

Evaluarea unei aplicații de învățare bazată pe realitate îmbogățită utilizând protocolul « gândire cu voce tare » și metoda învățării în perechi

Dragoș Daniel Iordache

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în informatică – ICI București
Bd. Mareșal Averescu, Nr. 8-10, 011455, București
E-mail: iordache@ici.ro

Rezumat. În cadrul acestei lucrări sunt prezentate rezultatele evaluării unei aplicații de realitate îmbogățită destinate învățării chimiei pe baza unei metodologii care îmbină protocolul « gândire cu voce tare » (Think aloud protocol - TAP) și metoda învățării în perechi. În cadrul TAP, elevii participanți la testare au avut sarcina să gândească cu voce tare în timp ce au parcurs mai multe exerciții din cadrul aplicației de învățare a chimiei. Elevii au fost rugați să descrie tot ceea ce gândesc, fac și simt pe măsură ce au rezolvat exercițiile. Învățarea în perechi a presupus ca elevii care au testat aplicația pe baza TAP să instruiască alți elevi cu privire la modul de lucru cu aceasta. S-a plecat de la premisa că această abordare promovează comunicarea în situația testului, într-o măsură mai ridicată decât comunicarea copilului cu un instructor adult și că, totodată, oferă informații despre potențialul aplicației de a fi predată, respectiv învățată.

Cuvinte cheie: evaluare, realitate îmbogățită, TAP, învățare în perechi.

1. Introducere

Noile tehnologii informatice integrate în câmpul preocupărilor educaționale conduc la crearea unei diversități de medii de învățare. În cadrul acestora, mediile de învățare bazate pe tehnologia de realitate îmbogățită au o relevanță aparte prin prisma faptului ca se adresează majorității analizatorilor (vizual, auditiv, tactil, kinestezic). Acest fapt creează premise pentru dezvoltarea de scenarii de predare-învățare care să răspundă exigențelor învățării de tip constructivist prin facilitarea atingerii unor obiective educaționale diverse.

O educație de calitate presupune nu doar atingerea de obiective cognitive, ci și realizarea obiectivelor de natură psiho-motorie și afectivă. Obiectivele cognitive prezintă o importanță deosebită în cadrul procesului de învățământ, iar tehnologia de realitate îmbogățită (AR) poate contribui la

realizarea unei game foarte variate de obiective cognitive prin facilitarea înțelegerii proceselor abstracte și prin dezvoltarea de noi abilități.

Obiectivele educaționale psihomotorii pot fi atinse prin manipularea directă a obiectelor reale augmentate. În cadrul aplicației de chimie, copiii lucrează cu bile, dar văd atomii și structura acestora. Elevii apropie bilele și văd mișcarea electronilor atunci când se formează diferiți compuși. Aceste acțiuni presupun o integrare strânsă a planului mental cu cel motor. Toate sarcinile de învățare pot fi repetate de câte ori se dorește, elevii manipulează obiectele reale cu propriile mâini, „învățarea prin acțiune” substituind ascultarea pasivă a lecțiilor.

Obiectivele educaționale de tip afectiv pot fi atinse prin integrarea efectelor vizuale și a celor auditive care dau elevilor impresia că joacă un joc în mediul tridimensional. Construirea de combinații din ce în ce mai complexe din elemente simple poate fi de natură să crească interesul, plăcerea de a învăța și motivația față de activitatea respectivă.

Aplicația de învățare evaluată în această lucrare a fost dezvoltată în cadrul proiectului european ARiSE (Augmented Reality in School Environment) pe o platformă de realitate îmbogățită de tip desktop – ARTP (Augmented Reality Teaching Platform). Pe aceeași platforma hardware, înregistrată sub numele Spinnstube (Wind et al., 2007) au fost dezvoltate trei aplicații, una pentru învățarea biologiei, o alta pentru învățarea chimiei și o a treia pentru colaborare la distanță. ARTP a făcut obiectul mai multor testări (Iordache et al, 2008, Iordache și Pribeanu, 2009, Lamanauskas et al, 2007), cu scopul evaluării utilizabilității, eficacității pedagogice și valorii motivaționale a aplicațiilor dezvoltate. În cadrul acestei lucrări s-a încercat evaluarea impactului aplicației destinate învățării chimiei utilizând o metodologie bazată pe protocolul « gândire cu voce tare » și pe metoda învățării în perechi.

