

INTEGRAREA ROBOTICII EDUCAȚIONALE ȘI A SENZORILOR DIGITALI ÎN PROCESUL DIDACTIC DIN PERSPECTIVA CONCEPTULUI „CLASA VIITORULUI”

Viorica JUC

profesor de informatică, grad didactic superior

LLMTI „Socrate”, Chișinău, Republica Moldova

e-mail: juc.viorica@clasaviitorului.md

Rezumat. Conceptul „Clasa Viitorului” propune reorganizarea spațiului și a activității de învățare în jurul unor zone funcționale și al unor tehnologii care permit elevului să investigheze, să creeze și să colaboreze. Robotica educațională și senzorii digitali pentru colectarea datelor se numără printre tehnologiile reprezentative ale acestui concept. Articolul analizează fundamentele teoretice și rezultatele cercetărilor privind utilizarea acestor tehnologii în învățământul general și prezintă experiența integrării lor la treapta liceală, în cadrul orelor de informatică cu caracter interdisciplinar STEAM. Cercetările evidențiază un efect pozitiv moderat al roboticii educaționale asupra rezultatelor învățării și asupra atitudinii elevilor, cu condiția ca tehnologia să fie integrată într-o proiectare didactică riguroasă, centrată pe elev. Experiența practică, realizată la clasele a X-a – a XII-a cu echipamente specifice conceptului „Clasa Viitorului”, evidențiază oportunitățile oferite de robotică și senzori pentru stimularea participării active a elevilor, aplicarea cunoștințelor teoretice în contexte practice și dezvoltarea competențelor de colaborare și rezolvare a problemelor. Totodată, observațiile din practică subliniază importanța planificării riguroase a timpului și a accesului la echipamente, a diferențierii sarcinilor și a valorificării pedagogice a erorilor și a limitelor tehnice. Pe baza analizei literaturii de specialitate și a experienței practice, sunt formulate recomandări metodologice privind proiectarea activităților de învățare, rolul profesorului și evaluarea competențelor dezvoltate de elevi.

Cuvinte-cheie: Clasa Viitorului, robotică educațională, senzori digitali, zone de învățare, învățare prin investigație, educație STEAM, învățământ liceal.

INTEGRATING EDUCATIONAL ROBOTICS AND DIGITAL SENSORS INTO THE TEACHING PROCESS FROM THE PERSPECTIVE OF THE “FUTURE CLASSROOM” CONCEPT

Abstract. The “Future Classroom” concept promotes the reorganisation of learning spaces and educational activities around functional zones and technologies that enable students to investigate, create, and collaborate. Educational robotics and digital data-logging sensors are among the key technologies associated with this concept. This article examines the theoretical foundations and research findings related to the integration of these technologies into general education, with a particular focus on interdisciplinary STEAM activities in computer science lessons at the upper secondary level. Research indicates a moderate positive effect of educational robotics on learning outcomes and students’ attitudes towards learning, particularly when technology is incorporated into well-structured, student-centred instructional practices. Practical experience in grades 10–12, using equipment typical of the “Future Classroom” concept, highlights the potential of robotics and sensors to foster active student engagement, facilitate the application of theoretical knowledge in real-world contexts, and develop collaboration and problem-solving skills. Classroom observations also emphasise the importance of careful planning of time and access to equipment, differentiated tasks, and the pedagogical use of errors and technical limitations. Drawing on both research evidence and practical experience, the article provides methodological recommendations for designing

learning activities, redefining the teacher's role as a facilitator, and assessing students' developing competencies.

Keywords: Future Classroom, educational robotics, digital sensors, learning zones, inquiry-based learning, STEAM education, upper secondary education.

1. Introducere

În ultimul deceniu, școlile din Republica Moldova au fost dotate treptat cu tehnologii care, până de curând, erau prezente doar în laboratoarele universitare sau în cercurile extrașcolare: seturi de robotică educațională, senzori digitali pentru măsurarea mărimilor fizice și chimice, imprimante 3D, ecrane interactive. O parte importantă a acestui proces s-a desfășurat în cadrul proiectului „Clasa Viitorului”, lansat în 2017 și dezvoltat ca parteneriat public-privat cu participarea Ministerului Educației și Cercetării (CNIDE, 2023; CNIDE, f.a.).

Dotarea tehnică nu garantează însă, de la sine, o schimbare a modului în care elevii învață. Un set de robotică poate fi folosit pentru reproducerea pas cu pas a unui model dat sau pentru rezolvarea unei probleme autentice, pe care elevul o formulează, o investighează și o argumentează. Un senzor poate înlocui o măsurătoare manuală sau poate deschide calea unei investigații în care elevul observă în timp real cum variază un fenomen. Diferența dintre aceste utilizări nu ține de tehnologie, ci de proiectarea didactică.

