

VALOAREA EDUCAȚIONALĂ A UNEI APLICAȚII DE ÎNVĂȚARE A CHIMIEI – REZULTATE PRELIMINARE PE BAZA UNUI STUDIU PILOT

Costin Pribeanu

Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare în Informatică, ICI - București

pribeanu@ici.ro

Rezumat: Sistemele educaționale bazate pe realitate îmbogățită permit integrarea obiectelor reale în mediul informatic și creează un spațiu de interacțiune multimodală care este deopotrivă familiar și atractiv pentru elevi. Acest articol prezintă o abordare în evaluarea valorii educaționale a unei aplicații de învățare a chimiei, care are la bază dezvoltarea și estimarea unui model de măsurare formativ. Rezultatele preliminare obținute în cadrul unui studiu pilot arată că aplicația ajută înțelegerea structurii chimice a atomului, înțelegerea tabelului periodic și facilitează implicarea activă a elevului în procesul de învățare.

Cuvinte cheie: e-learning, valoare educațională, realitate îmbogățită, model de măsurare formativ.

Abstract: Educational systems based on augmented reality are able to integrate real objects in a computing environment and create a multimodal interaction space which is both familiar and attractive to students. This paper presents an approach that is based on the development of a formative measurement model to the evaluation of the educational value of a Chemistry learning scenario. The preliminary results from a pilot study show that the application helps to understand the chemical structure of the atom, helps to understand the periodic table and facilitates an active involvement of the learner in the learning process.

Key Words: e-learning, educational value, augmented reality, formative measurement model.

1. Introducere

Tehnologia informatică bazată pe realitate îmbogățită – AR (Augmented Reality) are un potențial remarcabil de a servi cerințele școlii actuale, care pun în prim plan implicarea activă a elevului în procesul de învățare. Sistemele educaționale bazate pe AR oferă noi paradigme de interacțiune care permit integrarea obiectelor reale în mediul informatic. Spațiul de interacțiune om-calculator devine astfel mult mai familiar și mai atractiv pentru elev, informația fiind accesibilă pe mai multe canale (vizual, haptic și auditiv), cu efecte pozitive asupra valorii educaționale și motivaționale [4, 11, 16, 19].

În acest articol, se prezintă o abordare în evaluarea valorii educaționale a unei aplicații de realitate îmbogățită pentru învățarea chimiei. Aplicația a fost implementată pe platforma ARTP (Augmented Reality Teachin Platform), în cadrul proiectului european de cercetare ARiSE (Augmented Reality in School Environments). Obiectivul principal al proiectului a fost testarea eficacității pedagogice a introducerii tehnologiei AR în școli. ARiSE a creat o nouă tehnologie pentru învățare, în trei etape, rezultând trei prototipuri de cercetare. Al doilea prototip are ca disciplină țintă chimia pentru clasa a 8-a și cuprinde un program demo și trei lecții, care includ exerciții specifice disciplinei. Paradigma specifică implementată în acest scenariu de învățare, este construirea cu ghidare și are ca scop facilitarea învățării tabelului periodic al elementelor și a reacțiilor chimice.

O primă evaluare a ARTP a arătat potențialul deosebit al acestei tehnologii în creșterea eficacității pedagogice și motivației elevilor [15]. În scopul evaluării utilizabilității, valorii educaționale și motivaționale a aplicațiilor implementate pe platforma ARTP a fost elaborat un instrument de evaluare [17], având 28 de variabile care măsoară factorii de interes pentru un sistem educațional, pornind de la modelul de acceptare a tehnologiei (TAM – Technology Acceptance Model) definit de Davis et al. [5]. Pe baza acestui chestionar au fost făcute numeroase studii [3, 12, 17, 18] care au evidențiat câteva aspecte importante privind utilizarea tehnologiei AR în școli, dar au permis și identificarea unor limite ale instrumentului de evaluare. Din acest motiv, în 2012 a fost elaborat un nou instrument de evaluare, cu o arie de acoperire mai largă și a fost demarat un studiu

pilot în vederea analizei și finalizării chestionarului.

