoří jeho klíčovou součást. Díky tomu je možné rozjet hned od započetí vývojových prací efektivní spolupráci napříč celým dodavatelským řetězcem.

3.4 Úskalí procesu zavádění PLM

3.4.1 Technika

V současnosti jsou k dispozici technologie, které umožňují propojit všechny druhy podnikových dat do jednoho virtuálního celku. Podniková komunikace v interní či externí formě bývá zajištěná pomocí Internetu, intranet či extranetu. Aby byla všechna data dostatečným způsobem zabezpečena, existují sofistikované firewally, antiviry a zálohovací systémy. Na trhu je řada dodavatelů PLM systémů, které za různou cenu nabízejí různou komplexnost řešení. Dále existuje celá řada jiných způsobů, jak zajistit systémovou integraci v rámci podniku. Ačkoliv technická otázka celého řešení není vždy jednoduchá, tak je téměř vždy řešitelná v rámci určité ceny a času.

3.4.2 Procesy

Většina firem při požadavku na zavedení PLM systému musí revidovat svoje stávající procesy. Mnoho manažerů a ředitelů společností si myslí, že když mají ve firmě zavedenou jakostní certifikaci řady ISO 9000, není potřeba činit další kroky v oblasti řešení firemních procesů. Opak je však pravdou. Mnoho firem totiž považuje ISO certifikaci za „nutné zlo“, které podstupují za účelem získání státních či jiných velkých zakázek. Přitom se ve skutečnosti popsanými procesy neřídí a vše se z formálního hlediska dává ve spěchu do pořádku posledních čtrnáct dnů před auditem. Ať už ISO 9000 skutečně firmě v jejich procesech pomáhá či nikoliv, příprava na nasazení PLM systému vyžaduje nový pohled na stávající procesy a jejich úpravu na podmínky automatizované řízení procesů a elektronických dokumentů pomocí specializovaného software. Je zřejmé, že zatímco principy ISO 9000 řídicí papírové dokumenty a běžné procesy se dají krátkodobě „ošidit“, u automatického systému tomu tak není. Pokud jsou procesy špatně odhadnuté, popsané a nastavené, může to pro podnik představovat fatální následky. Management podniku, který již dříve přesvědčil zaměstnance, aby brali definované ISO procesy jako svoji výhodu a tito zaměstnanci deklarované výhody opravdu pociťují, bude mít znatelně jednodušší situaci při definování procesů pro zavedení PLM systému.

3.4.3 Náklady

Vysoké náklady na pořízení PLM systému jsou hlavním důvodem, proč mají podniky obavu odhodlat se k tomuto kroku. Zmíněné náklady můžeme rozdělit na finanční a časové.

Finanční náklady vznikají zakoupením licencí na všechny potřebné aplikace (PLM,

CAD, ERP atd.), placením nezřídka povinného udržovacího poplatku na software (obvykle ve výši 20% pořizovací ceny) v rámci maintenance nebo subscription, placením konzultační společnosti, která provádí analýzy, placením programátorských úprav a propojení, školení hotového systému a platy zaměstnanců, kteří se budou starat o technickou administraci celého systému. V neposlední řadě nesmíme zapomenout na tzv. ušlý zisk vlivem přechodu na nový systém a nemožností plně se soustředit na právě probíhající podnikové zakázky.

Časové náklady vznikají dobou, po kterou se vedoucí pracovníci zabývají výběrovým řízením (řada různých prezentací dodavatelů PLM a jiných systémů, porady atd.), dále dobou, po kterou se sbírají potřebná data jako podklady a dobou konzultací se společností, která daný systém implementuje. Zaškolení a testovací provoz musíme rovněž zařadit do časových nákladů, kdy zaměstnanci nejsou schopni plně vykonávat svoji práci starými zaběhnutými způsoby.

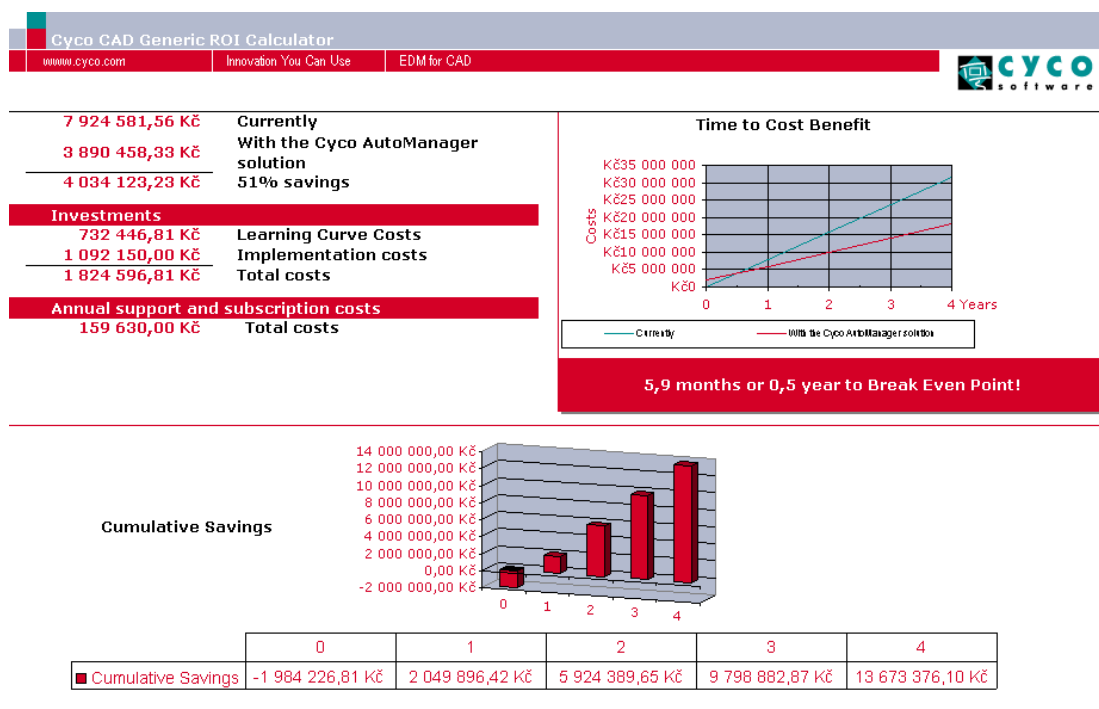
Každopádně je moudré, aby management na počátku zpracovat projekt nasazení systému PLM ve smyslu dodržení zásad projektového řízení. Tím se zajistí reálný pohled na dostupné kapacity v podniku z hlediska alokace jednotlivých zdrojů (finančních, časových, lidských atd.)