2. Evaluarea aplicațiilor de realitate îmbogățită

În literatura de specialitate din domeniul interacțiunii om – calculator (HCI - human computer interaction) sunt descrise mai multe cercetări cu privire la evaluarea de aplicații educaționale bazate pe AR. În tabelul 1 este prezentată o sinteză a celor mai semnificative cercetări pentru tema aleasă.

După cum se observă, o parte dintre cercetările discutate (Kaufmann & Dünser 2007, Tang et al. 2003) sunt focalizate pe evaluarea utilizabilității

aplicațiilor educaționale bazate pe AR, iar altele sunt centrate pe evaluarea unor dimensiuni ce țin de latura strict pedagogică a acestor aplicații (Vilkoniene, 2009). Până în prezent, în literatura de specialitate se constată un deficit de cercetări care să evalueze valoarea educațională a aplicațiilor de AR prin raportare la evaluarea utilizabilității acestora. Tocmai din acest motiv, cercetarea pe care o propunem încearcă să evalueze o aplicație de AR prin apelul la abordări multiple existente în literatura de specialitate privind evaluarea sistemelor informatice inovative.

Tabelul 1. Cercetări cu privire la evaluarea de aplicații AR

Studiu	Variabile	Ipoteze	Rezultate	Instru- ment
Tang et al. (2003)	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiența utilizării realității îmbogățite (AR) ca mediu de instruire în asamblarea obiectelor - Performanța în îndeplinirea sarcinilor - Efortul cognitiv perceput 	<ul style="list-style-type: none"> - Comparativ cu alte sisteme multimedia, AR reduce semnificativ durata de timp necesară îndeplinirii sarcinilor - AR îmbunătățește semnificativ acuratețea și reduce erorile în efectuarea sarcinilor - AR sprijină operațiile mentale și are ca efect reducerea semnificativă a efortului cognitiv în comparație cu sistemele multimedia tradiționale 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilizarea sistemului de AR a condus la reducerea ratei erorilor pentru o sarcină de asamblare cu 82% - S-a constatat o reducere a efortului mental depus în timpul sarcinilor de asamblare; - Reducerea erorilor cumulative 	NASA Task Load Index - TLX
Kaufmann & Dünser (2007)	<ul style="list-style-type: none"> - Ușurința în utilizarea aplicației Construct3D - Învățare de 	<ul style="list-style-type: none"> - Lucrul în spațiul tridimensional conduce la o înțelegere mai bună și mai rapidă a relațiilor spațiale 	Elevii care au utilizat aplicația Construct3D au apreciat cu cotații mai înalte majoritatea	Chestion arul ISONOR M 924/10;

	durată a cunoștințelor	complexe	categoriilor – control, abilitate de învățare, utilitate, satisfacție, feedback și meniu / interfață – cu excepția aspectelor tehnice (de exemplu, robustețe) comparativ cu elevii care au utilizat aplicația pe calculator CAD3D	Chestionar de utilizabilitate
Vilkoniene (2009)	<ul style="list-style-type: none"> - Învățare cu ARTP - Instruire asistată de calculator - Învățare în manieră tradițională 	- Utilizarea scenariului de biologie din cadrul platformei de realitate îmbogățită (Augmented Reality Teaching Platform - ARTP), dezvoltate în cadrul proiectului ARiSE are efecte pozitive asupra rezultatelor învățării elevilor	- Rezultatele indică faptul că grupul de elevi care au utilizat ARTP pentru îndeplinirea sarcinilor de învățare a obținut rezultate mai bune decât celelalte două grupuri, materializate în: o mai bună reținere a numelor organelor sistemului digestiv.	Chestionare pre-test și post-test

3. Metodologie

3.1 Protocolul „gândire cu voce tare”

Protocolul “gândire cu voce tare” (Think aloud protocol - TAP) este o metodă utilizată pentru a obține date în testarea utilizabilității, în proiectarea

și în dezvoltarea de produse. Această metodă este folosită frecvent în ultima perioadă în cercetările de tip educațional datorită bogăției de date care pot fi derivate. În cadrul acestei cercetări, TAP a fost utilizat în combinație cu metoda învățării în perechi pe parcursul unor sesiuni separate de testare cu utilizatori.

