

# Aplikácie počítačového modelu mysle ACT-R vo vzdelávaní

Martina Kabátová

Katedra základov a vyučovania informatiky, FMFI UK  
Mlynská dolina, 842 48 Bratislava  
kabatova@fmph.uniba.sk

## Abstrakt

Už niekoľko desaťročí sa vedci z rôznych oborov snažia modelovať operácie mozgu a skúmať tak procesy ľudskej mysle. Jedným z najlepších a najprepracovanejších počítačových modelov mysle je ACT-R<sup>1</sup>. Úspech kognitívnych tútorov pre matematiku, ktoré boli vytvorené na základe ACT-R ukazuje, že aj tak komplexný proces ako je učenie sa matematiky je rozložiteľný na simulovateľné kognitívne jednotky. To umožňuje vytvoriť počítačový program simulujúci riešenie matematických problémov, ktorý dokáže poskytnúť študentovi účinnú a dobre zameranú pomoc pri učení sa. V žiadnom prípade nenahrádza učiteľa, iba mení jeho rolu vo vyučovacom procese.

## 1 Úvod: Filozofia mysle

„Ľudské vedomie je zrejme poslednou žijúcou záhadou.“ [5]

Táto záhada zamestnáva mnohých vedcov už niekoľko storočí. Jedným z ústredných problémov filozofie mysle je takzvaný *mind-body problem*, ktorý sa snaží vyriešiť vzťah mysle a tela.

- Sú mozog a myseľ rovnakej alebo rozdielnej povahy?
- Vyplýva myslenie z fyzickej konštrukcie mozgu?
- Môžu byť subjektívne kvality (*qualia*) a intencionalita mentálnych stavov vysvetlené vo fyziologických termínoch?

Podľa pohľadu na tieto a ďalšie otázky sa rozlišujú dva názorové prúdy : dualizmus a monizmus. Dualizmus kladie myseľ a telo do protikladu – sú to dve odlišné oddeliteľné veci. Tento názor sa dá vystopovať v celom priebehu dejín filozofie, najprepracovanejší výklad však podal v 17. storočí Descartes. V súčasnosti sa väčšina vedcov prikláňa k niektorej z foriem monizmu. Tvrdia, že telo a myseľ sú neoddeliteľné a sú rovnakej povahy. Mnohí vedci veria, že naše poznanie raz dospeje do štádia, kedy bude možné vysvetliť aj záhadu ľudského myslenia na základe poznatkov o funkciách a schopnostiach mozgu. Podľa nich je vedomie a myseľ výsledkom vyšších funkcií mozgu jeho fyzikálnych možností.

<sup>1</sup>Adaptive Control of Thought - Rational

Jednou z možností ako skúmať myseľ je modelovanie a simulácia procesov myslenia pomocou digitálnych počítačov. V tejto súvislosti vznikajú nové otázky, ako napríklad:

- Je mozog digitálny počítač?
- Je myseľ počítačový program?
- Môžu byť operácie mysle simulované na digitálnom počítači?

Tieto otázky formuloval John R. Searle v článku „Je mozog digitálny počítač?“ [12]. Podľa neho odpoveď na druhú otázku je očividne „Nie“, odpoveď na tretiu otázku je „Áno“. Kladnú odpoveď na prvú otázku vykladá na základe kognitivistického stanoviska. Na istej úrovni sú procesy v mozgu syntaktické – mozog pracuje s „vetami“, ktoré majú syntaktickú štruktúru a možno diskutovať o spôsobe, ako ich mozog spracúva bez toho, aby sme sa museli zaoberať ich sémantikou (významom) [12]. Takto Searle definoval kognitivistický vedecký program, ktorý beží na mnohých úrovniach dodnes: pomocou implementácie programov počítačmi sa snažíme odhaliť podobné programy implementované mozgom. Alebo inak povedané - skúmame niektoré procesy myslenia prostredníctvom ich simulácie pomocou počítačov.

