

# **Journal of Cybernetics and Informatics**

published by

**Slovak Society for  
Cybernetics and Informatics**

**Special Issue**

**"New Trends in Education of Automation  
and Information Technology"**

**2004**

IDEA UNIVERZITY 21. STOROČIA – ZJEDNOTENIE VEDY  
A VZDELÁVANIA  
Sarnovský J., 15-27

<http://www.sski.sk/casopis/index.php> (home page)

ISSN: 1336-4774

## IDEA UNIVERZITY 21. STOROČIA – ZJEDNOTENIE VEDY A VZDELÁVANIA

Sarnovský, J.

Department of Cybernetics and Artificial Intelligence,  
Faculty of Electrical Engineering and Informatics,  
Technical University of Košice, Letná 9, 042 00 Košice,  
tel. + 421 55 602 2574, E-mail: [sarnovj@tuke.sk](mailto:sarnovj@tuke.sk)

**Abstrakt:** V článku sú uvedené niektoré nové pohľady na problematiku vedy a vzdelávania v nasledujúcom období. Vychádzame z pojmu idea univerzity, ktorý označuje vo veľmi skratkovej forme metódy, formy, obsah a aj netradičné formy vzdelávania a výskumu, ale aj sociálne a ekonomické aspekty univerzít. V nadväznosti na to je analyzovaná problematika komplexity a komplexných systémov ako dominantnej paradigmy vedy v súčasnom období; v danom prípade je podrobnejšie uvedená koncepcia NBIC systémov. V závere je uvedená problematika riadenia, rozhodovania a projektovania technických systémov z pohľadu komplexných systémov a evolučnej kybernetiky.

**Kľúčové slová:** idea univerzity, komplexné systémy, evolučný prístup, veda, vzdelávanie, kybernetika, umelá inteligencia, multiagentové systémy.

### 1 ÚVOD

Keď mám písať o dôležitých veciach, pre istotu si vždy pripomeniem slová Julia Jurenita (hlavnej postavy knihy Ilju Erenburga "Neobyčajné dobrodružstvá Julia Jurenita a jeho žiakov"). V Erenburgovej knižke hlavná postava Učiteľ (samotný Julio Jurenito) hovorí, že "vážne, akademicky, precíteným hlasom a s uvádzaním bibliografie možno hovoriť len o spôsobe zafajčovania fajok, o rôznych štýloch pľuvania, so zahvizdnutím alebo bez zahvizdnutia, o polohe nôh nenapodobiteľného Chaplina. Inak vo všetkom ostatnom dávam prednosť úsmevu pred modlitbou, veselému fejtónu pred mnohozväzkovým vedeckým pojednaním. Keď je celá záhrada preskúmaná, je zbytočné chodiť po cestičkách s hlbokomyseľným výrazom a botanickým atlasom. Len ak človek vystrája, nezmyselne skáče po hriadkach, rozmýšľa o bozku, ktorý nedostal alebo o kréme so šľahačkou, môže náhodou natrafiť na dosiaľ neznámy kvietok." Problémy obsahu univerzitného vzdelania by Jurenita určite bavili. Ako píše známy americký sociológ C. Wright Mills (Sociologická imaginácia, Mladá fronta, Praha, 1968): „Nepodrobuj sa fetišizmu metódy alebo procedúry. Usiluj sa o rehabilitáciu neokázalého intelektuálneho majstrovstva a snaž sa stať jedným z jeho nositeľov. Každý buď svojím vlastným metodológom a svojím vlastným teoretikom; usiluj sa o to, aby sa teória a metóda stali nedeliteľnou súčasťou výkonu intelektuálneho remesla.“

V druhej časti článku je uvedený výťah z práce konzervatívneho filozofa R. Scrutona. V tretej časti je uvedená parafrázovaná časť z rozsiahlej štúdie NSF o zjednotení vedy a vzdelávania. Vo štvrtjej časti sú uvedené niektoré poznatky z oblasti komplexných systémov. Piata časť obsahuje pohľad na problémy vedy a vzdelávania v 21. storočí. V šiestej časti je uvedený evolučný komplexný systémový prístup ku navrhovaniu a riadeniu zložitých systémov. Siedma časť sa zaoberá problémami vedy a vzdelávania v oblasti teórie riadenia a nakoniec v ôsmej časti je uvedená problematika multiagentových riadiacich systémov.

### 2 IDEA UNIVERZITY

V nedávno vydanéj knihe The New Idea of a University (vyd. Haven Books) popisujú autori Duke Maskell a Ian Robinson tliachanie úradníckych ignorantov, vďaka ktorým došlo k nafukovaniu, rozpínaniu, explózií a kolapsu britských univerzít. Ich úvahy nám pripomínajú, že tradičná univerzita nebývala bežnou súčasťou štátneho vzdelávacieho systému, ale autonómnym spoločenstvom, samosprávnym orgánom kultúry. V ďalšom uvedieme niektoré myšlienky na túto tému od Rogera Scrutona (Bulletin OI, č. 132, august 2002).

V roku 1854 napísal kardinál John Henry Newman knihu The Idea of University. V tom čase už univerzity mali v spoločnosti značný vplyv a vychovávali Británii spoločenskú elitu pre vládnutie v britskom impériu. Podľa Newmana univerzita utvára charakter tých, ktorí ju navštevujú. Tým, že sa študenti ocitnú v akademickom prostredí, kde je im vštepaný ideál vzdelanosti, menia sa z hrubých, nekultivovaných ľudských bytostí na gentlemanov. A práve v tom, hovorí Newman, spočíva pravá sociálna funkcia univerzity. Uprostred ich stien je dospievajúcim predkladaná vízia životných cieľov; a tí si z univerzity odnášajú jednu dôležitú vec, ktorú im

okolitý svet nemôže poskytnúť: predstavu o skutočných hodnotách.

Dnešná univerzita sa od univerzity kardinála Newmana líši temer vo všetkých ohľadoch. Študenti pochádzajú zo všetkých spoločenských vrstiev a tried, je otvorená mužom i ženám a veľmi často je financovaná a zabezpečovaná štátom. Osnovy sú vyplnené vedeckými disciplínami, predmetmi užitočnými pre kariéru a dnes všadeprítomnými "obchodnými štúdiami", ktorých osvojením sa študenti údajne naučí porozumieť svetu. Univerzity sa naviac stále rozrastali, aby mohli ponúknuť svoje služby stále rastúcej časti populácie a pohlcovať stále sa zväčšujúcu časť štátneho rozpočtu. Sféra univerzitného vzdelávania v štáte Massachusetts má vyšší finančný obrat než akékoľvek priemyslové odvetvie, v každom väčšom britskom či americkom meste existuje aspoň jedna univerzita a každou americkou štátnu univerzitu navštevuje aj viac než 50 000 študentov. Vyšší vzdelanie je poskytované ako právo každému, kto zloží bakalársku skúšku, a európski politici sa často vyjadrujú v tom zmysle, že reforma vzdelávacieho systému bude definitívne zavŕšená až v okamžiku, ak bude každé dieťa môcť v absolvovať vysokou školu. Univerzita už neslúži k výchove spoločenských elít, ba práve naopak - snaží sa nás uistiť, že elity sú vecou minulosti.

Uprostred všetkých týchto zmien však jedna vec zostala zdanlivo bez zmeny, a síce prvoradá úloha univerzity - rozmnožovanie, uchovávanie a odovzdávanie znalostí. Vzdelanie bývalo kedysi exkluzívnym vlastníctvom vládnucej triedy; dnes je dostupné každému.

Menila sa aj povaha univerzít; napríklad americké univerzity boli silne ovplyvnené nemeckým príkladom. Vyučovacie metódy šli v stopách nemeckého modelu - s profesormi navrhujúcimi vlastné kurzy a prednášky. Vedecký svetový názor nám praví, že existujú dvaja hlavní nepriatelia vzdelania: viera, ktorá činí veci nepochybnými a absolútnymi, a cenzúra zakazujúca otázky. Ak má byť univerzita studnicou vedenia a prameňom vzdelania, musí byť miestom stáleho kladenia otázok a experimentovania. Americký pragmatizmus sa stal oporou inovácií; je dávno zavedeným zvykom, že profesori na amerických univerzitách môžu prednášať čokoľvek, čo ich zaujíma, takže učebné osnovy sú vlastne neustálym prúdom zmien. Tlak na zmeny a inovácie je podporovaný i demokratickým duchom, ktorý je prirodzene podozrievavý voči každému pokusu stanoviť, čo možno a čo nemožno učiť, a ktorý sa vždy pýta na to, kto a prečo to určuje.