Problema este relevantă pentru învățământul secundar, unde se consolidează deprinderile de investigație, de raționament și de lucru în echipă, iar interesul pentru științe și tehnologie se transformă, adesea, în opțiune profesională. Totodată, analizele curriculumului și ale manualelor arată că sarcinile de tip STEAM sunt puțin prezente în documentele școlare (Braicov & Veverița, 2024), iar profesorii semnalează acces limitat la echipamente și nevoia unei formări practice (Gloabă & Gasnaș, 2024).

Scopul articolului este analiza fundamentelor teoretice și a rezultatelor cercetărilor privind integrarea roboticii educaționale și a senzorilor digitali în procesul didactic, din perspectiva conceptului „Clasa Viitorului”, și prezentarea unei experiențe de integrare a acestor tehnologii la treapta liceală, pe baza căreia sunt formulate recomandări metodologice.

2. Conceptul „Clasa Viitorului”

Conceptul își are originea în *Future Classroom Lab*, un spațiu de învățare deschis de European Schoolnet la Bruxelles în ianuarie 2012, pentru a arăta cum pot fi reorganizate spațiul clasei, rolurile elevului și ale profesorului și utilizarea tehnologiilor (European Schoolnet, f.a.). Spațiul este împărțit în șase zone de învățare, fiecare asociată unui tip de activitate: investigarea, crearea, prezentarea, schimbul de idei și colaborarea, dezvoltarea individuală și interacțiunea. Ideea centrală este că mobilierul, tehnologia și activitatea didactică se organizează în funcție de procesul de învățare urmărit, nu invers.

În Republica Moldova, conceptul a fost preluat de Centrul Național de Inovații Digitale în Educație „Clasa Viitorului” (CNIDE), care funcționează în cadrul Universității Pedagogice de Stat „Ion Creangă” și este membru al rețelei europene Future Classroom Lab (CNIDE, 2023). Proiectul s-a dezvoltat pornind de la programul național de robotică educațională; potrivit centrului, peste 13 000 de elevi din 130 de școli au beneficiat de ore de robotică, iar echipamentele tipice includ ecrane

interactive, seturi de robotică, imprimante 3D, laboratoare digitale, senzori, microcircuite și ochelari de realitate virtuală (CNIDE, f.a.). Centrul extins la UPSC în 2021 este organizat pe zone de învățare cu denumiri adaptate – *Prezentăm, Dezvoltăm, Explorăm, Inovăm, Comunicăm, Creăm* –, iar zona *Explorăm*, dedicată învățării prin investigație și prin proiect, reunește robotica, senzorii, imprimarea 3D și microscopul (UPSC, 2021).

Prin urmare, în logica „Clasei Viitorului”, robotica și senzorii nu sunt simple mijloace de ilustrare, ci instrumente ale zonelor de investigare și de creație, în care elevul construiește, măsoară, testează și își argumentează rezultatele.

3. Fundamente teoretice și rezultatele cercetărilor

3.1. Repere teoretice

Constructionismul. S. Papert (1980) a arătat că elevul învață cel mai eficient atunci când construiește un obiect concret și semnificativ pentru el – un program, un mecanism, un robot – și când poate observa efectele propriilor decizii. Robotica educațională este, în acest sens, una dintre cele mai directe aplicații ale constructionismului: elevul proiectează, programează și testează un dispozitiv, iar erorile devin vizibile și pot fi corectate.

Învățarea prin investigație. Senzorii digitali permit colectarea și reprezentarea grafică a datelor în timp real. Încă din anii '90, Thornton și Sokoloff (1990) au arătat că elevii care au studiat mișcarea folosind senzori conectați la calculator și-au însușit și au reținut conceptele de cinematică semnificativ mai bine decât cei instruiți prin prelegere. Explicația oferită de autori ține de legătura imediată dintre fenomenul observat și reprezentarea lui grafică, ceea ce eliberează timp pentru interpretare și discuție.

Integrarea tehnologiei în proiectarea didactică. Modelul TPACK (Mishra & Koehler, 2006) arată că utilizarea eficientă a tehnologiei presupune ca profesorul să coreleze cunoașterea disciplinei, a pedagogiei și a tehnologiei. În spațiul național, R. Dumbrăveanu a fundamentat conceptul de e-didactică, ca dezvoltare a didacticii în condițiile integrării tehnologiilor informaționale, centrată pe proiectarea învățării și pe rolul profesorului care facilitează construirea cunoașterii de către elev (Dumbrăveanu, 2020). Principiul alinierii dintre finalitățile urmărite, activitățile de învățare și evaluare (Schreurs & Dumbrăveanu, 2014) este esențial și pentru activitățile cu robotică și senzori: dacă elevul a învățat prin investigație, și evaluarea trebuie să vizeze procesul de investigație, nu doar produsul final, în acord cu tendințele actuale în evaluarea elevilor (Dumbrăveanu & Nica, 2023). Ghidul „Pixeli spre inovație”, elaborat în contextul programului „Clasa Viitorului”, oferă repere pentru proiectarea lecțiilor după modelul 5E și pentru organizarea proiectelor STEAM, în care senzorii și dispozitivele digitale sunt folosite pentru colectarea datelor în etapa de investigare (Dumbrăveanu, 2023).