Scopul articolului este de a măsura influența pe care o are potențialul oferit de tehnologia AR asupra învățării chimiei. Prin potențialul oferit de tehnologia AR ne referim la tehnicile specifice de interacțiune implementate în aceasta aplicație, care includ: vizualizare tridimensională, animație, interfață vocală pentru predare și ghidare a interacțiunii, manipulare directă și feedback haptic. Într-o lucrare recentă, care utilizează datele obținute în cadrul studiului pilot [13], a fost prezentată influența pe care aceste elemente o au asupra eficacității și eficienței pedagogice, pe baza analizei corelației și a regresiei multiple. În acest articol, ne interesează efectele asupra valorii educaționale în general, iar abordarea are la bază dezvoltarea și estimarea unui model de măsurare formativ.

Restul articolului este organizat după cum urmează. În secțiunea următoare, vom prezenta succint câteva abordări recente în domeniul validării și estimării modelelor formative de măsurare. În secțiunea 3, vom descrie metoda și experimentul. În secțiunea 4, vom prezenta modelul de măsurare și rezultatele obținute. Lucrarea se încheie cu concluzii și direcții de continuare a cercetărilor.

2. Cercetări recente în estimarea modelelor formative de măsurare

2.1 Modele de măsurare reflectiv și formativ

În evaluarea sistemelor informatice se face distincție între două tipuri de variabile: variabile latente (constructe), care nu pot fi măsurate direct și variabile observate (indicatori sau itemi) care pot fi măsurate direct. De asemenea, în modelarea și estimarea influențelor pe care o au diferiți factori de interes, se face distincție între două concepte: model de măsurare și model structural. Modelul de măsurare descrie relația dintre construct și măsurile acestuia (itemi sau indicatori) în timp ce modelul structural descrie relația între diferite constructe [8].

Așa cum arată Anderson și Gerbing, specificarea corectă a modelului de măsurare este o condiție necesară înainte de a analiza relațiile cauzale pe baza modelului structural [1]. În acest sens, relația cauzală dintre construct și măsuri poate fi de la construct la măsuri (model reflectiv) sau de la măsuri la construct (model formativ), așa cum se arată în Figura 1.

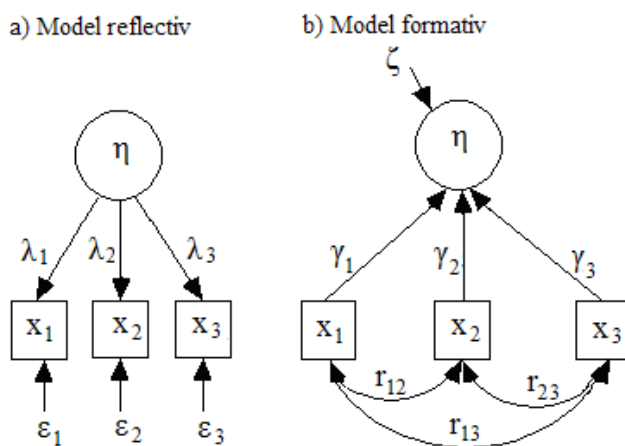


Figura 1. Modele de măsurare

În modelul de măsurare reflectiv, relația cauzală este de la construct la indicatori, denumiți și variabile manifest, care sunt manifestări ale variabilei latente. O modificare în variabila latentă determină modificări simultane în toate variabilele manifest. Relațiile cauzale dintre variabila latentă și fiecare indicator sunt relații de regresie simplă. Toate măsurile în acest model de măsurare trebuie să fie corelate pozitiv iar modelul trebuie să demonstreze validitate convergentă și discriminantă. Întrucât măsoară același lucru, indicatorii sunt interschimbabili [8, 14].

O alternativă este modelul de măsurare formativ (index formativ), în care relația cauzală este de la măsuri la construct. În acest model indicatorii nu sunt interschimbabili (fiecare capturează o cauză distinctă), nu există ipoteze specifice asupra corelațiilor dintre indicatori, iar aceștia nu au asociat un termen de eroare. Relația cauzală dintre variabila latentă și indicatori este o relație de regresie multiplă [6, 7, 14].

2.2 Validarea și estimarea modelelor formative

În ceea ce privește validitatea, cerințele de consistență internă a scalei și unidimensionalitate nu sunt aplicabile modelelor formative. Literatura de specialitate recomandă validitatea de conținut, validitatea indicatorilor și validitatea externă [6, 7, 14]. Referitor la conținut, este necesară acoperirea domeniului, având în vedere că în acest caz măsurile definesc constructul și nu invers. Indicatorii trebuie să aibă coeficienți de regresie (γ) semnificativi.