Dnešné univerzity sú naopak zasvätené zväčšovaniu vedomostí a ich sociálna štruktúra je anti-elitárska. Nečiní žiadnych rozdielov na základe pohlaví, rasy či triedy; presadili oprávnenosť svojich nárokov na to byť považované za verejný statok, aby mohli požadovať značný objem štátnych financií. Sú miestami slobodomyselného výskumu, niekedy bez dogmatickej zviazanosti, ktorých cieľom je prehlbovanie a rozširovanie vedomostí prostredníctvom slobodného bádania. Tento slobodný duch je dávany študentom, ktorí majú tu najširšiu možnosť výberu učiva a získavajú znalosti, ktoré sú nielen veľmi solídne, ale i vysoko užitočné. Stručne, zo spoločensky exkluzívnych klubov určených pre štúdiá vzácných a ušľachtilych zbytočností sa univerzity premenili na široko otvorené databanky určené k šíreniu nezbytných zručností a znalostí. To je optimistický pohľad.

Často však chýba to čo bolo podstatou klasických univerzít: mať možnosť počas celého štúdia možnosť naprosto vážne sa zaoberať otázkami pravdy. Pre dosiahnutie špecializácie treba študovať užitočné predmety ako medicínu, právo a biológiu, avšak mali by sme si vždy byť vedomí rozdielu medzi vedením či vedomosťami - ktorých pestovanie bolo úlohou univerzity - a zručnosťami, ktorá patrí vonkajšiemu svetu. Najužitočnejšími obory sú tie, ktoré zameriavajú myseľ na nestranné bádanie. Odtiaľ pramení zdanie ich zbytočnosti či bezúčelnosti, preto sa im vyhýbajú tí, kto vzdelanie považujú za prvý krok ku kariére. Staré učebné osnovy, zamarené na ony zdanlivo zbytočné predmety a zo spoločenského, politického a komerčného hľadiska beznádejne "bezvýznamné", však mali svoj účel - a síce taký, ktorý možno dosiahnuť len vyvarovaním sa sledovania účelu. Týmto účelom bolo cvičenie mysli.

Zástancovia novej univerzity trvajú na tom, že rozšírením učebných osnov sa univerzita stáva pre modernú spoločnosť užitočnejšia a že strata staré, do seba zahľadenej kolegiality neznamena prakticky žiadnu stratu. Nič z toho však nemaní fakt, že dnešná univerzita je presne tým, čím bola vždy: studnicou a prameňom poznania a vedenia. Ako príklad, že to tak môže byť uvádza Scruton seba: vedie poradenskú firmu a jeho najpodstatnejším objavom, ktorý urobil hneď na začiatku, bolo, že absolvent "obchodných štúdií" je práve tým človekom, ktorý by nebol nikdy "použitelný". Taký človek totiž premámal najlepšie roky života získaním vedomostí, ktoré - práve pre ich status akože "užiteľných znalostí" - sú v reálnom svete naprosto neužitočné. Označovať tuto zmes diagramov, účtovníctva, morálnych kázaní a burzových trikov za vzdelanie je zneužívaním toho slova. Naše podnikanie vyžaduje nasledujúce schopnosti: bystrosť, schopnosť komunikovať a chápať, schopnosť porovnávať a pojmovo chápať obtiažne fakty, schopnosť porozumieť historickému i kultúrnemu zázemiu osoby, ktorému môže byť človek úplne nesympatický, a predovšetkým irónia a nezraniteľnosť, ktorá z nej vychádza. Žiadne z týchto schopností nie je možné dosiahnuť prostredníctvom obchodných štúdií; všetky, ako zistil, sú pestované

štúdiom gréčtiny, latinčiny a filozofie. Ako hovorí: mal som to šťastie stretnúť ľudí, ktorí svoje formatívne roky strávili štúdiom týchto neužitočných vecí; len ony boli užitočné.

Práve tato skúsenosť – a nie skúsenosť, keď bol univerzitným učiteľom, ho priviedla na stranu priaznivcov kardinála Newmana: uzavrite učenie a vyučovanie do nejakého posvätného miesta, odrežte ho od sveta, aby sa vlastnými vnútornými silami uberalo smerom ku zbytočnému, neplodnému vzdelaniu - a dospejete k ucelenému a zdravému rozumu, k mysli schopnej sa prispôbiť sústrediť a chápať v neustále sa meniacom prostredí vonkajšieho sveta. Vpusťte však tento vonkajší svet do triedy a výsledkom bude skostnatenie duševných síl, slepé a bezhlavé prepadnutie záujmu o dôležité problémy súčasnosti, ktoré urobia rozum neschopným vysporiadať sa s akoukoľvek situáciou, ktorá nie je opísaná na stránkach kníh.

### 3 ZJEDNOTENIE VEDY A VZDELÁVANIA

Sme svedkami nových snáh o novú renesanciu vedy a vzdelávania, ktoré sú vyvolané prevratnými výsledkami od pochopenia štruktúry hmoty až po zložité systémy, vrátane ľudského mozgu. Nový pohľad na vedu ako jednotný organizmus je odrazom jednoty prírody a vedie ku konvergencii rôznych oblastí; v súčasnosti dominujú najmä tieto štyri: nanotechnológie, biotechnológie, informačné technológie a kognitívne vedy. Dnes často používaný zvrät – konvergujúce technológie (KT) – odráža synergický efekt štvorkombinácie **NBIC**, skratky, ktorá je dnes zároveň značkou nových prístupov a označuje už uvedené oblasti, skrátene, **nano-bio-info-cogno**:

- a) nanoveda a nanotechnológia
- b) biotechnológia a biomedicína, vrátane genetického inžinierstva
- c) informačné technológie zahrňujúce zložité výpočty a komunikačné technológie
- d) kognitívne vedy zahrňujúce kognitívnu neurovedu

Dosiahnuť zmeny si vyžiada radikálne zmeny a nové prístupy:

- a) Univerzity ale aj iné inštitúcie a organizácie musia byť pripravené na zmeny, ktoré prinesú KT.
- b) Výchova a vzdelávanie musí používať KT na všetkých úrovniach a pripravovať ľudí využívať ich. Pre novú generáciu vedcov a inžinierov musia byť pripravené nové interdisciplinárne vzdelávacie programy, ktoré im umožnia najmä kooperáciu so špecialistami v rôznych špecifických oblastiach. Musia byť vytvorené nové interdisciplinárne programy, avšak nie s pevnou, ale s pružnou štruktúrou. Pre dosiahnutie takýchto cieľov bude potrebné využívať aj netradičné postupy ako napríklad usporiadanie každoročných „interdisciplinárnych hier“ s dostatočnou propagáciou (veď už v starom Grécku Tézus viac ako 400 rokov pred olympijskými hrami usporadúval „kybernetizáciu“; dnes by sme povedali Dni kybernetikov).
- c) Musia vzniknúť siete výskumných centier, ktoré budú riešiť megaprojekty typu súčasného rozlúštenia ľudského genómu.
- d) Budúce komunity NBIC musia mať k dispozícii multipoužívateľskú infraštruktúru údajov, archívov, využívajúc nové informačné a komunikačné technológie (napr. GRID), vrátane štátnych agentúr, priemyslu, a univerzitných laboratórií.
- e) Základom komunikácie, aj širšej komunity NBIC, pre dosiahnutie bezprecedentných cieľov vo vede a technike musí byť spoločný odborný jazyk; ten musí byť na báze formálnych prostriedkov (matematiky) zložitých (komplexných) systémov, na báze modernej informatiky, kybernetiky a umelej inteligencie.
- f) Ďalší rozvoj musí byť aj v súlade s morálnymi, etickými princípmi, musí byť v súlade, napríklad, s ochranou životného prostredia, čo si vyžaduje ďalší rozmer vo výchove a vzdelávaní už od základných škôl. Vedci a inžinieri si musia byť vďaľeko väčšej miere ako doteraz vedomí sociálno-etických implikácií svojej činnosti.

#### 3.1 Zjednotenie vedy a KT

Pokrok v oblastiach NBIC je za krátke obdobie značný. Napriek tomu nemožno očakávať jeho ďalšie zrýchlenie automaticky. Ako konkrétny príklad možno uviesť zobrazovanie mozgu na báze magnetickej rezonancie. V súčasnosti sme schopní zobrazit štruktúry okolo jedného kubického milimetra. V tomto objeme sa však skrýva 1000 000 neurónov. Pre zviditeľnenie menších štruktúr, bližšie ku úrovni buniek, je nutné vyvinúť nové metódy, nové počítačové štruktúry a algoritmy, alebo vytvoriť úplne nové prístupy ku štúdiu týchto štruktúr

založené na NBIC.

Pokrok v informačných technológiách (IT) závisí najmä na rozvoji integrovaných obvodov. Súčasnú metódu sa už blížila ku fyzikálnym limitom. Nádeje na najbližších dvadsať rokov sa vkladajú do nanotechnológií. Dôležitým aspektom je aj podstatná skvalitnenie softvéru. Veľké nádeje sa vkladajú do biocomputingu a kognitívnych vied spojených s pochopením činnosti mozgu. Bez pokroku, asi podstatného, v IT nemôžeme očakávať podstatné pokroky v biotechnológiách, napríklad v dekódovaní ľudského genómu, modelovaní dynamických štruktúr proteínových molekúl, ap. Cieľom je, nič viac a nič menej ako zásadná transformácia vedy a techniky. Zdá sa, že prvotným cieľom je pochopenie zložitosti – komplexity.