## 2 Počítačové modely mysle

Kognitívna architektúra je komplexný počítačový program, ktorý sa snaží simulovať niektoré aspekty ľudského myslenia. Mal by preto integrovať čo najviac modulov korešpondujúcich s ľudským myslením ako sú pamäť, pozornosť, riešenie problémov, rozhodovanie, učenie sa a pod. Namiesto toho, aby skúmal tieto procesy izolovane, ako je to často v kognitívnej psychológii, pokúša sa dať ich všetky do vzájomných vzťahov.

Počítačový model mysle je kognitívna architektúra s pridanými znalosťami (knowledge), ktorá produkuje sekvencie správania podobné ľudským.

Kognitívna architektúra je:

- *komplexná teória ľudskej kognície založená na širokom súbore experimentálnych dát, ktorá je*

*implementovaná ako program – bežiaci počítačová simulácia [4],*

- *vedecká hypotéza o aspektoch ľudského myslenia, ktoré sú relatívne konštantné v čase a relatívne nezávislé od úlohy [6],*
- *navrhnutá simulovať ľudskú inteligenciu ľudským spôsobom [10],*
- *komputačný systém, ktorý sa snaží charakterizovať ako sú integrované odlišné aspekty ľudského myslenia tak, aby dosiahli koherentné myslenie [2].*

### 3 Deklaratívne a procedurálne poznanie

Jedna z najpodstatnejších vecí, ktorú je potrebné v počítačovom modeli mysle vyriešiť, je organizácia a reprezentácia poznatkov, vedomostí a zručností (knowledge). Spôsob, akým budeme v modeli reprezentovať dáta (či už získané zvonku alebo prostredníctvom vnútorných procesov), ovplyvní rýchlosť, presnosť a efektivitu, s akými môžeme s týmito poznatkami neskôr manipulovať. Podľa všetkého sa zdá, že naše vedomosti uchováваме dvojakým spôsobom:

- v **deklaratívnej pamäti** sa nachádzajú pojmy a fakty, ktoré vieme vyjadriť väčšinou slovami alebo symbolmi („vedieť to“); napríklad vieme, že  $2+3=5$  alebo vieme svoj rok narodenia atď.
- **procedurálna pamäť** obsahuje postupy, ako uskutočniť nejaké akcie („vedieť ako“); napríklad ako sa korčuľovať, ako sa dostať autom na pracovisko, ako vyriešiť rovnicu s jednou neznámou a pod.

O organizácii a reprezentácii deklaratívnej pamäti existuje niekoľko teórií, ktoré sa rozlišujú podľa toho, ako by mali byť pojmy v pamäti zatriedované do kategórií.

**Kategorizácia na základe definujúcich znakov:** každý z definujúcich znakov je nutný pre definíciu kategórie a všetky spoločne sú postačujúce. Teda ak nejaký objekt (pojmy) má všetky znaky, tak je zaradený do príslušnej kategórie. Takto presne definované objekty naozaj existujú, problém je však v tom, že niektoré kategórie sa dobre definovať nedajú a napriek tomu vieme rozhodnúť, či konkrétny objekt do kategórie patrí, alebo nie (napr. „hra“). Okrem toho v kategóriách existujú výnimky, ktoré nenesú niektorý z definujúcich znakov a napriek tomu do kategórie stále patria (napr. nelietavé vtáky) [13].

**Kategorizácia na základe charakteristických znakov:** charakteristické znaky popisujú typický model kategórie – jej reprezentanta alebo prototyp. Objekt sa zaradí do kategórie, ak nesie dostatočný počet charakteristických znakov. Niektoré z týchto znakov môžu mať väčšiu váhu než iné. Takto vzniká akási hierarchia objektov podľa

toho, ako veľmi sa blížila prototypu svojej kategórie (preto sú ľudia schopní rozhodnúť, ktorý z rôznych vtákov je „lepším príkladom vtáka“). Rozlišujú sa dva typy kategórií – tie ktoré vieme vymedziť pomocou definujúcich znakov tzv. klasické kategórie, a fuzzy kategórie, ktorých definícia je neostrá (fuzzy). Niektorí vedci (Nosofsky, Palmeri, McKinley, Ross, Spalding) sa domnievajú, že kategória sa tvorí na základe prototypu odvodením pravidiel a vytvorením niekoľkých typických príkladov a následným zavedením výnimiek, čo umožňuje veľmi rýchle rozhodovanie, či objekt patrí do kategórie alebo nie [13].