TAP presupune ca participanții să gândească cu voce tare în timp ce parcurg un set de sarcini specificate. Utilizatorii sunt rugați să descrie tot ceea ce privesc, gândesc, fac și simt pe măsură ce îndeplinesc sarcina. Aceasta permite observatorilor să vadă la „prima mână” procesul îndeplinirii sarcinii (mai curând decât produsul său final). Observatorii la testare sunt rugați să ia notă în mod obiectiv de tot ceea ce spun utilizatorii, fără a încerca să le interpreteze acțiunile și cuvintele. Sesiunile de testare sunt cel mai adesea înregistrate audio și video, astfel încât cei care se ocupă de dezvoltare se pot întoarce la ceea ce au spus participanții și pot vedea cum au reacționat. Scopul acestei metode este de a face explicit ceea ce este implicit prezent la nivelul subiectului care este capabil să îndeplinească o sarcină specifică.

O metodă apropiată dar puțin diferită de colectare a datelor este „talk-aloud” protocol (protocolul “vorbire cu voce tare”). Acesta presupune ca participanții doar să descrie propriile acțiuni, fără a da însă explicații. Această metodă este gândită a fi mai obiectivă deoarece participanții mai degrabă prezintă cum ajung la îndeplinirea sarcinii decât să interpreteze și să-și justifice acțiunile (Ericsson & Simon, 1993).

Avantajele principale ale protocolului gândirii cu voce tare constau într-o mai bună înțelegere a modelului mental al utilizatorului și a interacțiunii cu produsul: ce fac utilizatorii, de ce fac ceea ce fac și cum fac (Nielsen, 1997). TAP permite utilizatorilor să exprime, într-o secvență de pași cum utilizează un produs pentru a îndeplini sarcinile solicitate. Dacă această secvență de pași este diferită de cea așteptată, probabil că interfața ar trebui revizuită. (Zhang, 2003)

Procedura de lucru pentru TAP constă într-o fază de pregătire urmată de un număr de sesiuni de testare, de regulă câte una pentru fiecare utilizator. În faza de pregătire persoanele care realizează testarea se familiarizează ei înșiși cu mediul de lucru în care sistemul urmează a fi utilizat, se definesc sarcinile și se recrutează utilizatori. Sesiunile de testare sunt administrate de

către un facilitator, care poate fi în același timp persoana care apreciază când utilizatorii întâmpină probleme.

Fiecare sesiune începe cu o introducere pentru a familiariza utilizatorii cu situația de testare și pentru a-i informa cu privire la ceea ce au de făcut. În introducere, facilitatorul trebuie să învețe utilizatorul cum să gândească cu voce tare, experiența indicând că fără instructaj și anumite încurajări pe parcursul sesiunilor de testare doar o mică parte dintre utilizatori sunt în măsură să ofere rapoarte verbale consistente. Sesiunea de testare se inițiază prin citirea cu voce tare a primei sarcini și predarea ei utilizatorului care o rezolvă în timp ce gândește cu voce tare. După terminarea primei sarcini, următoarea este prezentată în aceeași manieră și așa mai departe. În momentul în care utilizatorul a terminat toate sarcinile, sau când timpul rezervat sesiunii de testare a expirat, utilizatorul este încurajat să ofere orice feedback suplimentar cu privire la sistem. După parcurgerea sesiunilor de testare, evaluatorul elaborează o listă completă a problemelor de utilizabilitate detectate.

În această cercetare, metoda TAP a fost aplicată în combinație cu metoda învățării în perechi, elevii care au participat la sesiunile TAP având sarcina de a instrui alți elevi în cadrul sesiunilor de învățare în perechi.

3.2 Învățarea în perechi

Învățarea în perechi este o metodă de evaluare a aplicațiilor software destinate copiilor, în care un copil învață alt copil cum să utilizeze un produs, într-o ambianță socială familiară. Abordarea de la care s-a plecat în această cercetare a fost considerarea aplicației ca fiind o parte din jocul copiilor, astfel încât procesul de învățare a fost analog cu explicarea regulilor unui joc. Dacă aplicația e ușor de predat și învățat, numărul de potențiali utilizatori va crește într-un mediu cum este cel școlar.

În domeniul relațiilor sau colaborării în perechi sunt folosite nenumărate paradigme teoretice și experimentale (de la abordări psihanalitice până la psihologia socială sau psihopedagogie). Cercetători din domeniul HCI (Human Computer Interaction) pentru copii, precum Cassell și Ryokai (2001), Stewart et al. (1999), Stanton et al (2001), Inkpen et al (1999) consideră că tehnologiile colaborative încurajează învățarea în perechi.