V ďalšom uvedieme niekoľko oblastí základného výskumu, ktoré majú zásadný význam pre najbližších dvadsať rokov:

- Ø Úplne nové kategórie materiálov, zariadení a systémov výroby, konštrukcie, dopravy, medicíny, emergentných technológií a vedeckého výskumu. IT sú základným kameňom vo výskume ako aj pri návrhu nových štruktúr a vlastností materiálov a pri návrhu zložitých molekulárnych a iných mikroštruktúr. Ďalší vývoj je tesne zviazaný s výskumom v matematike, fyzike, chémii, a biológii.
- Ø Živá bunka ako najzložitejšia známa štruktúra hmoty. Predpokladá sa, že výskum v biotechnológiách a v mikroelektronike povedie k vytvoreniu bio-nano procesorov. Iná vetva výskumu vychádza z nádeje, že prostriedky virtuálnej reality a iných počítačových technológií nám umožnia „uvidieť“ bunku zvnútra a pochopiť jej fungovanie.
- Ø Nové princípy senzorických, počítačových a komunikačných systémov umožňujúcich integráciu diverzifikovaných komponentov do všade prítomnej globálnej siete. Na základe poznatkov z biológie o činnosti zložitých systémov a poznatkov z kognitívnych vied o prezentácii informácie pre človeka musia byť dosiahnuté nové prieniky v oblasti nanotechnológií, aby umožnili využívanie rýchlo sa vyvíjajúceho sa hardvéru.
- Ø Štruktúra, funkcie a náhodné dysfunkcie inteligentných systémov, najmä ľudského mozgu. Biotechnológie, nanotechnológie a počítačová simulácia poskytnú silný nástroj pre štúdium dynamiky chovania sa mozgu, od úrovne jednotlivých neurónov, cez funkčné moduly až po mozog ako celok. Samozrejme, predpokladá sa naďalej intenzívny paralelný výskum v oblasti umelej inteligencie v oblastiach ako genetické algoritmy, neurónové siete, multiagentové systémy, autonómne agenty, učiace sa systémy a sofistikované systémy pre uchovanie a výber informácií.

Kompemantaritu oblastí NBIC dobre vystihuje slogan:

Čo kognitívni vedci vymyslia,

To nano vedci postavia,

Biovedci to implementujú a

IT vedci to monitorujú a riadia.

Súčasnú vedeckú a inžiniersku vzdelávanie je veľmi fragmentované, dané hranicami jednotlivých disciplín. V blízkej budúcnosti bude získavanie vedomostí založené na jednotných prístupoch vychádzajúc najmä z koncepcie NBIC. Prírodné, technické, sociálne a humanitné vedy budú k sebe konvergovať. Koncepcia zjednotenia vedy a vzdelávania sa bude uplatňovať na všetkých stupňoch vzdelania: od základných škôl (projekt K-12) až po univerzity ako aj v celoživotnom vzdelávaní. Bude posilnená úloha prírodných a technických vied aj v príprave učiteľov. Musí nastať istá reorientácia smerom ku matematike, fyzike a informatike.

NBIC poskytne vzdelávaniu prirodzenú bázu pre pohyb od redukcionizmu ku integrácii. NBIC technológie vytvoria nové prostriedky pre vedu a vzdelávanie. Vytvorenie nových foriem a metód si bude vyžadovať príslušný problémovo a systémovo orientovaný výskum a vývoj. Uvedená transformácia by sa mala realizovať v nasledujúcich 15-tich rokoch.

#### 4 KOMPLEXNÉ SYSTÉMY

Porozumenie komplexným systémom si vyžaduje porozumieť ako vplýva koncept komplexnosti na vedu, inžinierstvo a technológiu.

#### 4.1 Komplexné systémy a veda

Komplexnosť (zložitosť, complexity) je dnes jedným z ústredných pojmov súčasnej vedy a ako taká, je hlboko študovaná v rôznych oblastiach ako sú: fyzika, biológia, sociálne systémy, ap. Len multidisciplinárny výskum môže priniesť konkrétne výsledky, syntézou ktorých môžeme postupne dospieť ku všeobecným princípom a zákonom riadenia komplexnosti. Na druhej strane sú to globálne svetové problémy, napríklad fenomén terorizmu, ktoré sú komplexné a ich riešenie si vyžaduje modelovanie a potom ich riadenie.

#### 4.2 Komplexné systémy a inžinierstvo

Štúdium komplexných technických systémov, ich spoľahlivosť spojená s ich zlyhávaním, je zdrojom poznatkov a príčin ich neúspechov. Ich príčinou sú práve faktory zložitosti: multisystémová integrácia, obmedzenia, veľký počet funkčných požiadaviek, ap. Dôležité je aj štúdium analýza už existujúcich komplexov, vyhodnotenie ich činnosti.

#### 4.3 Komplexné systémy a komplexné úlohy

Zložité úlohy je možné charakterizovať veľkým počtom možností, ktoré musia byť analyzované a posudzované. V obyčajných prípadoch posudzujeme obvykle desiatky možností; profesionáli v určitom odbore sú schopní posúdiť stovky možností a veľké projekty operujú s tisícami elementov. Najväčšie projekty sú na úrovni stoviek tisíc. Pre takéto prípady je nutné rozpracovať nové prístupy. Zjednodušovanie, redukcia, mnohokrát vedie ku chybám.

Zdrojom zložitých úloh sú komplexné systémy. Tieto majú obvykle autonómne časti. Ich vzájomné interakcie spôsobujú ťažkosti pri snahe redukovať a zjednodušovať komplexný systém. Práve posudzovanie systému ako celku nám ukáže jeho zložitosť. Situáciu komplikuje aj riadenie takého komplexného systému. V tomto prípade okrem analýzy musíme komplex prostredníctvom riadenia aj syntetizovať; riadenie komplexného systému znásobuje jeho zložitosť.

#### 4.4 Konvergujúce technológie a prax

Rýchly rozvoj nanotechnológie a ich konvergencia s biologickými, informačnými a kognitívnymi vedami vytvára novú oblasť komplexných systémov. Komplexné systémy vychádzajú na jednej strane z detailných výskumov konkrétnych systémov, ako aj na druhej strane zo všeobecných skúmaní opisu a reprezentácií zložitých systémov. Aplikácie v praxi, v biologických, informačných, kognitívnych, sociálnych systémoch ako aj v inžinierskych disciplínach sú zjavné.

Biológia zhromaždila obrovské množstvo poznatkov a dnes je jasné, že biologické systémy sú zložité, bohato štruktúrované biochemické siete. Úloha informácie v biologických systémov začínajú študovať matematici, fyzici a inžinieri, ktorí hľadajú v evolučne vytvorenej komplexite vzor funkčnej spoľahlivosti.

Počítače prekonali vývoj od jednoduchých individuálnych systémov ku zložitým sieťovým štruktúram.

#### 4.5 Pohľad do budúcnosti

Ľudská civilizácia, vrátane jej častí, aj technológie, a vonkajšieho prostredia je neobyčajne zložitý systém (podľa klasifikácie klasika kybernetiky Stafforda Beera). Zložitosť bude ďalej rásť. To si bude vyžadovať narastajúcu potrebu porozumieť zložitosti (komplexite) najmä v súvislosti s nevyhnutne narastajúcou špecializáciou profesií a špecifických znalostí.

#### 4.6 Praktické potreby

Komplexné systémy majú svoj zdroj v štúdiu konkrétnych systémov. Zovšeobecnené skúsenosti získané analýzou a syntézou konkrétnych výsledkov umožnia lepšie pochopenie činnosti KS ako aj ich riadenie. Biologické systémy známe svojou komplexitou, ale aj iné KS, je možno opísať a riadiť len zložito. To hovorí aj jeden z najznámejších princípov kybernetických systémov, princíp nevyhnutnej variety, alebo princíp adekvátnosti systému a regulátora. Na túto zložitosť musia byť vyvinuté teoretické aj počítačové prostriedky, ktoré uvedené komplexitu zvládnu. Príkladom môže byť projekt odhalenia ľudského genómu.

#### 4.7 Ciele

Hlavnými cieľmi výskumu KS je:

- Ø porozumieť ako fungujú a ako kooperovať s KS v rôznych úrovniach (manažérska, inžinierska, ekonomická, sociálna, ap.)
- Ø porozumieť jednotným princípom organizácie a riadenia KS, najmä systémov, v ktorých sa vyskytujú veľké objemy informácií
- Ø porozumieť komplikovaným interakciám medzi KS a prostredím

Porozumieť KS neznamená to, že dokážeme presne predikovať ich správanie. To nie je len skonštruovanie veľkých databáz a robenie masívnych simulácií; zdá sa, že dôležitejšie je, že sa dozvieme, aké sú hranice nášho poznania, čo môžeme a čo nemôžeme robiť.