3.5 Návratnost investic do PLM systému

V případě, že podnik zvládne správně implementovat PLM systém dle předem daného projektu, může očekávat kýženou návratnost investic zpravidla v řádu měsíců (obvykle 15-24 měsíců). Návratnost investic je dána především odhalením chyb v návrhu výrobku v raných vývojových fázích vývoje. Čím později je chyba odhalena, tím vyšší je cena potřebná na její odstranění. Nárůst ceny chyby má v těchto případech exponenciální charakter a je nutno do ní započítat platy zaměstnanců za dobu, kdy pracovali na návrhu obsahujícím chybu, jelikož tato práce přijde nazmar, dále spotřebovaný čas, energie, nájem prostor a výrobního zařízení, spotřeba materiálu v případě, že již dojde na výrobu fyzického prototypu (u kterého se pak chyba odhalí) a ušlý zisk pozdějším uvedením produktu na trh. V nejhorších případech je nutné stáhnout po několika měsících prodeje výrobek z trhu a ještě odškodnit všechny zákazníky, kteří si vadný výrobek koupili. S touto situací se můžeme běžně setkat v médiích, např. pokud výrobce zde do servisu 50.000 zákazníků, kteří si koupili jeho osobní auto, protože byla objevena závažná konstrukční chyba na brzdovém systému, případně výrobce počítačových komponent stahuje z trhu vadné základní desky či procesory

a musí je zákazníkům kompenzovat. Netřeba připomínat, že v tomto případě se poškozuje dobré obchodní jméno firmy, čehož dravá konkurence zákonitě využije.

Management firem chtějících zavést PLM systém se chce zcela oprávněně na počátku dopátrat reálných čísel v oblasti finanční i časové. Výsledkem, který management požaduje, může být např. tvrzení, že nový PLM systém ušetří za 12 měsíců od nasazení do ostrého provozu 1.850.000 Kč, přičemž pořizovací náklady by mohly být 2.500.000 Kč. To byl příklad příznivého výsledku. Může dojít i k situaci, že nový PLM systém by si za daných podmínek v podniku na sebe vydělal např. za 10 let. Samozřejmě výsledkem může být i předpověď bankrotu podniku v případě zavedení PLM systému z hlediska finanční náročnosti. Firmy vyvíjející software i konzultační společnosti nabízejí tzv. ROI (ukazatel návratnosti investic) kalkulátory, které mají jednoduchým způsobem návratnost spočítat. V této oblasti neexistuje žádná jednotná metodika, každá firma si vytváří na svoje produkty svůj vlastní kalkulátor ve formě tabulky v Microsoft Excelu či přímo na webových stránkách. Typický postup je takový, že konzultanti kladou podniku různé otázky ohledně jejich fungování, časové náročnosti provádění dílčích úkolů, spotřeby materiálu atd. Zadané údaje se zpravidla vyskytují ve finančním, časovém a procentuálním vyjádření. Výsledkem zpravidla bývá BEP (bod zvratu), který definuje časové období, kdy se vložené investice do PLM systému vrátí tím, že se eliminují současné ztrátové činnosti. Vyjádření návratnosti může být dle úhlu pohledu i v procentuálním vyjádření.



Obr. 2: Ukázka ROI kalkulátoru firmy CYCO Software B.V. [11]

Nyní následuje příklad obvyklých kategorií, které se řeší na začátku úvah o návratnosti investic. Na začátku se vyspecifikuje počet osob, které pracují s elektronickými dokumenty (prakticky všichni uživatelé PC v podniku), zadá se počet pracovních týdnů v roce, počet pracovních hodin za týden a průměrné roční finanční náklady na osobu včetně povinných odvodů podniku za zaměstnance. Dále se sleduje počet současně rozpracovaných dokumentů za zvolené časové období, procentuální počet „ztracených“ dokumentů vlivem špatného uložení, poruch hardware atd., průměrný počet hodin potřebný k obnovení jednoho ztraceného dokumentu (překreslení, nové modelování), náklady, které vznikly díky použití neplatné verze dokumentace (nákup nevhodného množství materiálu) atd. Především v oblasti CAD software se sleduje počet minut strávený vyhledáváním dokumentů, doba potřebná pro zjištění návaznosti v dokumentech (kde jsou použity výkresy jako reference, s jakým výkresem přímo souvisí technický popis ve Wordu atd.). Pro vedoucí pracovníky je zajímavé sledování času stráveného koordinací zakázek, komunikace s podřízenými pracovníky, zjištění stavu rozpracování veškeré dokumentace, celkový počet zbytečně vytištěných dokumentů atd. [2,4,5,6,13,14,19,21]

3.6 Vybrané firmy z oblasti vývoje PLM systémů

Vývojem PLM systémů se přirozeně nezabývá jen jedna softwarové společnost, ale jsou jich desítky po celém světě. Z dlouhodobého hlediska se přirozeným způsobem vyčlenilo několik velkých hráčů, jejichž přehled pro základní orientaci následuje.