Principala paradigmă a interacțiunii cu calculatorul pleacă de la premisa că există un singur utilizator pentru fiecare calculator (Inkpen et al. 1999).

Mai multe cercetări (Benford et al., 2000, Inkpen et al., 1995, Stewart et al., 1998; Stanton et al. 2001) arată că, de fapt, copiii le place și au de câștigat din colaborarea cu alți copii atunci când folosesc aplicații informatice. După cum sugerează Inkpen et al (1995), “copiii se adună în grupuri în mod natural, mai ales pentru a se juca”. Tehnologiile informatice bazate pe colaborare pot conduce la învățarea copiilor de noi abilități sociale.

Atunci când se realizează proiectarea unor medii interactive din punct de vedere fizic pentru copii, sunt necesare metode de proiectare și de evaluare a utilizabilității, atât centrate pe copii, cât și participative.

Metoda învățării în perechi reprezintă o abordare specifică evaluării utilizabilității aplicațiilor informatice destinate copiilor. Mai multe definiții ale utilizabilității aplicațiilor informatice pentru copii sunt legate de capacitatea și dorința unui copil de a-l învăța pe altul cum să o folosească. Acest lucru permite propagarea cunoștințelor între copii. Cu alte cuvinte, folosirea unui soft este ușor de învățat în măsura în care este ușor de predat. Această ușurință poate determina creșterea numărului de utilizatori. Folosirea învățării în perechi a ajutat la evaluarea aplicației, dar și la obținerea unor informații importante despre modul în care copiii folosesc sistemul sau comunică despre acesta (ce fel de indicații și termeni folosesc și unde anume diferă limbajul lor de cel folosit de proiectanții aplicației sau de adulți în general).

Cum ar trebui definită utilizabilitatea atunci când utilizatorii sunt copii? Mulți cercetători din domeniul tehnologiilor pentru copii sunt de acord că nu este clar dacă definiția standard este potrivită în acest caz. Hanna et al (1999, p. 4) afirmă că “utilizabilitatea unui produs este strâns legată de măsura în care copilul se bucură de acesta”. Druin et al. (1999, p. 67) sugerează că dacă un instrument este ușor de învățat și controlat, atunci copiii se vor implica repede în experimentarea acestuia. Nielsen (1993, p. 27) spune că ușurința de a învăța modul de utilizare este atributul cel mai important al utilizabilității.

3.3 Utilizatori și sarcini

Sesiunile de testare a aplicației de chimie s-au realizat în perioada 4-16 martie 2010. La testare au participat 10 elevi de la Școala Nr. 193 din

București însoțiți de un cadru didactic. Elevii au avut de îndeplinit 5 sarcini: parcurgerea unei lecții introductive și 4 exerciții.

3.4 Procedură

Testarea ARTP a fost efectuată în prezența unui evaluator cu rol de facilitator, care a înregistrat protocolul „gândire cu voce tare”. În prima etapă, 5 dintre elevi au testat aplicația de chimie a ARTP pe baza protocolului „gândire cu voce tare”. Procedura de lucru pentru TAP a constat, pentru fiecare utilizator, în patru etape: introducere, exercițiul de „încălzire”, sarcinile de „gândire cu voce tare” și o discuție concluzivă. Sesiunile de testare au fost înregistrate audio și video.

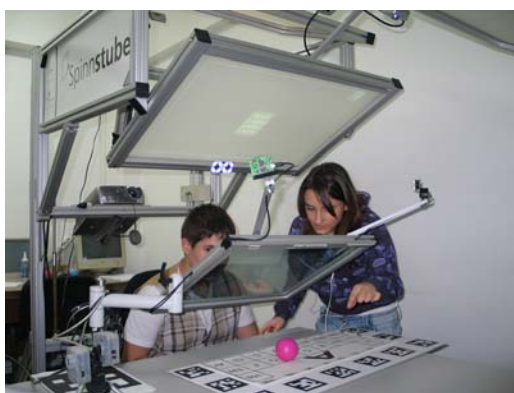


Figura 1. Sesiune de evaluare utilizând metoda învățării în perechi

Sesiunea de testare a fost inițiată prin citirea cu voce tare a primei sarcini și prezentarea ei utilizatorului. După terminarea primei sarcini, următoarea sarcină a fost prezentată în aceeași manieră. Regulile sesiunii de testare au fost următoarele:

- Facilitatorul nu va putea să răspundă la nicio întrebare în timpul observării.
- Dacă participanții au întrebări, să le pună, dar nu vor primi răspuns decât după încheierea sesiunii.
- Dacă participanții tac pentru mai mult de 30 secunde, vor fi rugați să continue să vorbească.