Un model formativ izolat este neidentificat și ca atare nu poate fi estimat. Diamantopoulos et al. [7] menționează trei căi de identificare a modelelor formative, bazate pe regula 2+ (specificarea a două efecte ale variabilei latente asupra altor variabile), și anume: adăugarea de doi indicatori reflectivi, adăugarea a două constructe măsurate reflectiv și adăugarea unui construct reflectiv și a unui indicator reflectiv.

Estimarea modelului trebuie să demonstreze, prin indicii de calitate (adecvare) ai modelului, faptul că variabila latentă măsurată formativ are efecte semnificative și că mediază complet efectele indicatorilor asupra variabilelor efect [9].

Estimarea aceluiași index cu alte variabile efect produce alte rezultate, atât în ceea ce privește relațiile cauzale cât și varianța explicată de către model. Din acest motiv se recomandă ca specificarea variabilelor efect să fie parte din specificarea constructului formativ și nu o etapă ulterioară. Cadrul de lucru teoretic avut în vedere și variabilele efect alese determină setul de indicatori ales (domeniul indexului), iar realizarea empirică variază de la un studiu la altul [7, 9].

3. Metodă

3.1 Echipament și sarcini

ARTP este un mediu AR de tip desktop [20]: utilizatorii au în față un ecran „see-through” pe care sunt suprapuse imagini ale obiectelor virtuale peste imaginea observată a unui obiect real. Figura 2 ilustrează o elevă care testează aplicația de chimie, efectuând un exercițiu din Lecția 2.

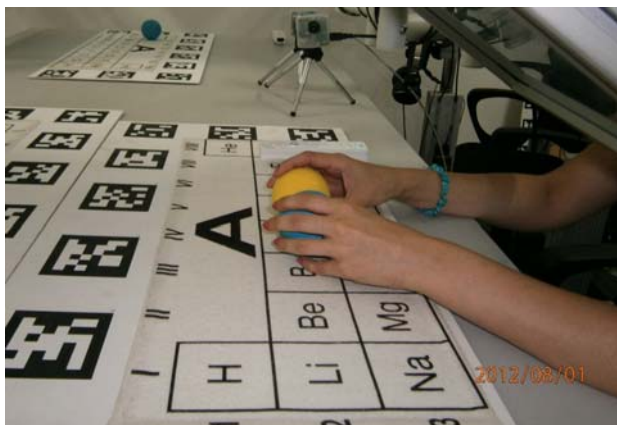


Figura 2. Un exercițiu din lecția 2

În cazul scenariului de chimie, obiectele reale sunt tabelul periodic al elementelor și un set de bile colorate simbolizând atomi. Tabelul periodic are două părți: partea A, prezentând simbolurile

elementelor chimice, și partea B, prezentând doar numerele grupelor și ale perioadelor. Partea B este utilizată pentru a testa măsura în care elevii au înțeles structura internă a atomilor. Fiecare post de lucru a avut propriul tabel periodic și un set de bile colorate (4 culori). Pentru selectarea unui item din meniu a fost utilizată o telecomandă Wii Nintendo.

Scenariul de învățare a chimiei are o introducere (program demo) și trei lecții. În introducere se prezintă structura chimică a atomului și se demonstrează modul de interacțiune cu obiecte reale. Prima lecție explică modul de aranjare a elementelor chimice în tabelul periodic și are 2 exerciții. A doua lecție are ca subiect modul de formare a moleculelor din atomi și legăturile chimice. Lecția are 8 exerciții. Ultima lecție este despre reacții chimice și are 3 exerciții.

Prin plasarea unei bile colorate pe un element din tabelul periodic, bilele de culoarea respectivă capătă semnificația unui atom al aceluia element și pot fi folosite ulterior pentru crearea de molecule. În mod similar, elevul poate simula o reacție chimică între două molecule, prin crearea prealabilă a acestora.

3.2 Participanți și procedură

Un număr de 71 de elevi din clasa a 7-a (35 băieți și 36 fete) au testat aplicația într-o sesiune de 30 min. Elevii provin de la 8 școli din București și au venit la testare însoțiți de profesori. Testarea a avut loc la sfârșitul semestrului 2, în perioada mai-iunie 2012.