Špecifickou triedou KS sú komplexné adaptívne systémy. Pojmy chaos, zložitosť, komplexné adaptívne systémy sú dnes synonymami, ktoré charakterizujú dnešnú dialektickú zložitosť sveta ako celku. Zároveň sú výrazom istej módnosti a používanie týchto pojmov často nie je na mieste. V našom prirodzenom ako aj umelo vytvorenom svete ide o také systémy ako mozog, ekonomika (podniku, štátu, svetadiela), kolónie mravcov či včiel. Ešte zložitejšie sú sociálno-ekonomicko-kultúrne systémy. Tieto systémy môžeme charakterizovať prostredníctvom ich niektorých podstatných vlastností:

- Ø Komplexné adaptívne systémy (KAS) sú siete vytvorené z mnohých podsystémov-agentov, ktoré pôsobia paralelne. Ak uvažujeme napr. ekonomické systémy, agenti sú firmy. V politickom systéme sú agentmi politické strany, prípadne dominantné osobnosti politickej scény. V medzinárodných vzťahoch sú to národy a štáty, prípadne zoskupenia štátov. V zložitom energetickom systéme sú to jednotlivé energetické jednotky. Typické pritom je, že agent pôsobí v neustále premenlivom prostredí, v ktorom neustále je v interakciách s ostatnými agentmi a to si vyžaduje jeho neustálu adaptáciu.
- Ø Riadenie KAS je decentralizované a autonómne. Napríklad v mozgu nejstuuje žiadny vedúci neurón. Aj v technických systémoch existuje mnoho príkladov autonómnych systémov bez koordinátora. Činnosť systému ako celku je zabezpečovaná kooperáciou alebo konkurenciou medzi agentmi.
- Ø KAS majú obvykle mnohoúrovňovú štruktúru s decentralizáciou na každej úrovni.
- Ø KAS neustále menia svoju štruktúru ako reakciu na vonkajšie prostredie. Pritom princípy adaptácie sú rovnaké na každej úrovni.
- Ø KAS sú schopné vo väčšej či menšej miere robiť predikciu.

## 5 VEDA A VZDELÁVANIE V 21. STOROČÍ

Vzdelávací systém je jednou z najkonzervatívnejších spoločenských inštitúcií. Súčasná štruktúra a náplň vzdelávania je výsledkom viac ako storočného vývoja. Avšak 20. storočie prinieslo radikálny posun vo vedeckých a gnozeologických paradigmách: kým v prvej polovici storočia to bola najmä teória relativity, kvantová mechanika, v druhej polovici storočia to sú najmä kybernetika spojená s rozvojom počítačov, moderná biológia a vedy spojené s pojmom zložitosti.

Súčasný koncepty a prax v politike, organizácii našej činnosti je stále do značnej miery zviazaná s intelektuálnymi rámcami, ktoré sú spojené s rozvojom fyziky v 17. storočí. Industriálny vek bol postavený na teóriách, ktoré vnímali celý svet ako stroj. Tento obraz jednotného, mechanického a deterministického sveta tvaroval nielen vývoj vedy a techniky, ale stal sa dominantným aj v politike, ekonomike v organizačných činnostiach a napokon aj vo výchove a vzdelávaní.

Uvedené prístupy vychádzajú najmä z pozitivizmu a z viery, že veda a vedecké metódy umožňujú úplné poznanie fyzikálnej reality a využiť toto poznanie na predikciu a riadenie budúcnosti. Tieto názory boli odozvou na úspešný transfer vedeckých poznatkov do praxe, čo viedlo k novým technológiám a ich uplatneniu vo výrobe, doprave, vo vojenstve a nakoniec ku dominantnému postaveniu Európy a USA vo svete.

Model berlínskej univerzity, založenej v roku 1810, sa stal istým vzorom vysokého školstva. Kým stredoveké univerzity boli zakladané a vedené cirkvou, v polovici 19. storočia vznikajú moderné sekulárne univerzity, ktoré rozširujú vedecké, inžinierske, poľnohospodárske poznatky. Vo všeobecnosti školy vyučujú jazyky, matematiku, fyziku, sociálne vedy s príslušnými praktickými poznatkami. Aj v súčasnosti veda a matematika v podobe typickej pre minulé storočie, sú stále dominantnými a považujú sa za akademicky rigorózne a sú podávané s veľkou intelektuálnou prestížou.

V dvadsiatom storočí vznikli a vznikajú nové vedecké paradigmy. Spomeňme len teóriu relativity, kvantovú mechaniku, Heisenbergov princíp neurčitosti, Goedelove teórie, kybernetiku, vedu o počítačoch (computer science), modernú genetiku, teóriu chaosu, memetiku a najnovšie vedy o komplexných adaptívnych systémoch, ktoré majú základ v kybernetike a v syntéze s modernou biológiou sa pokúšajú zvládnuť problematiku **zložitosti (komplexity)**. Tento pojem je dnes, zdá sa, ústredným bodom, centrom modernej vedy.

Napriek tomu sú školy do značnej miery konzervatívne inštitúcie, nie nadarmo sa hovorí, že patria medzi najkonzervatívnejšie, a nereagujú dostatočne pružne na tieto nové výzvy. Načim zdôrazniť, že pod pojmom školy myslíme aj základné a najmä stredné školy, kde najmä gymnázia pestujú do značného stupňa politiku istej izolovanosti a nemajú snahu viesť kontinuálny dialóg s univerzitami. Pritom niektoré poznatky a pojmy by sa oveľa ľahšie osvojovali už v ranej mladosti.

Ako už bolo spomenuté v úvodnej časti, súčasný proces vzdelávania, školy a univerzity majú ešte často všetky charakteristiky škôl minulého storočia, prípadne prvej polovice nášho storočia. Sú stále v zajatí newtonovskej paradigmy, neodrážajú štruktúru nových vedomostí, neuskutočnil sa radikálny prechod z priemyselného veku do globálnej informačnej spoločnosti.

Ako uskutočniť transformáciu celého systému vzdelávania, organizačných foriem v školstve, ako vzniknú nové štruktúry, ktoré by odpovedali súčasnému stupňu rozvoja spoločnosti? Ako uskutočniť metasystémovú tranzíciu v oblasti vzdelávania a vedy?

V histórii môžeme pozorovať značný časový rozdiel medzi vznikom vedeckej teórie a jej aplikáciou do nových technológií, ktoré menia svet, jeho ekonomické a politické štruktúry a nakoniec využitím nových poznatkov vo vzdelávaní. Napríklad európske univerzity reagovali po vynáleze parného stroja až o viac ako sto rokov a zmenili sa z klasicky prevažne teologickej orientácie na technologickú. V našom storočí v osnovách univerzít, ale aj stredných škôl, ešte stále je nedostatočne zvýraznená teória relativity, kvantová teória a ešte v menšej miere sú zastúpené vedy o zložitosti, kybernetike a informatike. Napríklad v istých kruhoch stále pretrvávajú nedôvera k evolučnej teórii.

Jednou z ciest ako dosiahnuť modernú zmenu vo vzdelávaní je chápanie vzdelávacieho procesu ako komplexného adaptívneho systému s využitím najnovších informačných technológií.

Pri koncipovaní učebných plánov pre tretie tisícročie je nutné položiť niekoľko zásadných otázok:

1. Aké zmeny sú nutné v štandardných modeloch učebných osnov a jednotlivých disciplín pre prípravu študentov v bakalárskom, inžinierskom a doktorandskom štúdiu v globálnej informačnej spoločnosti 21. storočia?
2. Ako sa vyrovnáť s faktom, že výskum mnohých dôležitých problémov si vyžaduje narušiť rovnováhu súčasnej skladby predmetov ako aj podstatne zmeniť ich obsah a formy výuky?
3. Ako vytvoriť vhodný pomer medzi predmetmi, ktoré sú obsahom daného smeru príslušnej fakulty a predmetmi, ktoré pokrývajú viacero disciplín?
4. Do akej miery má univerzita ašpirujúca na transdisciplinárny prístup zmeniť štruktúru svojich fakúlt a katedier?

Univerzitu môžeme chápať ako komplexný adaptívny systém ako súhrn vzájomne pôsobiacich komunít, z ktorých každú môžeme považovať za KAS. Podsystemy tvoria (z pohľadu učiteľa): učители, administrácia, študenti, zdroje financovania a nástroje pedagogiky (napr. WWW). Z pohľadu učiteľov súčasnej univerzity existujú relatívne slabé interakcie medzi jednotlivými disciplínami ako aj smerom ku študentom. Zaujímavejšie preto môže byť KAS z pohľadu základného podsystemu - študenta. V takomto modeli je študent zviazaný s konkrétnymi učiteľmi, s inými študentmi, reálnym okolím a budúcim zamestnávateľom. Pritom z pohľadu študenta sú interakcie obojsmerné a relatívne intenzívne. Pretože študenti prechádzajú cez rôzne katedry, pracoviská univerzity, ich pohľad na výuku ale aj na výskum môže byť veľmi zaujímavý.

Výber smeru a jednotlivých predmetov by mal byť vysoko individuálny. Niektorí môžu zvoliť klasický prístup „zdola - hore“, čo znamená, že na solídnej širokej báze sa vytvorí špecializácia. Tento postup je však vhodný kombinovať s postupom „zhora - dole“, keď na báze vytipovanej špecializácie volíme vhodný základ.