3.2. Constatări din literatura de specialitate

Robotica educațională. Revizuirea sistematică a lui Benitti (2012) a constatat că, în majoritatea studiilor analizate, robotica a contribuit la învățarea unor concepte de matematică și fizică și la dezvoltarea abilităților de rezolvare a problemelor, dar a semnalat și studii fără efecte semnificative, precum și limite metodologice ale cercetărilor. Meta-analiza recentă realizată de Ouyang și Xu (2024), pe 21 de studii publicate între 2010 și 2022, a identificat un efect pozitiv

moderat al roboticii educaționale asupra învățării în domeniile STEM ($g = 0,49$), mai puternic asupra rezultatelor învățării ($g = 0,67$) și asupra atitudinii elevilor ($g = 0,50$). Efectul asupra gândirii algoritmice nu a fost semnificativ, însă numărul de studii pe această dimensiune era mic. Intervențiile mai lungi de o lună, activitățile pe bază de proiect și lucrul în grup au avut efecte mai mari decât prelegerea și activitățile scurte. Autorii subliniază că rolul profesorului este „important și de neînlocuit”, iar robotica trebuie tratată ca o completare a unei proiectări didactice riguroase, nu ca un substitut al acesteia. Pentru tema de față este relevant că, în această meta-analiză, efectele pentru învățământul secundar, atât la gimnaziu, cât și la liceu, nu au atins pragul de semnificație statistică, ceea ce arată că integrarea roboticii la aceste niveluri necesită încă cercetări.

Contextul național. În cadrul proiectului de stat condus de L. Chiriac au fost elaborate curriculumul opționalului „EDUDRONA” pentru treptele primară și gimnazială, o metodologie de utilizare a senzorilor la fizică în gimnaziu, cu recomandări pentru 10 lucrări de laborator, precum și o metodologie de integrare a științelor naturii prin zone de învățare, în spiritul conceptului „Clasa Viitorului” (Chiriac, 2022). Un sondaj realizat cu profesori de matematică, informatică și fizică arată însă că accesul la roboți, senzori și imprimante 3D este parțial și limitat adesea la activitățile extrașcolare, iar peste 90% dintre respondenți solicită formare suplimentară (Globa & Gasnaș, 2024).

Analiza literaturii conduce la o concluzie comună: robotica și senzorii au un potențial real pentru învățarea activă și interdisciplinară, dar efectul lor depinde de proiectarea activității, de durata intervenției și de rolul profesorului. Experiențele de integrare în învățământul secundar, descrise sistematic, sunt încă puține.

4. Experiența de integrare la clasă

Experiența descrisă s-a desfășurat la LLMTI „Socrate” din Chișinău, unde predau Informatica din anul de studii 2024–2025 la clasele a X-a – a XII-a, profil real. Clasele sunt relativ mici, de cel mult 15 elevi, ceea ce a favorizat lucrul practic în grupuri și o abordare individualizată. Fiind parte componentă a Programului Național de Robotică, liceul dispune de seturi LEGO SPIKE Prime și plăci Arduino, însoțite de senzori de temperatură, lumină, distanță și umiditate. Deși instituția nu face parte din rețeaua „Clasa Viitorului”, am avut ocazia să utilizez tehnologiile specifice acesteia, inclusiv plăcile micro:bit, pe care le-am integrat în orele de Informatică, în conformitate cu curriculumul școlar. În clasa a XII-a, în cadrul modului „Modelare și calcul numeric”, la temele dedicate noțiunii de model, clasificării modelelor și modelării matematice, elevii au realizat modele 3D în mediul Tinkercad, iar o parte dintre acestea au fost ulterior imprimate la imprimanta 3D, ceea ce le-a permis să parcurgă întregul drum de la modelul abstract la obiectul fizic. Activitatea mea de formator în cadrul programului de Alfabetizare digitală m-a ajutat să valorific aceste echipamente într-un mod coerent, orientat spre dezvoltarea competențelor digitale ale elevilor.

4.1. Activități realizate

Tabelul 1 sintetizează activitățile realizate, raportate la zonele de învățare ale conceptului „Clasa Viitorului”.

