
Hibridni model virtualnega tutorja v svetu elektronskih učnih gradiv

Boris Aberšek, Bojan Borstner in Janez Bregant

O poučevanju lahko trdimo, da je nekaj edinstvenega, nepredvidljivega in ozko vezanega na človeka kot posameznika v družbi. Če bi za pouk lahko določili formalne konstante, bi ga lahko zapisali v obliki nekakšnega formalnega matematičnega modela. S tem bi lahko ustvarili pogoje za razvoj *virtualnega učitelja* oziroma, v nekoliko poenostavljeni obliki, inteligentnega e-učnega gradiva. Izhodišče oz. zgled za takšen naturalistično redukcionistični pristop k razvoju virtualnega učitelja je sodobna filozofija duha.

Tako kot vse različne skupine je tudi družba kot ena od socialnih skupin definirana s povezavami med njenimi elementi, posamezniki, ki jo sestavljajo. Osredotočimo se sedaj le na medčloveške odnose, povezane z izobraževanjem, in posameznike, izhajajoče iz tega procesa, to je učitelje in učence, in na njihovo obnašanje v procesu izobraževanja. Pri tem izhajajmo iz tega, da se je v živih bitjih tekom zgodovine razvil določen živčni sistem, pomemben za preživetje, s katerim bitja uravnavajo informacijske tokove (obnašanja), ki jih obveščajo o:

- potrebah njihovega *notranjega okolja* in
- o tem, kaj se dogaja v *okolju izven njih*.

Nekatera od naših obnašanj so zelo elementarna in ne potrebujejo nikakršne adaptacije. Na notranje ali zunanje dražljaje reagiramo avtomatsko. Načelno je večina teh reakcij povezana s *kolektivnim spominom*.¹ Druga, bolj sof-

¹ *Kolektivni spomin* označuje v našem kontekstu vrste informacij, shranjene v spominu članov neke skupine. Spomini skupine so obsežnejši, kot so spomini posameznika, saj so skupine sposobne priključiti znanje in izkušnje (spomine) vseh pripadnikov neke socialne skupine. Pojmujemo ga lahko tudi kot kulturni spomin, to je, kako družba vidi preteklost.

isticirana obnašanja zahtevajo pomnjenje prijetnih ali neprijetnih preteklih izkušenj in ustrezno reakcijo na podlagi teh izkušenj. Ta obnašanja predstavljajo večino socialnega in kulturnega znanja, ki smo si ga pridobili. Nadaljnja obnašanja pa zahtevajo bolj dovršeno načrtovanje. Zahtevajo domišljijo in zato abstrakten način razmišljanja, tako da lahko razvijemo strategijo, ki bo zagotavljala čim manj neprijetno ali boleče ukrepanje. To pa predstavlja kreativne, inovativne, torej zavestne sposobnosti človeškega duha (Aberšek, Borstner in Bregant, 2014).

Zunanje okolje znamo dokaj dobro simulirati, opisovati s takšnimi ali drugačnimi *simbolnimi sistemi*.² Vse skupaj pa postane neobvladljivo, ko moramo podobno narediti za *notranje okolje*, ki je povezano z našo (posameznikovo) »*nepredvidljivo*« *zavestjo* (Chalmers, 1996).

Če si predstavljamo vsakega posameznika, tako učitelja kot tudi učenca, kot sistem in predpostavimo, da ga je mogoče formalizirati in zapisati v obliki matematičnih enačb, potem izobraževalni sistem (socialna skupina), v katerem ti posamezniki delujejo, ustvarja po kibernetiki teoriji nek od zunaj kontroliran sistem, ki določa različne vrednosti (predpisuje družbene norme) za obnašanje posameznikov tako v posamični socialni skupini, posledično, kar je tipično predvsem za izobraževalni sistem, pa tudi v celotni družbi. Če na izobraževalni, šolski, sistem gledamo tako, iz tega izhaja, da šolski sistem lahko obravnavamo kot kibernetični sistem, dinamični sistem, ki ga lahko formaliziramo, zapišemo v obliki matematičnega algoritma. Sedaj nam preostane le, da predstavljeno hipotezo tudi argumentiramo in potrdimo.

Kibernetika in kibernetična pedagogika

Kibernetika lahko predstavlja pomembno orodje za razumevanje živih organizmov, saj odkriva tako ravni njihove organiziranosti kot tudi dinamične povezave med njimi. Vsakega posameznika, v našem primeru učitelja in učenca, si lahko po kibernetiki teoriji predstavljamo kot reguliran sistem v smislu, da socialna skupina, v kateri ti posamezniki delujejo (v našem primeru gre za izobraževalni sistem), ustvarja zunanjo kontrolo, ki obnašanju učiteljev in učencev znotraj te socialne skupine določa različne vrednosti njihovega obnašanja (gre za predpisovanje družbenih norm) (Müller, 2008; Müller, 2011). Če na izobraževalni sistem gledamo tako, to pomeni, da je ta sistem kibernetični sistem, ki ga lahko formaliziramo (Reinertsen, 2012).

2 *Simbolni sistemi*: v tem delu bomo simbolne sisteme definirali tako, kot jih definira večina avtorjev s področja računalništva in filozofije znanosti (npr. Bechtel in Abrahamsen, 2002; Copeland, 2007), kot sisteme s fiksno, neprilagodljivo strukturo, ki ne omogoča nikakršnih naključnih odzivov, prilagajanj.

V nadaljevanju članka bomo na podlagi temeljnih spoznanj kibernetike tako iskali in utemeljevali vzporednice med naravno in umetno inteligenco s poudarkom na sodobnih trendih v kognitivni in predvsem nevro znanosti, ki se vse pogosteje za formalizacijo procesov naslanja na *konekcionistični pristop*³ k obravnavanju in ustvarjanju inteligentnih učnih okolij in virtualnih učiteljev; slednje daje po našem mnenju kibernetiki na področju izobraževanja možnost za nadaljnji razvoj, predvsem v smeri individualizacije in diferenciacije poti usvajanja novih znanj. Pri tem je ena od bistvenih prednosti takšnega virtualnega učitelja oz. učnega okolja – računalniškega sistema – ta, da lahko za vsakega učenca (v kibernetiki uččega sistema) pripravi njemu prilagojen učni program (poučevalni sistem), načrtuje njegovo učno pot, saj si lahko s pomočjo uporabe *meta podatkov*⁴ zapomni njemu lasten proces, npr. učni stil (nevroznanstveno, akcijski potencial (Moris in Filenz, 2007)), in na tej osnovi posameznikove dosežke tudi ustrezno ovrednoti.

Kibernetika pedagogika

Cube (1982) je postavil kibernetike temelje poučevanja in učenja, na njih osnovan programirani pouk pa je v slovenski prostor vpeljal Strmčnik (1978; 2001). Frank in Meder (1971) sta razvila t. i. »*kibernetiko pedagogiko*«, ki je bila zasnovana na naravoslovnih znanostih. Kibernetika pedagogika je tako znanstvena veda o tem, kako lahko sistematično vplivamo na *učni proces*. V skladu s tem so temeljni cilji kibernetike pedagogike naslednji:

- identifikacija in analiza poučevalnih in učnih procesov, izraženih v delnih sistemih, ter njihova funkcija pri objektiviranju učno-vzgo-

3 *Konekcionizem* bomo v tem delu definirali kot modeliranje mentalnih pojavov (poenostavljeno učenja) in posledičnega obnašanja s pomočjo medsebojno prepletenih mrež preprostejših enot, umetnih nevronov, ki posnemajo delovanje bioloških, naravnih nevronov. Temelj konekcionizma v našem hibridnem modelu so torej umetni nevroni, povezani v umetne nevronske mreže. Obstajajo pa tudi različni drugačni sistemi za simuliranje naključnosti odzivov sistema, kot so npr. genetski algoritmi, kar smo uporabljali v predhodnih verzijah inteligentnih učnih sistemov (npr. Aberšek in Popov, 2004).