**Kategorizácia na základe znakov aj prototypu:** niektorí autori (S.Armstrong, L.Gleitman, H.Gleitman, E.E.Smith, Shoben, Rips) sú presvedčení, že na úplnú kategorizáciu je nutné mať aj definujúce znaky (jadro) aj charakteristické znaky (prototyp) [13]. Zároveň sa zistilo, že deti rozlišujú najskôr podľa charakteristických znakov a až v neskoršom veku podľa definujúcich znakov [7].

Existujú aj ďalšie prístupy k organizácii deklaratívnych poznatkov, ktoré vnášajú do problému nový pohľad na možnú štruktúru informácií v mysli.

**Sémantické siete:** sémantická sieť je tvorená hierarchicky usporiadanými vzájomne prepojenými prvkami. Jej štruktúra je zrejme n-árny strom, kde uzly reprezentujú jednotlivé pojmy a vzťahy medzi uzlami môžu predstavovať čokoľvek, čo má zmysel (vrabec „je“ vták, vrabec „má“ perie). Táto reprezentácia je efektívna, pretože odstraňuje duplicitu záznamov tým, že nižšie pojmy dedia vlastnosti pojmov hierarchicky vyšších. Ukázalo sa tiež, že pojmy majú základnú úroveň, ktorá má prednosť pred inými pomenovaniami objektu (napríklad pes je vo väčšine prípadov „pes“ a nie „zlatý retríver“ alebo „cicavec“). Táto základná úroveň má najvyšší počet znakov, ktoré ju dostatočne odlišujú od iných pojmov na rovnakej hierarchickej úrovni [13].

**Schémy:** schémy sú zamerané na riešenie problémov, sú mentálnym rámcom pre organizovanú štruktúru pojmov, ktoré majú nejaký vzťah. Schémy môžu zahŕňať iné schémy, ale hlavne typické obecné fakty a vzťahy medzi pojmi, ich atribúty, príbuzné pojmy a kontext pre pojmy [13].

**Scenáre:** scenár je štruktúra, ktorá poskytuje vzor pre nejakú špecifickú situáciu vrátane rekvizít, osôb a ich úloh, predpokladaného priebehu. Aj keď sú menej pružné ako schémy, poskytujú efektívne mentálne rámce pre správanie v situáciách, kde je potrebné si mnoho chýbajúcich faktov alebo impulzov domyslieť [13].

Reprezentácia procedurálnej pamäti je prispôbená na simuláciu riešenia úloh a problémov tak, aby napodobňovala inteligentné správanie ľudí. Toto sa realizuje pomocou **produkčného systému**, ktorý

pozostáva zo súboru pravidiel, ktoré následne riadia správanie. Pravidlá sa nazývajú **produkcie** (productions). Produkčný systém ďalej poskytne mechanizmus, ktorý vyberie a vykoná produkciu, tak aby dosiahol určitý stanovený cieľ. Produkcie majú vo všeobecnosti syntax „AK“ (podmienky) „TAK“ (akcia) - ak nastanú vhodné podmienky, vykoná sa príslušná akcia. Pre niektoré akcie musí byť splnené väčšie množstvo podmienok. Je zrejmé, že aj pre pomerne jednoduché modely nejakej činnosti treba veľkú množinu pravidiel.

Najzaujímavejšie sú modely, ktoré spájajú vhodné reprezentácie deklaratívnych aj procedurálnych znalostí do jedného integrovaného celku. Jedným z takýchto modelov je ACT-R, ktorý popíšem v samostatnej kapitole. Okrem ACT-R bolo vytvorené množstvo iných modelov mysle, ktoré pristupujú k problému reprezentácie poznatkov rôznym spôsobom.

#### GPS

Prvým úspešným počítačným modelom mysle bol „General Problem Solver“, ktorý navrhli a v roku 1963 popísali Newel a Simon [11]. Úloha v GPS je modelovaná prostredníctvom objektov, ktoré je možné transformovať rôznymi operáciami. Dôležitým zistením bolo, že malé fragmenty správania rozumného inteligentného človeka môžu byť chápané prostredníctvom komplexnej ale konečnej množiny determinujúcich pravidiel.