Tabelul 1. Activități de învățare cu robotică și senzori

Activitatea	Clasa, disciplina	Tehnologia utilizată	Zona de învățare	Produsul elevilor
„Trecerea de	Clasa a X-a, Informatica,	Arduino Uno, senzor	Zona de creare,	Prototip funcțional de

Activitatea	Clasa, disciplina	Tehnologia utilizată	Zona de învățare	Produsul elevilor
pietoni inteligentă”	modulul „Conceptul de acțiune. Instrucțiunile unui limbaj de programare de nivel înalt” (instrucțiunile <i>dacă, cât, repetă</i>)	ultrasonic de distanță, LED-uri, buzzer	zona de investigare	semafor care se activează la apropierea pietonului, program comentat și schema-bloc a algoritmului
„Stația meteo a liceului”	Clasa a XI-a, Informatica, modulele „Tipuri de date structurate” și „Informația” (convertorul analog-numeric, discretizarea mesajelor continue)	Arduino cu senzori de temperatură, umiditate și lumină; micro:bit pentru măsurători comparative	Zona de investigare, zona de schimb	Fișier de date colectate timp de 5 zile, program de prelucrare (medii, valori extreme, tablouri), grafic al evoluției și scurtă interpretare
„Porțile logice prind viață”	Clasa a XI-a, Informatica, modulele „Algebra booleană” și „Circuite logice”	micro:bit (butoanele A și B ca variabile logice, matricea LED ca ieșire), Arduino cu LED-uri	Zona de interacțiune, zona de dezvoltare	Tabele de adevăr verificate experimental, simularea funcțiilor ȘI, SAU, NU și a unui sumator de un bit
„Robotul care știe unde se află”	Clasa a XII-a, Informatica, modulul „Modelare și calcul numeric” (conexiuni cu Fizica și Matematica)	LEGO SPIKE Prime (motoare cu encoder, senzor de distanță), Tinkercad, imprimantă 3D	Zona de investigare, zona de creare, zona de prezentare	Robot programat, model matematic al mișcării, tabel și grafic „model vs. măsurători”, suport pentru senzor imprimat 3D, prezentare de grup

Descrierea activității „Robotul care știe unde se află”

Tema și unitatea de învățare. Activitatea s-a desfășurat în clasa a XII-a, profil real, în cadrul modulului „Modelare și calcul numeric”, la temele „Noțiune de model. Clasificarea modelelor”, „Modelul matematic și modelarea matematică” și „Soluții analitice și soluții de simulare”. A avut caracter interdisciplinar, valorificând cunoștințe de Fizică (mișcarea rectilinie uniformă, viteza, distanța) și de Matematică (funcția de gradul I, erori absolute și relative). Activitatea a cuprins trei lecții a câte 45 de minute.

Competențe specifice vizate. Activitatea a urmărit în principal competența de explorare a situațiilor-problemă prin modelare, planificare și experimente virtuale (CS 9). A vizat și prelucrarea datelor experimentelor din domeniul științelor reale (CS 6), algoritimizarea metodelor de soluționare a situațiilor-problemă (CS 7) și implementarea algoritmilor în medii de programare (CS 8). Unitățile de competență urmărite au fost: aplicarea criteriilor de clasificare a modelelor, elaborarea modelelor matematice, identificarea soluțiilor analitice și a celor de simulare și planificarea procesului de rezolvare a unei probleme la calculator.

Problema de pornire. Elevilor li s-a propus următoarea situație: „Un robot de livrare dintr-un depozit trebuie să se oprească exact la 20 cm de un raft, fără să-l lovească. Cum poate robotul să «știe» unde se află? Ne putem baza doar pe un calcul, sau avem nevoie și de un senzor?”

Organizarea grupelor. Cei 15 elevi au fost împărțiți în 5 grupe a câte 3 elevi, formate eterogen în funcție de nivelul de pregătire la programare. Fiecare elev a avut un rol: *programatorul* (scrie și testează codul), *inginerul de măsurări* (montează robotul, efectuează și înregistrează

măsurătorile) și *analistul de date* (calculează, construiește graficul, pregătește concluziile). Rolurile s-au rotit de la o lecție la alta.

Etapele activității (modelul 5E)

1. *Captarea interesului (Engage)*. Profesorul a prezentat un scurt video despre roboții autonomi din depozite și a lansat problema de pornire. Elevii au formulat ipoteze: unii au susținut că „ajunge să știm viteza și timpul”, alții că „roboții reali folosesc mereu senzori”. Ipotezele au fost notate pe tablă, pentru a fi verificate la final.

2. *Explorare (Explore)*. Grupele au asamblat robotul de bază SPIKE Prime și au programat deplasarea în linie dreaptă cu o putere fixă a motoarelor, timp de 1, 2, 3, 4 și 5 secunde. La fiecare încercare au măsurat cu rigla distanța parcursă și au comparat-o cu valoarea indicată de senzorul de distanță față de un perete. Datele au fost trecute într-un tabel comun. Profesorul a circulat între grupe, a pus întrebări de ghidare („Ce observați la valorile pentru aceeași durată?”, „De ce nu sunt identice?”) și a verificat respectarea regulilor de lucru cu echipamentele.

3. *Explicare (Explain)*. Pe baza datelor proprii, elevii au dedus modelul matematic al mișcării, $x(t) = x_0 + v \cdot t$, și au calculat viteza medie a robotului (valorile obținute de grupe au fost între 17 și 19 cm/s). Profesorul a sistematizat noțiunile de model material, model ideal și model matematic, a explicat diferența dintre soluția analitică (calculul timpului necesar pentru a parcurge distanța) și soluția de simulare (ajustarea mișcării pe baza citirilor senzorului). Tot în această etapă au fost introduse eroarea absolută și eroarea relativă, calculate pe datele colectate. Erorile relative ale modelului „doar pe timp” au fost între 4% și 9%, în funcție de suprafață și de nivelul bateriei.