Discuția concluzivă a fost inițiată după ce elevul a parcurs toate sarcinile, sau când timpul rezervat sesiunii de testare a expirat.

Apoi, fiecare dintre cei 5 elevi care au testat ARTP în prima fază, a jucat rolul de instructor pentru unul dintre cei 5 elevi care nu au lucrat cu platforma. Ei au avut sarcina să îi instruiască pe elevii care nu au participat la sesiunile TAP cu privire la modul de utilizare a ARTP și cu privire la realizarea sarcinilor de lucru. Au rezultat astfel, 5 perechi de elevi care au interacționat activ în vederea realizării sarcinilor prezentate. După parcurgerea sesiunilor de testare, toți elevii au completat un scurt chestionar în care au menționat principalele puncte tari și limite ale tehnologiei utilizate.

4. Rezultate

Înregistrările sesiunilor de „gândire cu voce tare” au fost analizate și supuse metodei analizei de conținut în vederea identificării unităților de înregistrare, de context și de numărare. Pe parcursul sesiunilor de învățare în perechi majoritatea elevilor au reușit să colaboreze optim astfel încât, la finalul exercițiilor, au comunicat cea mai mare parte a informațiilor de care era nevoie pentru îndeplinirea sarcinilor.

4.1 Analiza de conținut

Aspecte pozitive

În tabelul 2 este prezentată o sinteză a principalelor aspecte pozitive, identificate pe baza analizei de conținut a răspunsurilor elevilor, grupate în 5 categorii.

Rezultatele evaluării confirmă, la un nivel mult mai detaliat, rezultatele obținute în evaluarea utilizabilității (Iordache et al, 2008), și anume faptul că aplicația de chimie este un instrument folositor pentru învățare, care crește motivația elevilor prin caracterul interesant, atractiv și inovativ al tehnologiei AR.

Tabelul 2. Avantaje ale tehnologiei AR pentru învățare

Categorie	Frecvență
Sistemul facilitează învățarea	14

Interesant și motivant	10
Vizualizare interactivă 3D	8
Instrument inovativ	4
Feedback vizual și auditiv	3
Total	39

Figura 2 prezintă distribuția procentuală a aspectelor pozitive identificate de elevii care au participat la evaluarea pe bază de protocol „gândire cu voce tare”. Cea mai mare parte a aprecierilor pozitive au fost legate de faptul că ARTP este un instrument care facilitează învățarea cunoștințelor de chimie. Afirmările care subliniază caracterul motivant al învățării cu ARTP și atractivitatea generată de vizualizarea tridimensională au fost reprezentate prin procente ridicate din totalul aspectelor pozitive.

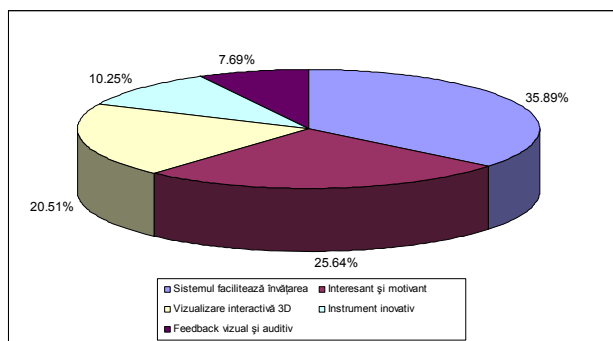


Figura 2. Distribuția procentuală a aspectelor pozitive – evaluare TAP

În proporții mai reduse, elevii au apreciat calitatea de instrument inovativ a ARTP și feedback-ul vizual și auditiv oferit pe parcursul sesiunilor de lucru.

Aspecte negative

Majoritatea elevilor au menționat și aspecte negative cu privire la lucrul cu ARTP. Așa cum se observă în tabelul 3, acestea sunt probleme de utilizabilitate grupate în 4 categorii. Prima categorie cuprinde: probleme de suprapunere, probleme de funcționare și probleme legate de calitatea sunetului.