După testare, elevii au răspuns la întrebările din chestionar, evaluând fiecare item pe o scală Likert de la 1 la 5.

3.3 Chestionar

Pe baza rezultatelor obținute în studiile anterioare, a fost dezvoltat un nou instrument de evaluare. În acest articol, ne vom referi numai la 10 itemi din chestionar. Mai multe detalii privind celelalte variabile latente și observate vor fi date în viitorul apropiat, după rafinarea chestionarului.

Chestionarul prezentat în Tabelul 1 are 8 itemi care măsoară capacități specifice ale ARTP și 2 itemi care măsoară utilitatea percepută. Detalii privind primii 8 itemi și relevanța acestora pentru învățarea chimiei au fost prezentate într-o lucrare anterioară [13]. Ultimii doi itemi fac parte dintr-un construct reflectiv, care măsoară utilitatea percepută.

Tabelul 1. Instrumentul de evaluare

No.	Variabila
AR1	Augmentarea ajută înțelegerea structurii chimice a atomului
AR2	Construirea unei molecule din atomi ajută înțelegerea chimiei
AR3	Simularea unei reacții chimice cu ARTP mă ajută să o înțeleg mai bine
AR4	Interacțiunea cu bile colorate reprezentând atomi este o idee bună
AR5	Utilizarea ARTP ajută înțelegerea tabelului periodic
AR6	Efectuarea exercițiilor cu ARTP este utilă pentru testarea cunoștințelor de chimie
AR7	Explicațiile vocale ajută interacțiunea cu ARTP
AR8	Când utilizez ARTP simt că dețin controlul asupra procesului de învățare
PU1	După utilizarea ARTP cunoștințele mele de chimie se vor îmbunătăți
PU2	ARTP ajută învățarea chimiei

4. Specificarea și estimarea indexului formativ

4.1 Specificarea indexului formativ

În acest studiu, capacitățile ARTP care au fost implementate în cadrul aplicației (AR-PU) sunt modelate ca un construct formativ având opt indicatori (AR1-AR8). Variabila latentă este independentă de indicatori (are termen de eroare). În vederea estimării constructului formativ au fost utilizați doi indicatori reflectivi, care măsoară utilitatea percepută (PU1, PU2). Acest tip de model este cunoscut și ca model MIMIC (Multiple Indicators Multiple Causes).

În prealabil, a fost făcută o analiză a datelor, pentru a verifica gradul de îndeplinire a condițiilor de normalitate. Pentru a reduce asimetria și valorile excesive, datele au fost transformate prin reflexie și extragerea rădăcinii pătrate. Utilizând o valoare $p < 0.001$ pentru distanța Mahalanobis s-a constatat că nu există valori excesive multivariate.

Estimarea preliminară a modelului a condus la eliminarea succesivă a patru dintre indicatori, care aveau coeficienți γ nesemnificativi. Denumirea variabilei denotă variabilele efect utilizate în model. Modelul MIMIC revizuit, care cuprinde patru indicatori formativi este prezentat în Figura 3.

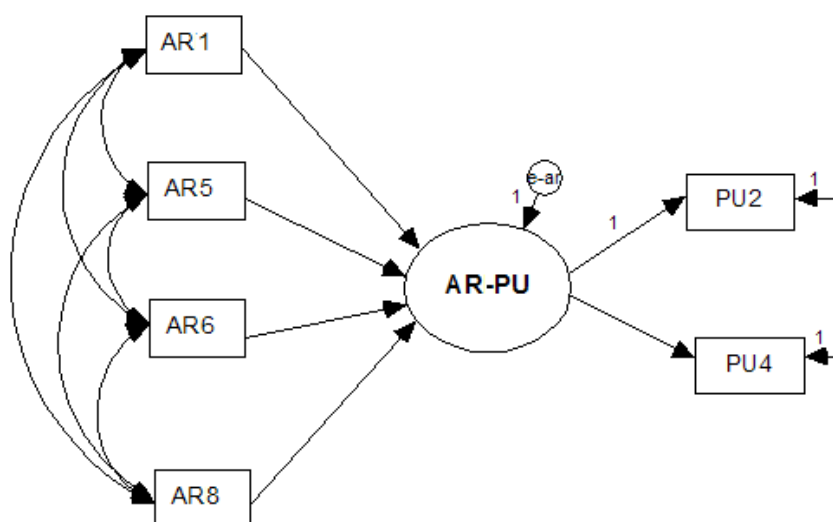


Figura 3. Modelul MIMIC revizuit

Indicatorii formativi care au fost reținuți în modelul revizuit sunt: AR1 (augmentarea ajută înțelegerea structurii chimice a atomului), AR5 (utilizarea ARTP ajută înțelegerea tabelului periodic), AR6 (efectuarea exercițiilor cu ARTP este utilă pentru testarea cunoștințelor de chimie) și AR8 (când utilizez ARTP simt că dețin controlul asupra procesului de învățare).