#### SOAR

„States, Operators And Reasoning“ je myšlienkovým následníkom modelu GPS. Je to produkčný systém s paralelným spracovaním pravidiel. Môže sa učiť pomocou uchovávaní riešení problémov, s ktorými sa stretol v minulosti. Je aplikáciou takzvanej UTC – Unified Theory of Cognition, ktorú popísal v roku 1990 Newel [10]. Znalosti sú reprezentované iba jediným spôsobom a tak isto má iba jediný mechanizmus učenia, čo môže byť považované za nevýhodu.

## 4 ACT-R

ACT-R je **kognitívna architektúra** vyvinutá John R. Andersonom (Carnegie Mellon University, Department of Psychology). Navonok ACT-R vyzerá ako programovací jazyk, ale je vystavaný na záveroch z psychologických výskumov týkajúcich sa ľudskej kognície. Poskytuje funkčné prostredie (framework) pre tvorbu modelov (programov), ktoré jednak využívajú kognitívny model ACT-R, ale môžu zároveň obsahovať aj vlastné predpoklady pre riešenie konkrétnych úloh. Model v ACT-R môže simulovať napríklad memorovanie slovíčok, riešenie logickej úlohy (hanojské veže a pod.), komunikáciu, ovládanie nejakého stroja atď. Dokáže

poskytnúť kvantitatívne merateľné výsledky ako čas riešenia, presnosť riešenia a pod., ktoré sa dajú následne porovnať s výsledkami ľudského riešiteľa rovnakej úlohy [14].

V ACT-R boli úspešne vytvorené modely pre oblasti výskumu ako: učenie a pamäť, riešenie problémov a rozhodovanie, jazyk a komunikácia, vnímanie a pozornosť, kognitívny vývin, individuálne rozdiely.

Okrem očividného prínosu do kognitívnej psychológie, už bolo modelovanie v ACT-R prínosné aj v týchto oblastiach :

- v human-computer interaction, na vytvorenie užívateľských modelov, ktoré určia rôzne typy interface,
- vo **vzdelávaní**, na vytvorenie „cognitive tutoring system“ - kognitívneho tútorskeho systému, ktorý vopred odhadne ťažkosti študentov a poskytne im presne zameranú pomoc,
- na vytvorenie kognitívnych agentov, ktorí obývajú tréningové systémy (napríklad pre armádu),
- v neuropsychológii.

### 4.1 Popis ACT-R

ACT-R je **produkčný systém** (production system), ktorý pozostáva zo súboru pravidiel, ktoré určujú správanie. Takisto obsahuje mechanizmus, ktorý tieto pravidlá spúšťa a tak modifikuje celý systém za účelom dosiahnutia nejakého zadaného cieľa. Okrem toho tento systém ešte obsahuje databázu – pracovnú pamäť, ktorá uchováva informácie o aktuálnom stave, vedomosti a interpretáciu pravidiel. Interpret pravidiel musí vedieť rozhodnúť, ktoré pravidlo aplikovať, ak nastane stav, ktorý by vyhovoval viacerým produkciám [17].

Hlavné zložky ACT-R sú:

- **moduly** (modules)
  - perceptuálne (perceptual-motor) moduly: starajú sa o interakciu s reálnym svetom, alebo o simuláciu reality; vizuálny modul, manuálny modul atď.
  - pamäťové moduly
    - deklaratívna pamäť: obsahuje fakty, encyklopedické vedomosti, napríklad Bratislava je hlavné mesto Slovenskej republiky. Jednotky deklaratívnej pamäte sa nazývajú „chunks“, ich štruktúra je reprezentovaná sémantickou sieťou,
    - procedurálna pamäť: pozostáva z **produkcii** (productions), ktoré reprezentujú znalosti, ako robíme určité veci, napríklad ako hľadáme súbory v počítači, ako riadime auto, ako sčítavame zlomky atď.
- **zásobníky** (buffers): každému modulu okrem procedurálnej pamäte prislúcha zásobník, ktorý v daný moment reprezentuje stav modelu ACT-R; model

ACT-R pracuje s modulmi práve prostredníctvom zásobníkov,

- **porovnávač vzoriek** (pattern matcher): hľadá „produkcie“, ktoré zodpovedajú stavu zásobníkov v daný moment; v jeden okamih sa vykoná práve jedna produkcia - môže zmeniť stav zásobníkov a tým zmeniť stav celého systému [14].