4 *Meta podatki* so podatki, ki vsebujejo informacije o nekem podatku, a niso sami del tega podatka, torej meta podatki vsebujejo podatke o podatkih; obsegajo podatke, ki se nanašajo na vsebino, strukturo, kvaliteto, tehnologijo, namen, uporabnost, v našem primeru čas, potreben za rešitev naloge, vračanje na določene vsebine, število uporabljenih pomoči in druge, torej podatke, ki so pomembni za pravilno interpretacijo oziroma uporabo podatkov. Meta podatke lahko z inteligentnimi učnimi okolji zbiramo in iz njih spoznavamo ter načrtujemo učno pot posameznega učenca. Npr. Google zbira podatke o naših iskanjih na spletu in nam nato ponuja to, kar nas »zanima«.

5 *Objektiviranje oz. formaliziranje* v našem kontekstu pomeni zapisovanje spremenljivk procesa v obliki matematičnih zvez in algoritmov.

jnega procesa, kar pomeni prenos vseh dejavnosti s človeških na tehnične sisteme oz. računalniške programe;

- analiza odnosov in učinkov med objektiviranimi (tehničnimi) in neobjektiviranimi (človeškimi) sistemi učno-vzgojnega procesa, npr. ocena interakcije med človeškim učiteljem in e-učnim gradivom z namenom doseganja zastavljenih didaktičnih ciljev;
- pojasnjevanje odnosov med različnimi oblikami delnih sistemov (različnih oblik e-učnih gradiv, ki jih danes uporabljamo v izobraževanju) v danem izobraževalnem sistemu.

Po Franku in Mederjevi (1971) oz. Franku (1993) je mogoče učni proces formalizirati oz. objektivirati kot izobraževalni algoritem in ga izraziti kot logično-matematično funkcijo naslednjih petih pogojnih spremenljivk: L – učno gradivo, M – mediji, P – psihološka struktura, S – socialna struktura, Z – določanje učnih ciljev in – poučevalni ali učni algoritem, tj. sistem, ki vse omenjeno povezuje v nerazdružljivo celoto. Skladno s tem se mora poučevalno-učni proces podrežati krmiljenim in vodenim kibernetiskim modelom. Učni proces je lahko (tehnično) realiziran tudi kot učni program (*inteligentni tutor oz. inteligentno e-učno gradivo*) (Frank in Meder, 1971; Frank, 1993), pri čemer mora vsebovati *učni algoritem B*, ki ga formalno zapišemo v *simbolni obliki* z logično-matematično funkcijo predstavljenih petih pogojnih spremenljivk takole:

$$B = f(Z, L, M, P, S)$$

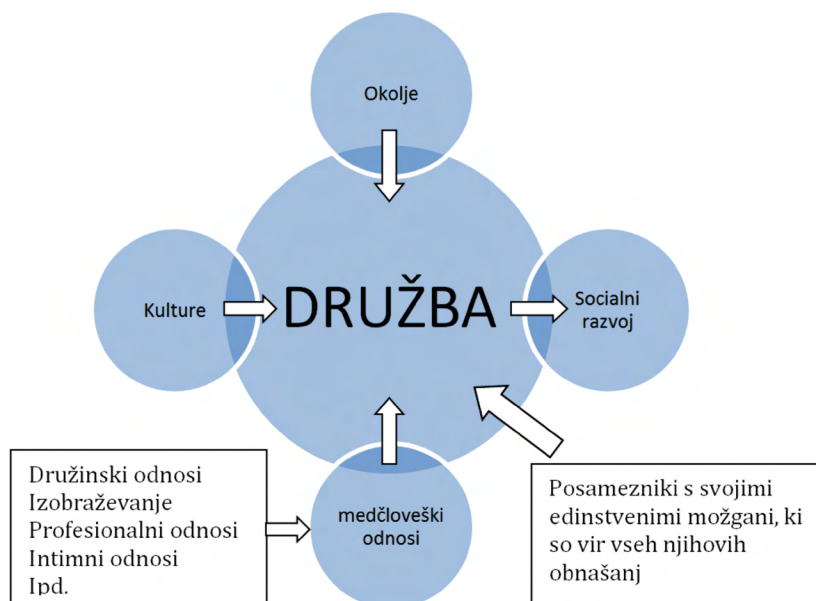
Za kibernetiko so tako učitelj, učenci, učni proces in organizacija pouka le podsystemi celotnega vzgojno-izobraževalnega sistema. V tem kontekstu pomeni učenje smotrno interakcijo, v kateri učenci in učitelj količinsko ter kakovostno spreminjajo svoje lastnosti in ravnanja, zaradi česar jih lahko imenujemo adaptivni sistem. Povedano drugače, učenje označuje proces, katerega posledica so adaptivne spremembe v sistemu. Spremembe, ki so posledica procesa učenja, omogočajo, da *ista populacija* rešuje *iste naloge* hitreje in uspešneje kot pred procesom učenja (Aberšek in Kordigel Aberšek, 2011).

Simbolni in konekcionistični modeli

V članku se bomo osredotočili na prikaz modela učnega procesa kot hibridnega sistema, tj. na kombinacijo *simbolnega sistema* in *konekcionističnih* nevronske mrež. Imenovali ga bomo na kratko mRKP. Za uvod si na kratko oglejmo prednosti in slabosti simbolnih ter konekcionističnih pristopov k reševanju kognitivnih problemov, v našem primeru problema učnega procesa.

Ena od glavnih intuitivnih prednosti klasičnih simbolnih računalniških pristopov h kogniciji je na videz jasen tradicionalni zapis kognitivnih prikazovanj. Predstava je natančna podatkovna struktura, ki ima semantični kontekst (z upoštevanjem notranjosti ali zunanosti kognitivnega sistema). Lahko jo spreminjamo in prilagajamo po trenutni potrebi, takšni simboli pa so nesporno podobni dejanskemu svetu in frazam naravnega jezika (Fodor, 1975). Njihova bistvena slabost pa je, da se simbolne strukture niso sposobne učiti v nevropsihološkem pomenu, niso sposobne upoštevati kognitivne naključnosti, zaradi česar ne morejo reševati nalog, ki se jih ne da predhodno zapisati v obliki algoritemskih simbolnih sistemov (Copeland, 1993).

V konekcionističnem modelu so nevrnske mreže sestavljene iz gradnikov, ki se imenujejo umetni nevroni, ti pa z vidika zgradbe in delovanja posnemajo naravne nevrone. Slika 1 ponazarja zgradbo umetnih nevronov, iz nje pa je razvidno, da je umetni nevron v osnovi podobno zgrajen kot naravni, biološki.



Slika 1: Zgradba umetnega nevrona.

Osnovna značilnost nevrnske mreže je, da se je sposobna naučiti, kako vhodne podatke povezovati z izhodnimi. Pridobljeno znanje nevrnska mreža shranjuje v povezavah (sinapsah), imenujemo pa ga uteži. V procesu učenja se posamezne uteži spreminjajo z namenom doseganja op-

timalno utežene nevronske mreže. Nevronska mreža je v takšnem optimalno uteženem stanju sposobna posploševanja, kar pomeni, da je sposobna povezati neznani vhodni vzorec s pravilnim ali želenim izhodnim vzorcem.

Kaj so prednosti in kaj slabosti nevronskih mrež? Njihova prednost se kaže predvsem v tem, da so uporabne tudi tam, kjer imamo pomanjkljive ali celo napačne vhodne podatke, saj znajo na izhodu kljub temu pravilno napovedovati iskane rezultate, ob predpogoju, da smo izbrali pravilen algoritem učenja. Glavna slabost nevronskih mrež pa je predvsem v tem, da niso razlagalne, ker delujejo po principu črne škatle, v katero pošljemo podatke, iz nje pa dobimo rezultate. Ker ni vnaprej predpisanih pravil, ki bi omogočala nastavitve parametrov za optimalno modeliranje nevronske mreže (zapovedana struktura črne škatle), ampak smo pri tem bolj ali manj prepuščeni lastni iznajdljivosti in izkušnjam, se lahko zgodi, da ne dosežemo želenega rezultata (Guid in Strnad, 2007; Peruš, 2001).