4. *Aprofundare (Elaborate)*. Grupele au rescris programul în două variante: (a) oprirea robotului pe baza modelului analitic, adică după un timp calculat; (b) oprirea pe baza senzorului de distanță, într-un ciclu *cât timp distanța > 20 cm*. Au comparat cele două variante pe 10 încercări și au construit graficul „model vs. măsurători”. În paralel, fiecare grupă a proiectat în Tinkercad un suport sau o bară de protecție pentru senzorul de distanță, aplicând noțiunea de model ideal al unui corp tridimensional. Cele mai reușite două modele au fost imprimate la imprimanta 3D și montate pe roboți. Profesorul a acordat sprijin diferențiat: grupelor avansate le-a propus o variantă cu încetinire progresivă la apropierea de obstacol, iar celorlalte un șablon de cod parțial completat.

5. *Evaluare (Evaluate)*. Fiecare grupă a prezentat în 3–4 minute robotul, modelul matematic, graficul comparativ și concluzia, apoi a făcut o demonstrație practică: oprirea la 20 cm de „raft”. Evaluarea s-a realizat pe baza unei grile cu cinci criterii, comunicate elevilor de la început: corectitudinea modelului matematic, funcționalitatea programului, calitatea analizei datelor (inclusiv calculul erorilor), calitatea modelului 3D și prezentarea și lucrul în echipă (Tabelul 2). Elevii au completat și o fișă de autoevaluare și de evaluare a colegilor din grupă. La final, ipotezele inițiale au fost reluate: clasa a concluzionat că modelul analitic oferă o estimare bună, dar senzorul este necesar pentru precizie, deoarece modelul nu ține cont de frecare, de descărcarea bateriei și de alunecarea roților.

Produsele elevilor și modul de prezentare. Fiecare grupă a realizat un robot SPIKE Prime programat în două variante, un tabel de date experimentale, un grafic comparativ „model vs. măsurători” cu erorile calculate, un model 3D al suportului pentru senzor (două dintre acestea fiind imprimate) și o prezentare de grup. Prezentările și fotografiile roboților au fost publicate pe

pagina clasei, iar cel mai bun proiect a fost propus pentru etapa locală a competiției de robotică din cadrul Programului Național de Robotică.

4.2. Evaluarea activităților

Am conceput evaluarea ca pe un proces continuu, integrat în fiecare etapă a activității, și nu doar ca pe o notă finală. Am combinat evaluarea formativă, pe parcursul lecțiilor, cu evaluarea sumativă a produsului final, iar criteriile au fost comunicate elevilor încă de la început.

Pe parcursul explorării și al aprofundării, fiecare grupă a completat un **jurnal de investigație**. În el au notat ipotezele inițiale, condițiile experimentului (suprafața, nivelul bateriei, puterea motoarelor), datele măsurate, calculele vitezei medii și ale erorilor, dificultățile întâmpinate și soluțiile găsite. Jurnalul mi-a permis să urmăresc raționamentul elevilor, nu doar rezultatul final, și să intervin la timp acolo unde apăreau confuzii, de exemplu între eroarea absolută și cea relativă.

Pentru etapa de explicare am folosit o **fișă de lucru** cu sarcini graduale. Elevii au clasificat modele date (material, ideal, matematic), au dedus modelul mișcării din propriile date și au deosebit soluția analitică de cea de simulare. Fișele au fost verificate în aceeași lecție, iar greșelile frecvente au fost discutate frontal.

În timpul lucrului practic am utilizat o **listă de verificare** pentru observarea directă a grupelor. Am urmărit dacă robotul este asamblat corect, dacă programul rulează fără erori, dacă măsurătorile sunt repetate și înregistrate sistematic și dacă membrii grupei își îndeplinesc rolurile.

Produsul final a fost evaluat printr-o **grilă de evaluare a proiectului** (Tabelul 2), aplicată în timpul **prezentărilor orale** și al demonstrației practice. Fiecare grupă a avut 3–4 minute pentru a prezenta robotul, modelul matematic, graficul comparativ și concluziile, apoi a răspuns la întrebările colegilor și ale profesorului.

La final, elevii au completat o **fișă de autoevaluare și de evaluare a colegilor din grupă**. Au apreciat propria contribuție și pe a colegilor pe o scară de la 1 la 4 și au răspuns la trei întrebări de reflecție: „Ce am învățat nou despre modelare?”, „Ce a fost cel mai dificil și cum am depășit dificultatea?”, „Unde aș putea folosi un astfel de model în viața reală?”. Răspunsurile au arătat că majoritatea elevilor au înțeles de ce un model matematic oferă doar o aproximare și de ce sistemele reale au nevoie de date de la senzori pentru corectare.