Učители by mali zdôrazňovať už v základných úvodných predmetoch, že zložené systémy súčasnosti sa vyznačujú nelineárnym, chaotickým správaním, a že pre ich riadenie nie je možné použiť nejaké globálne jednoduché postupy typu „zdravého sedliackeho rozumu“. Je vhodné uvádzať príklady takýchto systémov. Na druhej strane pri zavádzaní nových metód netreba za každú cenu „objavovať Ameriku“. Pri štúdiu je dnes samozrejmom



požiadavkou využitie Internetu práve na získanie príkladov multidisciplinárneho prístupu a riadenia KAS.

Na druhej strane je potrebné využiť Internet a Intranet na to, čo je, zdá sa, najvhodnejšie pre výuku: každý predmet by mal mať svoju web - stránku, prostredníctvom ktorej vedú študenti dialóg s učiteľmi a vzájomne medzi sebou. Techniku „newsov“ môžu využiť na uverejňovanie svojich referátov, esejí a kritických poznámok a hodnotení, čo fakticky vytvára akúsi formu elektronického časopisu. Samozrejme, že takáto forma komunikácie nesmie vylúčiť normálnu priamu ľudskú diskusiu, a preto v dostatočnej miere musí pri výuke byť zabezpečený osobný styk študentov a učiteľov, ktorý však môže mať úplne netradičné podoby, napr. posedenie pri káve, alebo čaji. Na takejto stránke sú uverejnené všetky prednášky, podklady pre cvičenia a semináre, čo v dnešnej situácii pomôže riešiť aj problém študijnej literatúry.

## 6 KOMPLEXNÝ SYSTÉMOVÝ EVOLUČNÝ PRÍSTUP

Akú úlohu môžu mať uvedené trendy v odboroch, ktoré formálne nazvime *control engineering*. V súčasnosti je zložitý riadiaci systém zložitá počítačová sieť; navonok je práve táto charakteristika dominantná. Aby sme zjednodušili ďalšie úvahy, budeme predpokladať dve základné úlohy: návrh algoritmov riadenia komplexných systémov (tu má hlavnú úlohu teória automatického riadenia a teória rozhodovacích procesov) a návrh (projektovanie) reálneho riadiaceho systému. V praxi často dochádza ku prípadom, keď projekty komplexných systémov neprinesú vyžadovaný efekt, ba často dochádza k ich zastaveniu a nerealizujú sa. Podľa Bar-Yama (Y. Bar-Yam 2003) vôbec nejde o lacnú záležitosť – straty odhaduje ročne na 100 miliárd ročne (napríklad projekt Federal Aviation Administration Advanced Automation System v rokoch 1982-1994 na zlepšenie leteckej prevádzky si vyžiadal náklady 3-6 miliárd dolárov a bol ukončený bez efektu). Vzniká otázka kde sú príčiny zlyhávania projektov a ako zmenšiť straty?

Základným dôvodom týchto ťažkostí pri moderných inžinierskych projektoch je ich inherentná komplexita. Komplexita znamená, že časti systému sú autonómne a zmena v jednom podsysteme má vplyv na iné. Komplexita znamená nepredvídateľné efekty, pod vplyvom početných spätných väzieb, ktoré môžu viesť ku zlyhaniu systému. Samozrejme, že komplexita nie je úplne nový jav, aj keď stále vyrastá. Manažéri a inžinieri v minulosti vyvinuli celý rad metód a prístupov, napríklad modulárnosť, hierarchičnosť, ap. Modulárnosť (dekompozícia) síce umožňuje návrh jednoduchších častí, ale výsledný efekt (suma činností podsystemov) pri vzájomnom prepojení sa môže stratiť. Podobný efekt majú také postupy ako abstrakcia, redukcia, ap. Všetky tieto postupy však sú nedostatočné. Je to aj odraz základných princípov kybernetiky, najmä princípu nevyhnutnej variety, ktorý hovorí, že riadiaci systém musí mať rovnaký stupeň komplexity ako systém riadený: v našom prípade komplexita inžinierskeho systému musí mať ten stupeň zložitosti ako je zložitosť samotnej úlohy (Ashby 1961). Príčina je v samotnej podstate komplexity: je to vzťah častí a celku. Ako bolo spomenuté (Sarnovský 2003) práve riadenie (v prípade zložitých inžinierskych projektov riadenie projektu) je tým elementom, ktorý rieši vzájomný vzťah častí a celku.

Ako riešiť uvedený problém? Známý je prístup nazvaný *proces inkrementálnych zmien*. Táto metóda je známa najmä v informatike pri vylepšovaní vlastností existujúceho hardvéru a softvéru. Ide o iteračný proces postupných zmien. Po mnohých zmenách systém nadobudne podobu veľmi odlišnú od originálu. Ďalšie perspektívy v tomto smere vedú ku evolučnému chápaniu zmien: ako môžu postupné zmeny spôsobiť rýchlu inováciu. V súčasnosti existujú dve cesty ako riešiť zlyhania komplexných inžinierskych projektov. Prvá spočíva v zmene cieľov. Druhá je použiť evolučný postup. Túto musíme použiť v prípade nemožnosti redukcie cieľov: úloha je taká zložitá, že redukcia a zjednodušenie vedú ku značnej neurčitosti a platí aj princíp nevyhnutnej variety (inak povedané – princíp adekvátnosti riešenia cieľom úlohy).

Evolučné procesy boli implicitne odjakživa skryté v princípoch a metódach kybernetiky (dnes hovoríme o evolučnej kybernetike). Kybernetika prešla vo svojom vývoji rôznymi etapami, pričom sa postupne strácal jej holistický integrujúci charakter. Celkom zákonite vznikali „nové“ smery, napr. neurónové siete, komplexné adaptívne systémy, či umelý život a samotná kybernetika akoby sa vytrácala. Asi dozrel čas sa vrátiť ku niektorým východiskám kybernetiky ako vedy o riadení zložitých systémov, prehodnotiť a integrovať nové pohľady najmä na zložitosť a evolúciu. Evolučnú kybernetiku môžeme definovať ako štúdium procesu variácie a selekcie zložitých systémov riadenia. Tento problém môžeme skúmať z dvoch stránok: kvalitatívne, ako vzniká úroveň riadenia v systéme, a kvantitatívnej, t. j. ako systémy riadenia sa vyvíjajú. Evolučný vznik riadenia môžeme nazývať metasystemovou tranzíciou (viď Principia Cybernetica Project). Darwinova teória vysvetľuje vznik riadenia: prirodzená selekcia preferuje systémy, ktoré môžu prežiť napriek vonkajším perturbáciám a to sú systémy s riadením. Štúdium takýchto systémov z pohľadu, napr. uplatnenia spätnej väzby, môže nám odhaliť skúmané procesy evolúcie u hľadiska riadenia.

Evolučná kybernetika je spätá s novými disciplínami, napr. s evolučnými systémami (viď systémová teória evolúcie). Kým systémový prístup viac zdôrazňuje štruktúru systémov, kybernetika si viac všimá ich funkčnú a

cieľovú stránku. V súčasnosti je veľmi aktuálny a populárny výskum v oblasti komplexných adaptívnych systémov. Tento je orientovaný na využitie matematických metód, napr. teórie chaosu a pod., ďalej fyziky a chémie. Viac-menej chýba cieľovo orientovaný prístup, funkcionálna stránka, hierarchické prístupy. Ide znovu o etapu objavovania exaktných matematických modelov a simulácií, avšak principiálne limity matematiky pri opise a riadení zložitých systémov sú dostatočne známe už dlho. Oveľa viac vplýva paradigma kybernetiky na také oblasti ako sú umelý život, multiagentové systémy, ktoré skúmajú problémy vývoja autonómnych cieľovo – orientovaných podsystémov (agentov). Samozrejme, že okrem vytvárania modelov a aplikácií vo vybraných oblastiach je potrebné venovať viac pozornosti teoretickým a filozofickým aspektom a aplikácií v oblasti humanitných vied; vid' napr. rozvoj nových vedných oblastí ako sú evolučná epistemológia, memetika, apod. To umožní multidisciplinárny výskum v smere naznačenom a realizovanom v projekte (Principia Cybernetica Project).