Zaključimo lahko, da so pomembne teoretske razlike med konekcionističnimi in simbolnimi modeli v drugačnem pojmovanju predstavitve znanja. Znanje v konekcionizmu ni več predstavljeno kot statično, enostavno in z jezikom opisljivo notranje stanje. Ne tvori več nujno simbolnega sistema, je podsimbolno in porazdeljeno ter odvisno od konteksta. Znanje ni več predstavljeno v formalnem zapisu jezika ali logike, temveč je shranjeno v utežeh povezav nevronskih mrež kot posledica učenja (npr. večkrat ko neko snov ponovimo, večjo utež ima povezava, torej si bomo to snov vedno lažje priklicali v spomin). Bistvena prednost nevronskih mrež v primerjavi s simbolnimi sistemi je tudi v tem, da med delovanjem same ugotovijo pravilo, ki povezuje izhodne podatke z vhodnimi. To pa pomeni, da se lahko učijo. Ko pa je nevronska mreža učljiva, lahko rešuje tudi naloge, kjer ne obstajajo predhodne rešitve v obliki zaporednih korakov, tj. algoritmov.

Zablode kibernetike pedagogike – revidirana kibernetika pedagogika

Kibernetika pedagogika je takrat, ko so jo njeni avtorji razvili in poskušali realizirati v praksi, gotovo pomenila osvežitev klasičnega didaktičnega razmišljanja. Bila je v nekem smislu pred svojim časom, kljub temu pa je zaradi naslednjih treh razlogov skoraj utonila v pozabo:

- 1) Preveč se je ukvarjala s tem, kako je mogoče učni proces formalizirati oz. objektivirati kot izobraževalni algoritem in ga izraziti kot logično-matematično funkcijo, s katero lahko vplivamo na učni pro-

- ces (optimiranje učnega procesa); premalo se je ukvarjala z učnim procesom samim.
- 2) Ni upoštevala razlik med psihološkimi in pedagoškimi posebnostmi duševnega delovanja na eni strani ter značilnostmi tehničnih sistemov na drugi. Podrejanje antropoloških značilnosti tehničnim modelom s sklicevanjem na to, da veljajo za človekovo mišljenje enaka organizacija in zakonitosti kot za svet strojev, je sicer udomačeno v *strukturalistični filozofiji* (Searle, 1983a; 1983b). Čeprav med večino »kibernetikov« velja prepričanje, da je s kibernetiskimi metodami, ki temeljijo izključno na simbolnih sistemih, mogoče formalizirati, modelirati in avtomatično upravljati tudi višje duševne aktivnosti in procese (Cube, 1982; Frank, 1993; Frank in Meder, 1971), se pri tem premalo upoštevajo posebnosti vzgojno-izobraževalnega področja, ko učenec ni le objekt poučevanja, ampak tudi subjekt lastnega vodenja in spreminjanja (konstruktivistični pristop), in ko v procesu nimamo opravka le z enim »idealnim« učencem, ampak z različnimi, ki se med seboj razlikujejo, zaradi česar potrebujejo različne metodološko-didaktične pristope (Blažič et al., 2003; Jank in Meyer, 2006). Ni tako preprosto vsebinsko in vrednostno učne konkretности abstrahirati in jih zreducirati na simbole, formule in modele, ne da bi se spremenili v formalistično znanje – v izobrazbene klišeje (Strmčnik, 2001). Kljub vsemu danes ne moremo soglašati z Gilbertovim priporočilom: »Če nimate učnega stroja, si ga nikaner ne nabavite ...«, povsem pa moramo pritegniti njegovemu svarilu: »Nikoli ne dovolite, da stroj ukazuje programu« (Gilbert po Strmčnik, 1978: str. 68).
 - 3) Pri programiranju učnega procesa po njenih načelih so bili omejeni predvsem s strojnimi možnostmi takratne stopnje tehnološkega razvoja (Dreyfus in Dreyfus, 1986; Winograd in Flores, 1986), zaradi česar ni bilo dovolj sposobne in dostopne strojne ter programske opreme.

Poskusimo omenjene razloge zavriniti in kibernetško pedagogiko s tem oživiti.

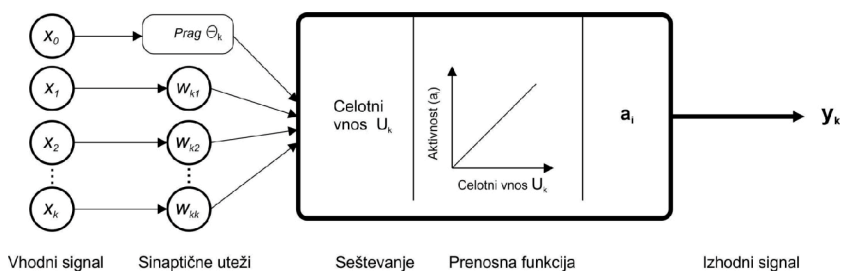
Zavrnitev 1. razloga

Odgovore na vprašanja v zvezi s tem, kakšen naj bo učni proces, ki jih kibernetška pedagogika zapostavlja, najdemo v *didaktiki učne teorije* (Heimann, 1976; Jank in Meyer, 2006; Reich in Thomas, 1976; Straka in Macke, 2006). Ta postavlja v središče »strukturno in faktorsko analizo pouka«, s čimer bi lahko, da zadostimo očitkom, kibernetško pedagogiko

obogatili. Heimann je imel na prvi pogled osupljivo preprosto zamisel, kako določiti »temeljni okvir« učne ure. Treba bi bilo le dovolj opazovati poljuben učni proces in nato iz številnih oblik pouka izluščiti »*formalne konstante*«. Tako ugotovljene konstante lahko postanejo vodilne, tako pri analizi kot tudi pri načrtovanju pouka, kar prikazuje Slika 2 (Heimann, 1976).

Svojo zahtevo je Heimann takoj uresničil in na podlagi tega, da ni učne ure, za katero učitelju ne bi bilo treba razmisliti, kaj so njegovi *cilji/namere*, kaj je *učna tema*, katere *metode* bo za doseg ciljev uporabil in katere *učne pripomočke* bo pri tem potreboval, določil štiri konstante (dodal pa jim je, kot bomo videli malo kasneje, še dve): *intencionalnost*, *tematiko*, *metodiko* in *pripomočke*. Pri teh štirih konstantah se mora *učitelj* odločiti, kaj želi, zato jih imenujemo *področje odločanja*. Učitelj je pri svojih odločitvah o tem odvisen od določenih značilnosti, ki jih on sam in učenci že imajo in jih tako rekoč ni mogoče spreminjati. Delimo jih na *antropogene*, tj. ljudem prirojene, in *socialno-kulturne*, tiste, ki so posledica bolj ali manj hitrih družbenih sprememb (npr. zgodovinski spomin). Pri teh dveh konstantah je učitelj v nekem smislu »žrtev situacije«, zato ju imenujemo *področje razmer*.

Didaktika učne teorije ima torej v središču razmeroma preprosto strukturirano mrežo šestih pojmov, ki pojave kategorizira in jih preko simbolnega sistema uvršča v celoto, ki po prevladujočem prepričanju omogočajo popolno zajetje vseh bistvenih okoliščin in odločilnih nalog pouka.



Slika 2: Didaktika učne teorije (povzeto po Jank in Meyer, 2006).

Po skoraj štiridesetih letih, ki so minila od predstavitve tega strukturnega modela pouka, je jasno, da je prvi problem in izvor vseh težav predstavljala trditev, za katero se je mislilo, da iz njega izhaja: *pouk je primerek formalno konstantne oz. neomejeno veljavne strukture* (Heimann, 1976). Ta trditev je neresnična, saj neomejeno veljavnih struktur ni, vselej jih ustvari človek s svojim praktičnim ravnanjem v nekem časovno določenem

socialnem sistemu. Tako lahko npr. posebno poudarjanje učnih pripomočkov v modelu pojasnimo le na podlagi trenutnih družbenopolitičnih razmer in šolske politike.