- Agile Software Corporation, <http://www.agile.com>
- Autodesk, Inc., <http://www.autodesk.com>
- Centric Software, Inc., <http://www.centricsoftware.com>
- Cycso Software B.V., <http://www.cyco.com>
- EXA Corporation, <http://www.exa-corp.co.jp>
- Hewlett-Packard, <http://www.hp.com>
- IBM PLM, <http://www.ibm.com>
- IFS AB, <http://www.ifsworld.com>
- MatrixOne, Inc., <http://www.matrixone.com>

- MDTVISION, an IBM Company, <http://www.mdtvision.com>
- PTC, <http://www.ptc.com>
- RuleStream Corporation, <http://www.rulestream.com>
- SAP, <http://www.sap.com>
- SSA Global, <http://www.ssaglobal.com>
- think3, <http://www.think3.com>
- UGS, <http://www.ugs.com>

4 GENETICKÉ ALGORITMY

4.1 Historie vzniku

V současnosti je čím dál častější používat na řešení složitých matematických, technických i netechnických problémů evoluční výpočetní techniky, respektive evoluční algoritmy. Tyto metody, či lépe řečeno algoritmy, v podstatě napodobují principy biologické evoluce. Jak je možné vidět v živé přírodě kolem nás, evoluce představuje v podstatě jednoduchý, ale na druhou stranu velmi robustní a výkonný optimalizační prostředek. Biologové říkají, že platí pro jednobuněčné organismy stejně tak, jak pro nejsložitější organismy sestávající se s tisíců miliard buněk.

Vědci se těmito myšlenkami náhodných genetických změn a přirozeného výběru začali zabývat a snažili se vnést tyto principy do řešení praktických problémů, se kterými se lidé denně setkávají. Simulace tisíců až milionů evolučních cyklů, které probíhají v přírodě, vyžaduje výkonné počítače, které v počátcích rozvoje těchto metod nebyly k dispozici. Proto až ve druhé polovině 20. století začali na různých pracovištích ve světě při řešení odlišných problémů vznikat podle vzoru přirozené evoluce různé, ale v určitých ohledech podobné přístupy. V Německu v polovině 60. let vyvíjeli I. Rechenberg a H.P. Schwefel při optimalizaci konstrukčních úloh tzv. evoluční strategie. Lawrence Fogel v USA při modelování a návrhu automatů zavedl techniku s názvem evoluční programování. Jako počátek genetických algoritmů jsou považované práce skupiny pod vedením Johna Hollanda z University of Michigan v USA v 70. letech 20. století. Historicky mladší genetické programování je evoluční přístup Johna Kozu (USA) na přelomu 80. a 90. let určený zejména na automatizovaný vývoj a optimalizaci struktur a programů nebo na strojové učení. Tyto směry, popřípadě ještě několik dalších, dnes zastřešuje pojem evoluční algoritmy.

Všechny tyto přístupy se vyvíjely a vyvíjejí dodnes a současně se navzájem ovlivňují, takže hranice mezi nimi se čím dál víc ztrácejí. Všechny mají společné vlastnosti, jejichž základ tvoří optimalizace na bázi stochastických změn a soutěžení jednotlivých potenciálních řešení. Nejpopulárnějším představitelem této skupiny jsou právě genetické algoritmy.

4.2 Principy a základní pojmy

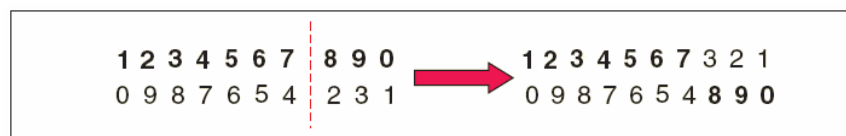
Genetické algoritmy jsou univerzálním prohledávacím nebo optimalizačním přístupem. V ohraničeném prostoru přípustných řešení daného problému je možné najít globální optimum z pohledu zvolené účelové funkce nebo se mu alespoň přiblížit. Při tom se uplatňují principy vypozerované v živé přírodě, především náhodné změny v populaci, přežití nejsilnějších, respektive nejprizpůsobivějších jedinců, nevyhnutelnost zániku nejslabších, neživotaschopných, respektive nepřizpůsobivých jedinců.

Genetický algoritmus pracuje se skupinou více potenciálních řešení daného problému – s tzv. populací. Každé potenciální řešení (nebo jedinec) je přitom reprezentované uspořádanou množinou parametrů nebo hodnot, které úplně charakterizují jeho vlastnosti a jejichž nejlepší kombinaci hledáme. Prvky této množiny se nazývají geny a jejich typy mohou být:

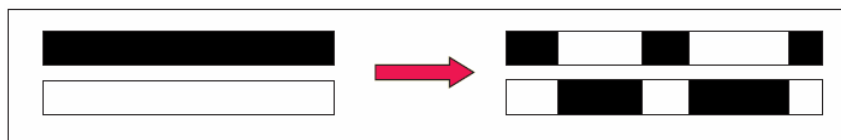
- binárně-číselné,
- celo-číselné,
- reálně-číselné,
- symbolové,
- kombinované.