Novšie verzie ACT-R majú zabudovaný tzv. „**Goal modul**“ - modul na sledovanie cieľa. Tento modul sa stará o to, aby v priebehu riešenia úlohy bolo stále jasné, prečo sa podstupujú rôzne čiastkové kroky a ako tieto nakoniec povedú k riešeniu zadania. Je dôležitý najmä pri sledovaní postupu vedúceho k cieľu ak chýba iný ďalší externý stimul [14].

Prístup do deklaratívnej pamäte riadi aktivačný proces – informácie sú uložené v uzloch sémantickej siete, uzly môžu byť aktivované priamo a tak aktivujú susedné uzly, alebo sú aktivované nepriamo tým, že bol aktivovaný niektorý susedný alebo blízky uzol. Existuje hranica, koľko uzlov sa takto dá nepriamo aktivovať – signál aktivácie, ktorý sa šíri sieťou slabne. Zároveň sa mení celá deklaratívna sieť, pretože používané spojenia sa upevňujú [13].

Aktivačnému procesu v procedurálnej pamäti zodpovedá stratégia výberu najužitočnejšieho produkčného pravidla, keďže naraz sa môže vykonať iba jedna produkcia. ACT-R sa dokáže naučiť aj nové produkcie pomocou kombinovania už zvládnutých produkčných pravidiel. Tento proces sa nazýva kompilácia produkcií. Ide vlastne o kombináciu kompozície a proceduralizácie<sup>1</sup> – produkčný systém sa pokúsi zostaviť z každých dvoch nasledujúcich produkcií jednu, ktorá bude mať efekt oboch [1]. Ďalšie procesy, ktoré vstupujú do hry pri proceduralizácii znalostí sú :

- zovšeobecňovanie produkcií na širší rozsah situácií,
- rozlišovanie dôležitých informácií a signálov od tých nepodstatných [13].

Keby moduly neposkytovali v zásobníkoch informácie o svojich výpočtoch, boli by tieto moduly navzájom izolované. Pointa integrácie jednotlivých modulov je práve v poskytovaní informácií zásobníkom – tam môžu byť detekované vzory, ktoré určia, ako má modul pokračovať vo svojom správaní tak, aby bolo koherentné [1].

ACT-R programujeme pomocou príkazov jazyka LISP. Napríklad príkaz pre pridanie typu položky (chunk-type) do deklaratívnej pamäte:

(chunk-type bird wings feathers beak flies)

Vytvorili sme nový typ vták (“bird”). Príkaz pre vytvorenie reprezentanta triedy vták:

<sup>1</sup>Proceduralizácia je proces, v priebehu ktorého sa menia pomalé explicitne vyjadrené informácie o postupoch „ako niečo urobiť“ na rýchle a presné implicitné využitie týchto postupov [13].

(add-dm(crow ISA bird))

Teraz je v deklaratívnej pamäti uložené, že “crow” je vták (“bird”), a teda má krídla, perie, zobák a lieta.

Model ACT-R bol úspešne použitý v mnohých oblastiach súvisiacich s kognitívnymi vedami – napríklad ako základ pre tvorbu expertných systémov, pre programovanie agentov simulujúcich inteligentné správanie alebo schopnosť ovládať nejaké zariadenie, pre vyhodnocovanie rôznych typov interface vo výskumoch human-computer interaction, a v ďalších iných oblastiach.

## 4.2 Aplikácie ACT-R vo vzdelávaní

Jednou z najúspešnejších aplikácií je „**The Cognitive Tutors for Mathematics**“, ktorý sa využíva v školách v USA aj ako platforma pre výskum učenia sa. Je to softvér vytvorený na základe teórie učenia sa vychádzajúcej z modelu ACT-R. Okrem toho je efektívita kognitívnych tútorov potvrdená extenzívnym dlhodobým testovaním. Existujú materiály zvlášť pre algebru, geometriu, integrovanú matematiku a prípravu na štátne skúšky (v zmysle osnov pre vyučovanie matematiky v USA).