Drugi problem pri uvajanju Heimannovega modela je predstavljalo dejstvo, da sta v strukturalni model pouka z vidika formalizacije vključeni dve povsem različni področji. Področje odločanja lahko dokaj enostavno formaliziramo oz. zapišemo v simbolni obliki z omejenim številom modifikacij posameznih faktorjev procesa, saj je število metod, kako dosega-ti določene cilje, omejeno in več ali manj znano, prav tako pa tudi šte-vilo učnih pripomočkov in tematik. Problemi glede formalizacije pa se pojavijo na področju razmer, ko ne govorimo več o nekem konkretnem procesu oz. o nekem idealiziranem učencu ali učitelju, z jasno definiranimi cilji in na njih vezanimi omejenimi količinami vsebin, metod in učnih pripomočkov. Tukaj se srečujemo z izjemno slabo definiranim sistemom antropogenih in socialno-kulturnih značilnosti, ki so načeloma popolnoma individualizirane: antropogene so v celoti vezane na človeka kot posameznika, socialno-kulturne pa na določene skupine in skupnosti na podlagi njihovih socialnih ter kulturnih odnosov (Anderson, 2007; Bateson, 1979).

Torej: ker naj bi bil pouk neomejeno veljavna struktura, kar ne drži, in ker kibernetika pedagogika v tistem času ni bila zmožna simbolizirati tudi področja razmer, *konekcionistični dinamični modeli*⁶ kot pristop k programiranju pa zaradi tehnoloških pomanjkljivosti še niso izpodrini-li simbolnih, je bila kibernetika pedagogika deležna prvega očitka, da ne daje odgovorov na vprašanja v zvezi s tem, kakšen naj bo učni proces. Očitno je, da bi moral biti vsak model vsaj deloma dinamičen, kar pome-ni, da bi moral zasledovati tako socialno-kulturne kot tudi antropogene značilnosti ter razvojne stopnje posameznega učenca in pri tem upoštevati stopnjo tehnološkega razvoja družbe (informacijske in komunikacijske tehnologije), sposobnosti in navade učencev, kakor tudi vse druge vplivne faktorje, ki ustvarjajo pouk. Didaktika in njeni modeli morajo slediti stalnim spremembam in se jim prilagajati. Cilj vsakega tako uporabljenega modela mora biti čim višja kakovost učenčevega znanja. Upoštevati moramo, da je učni proces res neločljiva zveza med učiteljem in učencem oz. med poučevanjem in učenjem, vendar je slednje pomembnejše.

Uporaba nedokončane zasnove in okrnjen prenos strukturalnega mod-ela pouka v prakso sta bila preuranjena, in ni čudno, da so omenjeni razlo-

6 *Konekcionistični dinamični modeli*: predlagani računalniški programi ne temeljijo na zapisih statičnih simbolnih sistemov, temveč se pri programiranju tega modela uporabljajo »umetne« nevrnske mreže, ki najbolje ponazarjajo človekovo naravno nevrnsko mrežo, skratka naše možgane. Podrobneje v nadaljevanju.

gi kibernetiko pedagogiko ob prvem poskusu uvajanja v pedagoško prakso pokopali. Vendar pa dajejo izhodišča kibernetike pedagogike v začetku 21. stoletja nastavke za skoraj idealne možnosti za nadaljnji razvoj, še posebej ob upoštevanju sodobnih konekcionističnih trendov na področju kognitivne in nevro znanosti.

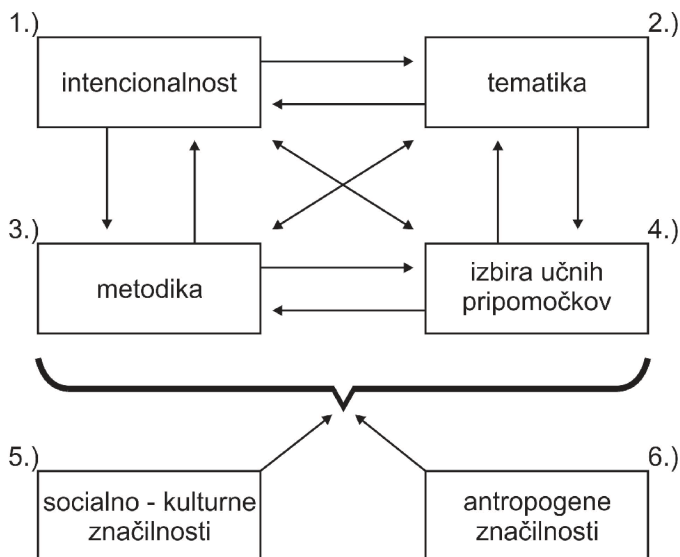
V nadaljevanju se bomo zato pri zavračanju ostalih razlogov posvetili predvsem učnim procesom samim in mogočim smerem njihovega nadaljnega razvoja (Aberšek, 2012; Reich in Thomas, 1976).

Zavrnitev 2. razloga (rešitev filozofskega problema)

V strukturalistični filozofiji je udomačeno prepričanje, da velja za človekovo mišljenje enaka organizacija in da veljajo enake zakonitosti kot za svet strojev, kar po mnenju kritikov pomeni zanemarjanje razlik med psihološkimi in pedagoškimi posebnostmi duševnega delovanja na eni strani ter značilnostmi tehničnih sistemov na drugi. Če želimo ta očitek preseči in pri modeliranju višjih kognitivnih procesov upoštevati tudi posebnosti vzgojno-izobraževalnega področja, ko učenec ni le objekt poučevanja, ampak tudi subjekt lastnega vodenja in spreminjanja, moramo strukturalistično filozofijo kot temeljno izhodišče nadomestiti z izsledki sodobne *kognitivne in nevro znanosti* (Bermudez, 2010; Markič, 2010; Winograd in Flores, 1986).

Kognitivna znanost se je razvila iz kibernetike v 50. letih 20. stoletja, od takrat pa je doživela številne paradigmatne spremembe. Študij duševnih procesov v kognitivni znanosti se je v zadnjih letih pogosto prevečkrat izvajal zgolj z vidika ene izmed njenih konstitutivnih disciplin, npr. kognitivne lingvistike ali kognitivne nevroznanosti ali kognitivne antropologije. Danes pa prevladuje prepričanje, da zgolj enakopravna obravnava vseh področij, ki jo sestavljajo, zagotavlja ustrezno celostno pojasnitev duševnih procesov. Struktura kognitivne znanosti je prikazana na Sliki 3.

Svoja spoznanja skušajo kognitivni znanstveniki prenesti tudi v prakso – še posebej na področja poučevanja in učenja, sodelovanja in strojnega učenja ter odločanja. *Konekcionizem* (Anderson, 2007; Bechtel in Abrahamsen, 2002; Horgan in Tienson, 1996) kot ena izmed usmeritev v kognitivni znanosti je nastal sredi 80. let 20. stoletja kot alternativa *simbolnim modelom* (tradicionalni računalniški paradigmi). To izhodišče takratne alternativne računalniške paradigme je temeljilo na analogiji med digitalnim računalnikom in duhom, po kateri je mišljenje posebna vrsta simbolnega računanja. Današnji tradicionalni konekcionistični model duha pa je diskretni dinamični sistem s prav takšnimi dinamičnimi algoritmi učenja. Osnovna značilnost tega modela je, da je sestavljen



Slika 3: Struktura kognitivne znanosti.

iz preprostih enot, tj. idealiziranih nevronov, ki so medsebojno povezani v nevronske mreže. Vsaka enota ima določeno aktivacijsko vrednost, ki jo preko različno močnih vezi posreduje drugim enotam in s tem pripomore k povečanju ali zmanjšanju njihove vrednosti. Cel proces se odvija vzporedno in za nadzor ne potrebuje nobenega osrednjega dela. Takšna mreža se v procesu učenja izbrane kognitivne naloge uči tako, da na osnovi učnega pravila (algoritma) spreminja moč povezav med enotami. Izbira arhitekture mreže in učnega algoritma je odvisna od tega, kakšno kognitivno nalogo naj bi z mrežo modelirali oz. kako nevrološko verodostojen naj bi bil model.

Ker imajo tako klasični simbolni kot tudi konekcionistični modeli mnoge pomanjkljivosti, sta Horgan in Tienson (1996) predlagala nov teoretični okvir za kognitivno modeliranje, tj. *teorijo dinamičnih sistemov*, ki se sicer opira na konekcionizem, hkrati pa prevzema tudi nekatera temeljna spoznanja simbolnih modelov, zlasti pomen sintakse ali skladnje. Vedno zmogljivejši računalniki so postali zelo močno orodje, ki omogoča empirično preverjanje teoretičnih zamisli in ustvarjanje modelov, ki v večji ali manjši meri ustrezajo človekovim kognitivnim funkcijam. Dinamični sistemi, o katerih govorimo, so v bistvu križanci med simbolnimi in konekcionističnimi (mrežnimi) modeli, zato jih imenujemo na kratko *hibridni modeli*; eden izmed najbolj izpopolnjenih je Andersonov (2007) ACT-R.