Závisí přitom vždy na charakteru řešeného problému. Prvky jsou uspořádané do posloupnosti, která se nazývá řetězec či chromozóm.

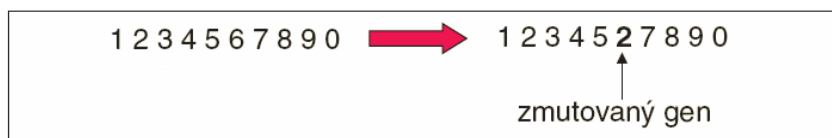
Genetická operace křížení náhodně zkombinuje geny dvou nebo více tzv. rodičovských řetězců do jednoho nebo více tzv. potomků. Při běžném způsobu křížení se dva rodičovské řetězce rozdělí na jednom nebo více náhodných místech (přitom na obou řetězcích se jedná o stejné místo) a potomkové získají střídavě každou doplňkovou část takto oddělených podřetězců od každého z rodičů. Operace mutace náhodně změní náhodně zvolené geny náhodně vybraných jedinců. Existuje více typů operací křížení a mutací a jejich volba může záviset na konkrétní aplikaci.



Obr. 3: Princip jednobodového křížení dvou řetězců [1]



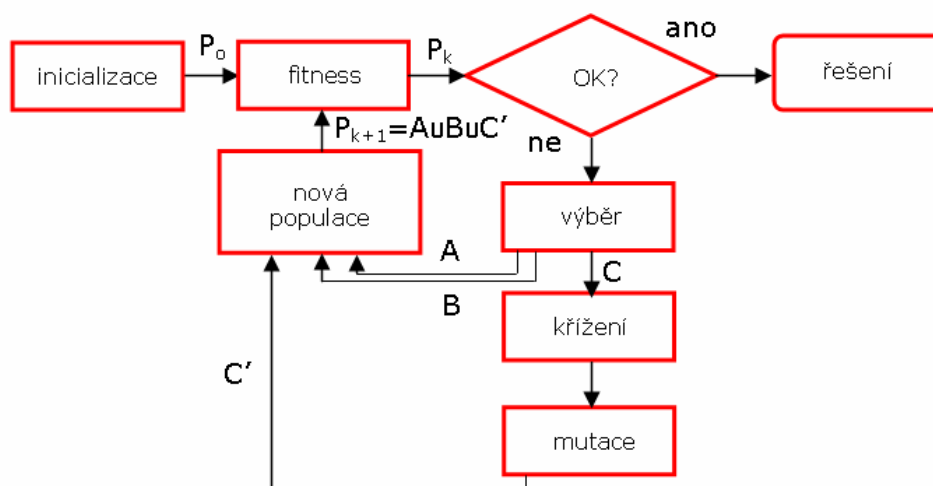
Obr. 4: Vícebodové křížení dvou řetězců [1]



Obr. 5: Příklad mutace řetězce [1]

4.3 Postup výpočtu

Schéma výpočtu genetického algoritmu je na obr. 6. Počáteční populace řetězců (P_0) před prvním výpočtovým cyklem (výpočtovým cyklem je zde myšlena generace) se získá zpravidla náhodným vygenerováním jejich genů v rámci uvažovaných ohraničení. V každém výpočtovém cyklu se pro každý řetězec vyčíslí hodnota účelové funkce (nazývá se fitness) a to např. výpočtem, počítačovou simulací atd. Má význam míry vhodnosti nebo úspěšnosti nebo úspěšnosti daného řetězce. Potom se vytvoří tři skupiny řetězců. Skupina A obsahuje nejlepší jedince (alespoň jednoho). Skupina jedinců B, které mohou být vybrány například náhodně, se dostanou do nové populace nezměněné. Někdy se používají i jiné metody výběru, např. ruletový výběr, turnajový výběr atd.



Obr. 6: Blokové schéma genetického algoritmu [1]

Dále se některou z uvedených metod vybere skupina jedinců C, která je určená na inovaci. V této skupině se vytvoří náhodné páry řetězců, s kterými se uskuteční genetická operace křížení a následně se na této skupině realizuje ještě mutace. Takto zmodifikovaní jedinci (označené jako skupina C') dokompletují novou populaci P_{k+1} . Ta se stane objektem stejného postupu v další generaci. Přitom je důležité, že při výběru do skupiny C, případně také do B, mají větší pravděpodobnost přežití úspěšnější jedinci, ale určitou malou šanci mají i méně úspěšní jedinci.

Pokud se uvedený postup opakuje v rámci mnoha generací (např. stokrát, tisíckrát nebo milionkrát), řešení konverguje ke globálnímu optimu. Počet potřebných generací závisí na povaze a složitosti řešeného problému. Algoritmus (běh programu) se může ukončit po dosažení požadovaného, respektive přijatelného řešení nebo nejčastěji po ukončení požadovaného počtu generací.

Uvedené schéma genetického algoritmu není jediné možné a jediné používané. Volba struktury genetického algoritmu může záviset na typu úlohy, stejně jako na zvyklostech a zkušenostech jeho autora. Podobně je to i při genetických operacích křížení, mutací a při výběrech, kde existuje více modifikací.

4.4 Vlastnosti GA a optimalizační metody

Genetické algoritmy se od většiny konvenčních optimalizačních metod liší několika znaky:

- dokáží vyváznout z okolí lokálního extrému a přibližovat se ke globálnímu extrému (na rozdíl od běžných gradientových metod),
- uskutečňují paralelní prohledávání ve více směrech současně,
- nevyžadují pomocné informace o vývoji řešení - např. gradient účelové funkce atd.,
- intenzivně využívají stochastické jevy,
- jsou schopné řešit optimalizační problémy s desítkami až stovkami proměnných,
- poměrně jednoduchá aplikace na řešení širokého spektra různých typů problémů,
- patří k výpočetně nejnáročnějším přístupům.