Nota finală a fiecărui elev a fost calculată din punctajul grilei de proiect (70%), punctajul fișei de lucru (20%) și evaluarea colegilor (10%). Astfel, elevii dintr-o grupă puteau primi note diferite, în funcție de contribuția individuală.

Tabelul 2. Grila de evaluare a proiectului „Robotul care știe unde se află”

Criteriul	Nivel 4 – Excelent	Nivel 3 – Bine	Nivel 2 – Satisfăcător	Nivel 1 – Insuficient
Modelul matematic	Modelul $x(t) = x_0 + v \cdot t$ este dedus corect din datele proprii; viteză medie este calculată corect; limitele modelului sunt explicate	Modelul și viteza sunt corecte, dar limitele modelului sunt explicate parțial	Modelul este corect, dar viteza conține erori de calcul sau nu este dedusă din date proprii	Modelul lipsește sau este greșit
Funcționalitatea	Ambele variante (pe timp și cu senzor)	Ambele variante funcționează, cu	Funcționează o singură variantă sau abaterile	Programul nu funcționează

Criteriul	Nivel 4 – Excelent	Nivel 3 – Bine	Nivel 2 – Satisfăcător	Nivel 1 – Insuficient
programului	funcționează; robotul se oprește la $20\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$; codul este structurat și comentat	abateri de până la $\pm 3\text{ cm}$; codul este parțial comentat	depășesc $\pm 3\text{ cm}$	
Analiza datelor	Tabelul este complet (minimum 10 încercări); erorile absolute și relative sunt calculate corect; graficul este clar și interpretat	Datele și erorile sunt corecte, dar graficul este interpretat superficial	Date incomplete sau greșeli la calculul erorilor	Analiza lipsește
Modelul 3D (Tinkercad)	Suportul este funcțional, cu dimensiuni corecte pentru senzor, și poate fi imprimat	Modelul este corect, dar necesită mici ajustări pentru imprimare	Modelul este incomplet sau dimensiunile nu se potrivesc	Modelul lipsește
Prezentarea și lucrul în echipă	Prezentare clară, în timp, cu terminologie corectă; toți membrii participă; răspunsuri argumentate la întrebări	Prezentare clară, cu mici imprecizii de terminologie; participare majoritară	Prezentare dezorganizată sau susținută de un singur membru	Prezentarea lipsește

Punctaj maxim: 20 de puncte. Conversia în note: 19–20 p. – nota 10; 17–18 p. – nota 9; 15–16 p. – nota 8; 13–14 p. – nota 7; 11–12 p. – nota 6; 9–10 p. – nota 5; sub 9 p. – activitatea se reia.

4.3. Observații din practică

Schimbări în implicarea și în modul de lucru al elevilor. Cea mai vizibilă schimbare a fost trecerea elevilor de la rolul de executanți ai unor sarcini la rolul de cercetători care își verifică propriile ipoteze. Elevii care la lecțiile obișnuite de programare se implicau puțin au devenit activi atunci când rezultatul codului se vedea imediat, în mișcarea robotului sau în citirile senzorului. Erorile de program au început să fie percepute ca parte firească a lucrului: elevii testau, observau abaterea și corectau, fără să aștepte intervenția profesorului. Am observat și o creștere a comunicării în grup. Distribuirea rolurilor (programator, inginer de măsurări, analist de date) i-a obligat pe elevi să-și explice unii altora deciziile. Noțiuni abstracte din modulul „Modelare și calcul numeric”, precum eroarea relativă sau diferența dintre soluția analitică și cea de simulare, au fost înțelese mai ușor atunci când elevii le-au calculat pe datele obținute de ei înșiși.

Dificultăți întâmpinate și modul în care au fost depășite.

Timpul limitat. Asamblarea robotului, programarea, măsurătorile și analiza nu încap într-o singură lecție de 45 de minute. Am rezolvat problema împărțind activitatea în trei lecții și pregătind din timp un robot de bază deja asamblat, astfel încât elevii să înceapă direct cu programarea și măsurătorile.

Disponibilitatea echipamentelor. O parte din tehnologii (inclusiv plăcile micro:bit) au fost închiriate de la „Clasa Viitorului”, pentru o perioadă limitată. Aceasta a impus o planificare strictă a activităților în intervalul de închiriere și organizarea lucrului pe grupe, nu individual. Numărul mic de elevi în clasă (cel mult 15) a permis ca fiecare grupă să aibă propriul set.

Nivelul inițial diferit al elevilor. Unii elevi aveau experiență de programare din cercuri sau concursuri, alții abia stăpâneau instrucțiunile de bază. Am format grupe eterogene și am pregătit

sarcini diferențiate: șabloane de cod parțial completate pentru elevii începători și sarcini suplimentare (de exemplu, încetinirea progresivă a robotului) pentru cei avansați.