Na základe testovania sa potvrdili hypotézy, že študenti a žiaci využívajúci tento softvér si značne zlepšili výsledky v oficiálnych štátnych testoch z matematiky oproti žiakom, ktorí tútora nepoužívali [15].

*Teória ACT-R rozlišuje medzi aktívnymi znalosťami (procedural knowledge), ktoré predstavujú veľkú časť nášho výkonu v riešení úloh a statickými vedomosťami, ktoré je možno jednoducho verbalizovať (declarative knowledge). Podľa teórie ACT-R znalosti „ako niečo urobiť“ sa dajú naučiť iba tým, že ich trénujeme a vykonávame, nedajú sa naučiť počúvaním ani pozeraním [8].*

V tomto bode je prístup autorov kognitívnych tútorov pre matematiku zhodný s postojmi konštruktivizmu – učíme sa tým, že niečo robíme, niečo vytvárame a tak sa vytvárajú v našej myslí potrebné znalosti.

Konštruktivistický prístup vo vyučovaní je však konfrontovaný s iným kľúčovým predpokladom ACT teórie - že kognícia sa dá rozložiť na sekvencie spúšťania a vykonávania produkčných pravidiel. A učenie pozostáva zo získavania potrebných produkčných pravidiel. Inak povedané, autori predpokladajú, že proces učenia sa sa dá rozložiť na množinu izolovaných komponentov, ktoré sú dobre popísateľné počítačovým programom. S týmto mnohí učiteľia z praxe nesúhlasia, ale úspech kognitívnych tútorov dokazuje, že je to

efektívny prístup k problému, ktorý dobre funguje v praxi [2].

Podľa teórie ACT ľudská kognícia vychádza z interakcií medzi procedurálnou a deklaratívnou pamäťou [2]. Procedurálne znalosti sú reprezentované produkčnými pravidlami tvaru AK (podmienky) TAK (akcia). Vyjadrujú znalosť, kedy použiť matematické pravidlo, ale zároveň aj plánovanie a neformálne intuície o riešení. Napríklad:

AK je cieľom nájsť hodnotu Q  
a Q delené číslom A sa rovná B  
TAK nájsť Q vynásobením A a B.

Tieto produkčné pravidlá sú závislé od matematického kontextu. Študenti potrebujú cvičenie naozajstného riešenia problémov zo života, aby sa dokázali učiť z „AK“ časti produkčného pravidla – aby sa dobre zoznámili s podmienkami použitia matematického pravidla. A rovnako potrebujú praktické cvičenie zamerané na „TAK“ časť pravidiel, aby si upevnili matematické pravidlá ako také. Zdá sa, že produkčné pravidlá sú veľmi špecifické a preto treba v učebnom materiáli dbať na to, aby jednak rozvíjal všeobecné matematické idey, ale zároveň poskytoval čo najviac konkrétnych príkladov pre jednotlivé dobre zvolené témy [8].

Treba mať na mysli, že trend v školstve v USA a u nás sa dlhodobo líši v jednej zásadnej veci : kým u nás sa snažíme žiakov naučiť čo najviac a nedbáme veľmi na tých, ktorí nestíhajú za priemerom, v USA sa sústreďujú na to, aby naučili čo najväčšie percento žiakov základné znalosti. Myslím, že s tým veľmi dobre korešponduje aj filozofia kognitívnych tútorov, ktorí majú v prvom rade za úlohu poskytnúť pomoc žiakom, ktorí majú s matematikou problémy. Zrejme ťažko očakávať od takejto edukačnej pomôcky, že bude trénovať tých najlepších, aj keď im môže uľahčiť prvotné zvládnutie neznámeho učiva.

Kognitívny tútor pracuje tak, že rieši problém alebo úlohu zároveň so študentom, ktorí sedí za počítačom. Tútor pozná správne riešenie a simuluje proces, akým by sa k výsledku mal dopracovať študent. Na základe vstupov, ktoré prichádzajú od študenta (pohyby myši, klikanie, písanie do políček, pohyby očí – použité pri výskume so špeciálnym snímacím zariadením) vyhodnocuje, ako študent pracuje a porovnáva jeho riešenie so svojím postupom. Ak študent urobí nejakú chybu, tútor ho vie opraviť podľa svojho programu. Tento program je modulárny a vie sa prispôsobiť rôznym stratégiám riešenia, obsahuje aj predpokladané chyby, ktoré by študent mohol urobiť.