Iz tega sledi, da moramo pri taksonomiji učenja upoštevati dva načina pridobivanja novih znanj, tj. simbolno in podsimbolno učenje. Ker ima vsako od njiju svojo specifikko, je logično, da moramo za njuno modeliranje uporabiti tudi različna »orodja«. Izhodišče kognitivnih psihologov pri iskanju odgovorov na vprašanja, kako človek pomni in kako se uči, je torej najti notranji mehanizem človeškega razmišljanja in pridobivanja znanja (Horgan in Tienson, 1996; Searle, 1983a). Z drugimi besedami, najti želimo mentalni proces, povezan s tem, kako delujeta integracija in priklic informacij (ali poenostavljeno, kako delujejo naši možgani). Ko je ta proces znan, je do njegove formalizacije samo še korak.

Če želimo tako očitek o zanemarjanju razlik med psihološkimi in pedagoškimi posebnostmi duševnega delovanja na eni strani ter značilnostmi tehničnih sistemov na drugi preseči ter pri modeliranju višjih kognitivnih procesov upoštevati tudi posebnosti vzgojno-izobraževalnega področja, ko učenec ni le objekt poučevanja, ampak tudi subjekt lastnega vodenja in spreminjanja, moramo strukturalistični filozofski pristop, formaliziran s simbolnimi modeli (jasno in nedvoumno zapisanimi pravili) kot temeljno izhodišče, nadomestiti s sodobnim *kognitivnim pristopom* z uporabo dinamičnih sistemov, ki nam omogočajo prilagajanje posamezniku, njegovim potrebam in njegovim odzivom.

Zavrnitev 3. razloga

Tretja kritika kibernetske pedagogike je ozko povezana s tehnološkimi zmožnostmi oz. nezmožnostmi obdobja, ko je nastajala. Temeljala je izključno na simbolnem zapisu algoritma poučevanja in s tem takoj naletela na nepremostljive ovire. Zamenjava strukturalistične filozofije s koncepti, temelječimi na kognitivni znanosti, pa ta očitek odpravi, saj slednja podpira tako simbolne kot tudi mrežne sisteme, to pa je ključno za programiranje učnega procesa, ki bo delovalo le, če bo delno formalizirano simbolno, delno pa mrežno.⁷ Konekcionistični modeli, ki se zgledujejo zlasti po možganih in njihovi fiziološki ter funkcionalni zgradbi, se od klasičnih simbolnih modelov razlikujejo v nekaterih bistvenih značilnostih, kot so vzporedna obdelava podatkov, vsebinsko-asociativni pomnilnik in porazdeljene prezentacije. Na Sliki 4 so prikazane systemske zveze med elementi učnega procesa.

7 Res je, da so le konekcionistični modeli, ki se odvijajo v zveznem času (vsi tega ne zmorejo, npr. hibridni modeli, kot je ACT-R, so diskretni sistemi), pravi dinamični sistemi, vendar so za modeliranje učnega procesa dovolj že hibridni sistemi s poenostavljenimi izhodišči (dinamične procese zasledujemo v diskretnih intervalih) dinamičnih sistemov.



Slika 4: Elementi in funkcije v poučevalno-učnem procesu s stališča kibernetike pedagogike.

Na osnovi vsega zapisanega lahko na novo definiramo algoritem učnega procesa, ki smo ga imenovali *mRKP* in ga zapisali kot:

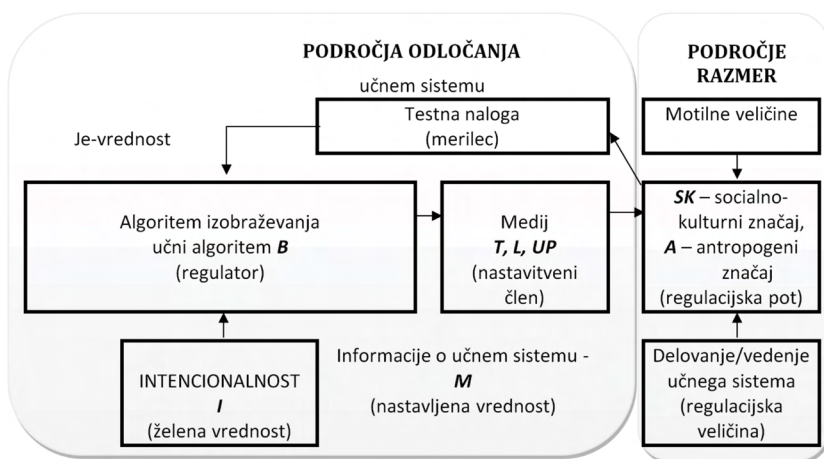
$$B = f(I), f_1(T, L, UP, ME) f_2(SK, A)$$

V enačbo smo vpeljali tri vrste funkcijskih odvisnosti, f za intencionalnost, f_1 za *področja odločanja* in f_2 za *področje razmer*. Pri tem predstavljata f in f_2 funkcijo, zapisno v obliki nevronske mreže, f_1 pa predstavlja simbolno zapisano funkcijo. Po tej enačbi je algoritem učnega procesa izražen kot logično-matematična funkcija sedmih pogojnih spremenljivk:

- *I – intencionalnost*: njena opredelitev je zapletena, in sicer zato, ker so cilji v osnovi povezani s tematiko, kljub temu pa nima smisla oblikovati nevtralnega kataloga ciljev (Searle, 1983b). Smotno je, da učitelji sami ugotovijo, kateri orientacijski vzorci in strukture se skrivajo za posameznimi cilji, saj je velika razlika, ali gre le za posredovanje znanja ali pa za ustvarjanje nečesa novega. Referenčno točko za ureditev intencionalnosti pa lahko najdemo tudi v antropologiji: ker človeško ravnanje ne obstaja samo po sebi, ampak je vselej posledica razmišljanja in čustev. Pri tem pa je pomembno predvsem njihovo skupno delovanje, ki mora biti ustrezno uglaseno.
- *T – tema oz. vsebina*;

- L – učno gradivo, ki ga moramo razumeti v nekoliko širšem smislu kot pri klasični kibernetiski didaktiki in je odvisno predvsem od tematike ter ozko povezano z učnimi pripomočki;
- UP – učni pripomočki, učno okolje;
- M – didaktika oz. metodika pouka v ožjem smislu. Različne teme lahko podajamo na različne načine, kateri način izberemo, pa je odvisno predvsem od želenih ciljev in rezultatov pouka. Prav ta pogojna spremenljivka je osnovni faktor pri optimiranju učnega procesa.
- SK – socialno-kulturni značaj, ki opredeljuje socialno okolje učečih;
- A – antropogeni značaj posameznika ali posamičnih socialnih skupin (npr. spremenljivke znotraj socialnih skupin so lahko razvojna stopnja učencev, njihovo socialno okolje ipd.; podobno je na nivoju posameznika, ki lahko ima vsak svoj učni stil, svoje izkušnje in prepričanja). S tem parametrom izvajamo individualizacijo in diferenciacijo učnega algoritma po meri posameznika.

Simbolično je ta algoritem učnega procesa mRKP prikazan na Sliki 5.



Slika 5: Algoritem učnega procesa mRKP.⁸

Poskusimo algoritem učnega procesa, prikazan na Sliki 5, nekoliko razložiti. Kartezijanska metoda predvideva, da celota ne poseduje več informacij kot njeni deli in relacije med njimi. Tudi za kibernetiko, posebej za kibernetiko izobraževanja, je značilna uporaba kartezijanske metode z njeno aplikacijo na edukacijske vede (Frank, 1993). Analiza učnega modela po Heimanu (1976) ločuje:

⁸ *Simbolni sistem* v tem algoritmu je prikazan v obliki programa, napisanega v programskem jeziku C++.

- 1) kompleksen realni pouk na sistem poučevanja, sistem učenja in učno okolje.
- 2) Smisel realnega pouka pa razstavlja pouk na učno snov in na cilje, ki stojijo za poučevanjem.