Tabelul 3. Dezavantaje ale tehnologiei AR pentru învățare

Categorie	Frecvență
Probleme tehnice	12
Disconfort vizual	8
Probleme cu obiectele reale	5
Probleme de ergonomie	2
Total	27

Mulți elevi s-au plâns de probleme cu ochelarii și au acuzat dureri de ochi după sesiune. Lipsa de familiaritate cu sistemul a creat dificultăți elevilor în controlarea interacțiunii și selectarea atomilor. Câțiva elevi s-au plâns de disconfort în utilizarea căștilor și de complexitatea platformei.

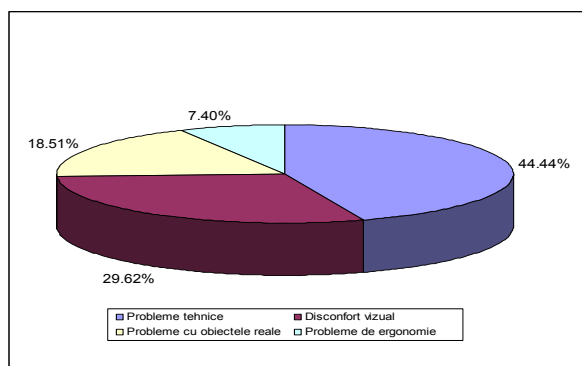


Figura 3. Distribuția procentuală a aspectelor negative – evaluare TAP

În Figura 3 este prezentată distribuția procentuală a problemelor identificate de elevii care au participat la evaluarea pe bază de protocol „gândire cu voce tare”. Aproape jumătate din totalul problemelor identificate au fost legate de probleme tehnice apărute ca urmare a calibrării deficitare a dispozitivelor, a erorilor software și a problemelor de calitate a sunetului. A doua categorie majoră de probleme identificate a fost legată de disconfortul vizual resimțit de elevi pe parcursul sesiunilor de lucru, cauzat de ajustarea necorespunzătoare a ochelarilor stereo și de suprapunerea imprecisă dintre informațiile virtuale și obiectele reale. Cu o pondere mai

redușă elevii au menționat probleme de ergonomie legate de dimensiunile și confortul postului de lucru.

4.2 Analiza rezultatelor învățării în perechi

Pe baza analizei fișelor de observație și a înregistrărilor sesiunilor de învățare în perechi, s-au desprins următoarele constatări:

- Elevii au comunicat cu ușurință și s-au implicat activ în realizarea sarcinilor;
- La începutul fiecărei sesiuni au existat momente de perturbare a comunicării datorită suprapunerii informațiilor pe care elevii care lucrau cu ARTP le primeau în căști cu informațiile primite de la elevul cu rol de instructor;
- Majoritatea elevilor care au participat la sesiunile de TAP au avut, inițial, tendința de a oferi informații sumare cu privire la utilizarea dispozitivelor platformei, însă au revenit cu completări pe parcursul îndeplinirii sarcinilor;
- Elevii care lucrau cu ARTP au solicitat ajutorul colegilor mai ales atunci când trebuiau să selecteze atomi situați la extremitățile tabelului periodic;
- Elevii care au avut rolul de „profesor” au oferit cu generozitate indicații, instrucțiuni și exemple celor pe care îi asistau;
- Timpul de îndeplinire a sarcinilor a fost semnificativ mai redus decât cel al elevilor care au lucrat individual cu ARTP.
- De cele mai multe ori, situațiile de dificultate în îndeplinirea sarcinilor au fost abordate cu umor și degajare.

5. Concluzii

Rezultatele folosirii TAP combinat cu metoda învățării în perechi au fost promițătoare și au demonstrat că aceste metode sunt utile nu doar pentru detectarea și remedierea problemelor de utilizabilitate, ci și pentru evaluarea potențialului educativ al tehnologiei supuse studiului. Metodologia utilizată în această lucrare a permis:

1. observarea mai multor elevi cărora li s-a creat un mediu în care se simt confortabil chiar dacă au fost înregistrați;
2. reducerea problemelor cauzate de relația adult-copil, gen autoritate sau diferențe de limbaj și cunoștințe;
3. oferirea unui context social natural unde elevii au lucrat precum într-o situație din lumea reală.