4.2 Estimarea indexului formativ

Estimarea modelului formativ revizuit a fost făcută cu programul AMOS v.17 [2]. Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 2. Așa cum se observă, toți indicatorii sunt semnificativi, justificând includerea în index.

Colinearitatea itemilor, analizată cu statistica VIF (*variation inflation factor*), a fost sub pragul recomandat. Analiza rezultatelor (indicii de modificare) denotă proporționalitatea efectelor structurale în ambele scenarii, (indexul mediază complet efectele) corespunzător cerințelor din [9].

Tabelul 2. Rezultatele estimării modelului MIMIC

AR-PU	(γ/β)	Sig. (p)
Cauze		
AR1	.36	< 0.001
AR5	.21	0.061
AR6	.30	0.005
AR8	.41	< 0.001
Efecte		
PU1	.77	< 0.001
PU2	.64	< 0.001

Indicii de adecvare ai modelului au valori foarte bune, peste pragurile minime recomandate de Hair et al. [10]: $\chi^2 = 0.244$, DF = 3, CF I = .1.000, GFI = .999, SRMR = 0.007. Variația totală explicată de model pentru AR-PU este 88%.

Cea mai importantă contribuție o are itemul AR8, ceea ce arată importanța implicării active a elevilor în procesul de învățare. Acest item este asociat cu posibilitățile oferite de paradigma de interacțiune (construire cu ghidare) în ceea ce privește selectarea unui element chimic (alegerea unei bile având culoarea dorită și plasarea pe tabelul periodic), construirea de molecule din atomi și simularea reacțiilor chimice. În ordinea contribuției asupra utilității percepute, urmează înțelegerea structurii chimice a atomului, efectuarea de exerciții și înțelegerea tabelului periodic.

5. Concluzii și direcții de continuare

Utilizarea modelelor de măsurare formativă este utilă pentru măsurarea diferitelor fațete ale unui construct compozit. În acest articol, a fost dezvoltat și estimat un index formativ care mediază contribuția unor capacități specifice tehnologiei AR asupra utilității percepute a scenariului de învățare a chimiei.

Rezultatele arată că utilitatea percepută a aplicației depinde în primul rând de înțelegerea structurii chimice a atomului, înțelegerea tabelului periodic, efectuarea de exerciții specifice mediului AR și sentimentul de control asupra procesului de învățare.

Există unele limite inerente unui studiu cu caracter explorator. În primul rând, rezultatele sunt preliminare, fiind obținute în cadrul unui studiu pilot, care are ca scop principal rafinarea instrumentului de evaluare. În al doilea rând, eșantionul este destul de mic în raport cu cerințele analizei pe baza sistemelor de ecuații structurate. Pe baza analizei datelor din eșantion, chestionarul va fi finalizat și va fi aplicat pe un număr mai mare de utilizatori.

Confirmare

Platforma ARTP a fost realizată în proiectul european ARiSE (FP6-027039). Aducem mulțumiri doamnelor profesoare care au însoțit elevii la testare: Mădălina Angelușiu (Sc. Gen. 45), Aurelia Abăluță (Sc. Gen. 170), Iuliana Shajaany și Andreea Dărguleț (C.N. „Ion Neculce”), Iuliana Dinu (Sc. Gen. 17), Claudia Puzdrea (Sc. Gen. 176), Camelia Stoican (Sc. Gen 197), Niculina Dogaru (Lic. Teoretic „Nicolae Iorga”) și Nicoleta Micu (Lic. Teoretic „Eugen Lovinescu”).