Probleme tehnice. Descărcarea bateriilor a influențat viteza roboților și, implicit, rezultatele măsurătorilor. Senzorul de distanță a dat uneori citiri instabile pe suprafețe lucioase sau la unghiuri mari. Am transformat aceste situații în subiecte de discuție despre limitele modelelor și despre surse de eroare. Am introdus, de asemenea, regula încărcării seturilor înainte de fiecare lecție.

Imprimarea 3D. Timpul de imprimare a unui model (de ordinul orelor) nu permite imprimarea tuturor modelelor în timpul lecției. Am selectat cele mai reușite modele și le-am imprimat în afara orelor, iar celelalte au fost evaluate în Tinkercad.

Date concrete.

- *Chestionarul aplicat elevilor:* la un chestionar online scurt, aplicat după încheierea activității, toți cei 15 elevi au apreciat activitatea ca utilă sau foarte utilă și au declarat că au înțeles mai bine noțiunea de model matematic. Fiind autoevaluări, aceste răspunsuri reflectă percepția elevilor asupra activității, nu o măsurare a învățării.
- *Rezultate școlare:* media clasei la evaluarea sumativă a modului „Modelare și calcul numeric” a fost 9,20. Cu titlu orientativ, la același modul, media clasei a XII-a din anul precedent a fost 8,00; întrucât este vorba de generații diferite de elevi, comparația nu permite concluzii despre efectul activității.
- *Concursuri:* 5 dintre cei 15 elevi ai clasei au făcut parte din echipa liceului care a participat la competiția FIRST Tech Challenge (FTC) Moldova și, ulterior, la competiții internaționale în Țările de Jos și în Turcia (iunie–iulie).
- *Interesul pentru robotică:* numărul elevilor înscriși la cercul de robotică al liceului, care pregătește echipe pentru competițiile FIRST LEGO League (FLL) și FIRST Tech Challenge (FTC), a crescut de la 12 la 24.

5. Recomandări metodologice

Pe baza analizei literaturii de specialitate și a experienței prezentate, pot fi formulate următoarele recomandări pentru integrarea roboticii educaționale și a senzorilor în procesul didactic la treapta liceală. Majoritatea lor pot fi aplicate și la gimnaziu, prin reducerea complexității sarcinilor.

1. **Pornirea de la o problemă autentică, nu de la echipament.** Întrebarea „Cum poate robotul să știe unde se află?” sau proiectarea unei treceri de pietoni inteligente au dat sens instrucțiunilor de programare și noțiunii de model matematic. Robotul și senzorul trebuie să fie mijloace de investigare a unei probleme legate de curriculum, nu scopul activității.
2. **Secvențe de lecții, nu activități izolate.** Activitatea de modelare a necesitat trei lecții, iar stația meteo a presupus colectarea datelor timp de cinci zile. Cercetările arată efecte mai mari ale intervențiilor de durată și ale învățării bazate pe proiect (Ouyang & Xu, 2024). Pregătirea prealabilă a unui robot de bază, deja asamblat, eliberează timp pentru investigație.
3. **Lucrul în echipă cu roluri care se schimbă.** Rolurile de programator, inginer de măsurări și analist de date asigură participarea fiecărui elev și îi obligă pe membrii grupei să-și explice deciziile. Rotirea rolurilor de la o lecție la alta previne situația în care un singur elev face partea dificilă a sarcinii.

4. **Profesorul ca îndrumător.** Profesorul pune întrebări de ghidare și oferă sprijin diferențiat: șabloane de cod parțial completate pentru începători și sarcini suplimentare pentru elevii avansați. Sprijinul se reduce pe măsură ce elevii devin autonomi, fără ca soluția să le fie oferită gata făcută.
5. **Valorificarea datelor și a erorilor.** Timpul câștigat prin colectarea automată a datelor trebuie folosit pentru interpretare: compararea modelului cu măsurătorile, calculul erorilor, formularea concluziilor. Limitele tehnice – descărcarea bateriilor, citirile instabile ale senzorilor pe anumite suprafețe – pot deveni subiecte de discuție despre limitele modelelor și sursele de eroare.
6. **Evaluarea procesului, nu doar a produsului.** Jurnalul de investigație, fișele de lucru, listele de verificare și grila de evaluare cunoscută de elevi de la început permit urmărirea raționamentului, nu doar a rezultatului final, în acord cu principiul alinierii dintre finalități, activități și evaluare (Schreurs & Dumbrăveanu, 2014) și cu tendințele actuale în evaluarea elevilor (Dumbrăveanu & Nica, 2023).
7. **Planificarea accesului la echipamente și colaborarea profesorilor.** Pentru școlile care nu fac parte din rețeaua „Clasa Viitorului”, împrumutul temporar al echipamentelor este o soluție viabilă, cu condiția ca activitățile să fie planificate strict în intervalul disponibil. Colaborarea profesorilor de informatică, fizică și matematică și formarea practică a cadrelor didactice, solicitată de majoritatea profesorilor (Globa & Gasnaș, 2024), sunt condiții pentru extinderea acestor practici.