Koristno je, da sistem poučevanja opazujemo kot zlitost dveh komponent:

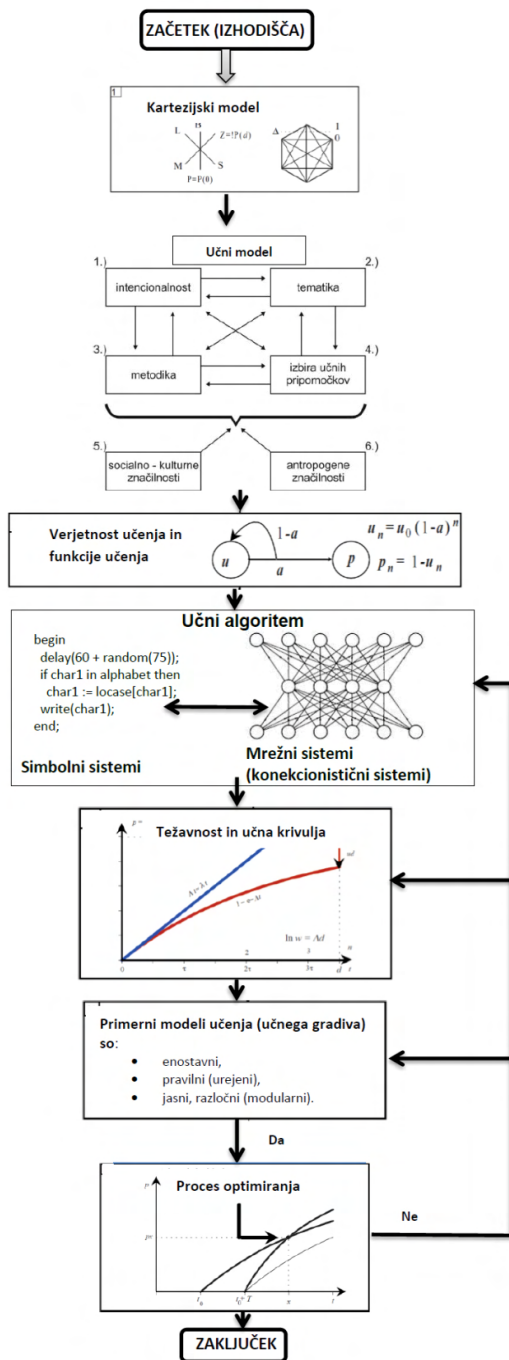
1. načina poučevanja B in
2. uporabljenih medijev M .

Pouk je torej neka točka v večdimenzionalnem (kartezijevem) pedagoškem prostoru.

Ko smo na ta način definirali učni proces, moramo pri tem seveda upoštevati intencionalnost učiteljev in učencev, njihovo motiviranost, predznanje ipd., kar je, kot vemo, predvsem na začetku poučevanja izjemno težko, saj ne poznamo ne učencev, ne njihovega interesa in ne njihovega odnosa do učenja. Človek lahko na enoto časa zaznava več, kot se lahko nauči. To pomeni, da vse, kar zaznamo, ne postane niti del senzoričnega spomina, kaj šele, da bi prešlo v kratkoročni ali dolgoročni spomin. To poskušamo v našem učnem algoritmu definirati s funkcijami učenja na podlagi verjetnosti. V prvem koraku izhajamo iz nekakšne standardne verjetnosti (Frank, 1993), ki jo v nadaljevanju, ko zberemo dodatne informacije (z ustreznim sprotnim formativnim preverjanjem in zbiranjem meta podatkov), lahko spreminjamo in prilagajamo potrebam ter sposobnostim dejanskega učenca. Za to uporabljamo mrežne sisteme, ki nam omogočajo prilagodljivost na osnovi utrjevanja določenih učencu svojstvenih odzivov (v nevronskih mrežah govorimo o utrjevanju in akcijskem potencialu). V naslednjih korakih tako lahko definiramo učne krivulje za posamičnega učenca in le-te sproti prilagajamo, pri tem izbiramo njemu primerne učne modele (prilagojena učna gradiva, upoštevamo njegov učni stil ipd.), kar privede do procesa optimiranja na konkretnem primeru konkretnega učenca. Učni algoritem se uči in na ta način učencu prilagaja njemu najbolj ustrezno učno pot.

Kaj to pomeni za formalizacijo pouka z vidika tretjega očitka in za oživitev kibernetike pedagogike?

- *Področja odločanja*: Metodiko, tematiko in učne pripomočke lahko dokaj enostavno formaliziramo in zapišemo v simbolni obliki z omejenim številom modifikacij posameznih faktorjev procesa, saj je število metod, kako dosežati določene cilje, omejeno, enako pa velja tudi za število učnih pripomočkov, tematik itd.
- Za *intencionalnost*, predvsem učenje, in vzgibe učiteljev in učencev naletimo na slabše definiran sistem (na začetku inteligentni tutor nima dovolj informacij o učencu, zato mora uporabiti metode,



Slika 6: Algoritem učnega procesa mRKP.

ki so primerne za take situacije), zato uporabimo konekcionistični, mrežni pristop.

- *Področje razmer:* Tukaj se lahko srečujemo z zelo nedefiniranim sistemom antropogenih in socialno-kulturnih značilnosti, ki so načeloma popolnoma individualizirane: prve so v celoti vezane na človeka kot posameznika, druge pa na določene skupine in skupnosti na podlagi njihovih socialnih in kulturnih odnosov ter interakcij. Ker ne govorimo več o nekem konkretnem procesu z jasno definiranimi pravili in cilji in na njih vezanimi omejenimi količinami tem, metod in učnih pripomočkov, moramo za njihovo formalizacijo seveda uporabiti mrežni sistem, ki nam omogoča, odvisno od razvejanosti mreže, izjemno veliko število učnih poti temelječih na odzivih v posameznih korakih.

Iz tega sledi, da za simbolizacijo in formalizacijo vseh treh področij ne moremo uporabljati enakih orodij in enakih metod dela. Za modeliranje področja odločanja lahko uporabimo, kot je bilo to že narejeno, v izvorni kibernetiki pedagogiki, simbolne sisteme, medtem ko moramo področje razmer in intencionalnost modelirati s konekcionističnimi mrežnimi sistemi, ki nam omogočajo kompleksnejšo individualizacijo in diferenciacijo učnega procesa (saj z akcijskim potencialom (utrjevanjem posameznih poti) posnemajo vedenjske oblike posameznika in s tem učni proces prilagajajo konkretnim vedenjskim oblikam in odzivom posameznikov). Tako moramo kibernetiko pedagogiko obravnavati in predstaviti kot *hibridni sistem*, saj v njem kombiniramo dve različni metodi formalizacije, simbolno in konekcionistično, ki ju zagotavlja kognitivistična platforma, in ne le kot simbolni sistem strukturalistične filozofije, kot je bilo obravnavano v izhodiščni kibernetiki pedagogiki.

Smernice – virtualni učitelj – e-učno gradivo

Vpeljava celovite predstavljene teorije in na njej temelječega inteligentnega tutorja v naš šolski sistem bi bila nemogoča, zato prevedimo in poenostavimo izhodiščne teoretične možnosti na možen primer izdelave in uporabe e-učnih gradiv in si oglejmo, ali in kako je predlagani hibridni sistem mRKP mogoče uporabiti v realnem učnem procesu.

Eden izmed bistvenih metodoloških problemov elektronskih učnih gradiv današnjega časa je predvsem njihova nezmožnost prilagajanja na uporabnikove želje, potrebe, predvsem pa na njegove sposobnosti in predznanje. E-učna gradiva, ki se izdelujejo v današnjem času, imajo najpogosteje enak scenarij, vsebino in cilje za vse uporabnike (oz. za nekega idealiziranega) ne glede na njihove različne sposobnosti in stopnjo

predznanja. Z drugimi besedami, večini trenutnih e-učnih gradiv, ki smo jih pregledali, manjka predvsem diferenciacija in individualizacija učnega procesa (Gur-Zéev, 2005; OECD, 2009). Odgovor na to, kako diferencirati in individualizirati, pa lahko najdemo ravno v predstavljeni revidirani kibernetiki pedagogiki, na kateri temelji t. i. *programirani pouk*, ki se je razvil v začetku 70. let 20. stol., k njemu pa so pripomogli hiter razvoj industrije, znanosti in tehnologije ter potreba po samoizobraževanju (Skinner, 1958; 1963; Strmčnik, 1978).