4.5 Operátory genetických algoritmů

Nejběžnější používané operátory jsou selekce, křížení a mutace.

4.5.1 Selekcce

Operátor selekce (výběr) vytváří novou populaci $P(t+1)$ výběrem jednotlivců s možným opakováním ze staré populace $P(t)$. Výběr může být proveden několika způsoby. Nejběžnější je náhodný výběr pomocí rulety (roulette wheel selection), kde pravděpodobnost výběru jednotlivce $p_s(x_i)$ každého jednotlivce je úměrná jeho fitness. Selekcce jedinců představuje významnou část genetických algoritmů. Výběr jedinců do reprodukčního procesu musí na jednu stranu dostatečně upřednostňovat jedince s vyšší hodnotou fitness, na druhou stranu musí novou populaci vybrat dostatečně různorodou. Jestliže selekční algoritmus nesplňuje jeden z těchto požadavků vede to v prvním případě k pomalé konvergenci algoritmu, ve druhém k tzv. předčasné konvergenci (do lokálního optima funkce).

4.5.2 Křížení

Operátor křížení (crossing-over) je charakteristický pro genetické algoritmy a představuje pro ně základní operátor pro evoluci populace. Zastánci genetických algoritmů vyzdvihují obvykle přínos křížení pro výměnu informací mezi jedinci. Odpůrci genetických algoritmů naopak považují křížení za rozbíjení bloků bitů a operátor křížení aplikují stejně jako mutaci s velmi malou pravděpodobností.

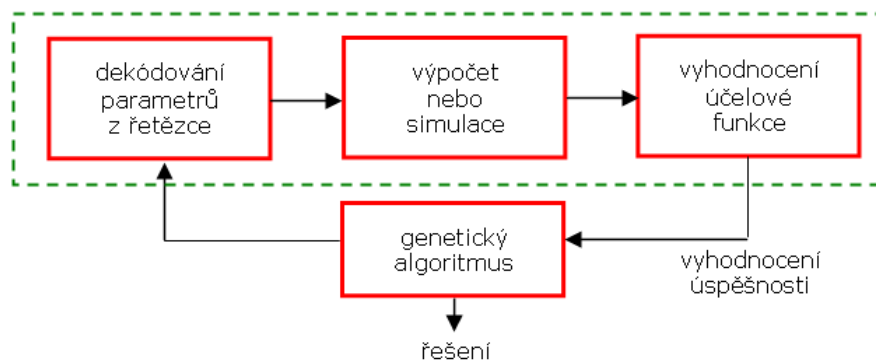
Teorie stavebních bloků (building blocks) vysvětluje konvergenci genetických algoritmů. Genetické algoritmy jsou podle této teorie schopné identifikovat kvalitní bloky genů (bitů) a pomocí rekombinačního operátoru (křížení) sestavovat bloky s rostoucí velikostí. Tento růst se projevuje navenek konvergencí algoritmu k maximální fitness. Operátor křížení je prováděn s pravděpodobností p_c . Existuje celá řada variant. Základem je náhodný výběr dvojice jednotlivců, u kterých dochází k výměně genové informace (rekombinaci) tak, že od bodu křížení dojde k výměně genů. Často se tato operace neprovádí se 100% pravděpodobností, ale např. s pravděpodobností okolo 95%. Tímto způsobem je část jedinců pouze reprodukována bez výměny genů.

4.5.3 Mutace

Posledním ze základních operátorů genetických algoritmů je operátor mutace. Standardní operátor mutace modifikuje (vytváří mutanty) genů s pravděpodobností p_m . Nejběžnější je bitová negace, která se používá s pravděpodobností 0,0005 až 0,01.

Mutace je pro genetické algoritmy zdrojem nových informací. Vliv mutace může být zcela zanedbatelný nebo naopak s fatálními důsledky pro jedince. Příliš velká pravděpodobnost mutace p_m způsobuje nestabilitu vývoje populace a naopak příliš malá mutace nedokáže přinášet dostatek nových informací pro další vývoj.

Existuje celá řada speciálních mutačních operátorů pro konkrétní úlohy. Např. operátor inverze. Tento operátor invertuje pořadí jednotlivých elementů (bitů) mezi dvěmi náhodně vybranými body uvnitř chromozómu.



Obr. 7: Použití GA při řešení problému [1]

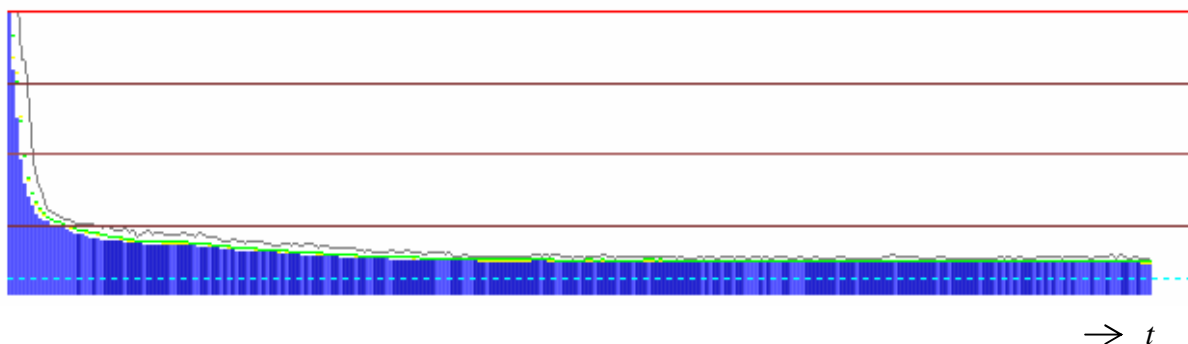
4.6 Možnosti aplikace genetických algoritmů