Referințe

- Benford, S., Bederson, B.B., Akesson, K., Bayon, V., Druin, A., Hansson, P., Hourcade, J.P., Ingram, R., Neale, H., O'Malley, C., Simsarian, K., Stanton, D., Sundblad, Y., Taxe'n, G., (2000), Designing storytelling technologies to encourage collaboration between young children. *CHI 2000*, 556–563.
- Cassell, J., Ryokai, K., (2001), Making space for voice: technologies to support children's fantasy and storytelling. *Personal Technologies 5 (3)*, 203–224.
- Druin, A., (1999). Cooperative Inquiry: Developing New Technologies for Children with Children, *Proceedings of CHI'99*, ACM Press 592–599.
- Ericsson, K., & Simon, H. (1993), *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data* (2nd ed.). Boston: MIT Press.
- Hanna, L., Risdien, K., Czerwinski, M., Alexander, K., (1999), The role of usability research in designing children's computer products. In: Druin, A., (Ed.), *The Design of Children's Technology*, Morgan Kaufmann, San Francisco, 4–26.
- Inkpen, K., Ho-Ching, W., Kuederle, O., Scott, S., Shoemaker, G. (1999), This is fun! We're all best friends and we're all playing: supporting children's synchronous collaboration. *Proc. CSCS '99*, Stanford, CA December, 252–259.
- Iordache, D.D., Pribeanu, C. (2009). Comparison of Quantitative and Qualitative Data from a Formative Usability Evaluation of an Augmented Reality Learning Scenario, *Informatica Economică Journal*, 13(3), 67-74.
- Iordache, D., Pribeanu, C. (2009) "Evaluarea valorii motivaționale a unui sistem de realitate îmbogățită destinat învățării biologiei". *Revista Română de Interacțiune Om-Calculator 2(Număr Special RoCHI 2009)*, 39-56.
- Iordache, D.D., Pribeanu, C., Balog, A. (2008), Evaluarea formativă a utilizabilității unui scenariu de învățare a chimiei implementat pe o platformă educațională de realitate îmbogățită, *Revista Română de Informatică și Automatică. 2*, 5-14.
- Iordache, D., Pribeanu, C. (2007), Augmented reality for education: some preliminary results regarding usability evaluation. *Proc. IE 2007*, 121-126.
- Johnson, B., Christensen, L. (2008). *Educational research, Quantitative, Qualitative, and*

- Mixed Approaches* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Kaufmann, H. & Dünser, A. (2007), Summary of Usability Evaluations of an Educational Augmented Reality Application, *Proc. HCII 2007*, Beijing, China, 660-669.
- Kaufmann, H. (2003), Collaborative Augmented Reality in Education. Keynote speech *Imagina 2003*, Feb. 3 2003. Proceedings CDRom.
- Kaufmann, H. & Schmalstieg, D.(2003), Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality, *Computer & Graphics*, 27, 339-345.
- Lamanauskas, V., Pribeanu, C., Vilkonis, R., Balog, A., Iordache, D.D., Klangukas, A. (2007) Evaluating the educational value and usability of an augmented reality platform for school environments: some preliminary results. *Proc. WSEAS/IASME 2007 Mathematics and Computers in Science and Engineering*, 86-91.
- Nielsen, J. (1997), Usability Testing. *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. G. Salvendy, John Wiley and Sons, 1543-1568.
- Nielsen, J. (1993), *Usability Engineering*. Academic Press, London.
- Stanton, D., Bayon, V., Neale, H., Ghali, A., Benford, S., Cobb, S., Ingram, R., O'Malley, C., Wilson, J., Pridmore, T., (2001), Classroom collaboration in the design of tangible interfaces for storytelling. *Proceedings CHI 2001*, ACM Press 2001, 482-489.
- Stewart, J., Raybourn, E.M., Bederson, B., Druin, A., (1998), When two hands are better than one: enhancing collaboration using single display groupware. *Proc. CHI'98*, 287-288.
- Tang, Arthur, Owen, Charles, Biocca, F. and Mou, Weimin (2003), Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. *Proc. CHI 2003*, 73-80.
- Vilkoniene, M. (2009), Influence of augmented reality technology upon pupils' knowledge about human digestive system: The results of the experiment. *US-China Education Review*, 6(1).
- Wind J., Riege K., Bogen M. (2007). Spinnstube: A Seated Augmented Reality Display System. *Proc.IPT-EGVE 2007*,17-23.
- Zhang, Z. W. (2003), *Usability Evaluation Methods*, Drexel University.