Sodobno e-učno gradivo bi moralo biti z didaktičnega vidika zasnovano tako, da bi učencu omogočalo učinkovito in samostojno učenje brez neposredne prisotnosti in pomoči učitelja, saj bi le v tem primeru bilo najboljši približek na učitelju temelječemu učenju in bi omogočalo, da bi posameznik trajno in kakovostno lahko pridobil nova in trajnejša znanja (Bregant in Aberšek, 2011). Predstavljeni model revidirane kibernetike pedagogike in *mRKP* bi ob določenih poenostavitvah to zahtevo lahko izpolnil takoj in bi bil tako dobro izhodišče za pripravo sodobnih e-učnih gradiv. V nadaljevanju bomo predstavili pedagoško strategijo za pripravo inteligentnih e-učnih gradiv na osnovi *mRKP*, pri čemer bomo tehnološko plat pustili ob strani, saj menimo, da je tehnologija tista, ki mora slediti stroki in se ji ustrezno prilagajati.

Zahtevane pedagoške značilnosti inteligentnega e-učnega gradiva

Sodobno elektronsko učno gradivo mora biti z vidika pedagogike in didaktike zasnovano tako, da omogoča učencu učinkovito in samostojno učenje brez neposredne prisotnosti in pomoči učitelja. Izdelava takšnega e-učnega gradiva pa mora upoštevati in vsebovati naslednje bistvene funkcije učnega sistema (Dolenc in Aberšek, 2012):

- predstavitev relevantnih informacij, npr. učne snovi, izhodiščnih vprašanj, ciljev, naloge, problema, navodil, pomoči, presojanja, vrednostnih sodb;
- sprejemanje, skladiščenje in analiziranje informacij, ki jih posreduje učni sistem, npr. podatke o reakcijah, načinih obnašanja in odzivanja ter odgovorih, ki jih e-učno gradivo lahko zbira ali celo mora zbirati s pomočjo *meta podatkov*;
- ocena stanja, ki ga je diagnosticiral učni sistem, in njegova primerjava z načrtovano ciljno vrednostjo;
- izbor ustreznih alternativnih učnih korakov/programov za nadaljnje vplivanje na učni sistem (povratne informacije, učne pomoči za učni sistem itd.).

Pri tem moramo zadovoljiti naslednje temeljne cilje kibernetike pedagogike:

- identifikacija in analiza učnih ter poučevalnih procesov, izraženih v delnih sistemih, in njihova funkcija pri objektivizaciji učno-vzgojnega procesa, kar pomeni prenos vseh dejavnosti človeškega učitelja na tehnične sisteme oz. računalniške programe;
- analiza odnosov in medsebojnih učinkov objektiviziranih tehničnih in neobjektiviziranih človeških delnih sistemov učnih procesov, npr. interakcije človeški učitelj (ali avtor gradiva) in e-učno gradivo, z namenom doseganja in izboljševanja zastavljenih didaktičnih ciljev;
- pojasnjevanje odnosov med različnimi oblikami delnih sistemov v vsakokratnem izobraževalnem sistemu.

Preden se lotimo priprave e-učnega gradiva, mora biti natančno izdelan ustrezen algoritem (glej Sliko 5), ki sledi zastavljenim učnim ciljem in nedvoumno odgovarja na vse zastavljene funkcije in zahtevane cilje. Pravilna uporaba vseh omenjenih didaktičnih značilnosti zagotavlja, da bo elektronsko učno gradivo najboljši približek tradicionalnemu učenju in poučevanju po modelu 1:1 (en učitelj in en učenec) (Aberšek, 2013). Tako pripravljeno e-učno gradivo ima določene strukturne podobnosti z načeli akcijskega raziskovanja, v katerem vsakemu raziskovalnemu koraku sledi sprotne evalvacije ter je v skladu z dobljeno oceno mogoče spremeniti (dopolniti) raziskovalni načrt ali celo izhodiščno raziskovalno idejo, kar nam v našem modelu *mRKP* omogoča fleksibilna struktura nevronske mreže (Aberšek, 2012; Reinmann-Rothmeier, 2003).

Predstavljeni model je bil v praksi v nekoliko modificirani obliki uporabljen tudi pri ekspertnem sistemu *STATFAG* (Aberšek in Popov, 2004), inteligentnem tutorskem sistemu, ki je namenjen tako za usposabljanje študentov strojništva, kot tudi mladih, manj izkušenih inženirjev pri konstruiranju zobniških gonil. V tem primeru smo namesto nevronske mreže za proces optimiranja uporabljali *genetske algoritme*,⁹ s katerimi, podobno kot z nevronskimi mrežami, lahko opisujemo probleme oz. procese, ki jih ne moremo natančno definirati.

Sklep

O tem, da so informacijsko-komunikacijske tehnologije (IKT) del sodobne šole, ni treba več izgubljati besed. Toda ko govorimo o IKT, moramo v temeljih razlikovati dva pristopa, in to v *tehnologijo usmerjen* in v *učenca usmerjen* pristop učenja z uporabo IKT. Pri pristopu, *usmerjenem v tehnologijo*, je v središču uporaba tehnologije v izobraževanju. Torej je pou-

9 *Genetski algoritmi* so računalniški model naravne evolucije, ki temelji na selekciji, križanju in mutaciji. Uporabljajo se za reševanje problemov, pri katerih rešitev opišemo v obliki kodiranega zaporedja. Osnovni element (objekt) je gen, ki podaja možno rešitev problema za en parameter. Vsi geni skupaj tvorijo kromosom, ki ustreza eni rešitvi problema.

darek le na strukturi – strojni opremi. Vsak sistem, in tako tudi IKT, pa zaznamuje tako struktura kot tudi funkcija. Ena je brez druge nepopolna, ni osmišljena. Glavni problem tega pristopa je torej, da ostaja tehnologija (struktura) sama sebi namen, ker ne upošteva svoje funkcije, ne upošteva učitelja in učenca in s tem ne upošteva svojega dejanskega namena ter ciljev v izobraževanju. Ob tem pa tudi zahteva, naj se učenci in učitelji prilagodijo tej tehnologiji, namesto da bi bilo ravno obratno (Dumont, Istance in Benavides, 2013). V nasprotju s tem pa pri pristopu, *usmerjenem v učence*, ki ga v tem članku zagovarjamo in dokazujemo, izhajamo iz tega, kako se ljudje učijo, in razumemo tehnologijo le kot pomoč, kot orodje pri njihovem učenju. To pomeni, da je treba *tehnologijo prilagoditi* potrebam učencev in učiteljev. Za to pa je treba razviti ustrezne metode dela z njo, v našem primeru smo predlagali revidirano kibernetško pedagogiko in hibridni učni model *mRKP*. Takšne metode dela in predstavljeni model učnega procesa *mRKP* nam omogočajo individualizacijo in diferenciacijo izobraževalnih poti, prilagojenih posameznim učencem, in s tem zagotavljajo, da bomo dosegali zastavljene izobraževalne cilje na uporabniku (učencu) najbolj prijazen način.