Ako sme uviedli, zjednodušenie funkcie reálnych systémov nie je niekedy možné. V prípadoch neredukovateľnej komplexity, (tento pojem z hľadiska biologického pohľadu na evolúciu propaguje najmä M. Behe) (Behe 2002). Systém, ktorý obsahuje veľké množstvo takýchto častí môžeme klasifikovať podľa klasika kybernetiky Stafforda Beera ako neobyčajne zložitý (Beer 1966). V tomto prípade Bar-Yam navrhuje použiť evolučný prístup (Bar-Yam, Y. 2000). Evolučný proces sa všeobecne chápe ako analógia súťaže v prostredí voľného trhu a vychádza z iteračného procesu postupných zmien. Existujú však zásadné rozdiely medzi evolúciou a procesom postupných zmien používaných v technike. Evolučný prístup vyžaduje existenciu viacerých odlišných systémov a zmeny sa vyskytujú súčasne a paralelne. Paralelné testovanie viacerých rôznych zmien vo viacerých systémoch a ich kombinácia je podstatne odlišná od konvenčných postupných inžinierskych prístupov. Odlišnosť je aj v tom, že proces projektovania vedie nakoniec ku jedinému riešeniu a nie ku paralelnej implementácii. Ďalšia odlišnosť evolúcie je aj v tom, že implementácia a testovanie sa vykonáva takpovediac „v poli“, v procese učenia prostredníctvom spätných väzieb s okolím. Evolúcia je najmä o zmenách v populácii organizmov v čase, pričom rozhodujúcu úlohu má kritérium efektivity (všeobecne známy pojem „fitness“). Vo všeobecnosti je evolúcia proces replikácie s s variáciami a následnou selekciou; to všetko na báze súťaže. V procese inžinierskeho projektovania, riadenia a výroby má však veľkú úlohu aj kooperácia. (Taktiež treba odlišiť pojem evolučného projektovania a riadenia od použitia evolučných algoritmov ako prostriedku výpočtovej inteligencie pri klasickom projektovaní). Kooperácia a konkurencia sa vzájomne nevyklučujú, najmä ak sa vyskytujú na rôznych stupňoch organizácie a riadenia.

Evolučný postup pri projektovaní technických systémov vychádza z toho, že, jednotlivé časti systému ako sú hardvér, softvér, pôsobenie človeka ak tvorcu alebo operátora, je analogické rôznym organizmom, ktoré sa zúčastňujú evolučného procesu. Zmeny v jednotlivých častiach sa uskutočňujú prostredníctvom alternatívnych komponentov (zariadení, softvéru, tréningu ľudí pre iné činnosti ap.). Všetky tieto zmeny spoluvytvárajú dynamiku systému. V rámci tohoto prostredia môžeme použiť klasické metódy navrhovania. Postupné zmeny systému (hardvér, softvér, ap.) robíme však len v jednej časti. Na týchto zmenách pracujú viaceré menšie tímy, pričom jednotlivé alternatívy sa robia relatívne rýchlo. Nastupuje proces adaptácie, v ktorom na základe selekcie úspešných zlepšení (je to fakticky spätná väzba) vyberieme vhodnú alternatívu. Proces inovácie predstavuje množinu variantov zariadení, softvéru, rôznych činností ľudí; práve paralelizmus a redundancia sú novými prvkami, ktoré sú v protiklade ku klasickému sériovému postupu. Náhrada starého artefaktu novým sa uskutočňuje v niekoľkých etapách, nie naraz. V prvej etape je definovaný nový variant zariadenia (alebo komponentov). Tento variant môže lokálne pôsobiť lepšie, alebo horšie. Táto zmena nemá za následok podstatnú zmenu celého systému, pretože iné zariadenia pracujú paralelne. Druhá etapa nasleduje v tom prípade, že nový variant je úspešný; môže byť zaradený aj do iných častí. Po prijatí zmeny sa uplatňuje nová verzia v kontexte konkurencie celého systému. Tretia etapa zahrňuje ešte aj starú verziu, ktorá sa uplatňuje postupne v menšom počte častí, až kým celkom nezanikne. Uvedené postupy môžeme použiť aj pri implementácii inovovaných algoritmov riadenia pre jednotlivé časti systému. Základnú úlohu znovu zohráva paralelizmus, redundancia skúšaných algoritmov, ktoré sa priebežne vyhodnocujú a implementujú ako odozva na vonkajšie alebo štrukturálne (vnútorné poruchy).

## 7 VÝSKUM A VZDELÁVANIE V OBLASTI TEÓRIE RIADENIA

V oblasti teórie riadenia by sa mal výskum a vzdelávanie zamerať, aj v nadväznosti na predchádzajúcu kapitolu, na výskum a vývoj algoritmov a metód pre rozhodovanie a riadenie systémov automatického riadenia, najmä prostredníctvom využitím modernej paradigmy multiagentových prístupov a paradigmy hybridných prístupov ku riadeniu zložitých systémov s využitím princípov a metód umelej inteligencie s pokrytím všetkých úrovni riadenia a to od technologickej, cez vizualizačnú a databázovú úroveň až po úroveň manažérskych informačných systémov. Uvažovanou úrovňou je úroveň tzv. sieťových riadiacich systémov (SRS), kde sú všetky zariadenia (najmä regulátory, snímače a akčné členy) pripojené ku komunikačnej sieti ako sieťové uzly. Agentové sieťové riadiace systémy (ASRS) vzniknú pripojením sieťových uzlov, ktoré sú agentmi. V oblasti skúmaných ASRS

sú realizované analýza, návrh, modelovanie a simulácia všetkých ASRS prvkov vrátane siete so zameraním na kvalitu a spoľahlivosť riadenia.

Vyššie uvedené môžeme zhrnúť do nasledovných bodov (Sarnovský 1999):

1. Návrh riadiacich metód pre jednoduché a zložité ASRS, ktoré zabezpečia spoľahlivosť systémov, vylepšia diagnostiku systémov a kvalitu riadenia systémov pripojených ku komunikačnej sieti.
2. Formalizácia riadiacich algoritmov v ASRS s použitím neklasických metód riadenia.
3. Implementácia ASRS algoritmov riadenia a rozhodovania v hierarchických distribuovaných počítačových systémoch.
4. Vytváranie nových modelov systémov, najmä z hľadiska uplatnenia moderných prístupov ku riadeniu podsystémov, ktoré sú predstavované modelom agenta – hybridného dynamického modelu podsystému.
5. Formalizácia procesov rozhodovania a riadenia s využitím neklasických prístupov (fuzzy logiky, neurónových sietí, ap.), s využitím optimálneho riadenia, teórie hier na základnej úrovni riadenia a s využitím metód rozhodovania, pravdepodobnostných a lingvistických metód na vyšších úrovniach.
6. Hierarchické a decentralizované metódy a algoritmy riadenia a rozhodovania v zložitých systémoch (algoritmy decentralizovaného riadenia vo forme inteligentných riadiacich agentov na všetkých úrovniach riadenia).
7. Nové metódy a algoritmy hybridného riadenia so zameraním na riadenie nelineárnych procesov.
8. Implementácia riadiacich agentov v zložitých systémoch vo forme laboratórneho distribuovaného počítačového systému.
9. Implementácia multiagentového inteligentného riadenia pri realizácii riadenia reálnych objektov.
10. Nové prístupy vytvárania modelov decentralizovaných dynamických hybridných systémov s diskretnými udalosťami a modelov rozhodovacích procesov na vyšších úrovniach riadenia ako súboru autonómnych agentov.
11. Nové metódy riadenia a rozhodovania zložitých systémov ako multiagentových s využitím prístupov umelej inteligencie.

Prakticky sa miesto teórie riadenia vo vzdelávaní prejavuje najmä v učebných plánoch a osnovách. Bolo by možno veľmi vhodné urobiť aj kvantitatívnu aj kvalitatívnu analýzu počtu hodín, cvičení, obsah najmä laboratórnych cvičení podielu TAR na celkovom objeme výučby.

- a) Pri tejto analýze načim vychádzať z práve vyjasnenia si charakteru TAR: má to byť „čistá“ teória alebo skôr súbor znalostí vo forme metód, algoritmov, ap., teda to čo existuje viac menej teraz. V prípade zdôrazňovania teoretických aspektov je potrebné uvážiť, či by niektoré časti nemali byť časťou aplikovanej matematiky; napríklad variačný počet, maticové diferenciálne rovnice ap. Autor článku má niekoľkoročnú skúsenosť z kombinovaných prednášok z predmetu Teória optimálnych systémov, kde úvodne 3-4 prednášky robil matematik. Skúsenosti sú dobré.
- b) Treba posúdiť, najlepšie na báze dobrej ankety a diskusie, názor študentov na jednej strane ako aj názor ľudí z praxe na strane druhej. Napríklad bolo by treba uvážiť čo má študent z teórie vedieť a akým spôsobom to dosiahnuť. Len ako príklad uvádzam MIT, kde predmety z teórie riadenia majú väčšinou hodiny typu 4-0-8, teda štyri hodiny prednášok, žiadne cvičenia a osem hodín prípravy. Ale Mikro počítače pre riadenie dynamických systémov v základnom bakalárskom programe majú rozsah 2-7-3.
- c) Veľmi dôležité je stanovenie obsahu pojmu teória riadenia. Dobré o tom hovorí Mojsejev (Mojsejev 1984), ktorý hovorí o teórii technického riadenia (teda teórie riadenia technických systémov) ako ďalšej etapy teórie automatickej regulácie. Je veľmi problematické chápať a redukovať teóriu riadenia len na teóriu automatickej regulácie dynamických sústav, čo je dnes celkom bežné. Dynamické systémy so spätnou väzbou obsadzujú len istý, síce dôležitý, ale nie rozhodujúci segment problémov riadenia. Vyjadrením tohto stavu je aj fakt, že:
  1. Teóriu regulácie dnes možno považovať z metodologického hľadiska za fakticky uzavretú oblasť, takpovediac za „klasiku“; ďalšie pokroky sa dnes dosahujú najmä implementáciou metód výpočtovej inteligencie (neurónové siete, fuzzy systémy, genetické algoritmy) ako aj implementáciou nových informačných technológií. Napokon o to svedčí aj bežné prelistovanie ATP žurnálu, Automatizácie, ap. ***Teoretickým základom by mohli byť multiagentové systémy ako spoločná báza kybernetiky, informatiky a umelej inteligencie.***
  2. Teória regulácie je dnes absolútne bežným predmetom v učebných osnovách veľkého počtu „neelektrotechnických“ a „neinformatických“ fakúlt. Nehovoriac o tom, že na mnohých priemyslovkách sa preberajú uzavreté regulačné obvody. Vzniká dôležitá otázka: ***Môže byť teória regulácie dynamických sústav v tejto podobe základným teoretickým predmetom v našich študijných odboroch?***