BIBLIOGRAFIE

1. **ANDERSON, J. C.; GERBING, D. W.:** Structural Equation Modelling in Practice: A Review and Recommended Two-Step Approach. *Psychological Bulletin* 103 (3), 1988, pp. 411-423.
2. **ARBUCKLE, J. L.:** AMOS 16.0 User's Guide. Amos Development Corporation, 2007.
3. **BALOG, A., PRIBEANU, C.:** The Role of Perceived Enjoyment in the Students' Acceptance of an AR Teaching Platform: A Structural Equation Modeling Approach, *Studies in Informatics and Control*, 19(3), 2010, pp. 319-330.
4. **BROM, C.; PREUSS, M.; KLEMENT, D.:** Are Educational Computer Micro-games Engaging and Effective for Knowledge Acquisition at High-schools? A Quasi-experimental Study. *Computers & Education* 57, 2011, pp. 1971-1988.
5. **DAVIS, F.D.:** Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly* vol. 13, no. 3, 1989, pp.319-339.
6. **DIAMANTOPOULOS, A.; WINKLHOFER, H.:** Index Construction with Formative Indicators: An Alternative to Scale Development. *Journal of Marketing Research* 28, 2001, pp. 269-277.
7. **DIAMANTOPOULOS, A.; RIEFLER, P.; ROTH, K.:** Advancing Formative Measurement Models. *Journal of Business Research* 61, 2008, pp. 1203-1218.
8. **EDWARDS, J.; BAGOZZI, R.:** On the Nature and Direction of Relationship Between Constructs and Measures. *Psychological Methods* 5(2), 2000, pp. 155-174.
9. **FRANKE, G.; PREACHER, K.; RIGDON, E.:** Proportional Structural Effects of Formative Indicators. *Journal of Business Research* 61, 2008, pp. 1229-1237.
10. **HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.:** *Multivariate Data Analysis*. 6th Ed., Prentice Hall, 2006.
11. **HAMZA-LUP, F.; MURREL, E.; LAPLANT, J.; BAIRD, W.; POPOVICI, D.M.:** Simulator vizualo-tactil (Visuo-Haptic) pentru reprezentarea conceptelor de frecare statică și dinamică. *Revista Română de Interacțiune Om-Calculator* 3(1), 2010, pp. 1-16.
12. **IORDACHE, D. D.; PRIBEANU, C.:** Comparison of Quantitative and Qualitative Data from a Formative Usability Evaluation of an Augmented Reality Learning Scenario. *Informatica Economică Journal*, 13(3), 2009, pp. 67-74.
13. **IORDACHE, D.D.; PRIBEANU, C.; BALOG, A.:** Influence of Specific AR Capabilities on the Learning Effectiveness and Efficiency. *Studies in Informatics and Control*, 21(3), 2012, in press.
14. **JARVIS, C.B.; MACKENZIE, S.; PODSAKOFF, M.:** A Critical Review of Construct Indicators and Measurement Models Misspecification in Marketing and Consumer Research. *Journal of Consumer Research* 30, 2003, pp. 199-218.
15. **LAMANAUSKAS, V.; PRIBEANU, C.; VILKONIS, R.; BALOG, A.; IORDACHE, D.D.; KLANGAUSKAS, A.:** 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*, 2007, pp. 86-91.
16. **LEE, E.A-L.; WONG K.W.; FUNG C.C.:** How Does Desktop Virtual Reality Enhance Learning Outcomes? A Structural Equation Modeling Approach. *Computers & Education* 55(4), 2010, pp. 1424-1442.
17. **PRIBEANU, C.; BALOG, A.; IORDACHE, D.D.:** Formative User-centered Usability Evaluation of an Augmented Reality Educational System. *Proceedings of ICSoft 2008 – The third International Conference on Software and Data Technologies, Porto 5-8 July, INSTICC*, pp. 65-72.

18. **PRIBEANU, C.; IORDACHE, D.D.:** Evaluating the Motivational Value of an Augmented Reality System for Learning Chemistry. Holzinger, A. (Ed.) Proceedings of USAB 2008. LNCS 5298 Springer, 2008, pp. 31-42.
19. **VOS, N.; MEIJDEN, H.; DENESSEN, E.:** Constructing Versus Playing an Educational Game on Student Motivation and Deep Learning Strategy Used. Computers & Education 56, 2011, pp. 126-137.
20. **WIND, J.; RIEGE, K.; BOGEN M.:** Spinnstube®: A Seated Augmented Reality Display System, Proceedings of IPT-EGVE – EG/ACM Symposium, 2007, pp. 17-23.