Sodobne raziskave vzgojno-izobraževalnega procesa kažejo, da se najvišjih izobraževalnih ciljev ne da dosegati brez aktivne udeležbe učenca (Bocconi, Kamylyis in Punie, 2012; OECD/CERI, 2010a; 2010b). Preslikava snovi iz tiskanih učbenikov in z v *tehnologijo usmerjenim pristopom* z dodanimi multimedijskimi in interaktivnimi elementi nas ne bi smela zadovoljiti, saj s tem pogosto naredimo učencem in izobraževanju več škode kot koristi. Prednosti in lastnosti tiskanega medija pač ni mogoče kar prenesti v nek drug, v našem primeru elektronski medij. Takšno izdelovanje e-učnih gradiv je sicer hitro, enostavno in poceni, ne moremo pa zanj trditi, da je *učno*. Elektronsko učno gradivo je učno in sodobno takrat, ko omogoča posamezniku, da pride do zelenega cilja po poti, ki omogoča postopno napredovanje in njemu lasten osebni tempo, skratka, ko ustreza posamezniku, in ta fleksibilnost je tudi pglavitna prednost takšnega gradiva. Takšno e-učno gradivo tudi ne sme dovoljevati, da lahko posameznik brez predznanja oz. s pomanjkljivim znanjem napreduje. Izdelava elektronskih učnih gradiv je delo, ki zahteva diferenciacijo in individualizacijo za posamezne udeležence ob sprotne preverjanju. To preverjanje ne služi le za ocenjevanje, temveč služi tudi za vodenje posameznika do cilja po njemu ustrezni in lastni poti, avtorjem gradiva pa omogoča spremljanje in izboljševanje takšnega gradiva. Skratka, sodobno učno gradivo mora biti adaptivno in mora imeti možnosti »učenja«.

Za zasledovanje ustreznega razvoja učenčevih potencialov je torej nujno, da vzgojno-izobraževalni proces sproti opazujemo in vrednotimo

ter ob slabih učinkih izvedemo potrebne popravke. Takšen način dela v veliki meri omogočajo tudi sodobna (inteligentna) e-učna gradiva, seveda le, če so pravilno pedagoško in didaktično načrtovana ter tehnološko izvedena. Takšno gradivo mora med drugim tudi ocenjevati uporabnika in ob slabih rezultatih samostojno spremeniti pot za doseganje načrtovanih ciljev na podlagi zbranih meta podatkov. Menimo, da je e-učno gradivo, ki je zasnovano na hibridnem modelu *mRKP*, pot, ki pelje k uresničitvi vseh omenjenih zahtev.

Literatura

- Aberšek, B., Borstner, B., in Bregant, J. (2014) The virtual science teacher as a hybrid system: cognitive science hand in hand with cybernetic pedagogy. *Journal of Baltic Science Education* 13 (1), str. 75–90.
- Aberšek, B. (2013) Cogito ergo sum *homomachine*? *Journal of Baltic Science Education* 12 (3), str. 268–270.
- Aberšek, B. (2012) *Didaktika tehniškega izobraževanja med teorijo in prakso*. Ljubljana: Zavod Republike Slovenije za šolstvo.
- Aberšek, B., in Kordigel Aberšek, M. (2011) Does intelligent e-learning tools need more pedagogical methodology or ICT. *Problems of education in the 21st century* 37, str. 9–17.
- Aberšek, B., in Popov, V. (2004) Intelligent tutoring system for training in design and manufacturing. *Advances in engineering software* 35, str. 461–471.
- Anderson, J. R. (2007) *How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe*. Oxford: Oxford University Press.
- Bateson, G. (1979) *Mind and Nature: A Necessary Unity*. New York: E. P. Dutton.
- Bechtel, W., in Abrahamsen, A. (2002) *Connectionism and the Mind*. Oxford: Blackwell Publisher.
- Bermudez, J. L. (2010) *Cognitive Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Blažič, M., Ivanuš Grmek, M., Kramar, M., in Strmčnik, F. (2003) *Didaktika, visokošolski učbenik*. Novo mesto: Visokošolsko središče, Inštitut za raziskovalno in razvojno delo.
- Bocconi, S., Kampylis, P. G., in Punie, Y. (2012) *Innovating Learning: Key Elements for Developing Creative Classrooms in Europe*. Scientific and Policy Report by the Joint Research Centre of the European Commission, EU.
- Bregant, J., in Aberšek, B. (2011) Artificial intelligence versus human talents in learning process. *Problems of education in the 21st century* 37, str. 38–47.

- Chalmers, D. (1996) *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory*. New York: Oxford University Press.
- Copeland, J. (1993) *Artificial Intelligence: A Philosophical Introduction*. Oxford: Blackwell.
- Cube, F. (1982) *Kybernetische Grundlagen des Lernen und Lehrens*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Dolenc, K., in Aberšek, B. (2012) E-learning and teaching - methodological or technological problem. *DIVAI 2012: distance learning in applied informatics: conference proceedings*, str. 73–81.
- Dreyfus, H. L., in Dreyfus, S. E. (1986) *Mind over machine*. New York: Free Press.
- Dumont, H., Istance, D., in Benavides, F. (2013) *O naravi učenja: uporaba raziskav za navdih prakse*. Ljubljana: Zavod Republike Slovenije za šolstvo.
- Fodor, J. A. (1983) *Modularity of Mind: An Essay on Faculty Psychology*. Cambridge: The MIT Press.
- Frank, H. (1993) *Kybernetische Grundlagen der Pädagogik*. Prag: Kava-Pech.
- Frank, H. G., in Meder, B. S. (1971) *Einführung in die kybernetische Pädagogik*. München: Wissenschaftliche Reihe.
- Guid, N., in Strnad, D. (2007) *Umetna inteligenca*. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko.
- Gur-Zéev, I. (2005) *Critical Theory and Critical Pedagogy Today, Toward a New Critical Language in Education*. Haifa: University of Haifa.
- Heimann, P. (1976) *Didaktik als Unterrichtswissenschaft*. Stuttgart: Klett.
- Horgan, T., in Tienson, J. (1996) *Connectionism and the Philosophy of Psychology*. Cambridge: The MIT Press.
- Jank, W., in Meyer, H. (2006) *Didaktični modeli*. Ljubljana: Zavod RS za šolstvo.
- Markič, O. (2010) *Kognitivna znanost*. Maribor: Aristej.
- Morris, R., in Filenz, M. (2007) *Prvi koraki v nevroznanost, znanost o možganih*. Ljubljana: Izobraževalni in raziskovalni inštitut Ozara.
- Müller, K. H. (2008) *The New Science of Cybernetics. The Evolution of Living Research Designs, Vol. I: Methodology*. Wien: Edition Echoraum.
- Müller, K. H. (2011) *The New Science of Cybernetics. The Evolution of Living Research Designs, Vol. II: Theory*. Wien: Edition Echoraum.
- OECD (2009) *Creating Effective Teaching and Learning Environments: First Results from TALIS, Teaching And Learning International Survey*. OECD Publishing.
- OECD/CERI (2010a) *Inspired by Technology, Driven by Pedagogy: A Systemic Approach to Technology-Based School Innovations, Edu-*

- ational Research and Innovation*. OECD Publishing. DOI: 10.1787/9789264094437-en.
- OECD/CERI. (2010b) *The Nature of Learning: Using Research to Inspire Practice*. OECD Publishing. DOI:10.1787/9789264086487-en
- Peruš, M. (2001) *Biomreže, mišljenje in zavest*. Maribor: Satjam.
- Pritchard, A. (2009) *Ways of learning: learning theories and learning styles in the classroom* (2nd edition). London: David Fulton.
- Reich, K., in Thomas, H. (1976) *Paul Heimann – Didaktikals Unterrichtswissenschaft*. Stuttgart: Klett.
- Reinertsen, A. B. (2012) Second order pedagogy as an example of second order cybernetics. *Reconceptualizing Educational Research Methodology* 3 (1), str. 1–24.
- Reinmann-Rothmeier, G. (2003) *Didaktische Innovation durch Blended Learning. Leitlinien anhand eines Beispiels aus der Hochschule*. Bern: Huber.
- Searle, J. R. (1983a) *Intentionality: An essay in the philosophy of mind*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Searle, J. R. (1983b) Word Turned Upside Down. *New York Review of Books* 30 (16), str. 74–77.
- Skinner, B. F. (1958) Lernmaschine. V Correl, W. (ur.). *Programiertes Lernen und Lernmaschinen*. Braunschweig: Georg Westermann.
- Straka, G. A., in Macke, G. (2006) *Lern-Lehr-Theoretische Grundlagen*. Münster: Waxmann Verlag.
- Strmčnik, F. (1978) *Sodobna šola v luči programiranega pouka*. Ljubljana: Univerzum.
- Strmčnik, F. (2001) *Didaktika: Osrednje teoretične teme*. Ljubljana: Znanstveni inštitut Filozofske fakultete.
- Winograd, T., in Flores, C. F. (1986) *Understanding computers and cognition: A new foundation for design*. Norwood: Ablex.