3. Výhodiskom z danej situácie nemôže byť len rozvoj TAR v zmysle Kuhnovej „normálnej“ vedy (Kuhn 1980); teda vedy kde nedochádza ku zmene paradigmy, teda zásadnej zmeny vo vývoji, ale generujú a riešia sa len umelé problémy, tzv. hlavolamy, kde sa premet vedy mení len horizontálne ale nie vertikálne. Prítom samovoľný, prirodzený rozvoj informačno-riadiacich systémov dokazuje, že zmena paradigmy nastáva, ale nemá adekvátne vyjadrenie v samotnej TAR a nakoniec ani v učebných plánoch.
- d) Z uvedeného vyplýva, že treba analyzovať kvantitu a obsah predmetov z oblasti TAR, aj aplikačných. Takáto analýza by možno umožnila čiastočne, alebo aj viac, redukovať súčasné predmety TAR a umožniť rozšírenie predmetu teórie riadenia o informačno-riadiace technológie na jednej strane (najmä tzv. sieťové riadiace systémy) (Liguš 2003) a o manažérske prístupy na strane druhej. Treba si uvedomiť, že manažment nie je veda v bežnom slova zmysle; je to skôr umenie. Približne povediac, tých 20-30 % „vedy“ v manažmente sú rozhodovacie procesy, ktoré patria jedine do kybernetiky, na jej pôde vznikli. Ved' klasické dielo Stafforda Beera *Cybernetics a Management*, je dodnes neprekonanou bázou kybernetiky ako **jediného teoretického** základu manažmentu ako vedy. I. Plander (Plander 2004) v tejto súvislosti vyslovuje požiadavky na študijné programy: široké zvládnutie informačných technológií; schopnosť porozumieť aplikáciám – absolventi musia rozumieť aplikáciám, v ktorých sa realizujú riadiace systémy; schopnosť vzájomnej spolupráce s expertmi z iných oblastí.

## 8 MULTIAGENTOVÉ SIEŤOVÉ RIADIACE SYSTÉMY

Rozvoj moderných informačných a riadiacich systémov, najmä zložitých technologických procesov, je v súčasnosti veľkou výzvou pre vedecko-technickú komunitu v oblasti kybernetiky a príbuzných odborov. Je potrebné riadiť čoraz zložitejšie systémy, ktoré nie je možné opísať tradičnými modelmi klasickej teórie riadenia. Tieto systémy sa vyznačujú najmä tým, že ich chovanie je určované zložitými interakciami medzi podsystémami v ktorých sa vyskytujú diskkrétne náhodné udalosti. Paradigma diskrétnych dynamických hybridných systémov ako multiagentových je dnes v teórii automatického riadenia dominujúca. Stav takýchto systémov sa menia v asynchrónnych okamihoch a udalosti vznikajúce v systéme (napr. porucha akčného člena, snímača, prekročenie dovoleného rozsahu nejakej veličiny, ap.) a môže byť reprezentovaný množinou čísel, diskrétnych premenných, alebo aj nenumerických premenných.

Riadiace systémy, v ktorých snímače, regulátory, akčné členy a ostatné prvky komunikujú ako agenti cez komunikačnú sieť sú nazývané agentové sieťové riadiace systémy (ASRS). Nové požiadavky na riadiace systémy, ktoré zahŕňajú modularitu, decentralizáciu riadenia, integrovanú diagnostiku, rýchlu a ľahkú údržbu limitujú použitie tradičných analógových metód prepojenia v priemyselnom riadení. Implementácia siete do riadiacej slučky má niekoľko výhod, medzi ktoré patria nižšia cena celkovej kabeláže v porovnaní s analógovým prepojením, jednoduchšia inštalácia a údržba, ľahšia diagnostika systémov, zvýšenie flexibility riadiaceho systému, zvýšenie rekonfigurovateľnosti systému a iné. Avšak toto sieťové prepojenie má taktiež niekoľko nevýhod ako napríklad komunikačné obmedzenia, závislosť kvality riadenia na výpadkoch siete, negatívne vplyvy asynchronizmu, nepredvídateľné výpadky siete apod. Všetky uvedené nevýhody vedú k deterministickým a náhodným oneskoreniam údajov prenášaných sieťou. Tieto sieťové oneskorenia a následne ich vplyv na stabilitu systémov sú vo všeobecnosti najviac diskutovaným problémom ASRS, ktorý vplyva na implementáciu siete do oblasti agentových systémov.

Správanie sa agentového systému implementovaného ako ASRS je odlišné ako očakávané správanie sa agentového systému bez siete pri zachovaní rovnakých podmienok. Tieto oneskorenia môžu nielen degradovať správanie sa riadiaceho systému navrhnutého bez uvažovania oneskorení, ale aj destabilizovať tento systém. V klasických, doteraz používaných riadiacich systémoch sú snímače a ostatné prvky riadiacich systémov pripojené k riadenému systému analógovými prúdovými a napäťovými slučkami. Ich analógové signály sú pripojené k vstupno-výstupným kartám priemyselných kontrolérov PLC, kde sú následne spracované. Návrh takýchto algoritmov je popísaný v teórii diskrétnych systémov. Systémy ASRS sa skladajú z inteligentných snímačov (SMART snímačov) a akčných členov (s výpočtovými vlastnosťami, možnosťou zaslania časovej známky, komunikačným rozhraním apod.), regulátorov a komunikačnej siete. V týchto systémoch predstavuje táto zdieľaná komunikačná sieť centrálnu komunikačnú jednotku. Použitie komunikačnej siete teda predstavuje niektoré nové analytické výzvy. Sieť spôsobuje komunikačné obmedzenie (len jeden uzol môže vyslať svoje dáta v čase), ktoré spôsobuje oneskorenia naindukované sieťou v smere od snímača do regulátora a v smere od regulátora do akčného člena. Uvažovanie sieťového oneskorenia v popisovanom prístupe zlepšuje bezpečnosť celého ASRS systému. V oblasti ASRS je mnoho dôležitých otázok, ktoré musia byť zodpovedané či už návrhármi celkových ASRS, alebo návrhármi jednotlivých ASRS komponentov.

Výskum v tomto smere by sa mal zaoberať použitím metód prediktívneho riadenia odstraňujúcich dopravné oneskorenia na kompenzáciu sieťových oneskorení v ASRS a to nielen menších, ale aj väčších ako je perióda

vzorkovania systému. Za predpokladu, že oneskorenie naindukované sieťou je dynamicky sa meniace dopravné oneskorenie, môžu byť modifikované algoritmy eliminujúce dopravné oneskorenia implementované do ASRS. V uzle akčného člena je nutné realizovať rozhodovací člen, nazvaný supervízny blok, ktorý rozhoduje medzi riadiacimi algoritmi na základe výskytu oneskorenia na komunikačnej sieti. Je evidentné, že v prípade ASRS je potrebná distribúcia inteligencie na zaručenie stability v prípade výpadkov komunikačnej siete. Najdôležitejším uzlom v návrhu ASRS je uzol akčného člena, ktorý ma tri hlavné funkcie: (1) štandardné funkcie akčného člena, (2) sekundárny regulátor a (3) pozorovateľ siete. Odporúčaním pre priemyselných výrobcov akčných členov je navrhovať hardwarové a softwarové časti akčných členov tak, aby do nich bolo možné implementovať riadiace funkcie. To zahŕňa implementáciu adaptívneho SP (stavový priestor) modelu systému, implementáciu supervízneho bloku a implementáciu záložného regulátora. S použitím uvedenej metódy je možné efektívne kompenzovať sieťové oneskorenia a výpadky siete. Pre takéto a podobné systémy je načas rozpracovať metodiku tvorby matematických, alebo tzv. "kvalitatívnych" modelov, ich simuláciu ako aj metódy a algoritmy riadenia a rozhodovania. Riadenie multiagentových hybridných dynamických systémov si vyžaduje teóriu, ktorá bude zahŕňať spojitú aj diskretné premenné, pričom v niektorých prípadoch musí uvažovať aj vplyv ľudského činiteľa. Implementácia takýchto riadiacich systémov si vyžaduje integráciu programových a technických prostriedkov ako aj "inteligencie systému riadenia" (reprezentovanej algoritmi, rôznymi heuristikami, metódami umelej inteligencie ap.). Akademická komunita v oblasti teórie riadenia nereaguje na takéto a podobné potreby praxe vždy optimálne. Pri implementácii systému riadenia sa vyžaduje komplexný prístup, najmä interakcia s oblasťou počítačovej techniky a spracovania signálov (signal processing).