Jedným zo zámerov, ktorý mali autori na mysli pri tvorbe kognitívneho tútora pre algebru bolo, aby čo najlepšie korešpondoval s osnovami a štátnymi testami. Je nevyhnutné, aby spolu s programom boli vytvorené aj

učebné texty pre žiakov a učiteľov, ako aj celý plán vyučovania danej látky – vrátane zadaní pre dlhodobé projekty a iné aktivity pre žiakov (denník, prezentovateľný projekt, séria hodnotených úloh atď.). Ak je látka takto komplexne podchytená a sú centrálné vyriešené otázky čo a ako učiť, rovnako ako vypracované metódy hodnotenia a testovania žiakov (hlavne za účelom zistenia, ako im materiály pomáhajú a na čo sa treba zamerať), úspech a zlepšenie výsledkov sa musí dostaviť.

Celý produkt teda obsahuje okrem programu aj sadu učebníc – pre žiaka aj pre učiteľa. Materiály sa snažia rešpektovať výsledky výskumu v oblasti učenia sa. Niektoré závery z ACT-R výskumov, ako by mal vyzerat' kvalitný materiál pre študenta [16]:

- Mal by byť založený na výskume, ktorý odhaľuje schopnosti a zručnosti, ktoré predchádzajú cieľové vedomosti.
- Mal by ponúkať inštrukcie, úlohy a skúsenosti, ktoré umožnia študentovi precvičiť si a osvojiť si sledované schopnosti a zručnosti.
- Mal by ponúkať okamžitú odozvu, aby chyby boli priraditeľné špecifickým kognitívnym schopnostiam a zručnostiam.
- Sústavné ohodnocuje vedomosti, schopnosti a zručnosti študenta, aby sa mohol zamerať na to, čo sa študent ešte potrebuje naučiť a neplytvat časom na niečo, čo už zvládol na požadovanej úrovni.
- Stavia na tom, čo študent už vie, takže nové deklaratívne vedomosti sú dobre zabudované vo vedomostnej sieti.
- Upevňuje procedurálne aktivity na základe pojmového porozumenia, takže táto vedomosť môže byť proceduralizovaná.

Okrem série veľmi úspešných tútorov pre matematiku, bol vyvinutý a testovaný tútor pre programovanie v jazyku LISP (v ktorom je samotné ACT-R napísané) alebo tútor pre tvorenie dôkazov v geometrii.

S týmto prístupom sa definitívne mení rola učiteľa v triede. Prestáva byť hlavným zdrojom informácií deklaratívnej povahy a namiesto toho, aby väčšinou prednášal pre celú triedu, venuje sa jednotlivým študentom, pretože základné informácie a vedenie poskytuje kognitívny tútor. Učiteľ je tak oslobodený od výkladu pre celú triedu a namiesto toho sa môže venovať jednotlivým študentom individuálne na základe toho, čo práve riešia a lepšie tak reflektuje ich potreby. Podľa doterajšej praxe sa osvedčil prístup, kde dve z piatich vyučovacích hodín sú vedené za počítačom a zvyšné tri hodiny klasicky v triede. Učiteľ sa snaží žiakom pomôcť prepojiť znalosti získané za počítačmi s reálnym svetom a

s metódami, ktoré bude nutné používať pri riešení úloh s papierom a perom.

Pri aplikáciách ACT-R je potrebné uviesť si, že ACT-R vo svojej podstate umožňuje značne modifikovať svoje funkcie - vedci môžu voľne meniť parametre, vytvárať úplne nové moduly, alebo meniť správanie už existujúcich modulov. Preto často dochádza k tomu, že takýto výskum a jeho závery úplne nekorešponujú s pôvodnou ACT-R teóriou a s myšlienkami, na ktorých je vystavaná.