Genetické algoritmy se dají využít na řešení velmi širokého spektra úloh. Tyto metody jsou vhodné pro řešení problémů reálného světa, které jsou plně nepřesností, potřebné informace jsou nečíslně nedostupné a analyzované systémy jsou nepřesně nebo neúplně definované (např. v ekonomických nebo společenských systémech). Podmínkou je schopnost definovat účelovou funkci, která se má minimalizovat nebo maximalizovat. Při minimalizaci se zpravidla jedná o snižování odchylky od požadovaného stavu, o minimalizaci spotřeby energie, paliva, ztrát, nákladů, minimalizaci nežádoucích účinků atd. Při maximalizaci se zpravidla jedná o zvyšování účinnosti, výkonu, zisku atd. Další podmínkou je existence počítačové reprezentace optimalizovaného problému. Tímto je myšleno, že pro každý libovolný bod prohledávaného prostoru, respektive pro libovolné potenciální řešení lze

počítačem vyčíslit hodnotu jeho účelové funkce, tedy ohodnotit ho z hlediska úspěšnosti a míry splnění požadovaného cíle. Přitom vůbec nezáleží na typu daného procesu, který může být např. ekonomického, společenského, fyzikálního, chemického nebo biologického charakteru.

Optimalizovaný problém je z hlediska genetického algoritmu černou skříňkou, která poskytuje velké množství více či méně smysluplných možností řešení, přičemž každou z nich musíme umět ohodnotit např. číselně nebo alespoň porovnat úspěšnost vůči jiným možnostem. Optimalizací je potom možné nazývat hledání takové možnosti (struktury vnitřních vazeb, sady parametrů atd.), která nejlépe splňuje určité požadavky.

Existují problémy, které jsou s použitím konvenčních optimalizačních přístupů a metod řešitelné jen těžko nebo dokonce vůbec. V takovém případě lze využít genetických algoritmů. Mezi takové problémy patří např. hledání globálních extrémů nelineárních multimodálních funkcí, těžké kombinatorické nebo grafově orientované problémy (zde řadíme např. problém obchodního cestujícího), mnohparametrové problémy, úlohy s kombinovanými typy proměnných (binární, celočíselné, symbolové atd.), úlohy s velkým počtem různých typů omezení (nerovnosti, rovnosti, logické podmínky) a úlohy s výpočetně náročným vyhodnocením účelové funkce (konstrukční výpočty, počítačové simulace).



Obr. 8: Konvergence GA ke globálnímu optimu je velmi rychlá [10]

Významným polem působnosti jsou inženýrské aplikace. Genetické algoritmy jsou silným nástrojem při optimalizaci elektrických obvodů, optimalizace provozu vlakové sítě, návrhu antén, filtrů, technologických procesů, regulačních obvodů atd. V oboru stavebnictví je možné genetickými algoritmy optimalizovat konstrukce budov, dopravních komunikací, inženýrských sítí atd. Další obecně využívané řešení je v oblasti distribučních a dopravních úloh, kde hovoříme především o hledání nejkratší nebo nejlevnější cesty. V oboru strojírenství lze řešení najít v oblasti návrhu převodovek nebo řezných plánů.

Konkrétním příkladem je využití genetických algoritmů při optimalizaci motorů Boeingu 777, kde se zdánlivě malou konstrukční optimalizací získala na dané poměry mimořádně významná úspora paliva cca 2,5%. Převáděno na finanční ukazatele představuje tato úspora při celoročním provozu jednoho letadla 2 miliony amerických dolarů.

Další zajímavou aplikací je využití genetických algoritmů pro "vyšlechtění" nového typu monopostu stájemí BMW Williams a Jordan. Na vozech formule F1 se upravují tisíce parametrů, které jsou v závodech rozhodujícím faktorem úspěchu (velikost zadních křidel, výběr pneumatik, nastavení výšky sedadla, úpravy rychlostních stupňů atd.). Požadavek kladený na genetický algoritmus byl jednoznačný – vytvořit monopost s takovými aerodynamickými vlastnostmi, aby zajetí jednoho kola bylo co nejrychlejší. Na začátku se vzala dvojice stávajících vozů a vědci Peter Bentley a Krzysztof Wloch z londýnské University College vybrali hodnoty 68 náhodných parametrů a užili je při optimalizaci. Po 40-ti generacích výpočtů byly vyvinuté vozy mnohem rychlejší než auta braná jako "Adam a Eva". Konkrétně se jednalo o zkrácení času potřebného pro zajetí okruhu v Nürburgringu o sedm sekund, což je při závodech vozů F1 velmi podstatná úspora.

[1,3,7,8,9,12,15,16,17,18,20,22,23,24,25]

5 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

5.1 Definice cílů

Cílem mé disertační práce je optimalizace zavádění PLM systémů do podniků na základě sofistikované predikce reakcí zaměstnanců pomocí genetických algoritmů. Tato optimalizace se nebude vztahovat na konkrétní podnik, ale bude široce použitelná. Dle dostupných zdrojů nebyla taková optimalizace nikde popsána ani vyzkoušena.