Výskum metód riadenia zložitých hybridných systémov by mal teda integrovať metódy teórie riadenia (decentralizované optimálne a adaptívne algoritmy riadenia), s metódami z oblasti formálnej logiky, teórie rozhodovacích procesov, teórie grafov, ap. a mal by byť v tesnej súvislosti s metódami počítačovej a komunikačnej techniky ako aj umelej inteligencie.

Základnou charakteristikou multiagentových hybridných systémov riadenia je to, že viacero, agentov sa snaží o optimálne využitie nejakého spoločného zdroja, resp. každý agent využíva len časť spoločných zdrojov, pričom jeho informačná báza pre riadenie môže byť len lokálna. Každý agent je modelovaný ako hybridný dynamický subsystém s lokálnym vstupom a výstupom, s interakčnými vstupmi od iných agentov, ktoré vystupujú ako vonkajšie poruchy a s koordinačným vstupom z vyššej úrovne. Typickými príkladmi takýchto systémov sú systémy výroby a rozvodu elektrickej energie (kde výrobcovia aj spotrebiteľia využívajú spoločnú sieť), dopravné systémy, počítačové siete ako aj zložitú technologickú systémy.

Návrh riadiacich systémov pre regulátory je spojený s viacerými ťažkosťami ako sú: stavový priestor jednotlivého agenta je obvykle obmedzený a jeho riadiace zásahy preto majú len lokálny charakter; z tohoto dôvodu je pre dosiahnutie aspoň kvázioptimálnych stratégií použiť prístupy z oblasti teórie kooperatívnych alebo nekooperatívnych hier. Veľmi dôležitú úlohu má informačná štruktúra riadenia. Ideálna je, pre dosiahnutie spoločného cieľa centralizovaná štruktúra riadenia. Takéto riešenie má však nevýhody: výpočtová náročnosť, menšia spoľahlivosť, veľké náklady na komunikačné a informačné zabezpečenie, apod. Decentralizovaný prístup umožňuje oveľa jednoduchšie štruktúry riadiacich agentov, nevyžaduje komunikáciu medzi agentmi (týka sa to komunikácie na strane akčných zásahov, komunikácia medzi podsystémami samozrejme existuje a môže to byť dôležitý zdroj informácie o globálnom systéme).

Na druhej strane takýto prístup môže byť veľmi neefektívny vzhľadom na globálne optimum. Východiskom môže byť kompromis medzi týmito dvomi prístupmi. V tomto prípade sa každý agent snaží optimalizovať svoju lokálnu činnosť, pričom ju koordinuje so susednými agentmi, v prípade výskytu konfliktných záujmov. Takéto riešenie bude síce menej efektívne ako centralizované a horšie implementovateľné ako čisto decentralizované, avšak môže to byť jedine realizovateľné riešenie.

Výskum v príbuznom smere je dnes aktuálny v celom svete; niektorými aspektmi uvedených problémov sa zaoberajú aj niektoré pracoviská v Slovenskej republike (Frankovič 2002). Hlavným predmetom výskumu a vzdelávania by mohli byť zložitú multiagentové hybridné dynamické systémy, obvykle v decentralizovanom tvare. V oblasti vytvárania nových modelov takýchto systémov je potrebné, aj na základe požiadaviek praxe, rozpracovať nové typy týchto modelov, napr. ďalšie modely riadenia spoľahlivosti na každej úrovni decentralizovaných modelov, modely bayesovských aj nových netradičných modelov rozhodovacích procesov na báze prístupov umelej inteligencie.

V oblasti tvorby metód a algoritmov riadenia bude asi nutné rozpracovanie nových prístupov pre vyššie uvedené modely. V tomto kontexte môže byť prínosom najmä vytvorenie algoritmov riadenia a rozhodovania agentov v maximálne decentralizovanej autonómnej forme. To sa prejaví, napr., v tvare algoritmov decentralizovaného riadenia s riadením spoľahlivosti, ktoré zabezpečia optimálnu činnosť systému aj v rôznych "nenominálnych stavoch". Významnú úlohu by mali mať aj tzv. multiple model/controller ( ) systémy a systémy redundantnými početnými spätnými väzbami, ktoré vytvárajú bázu pre evolučný prístup ku riadeniu dynamických systémov

(Sarnovský-Hladký 1995). Na vyšších úrovniach riadenia musia týmto algoritmom odpovedať decentralizované algoritmy rozhodovania s využitím fuzzy prístupov, neurónových sietí a expertných systémov. Ďalším cieľom je rozpracovanie opisu a metód riadenia hybridných systémov, kde je hlavným problémom výskyt spojitých a diskretných dejov. Osobitná pozornosť treba venovať návrhu hybridných riadiacich algoritmov (ako časti hybridných systémov), ktoré vzniknú spojením viacerých prístupov (fuzzy riadenie, neurónové siete, genetické algoritmy, klasické PID algoritmy a pod.) kde sa predpokladá zjednodušenie návrhu riadiacich algoritmov a zvýšenie kvality riadenia. Riadenie takýchto modulárnych podsystemov s ich permanentnými interakciami je naďalej otvoreným problémom. Niektoré z uvedených problémov boli a budú riešené v rámci grantového výskumu na KKUI FEI TU v Košiciach (Sarnovský 2004).

## 9 LITERATÚRA

Ashby, W. R. (1961): *Kybernetika*. Orbis, Praha.

Bar-Yam, Y. (2000): *Enlightened Evolutionary Engineering/Implementation of Innovation in FORCENet*, Report to Chief of Naval Operations Strategic Studies Group, 2002 (Brief 2000).

Bar-Yam, Y. (2003): *When Systems Engineering Fails --- Toward Complex Systems Engineering*, 2003 IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics, October 5–8, 2003, Washington, D.C., USA

Beer, S. (1966): *Kybernetika a řízení*. Svoboda, Praha.

Bristol, E. (1982): *Process Control: An Application Theorist's View of Control*. IEEE Contr. Magazine, March, 3-15.

Duľa, M. - Sarnovský, J. (2003): *Decentralized Control of Dynamic Systems with Reference Model*, IEEE International Conference on Computational Cybernetics, ICC 2003, Siófok, Hungary

Frankovič, B. (2002): *Modelovanie, riadenie a simulácia distribuovaných výrobných systémov*, Projekt APVT – 51 - 011602

Kalman, R. E., Falb, P. L., Arbib, M. A. (1971): *Očerki po matematičeskoj teoriji sistem*. Mir, Moskva.

Kuhn, T. (1980): *Štruktúra vedeckých revolúcií*. Pravda, Bratislava.

Ligušová, J. (2004): *Metódy riadenia eliminujúce vplyv oneskorení spôsobených komunikačnou sieťou v sieťových riadiacich systémoch*, Dizertačná práca, FEI TU Košice

Ligušová, J. - Liguš, J. - Barger, P. (2003): *Modification of the Smith predictor for random delays treatment in the network control systems*, IFAC 2003, Bratislava.

Mesarovic, M. D., Takahara, Y. (1978): *Obšaja teorija sistem*. Mir, Moskva.

Mojsejev, N. N. (1984): *Ljudi i kibernetika*, Moskva. Molodaja gvardija.

Murry-Smith, R. - T. A. Johansen (Editors) (1997): *Multiple Model approaches to Modelling and Control*, Taylor & Francis, London

Plander, I. (2004): *Perspektívne rozvojové trendy výpočtovej techniky a výchova inžinierov pre 21. storočie*, Inauguračná prednáška pri udelení Dr. H. c., TU Košice

*Principia Cybernetica Project*, <http://pespmc1.vub.ac.be>

Pontrjagin, L. S. a kol. (1964): *Matematická teorie optimálních procesu*. SNTL, Praha.

Sarnovský, J. (1993): *Paradigmy teórie automatického riadenia*. Zborník prednášok zo Stretnutia katedier kybernetiky a automatizácie, Súľov, 2-11.

Sarnovský, J. - Hladký, V. (1995): *Reliable Decentralized Optimal Adaptive Control via an Additive Redundant Controller*, Bulletin for Applied Mathematics, Tech. University Budapest, 35-42

Sarnovský, J. (2002): *Kybernetický svet*. Elfa Košice, 2. vydanie.

Sarnovský, J., Liguš, J., Benko, P. (2002): *Kybernetika a manažment*. Elfa, Košice.

Sarnovský, J. a kol. (1999): *Multiagentové hybridné riadenie zložitých systémov*. Elfa, Košice.

Sarnovský, J. (2004): *Multiagentové hybridné riadenie zložitých systémov*, Projekt VEGA, KKUI FEI TU Košice

Wiener, N. (1963): *Kybernetika a spoločnosť*, Praha.