## 5 Ďalší plán výskumu

Zdá sa, že by bolo zaujímavé vytvoriť kognitívneho tútora pre vyučovanie základov programovania v niektorom jazyku používanom pre výučbu budúcich učiteľov informatiky (C++, Delphi). Jednak by sme takto pomohli študentom učiteľstva uspieť v jednom z ťažších predmetov a získali by sme aj dobrý vhľad do problematiky získavania zručností v programovaní. Okrem toho by bola osnova predmetu "Programovanie" kvalitne podporená teóriou učenia sa.

Ďalším predmetom mojej práce bude podrobne preskúmať existujúcich kognitívnych tútorov a navrhnúť a zrealizovať tútora pre jednu kapitolu z predmetu programovania v jazyku Delphi (napríklad práca s dvojrozmerným poľom).

## 6 Záver

Podľa výsledkov z výskumov o kognitívnych tútoroch a ACT-R je vidno, že počítačové modelovanie niektorých aspektov procesu učenia sa je dobrý a efektívny prístup ku skúmaniu tohto procesu. Navyše bola potvrdená efektivita kognitívnych tútorov ako nástroja na zlepšenie výsledkov slabších študentov v stredoškolskej matematike.

Aj keď model ACT-R nedáva odpoveď na všetky otázky ľudskej mysle, dobre popisuje integráciu kognície a mechanizmy deklaratívnej a procedurálnej pamäti. Tieto jeho vlastnosti treba využiť v ďalšom výskume, a zmenšiť tak priepasť medzi modelovaním jednoduchých kognitívnych procesov a celým procesom učenia sa, ktorý je veľmi zložitý.

## Literatúra

[1] Anderson, J.R., Bothell, D., Byrne, M.D., Douglass, S., Lebiere, Ch., Qin, Y.: An Integrated Theory of the Mind, *Psychological Review*, Vol. 111, No. 4, 2004.

[2] Anderson, J.R., Gluck, K.: What role do cognitive architectures play in intelligent tutoring systems? In: D. Klahr & S. M. Carver (Eds.) *Cognition & Instruction: Twenty-five years of progress*, Erlbau, 2001.

[3] Blackmore, S.: *Conversations on Consciousness*, Oxford University Press, 2005.

[4] Byrne, M.D.: Cognitive Architecture. In: Jacko, J.A., Sears, A. (eds.): *The human-computer interaction handbook: fundamentals, evolving technologies and emerging applications*, Mahwah, NJ, USA:Lawrence Erlbaum Associates, 2002.

[5] Dennet, D.C.: *Consciousness Explained*, Boston and London: Little, Borwn & Co., 1991.

[6] Gray, W.D., Young, R.M., Kirschenbaum, S.S.: Introduction to this special issue on cognitive architectures and human-computer interaction, *Human-Computer Interaction*, 12, 1997.

[7] Keil, F.C., Batterman, N.: A characteristic-to-defining shift in the development of world meaning, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23, 1984.

[8] Koedinger, K.R.: *Intelligent Cognitive Tutors as Modeling Tool and Instructional Model*, 1998. ([www.carnegielearning.com](http://www.carnegielearning.com), 2.3.2007)

[9] Minsky, M., Singh, P., Sloman, A.: The St. Thomas Common Sense Symposium: Designing Architectures for Human-Level Intelligence, *AI Magazine*, Summer 2004.

[10] Newell, A.: *Unified theories of cognition*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1990.

[11] Newell, A., Simon, H. A.: GPS, a program that simulates human thought. In: Feigenbaum E.A., Feldman J. (eds.): *Computers and thought*, Cambridge, MA: MIT Press, 1963

[12] Searle, J.R.: *Is the Brain a Digital Computer?*, Presidential Address to the American, 1990.

[13] Sternberg, R.J.: *Kognitvní psychologie*, Portál, 2002.

Internetové zdroje:

[14] <http://act-r.psy.cmu.edu/about/>, 20.2.2007.

[15] <http://www.carnegielearning.com/>, 20.2.2007.

[16] *The Cognitive Tutor: Applying Cognitive Science to Education* (Carnegie Learning - <http://www.carnegielearning.com/>, 20.2.2007).

[17] <http://en.wikipedia.org/wiki/ACT-R>, 20.2.2007.