Management společností, které chtějí zavést PLM systém do svého podniku, obvykle zajímá dopad takového kroku na reálné fungování společnosti. Pořizovací cena software a realizace je relativní, sleduje se především finanční návratnost v čase. Z uvedených způsobů výpočtu návratnosti v kapitole 3.5 je možné vyčíst, že běžné metody uvažují především s exaktními technickými a finančními ukazateli. S vlivem lidských činností je zde počítáno tak, jako kdyby ji vykonávali roboti. Přesto právě lidé (management, zaměstnanci, externí pracovníci, dodavatelé, zákazníci atd.) jsou klíčovým faktorem úspěchu nasazení PLM systému a jeho praktického využití. Nebudou-li všichni členové tohoto lidského řetězce dostatečně motivováni k maximálnímu využívání pořízených technologií, nebudou maximální ani celkové přínosy. V praxi je možné nalézt případy, kdy nevhodné zavedení např. informačního systému a jeho následné odmítnutí zaměstnanci, vedlo k vážným existenčním potížím podniku.

Každý člověk je unikátní, proto nelze očekávat, že se budou lidé se stejným funkčním zařazením (např. konstruktér) chovat stejně z hlediska rychlosti pochopení systému, využití atd. Jako příklad může posloužit zamyšlení managementu, jak zlepšit kvalitu práce jednotlivých konstruktérů v oddělení. Jeden konstruktér bude pracovat lépe, pokud dostane větší finanční odměnu, druhý bude pracovat lépe, pokud dostane výkonnější počítač a školení, třetí bude pracovat lépe, pokud bude mít možnost volné pracovní doby, čtvrtý bude pracovat lépe, pokud dostane veřejnou pochvalu od vedení podniku za dobrou práci a pátý bude pracovat lépe, pokud bude mít pracovní stůl umístěný u okna. Další rozdíly jsou v jejich schopnostech vstřebávat nové informace (což nezáleží nutně např. na věku a vzdělání), komunikačních dovednostech, povaze, umění vycházet s kolegy a takto bychom mohli pokračovat dále. Je zřejmé, že popsat tyto vztahy není jednoduchá záležitost.

Pomocí genetických algoritmů je možné zpracovávat velké množství proměnných pocházejících z systémů, které nejsou běžnými metodami parametrizovatelné. To splňuje např. popis zaměstnanců a jejich chování v podniku. V rámci mé disertační práce budou navrženy parametry, které poslouží k získání dostatečného vzorku informací o každém zaměstnanci. Některé informace budou zjišťovány přímo od zaměstnanců, některé od jejich nadřízených a některé informace doplním sám (nezávislý pohled konzultanta z venku podniku). Na takto získané vstupy bude aplikován genetický algoritmus, který bude speciálně přizpůsobený pro tento účel. Do běhu algoritmu bude možné kdykoliv zasáhnout a vyzkoušet změnu určitých parametrů v čase dle aktuálního vývoje situace. Může se jednat například o poskytnutí školení konkrétnímu zaměstnanci, zvýšení finanční odměny, přijetí nového člena týmu, promíchání pracovníků v rámci dvou konstrukčních oddělení atd. Možností změn parametrů je celá řada a díky simulaci může management v krátkém čase důkladně ověřit různé varianty vývoje situace v podniku.

Každý model reálné situace obsahuje určitá zjednodušení a odchylky od reality. Díky výborným vlastnostem genetických algoritmů však lze v rekordně krátkém čase řešit zdánlivě neřešitelné situace a z hlediska optimalizace dosáhnout nečekaných pozitivních výsledků a malé odchylky od reálné situace. Výsledkem aplikace genetických algoritmů na modelování zavedení PLM systému do podniku z hlediska reakce lidského faktoru je připravit zaměstnancům takové podmínky, aby systém využili co nejlépe při současném zřeteli na jejich individuální schopnosti a předpoklady. Snadno si lze představit množství problémů způsobených podnikem odchodem kvalitního specialisty, který dá výpověď jen proto, že management nevidí mnohé problémy, které tomuto člověku vadí a přitom by šly snadno odstranit. V podnicích, které závisejí na duševní práci zaměstnanců (kam konstrukční kanceláře jistě patří), představují právě tito zaměstnanci největší kapitál a proto by o něj mělo být náležitě postaráno.

5.2 Dosažené dílčí výsledky disertační práce

Čtvrtým rokem externě spolupracuji se společností SOVA SYSTEMS Č.R., spol. s r.o., která se kromě CAD aplikací od společnosti Autodesk zabývá prodejem a implementací PLM/PDM systémů holandské společnosti CYCO Software B.V. Produkty nesou označení AutoManager TeamWork a AutoManager Meridian. Dále společnost SOVA SYSTEMS Č.R., spol. s r.o. vyvíjí vlastní DMS produkt s názvem DOCLINE. Postupně jsem prošel pozicemi

technik, analytik a v současné době jsem na pozici projektového manažera. Podílel jsem se na několika analýzách a implementacích těchto systémů v následujících podnicích:

- Siemens automobilové systémy (Frenštát pod Radhoštěm) – AutoManager TeamWork
- Siemens VDO Automotive (Adršpach) – AutoManager TeamWork
- Stavoprojekt (Olomouc) – AutoManager TeamWork
- Dynasig (Brno) – AutoManager Meridian
- Archicon (Brno) – DOCLINE
- ČeMeBo (Blansko) – DOCLINE
- Čevor (Brno) – DOCLINE

V těchto podnicích (a samozřejmě i v desítkách dalších podniků při prezentacích), jsem se setkal s velkým množstvím osob a jejich požadavků, názorů a problémů týkajících se daného téma, které bylo potřeba řešit. Díky tomu mám již řadu zkušeností, kterých chci při zpracování disertační práce využít. V oblasti programování a praktických aplikací genetických algoritmů jsem navázal spolupráci s firmou Hestley a.s. (www.hestley.com), v jejíž spolupráci se vyvine testovací genetický algoritmus. Firma Hestley a.s. se v dané oblasti odborně profiluje již šestým rokem a uplatňuje je mimo jiné při optimalizaci řízení výroby a dalších úloh.

6 LITERATURA

- [1] SEKAJ, I. Riešenie problémov pomocou genetických algoritmov. *Automatizace*, září 2004, roč. 47, č. 9, s. 552-555. ISSN 0005-125X.
- [2] OSTRÝ, S.: Je PLM pouze další módní slovo? *Computer Design*, červen 2003, roč. 9, č. 2, s. 18. ISSN 1212-4389.
- [3] SLÁMA, L. *Genetický algoritmus a jeho využití pro řešení identifikačních a optimalizačních úloh inženýrské mechaniky*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2000. 31 s. ISBN 80-214-1773-0.
- [4] KOČÍ, J. *Od historie technické tvorby ke konstruologii*. 1. vyd. Praha: Prospektum, 1994. 320 s. ISBN 80-85431-87-4.
- [5] HUBKA, V. *Konstrukční nauka – Obecný model postupu při konstruování*. 1. vyd. Zürich: Heurista, 1980. 115 s. ISBN 80-90 1135-0-8.
- [6] VYSKOČIL, V., ŠTRUP, O. *Podpůrné procesy a snižování režijních nákladů*. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2003. 288 s. ISBN 80-86419-45-2.
- [7] HUBER, A. *Emocionální inteligence*. 1. vyd. Praha: ZEMS, 2005. 90 s. ISBN 80-903305-6-8.
- [8] DAWKINS, R. *Sobecký gen*. 2. vyd. Praha: Mladá fronta, 1998. 320 s. ISBN 80-204-0730-8.
- [9] SEKAJ, I. Genetické algoritmy pri návrhu regulátorov a pri statickej optimalizácii procesov. *Automatizace*, září 2004, roč. 47, č. 10, s. 617-620. ISSN 0005-125X.

Elektronické zdroje informací

- [10] ČERNÝ, T. *Demonstrační program GATSP.exe* [online]. Bakalářská práce. Brno: Masarykova Universita, 2004. [cit. 2006-05-03]. Dostupné z <<http://www.cba.muni.cz>>.
- [11] CYCO Software B.V. *ROI Calculator* [online], 2005. [cit. 2005-11-10]. Dostupné z extranetu <<http://www.cyco.com>>.
- [12] Hestley a.s. *Co umožňuje technologie genetických algoritmů* [online], 2005. [cit. 2006-04-21]. Dostupné z <<http://www.hestley.com>>.

- [13] BROWN, J: *PLM: Improving Innovation Performance* [online], 2005. [cit. 2006-02-23]. Dostupné z <<http://www.aberdeen.com>>.
- [14] BROWN, J: *Enabling Product Innovation: The Roles of ERP and PLM in the Product Lifecycle* [online], 2005. [cit. 2006-02-23]. Dostupné z <<http://www.aberdeen.com>>.
- [15] ŽIŽKA, J: *Evoluční výpočty – Genetické algoritmy* [online], 2005. [cit. 2006-05-03]. Dostupné z <<http://www.cba.muni.cz>>.
- [16] Computer Science Department at Boston University. *Parallel Genetic Algorithms* [online], 2005. [cit. 2006-02-16]. Dostupné z <<http://cs-pub.bu.edu>>.
- [17] The Genetic Programming Notebook. *The Genetic Programming Tutorial* [online], 2005. [cit. 2006-01-25]. Dostupné z <<http://www.geneticprogramming.com>>.
- [18] OŠMERA, P. *Neuronové sítě* [online], Brno: VUT v Brně, FSI, ÚAI, 2004. [cit. 2004-10-11]. Dostupné z <<http://www.fme.vutbr.cz>>.
- [19] Otevřený publikační portál DesignTech.cz. *Funkční navrhování a týmová spolupráce* [online], 2006. [cit. 2006-04-08]. Dostupné z <<http://www.designtech.cz>>.
- [20] JOHNO. *Minimalizácia CSS genetickým algoritmom* [online], 2004. [cit. 2005-08-20]. Dostupné z <<http://johno.jsmf.net>>.
- [21] ČIERNY, M. *Product Lifecycle Management* [CD-ROM]. Praha: Autodesk, 2003 [cit. 3. 2. 2005].
- [22] Hestley a.s. *Analýza pracovníků metodou genetických algoritmů* [online], 2005. [cit. 2006-04-21]. Dostupné z <<http://www.analyzy.cz>>.
- [23] Hestley a.s. *Moderní a tradiční matematické metody analýzy dat* [online], 2005. [cit. 2006-04-21]. Dostupné z <<http://www.analyzy.cz>>.
- [24] ŠRÁMEK, D. *Potomci Moorova zákona: Exponenciální růst slibuje zásadní proměnu světa v průběhu několika let* [online], 2005. [cit. 2006-04-28]. Dostupné z <<http://www.scienceworld.cz>>.
- [25] MAREŠ, M. *Design pro formuli 1 vyvíjí i genetický algoritmus* [online], 2004. [cit. 2005-12-07]. Dostupné z <<http://ihned.cz>>.
- [26] Otevřený publikační portál DesignTech.cz. *Autodesk Desktop PLM* [online], 2005. [cit. 2006-02-12]. Dostupné z <<http://www.designtech.cz>>.