6. Concluzii

Conceptul „Clasa Viitorului” plasează robotica educațională și senzorii digitali în zonele de investigare și de creație ale spațiului de învățare, ca instrumente prin care elevul construiește, măsoară și își argumentează rezultatele. Cercetările internaționale confirmă un efect pozitiv moderat al roboticii asupra rezultatelor învățării și asupra atitudinii elevilor și avantajul senzorilor pentru înțelegerea fenomenelor, dar arată, în același timp, că aceste efecte depind de proiectarea didactică, de durata activităților și de rolul profesorului.

Experiența prezentată, realizată la clasele a X-a – a XII-a, arată că robotica și senzorii i-au transformat pe elevi din executanți ai unor sarcini în participanți care își verifică propriile ipoteze. Noțiuni abstracte precum modelul matematic, eroarea relativă sau diferența dintre soluția analitică și cea de simulare au devenit mai ușor de înțeles atunci când elevii le-au aplicat pe datele colectate de ei înșiși. Principalele dificultăți au ținut de timpul limitat, de accesul temporar la echipamente, de nivelul diferit de pregătire al elevilor și de limitele tehnice ale dispozitivelor. Aceste constatări provin dintr-un singur studiu de caz și din observațiile profesorului, de aceea au valoare orientativă. Ele confirmă însă concluzia literaturii: tehnologia este eficientă atunci când este subordonată obiectivelor de învățare, iar profesorul rămâne cel care proiectează și ghidează activitatea.

Experiențele de integrare în învățământul secundar, descrise sistematic și însoțite de date despre rezultatele elevilor, sunt încă puține, atât în literatura internațională, cât și în Republica Moldova. Documentarea practicilor școlare și evaluarea lor riguroasă reprezintă, de aceea, o direcție necesară de cercetare, inclusiv în perspectiva integrării unor noi tehnologii, precum inteligența artificială generativă, în activitățile de învățare STEAM.

Referințe bibliografice

1. Benitti, F. B. V. Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 2012, 58(3), pp. 978–988. DOI: 10.1016/j.compedu.2011.10.006
2. Braicov, A., Veverița, T. Reflecții asupra documentelor și inițiativelor naționale de promovare a educației STEAM în învățământul general. *Acta et Commentationes (Științe ale Educației)*, 2024, nr. 1(35), pp. 21–34. DOI: 10.36120/2587-3636.v35i1.21-34
3. Chiriac, L. (conducător de proiect). *Rezumatul rezultatelor obținute în proiectul „Metodologia implementării TIC în procesul de studiere a științelor reale în sistemul de educație din Republica Moldova din perspectiva inter/transdisciplinarității (concept STEAM)”*, cifrul 20.80009.0807.20. Chișinău: Universitatea de Stat din Tiraspol, AȘM, 2022.
4. CNIDE „Clasa Viitorului”. *Regulamentul Concursului național „Profesorul – Ambasador Digital”*. Chișinău: UPS „Ion Creangă”, 2023. Disponibil: https://www.clasaviitorului.md/wp-content/uploads/2024/01/Regulament_final_2023.pdf
5. CNIDE „Clasa Viitorului”. *Despre noi* [online]. Chișinău, f.a. Disponibil: <https://www.clasaviitorului.md/despre-noi/>
6. Dumbrăveanu, R. Didactica în era digitală. În: *Educația din perspectiva conceptului Clasa viitorului*. Culegere de articole ale Conferinței Științifice Naționale cu participare internațională. Chișinău, 2020, pp. 89–102. ISBN 978-9975-3461-1-5.
7. Dumbrăveanu, R. *Pixeli spre inovație: proiecte de lecții și proiecte STEAM în clasa digitală*. Chișinău: UPS „Ion Creangă”, 2023.
8. Dumbrăveanu, R., Nica, I. A. Tendințe actuale în evaluarea elevilor. În: *Educația din perspectiva conceptului Clasei Viitorului*. Culegere de articole ale Conferinței internaționale, ediția a IV-a, 3–4 noiembrie 2023. Chișinău: UPS „Ion Creangă”, 2023, pp. 40–48. ISBN 978-9975-46-865-7.
9. European Schoolnet. *About the Future Classroom Lab* [online]. Bruxelles, f.a. Disponibil: <https://fcl.eun.org/about>
10. Globa, A., Gasnaș, A. Evaluarea procesului de implementare a conceptului STEM/STEAM în procesul didactic la științele reale. *Acta et Commentationes (Științe ale Educației)*, 2024, nr. 2(36), pp. 87–100. DOI: 10.36120/2587-3636.v36i2.87-100
11. Mishra, P., Koehler, M. J. Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 2006, 108(6), pp. 1017–1054.
12. Ouyang, F., Xu, W. The effects of educational robotics in STEM education: a multilevel meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 2024, 11, art. 7. DOI: 10.1186/s40594-024-00469-4
13. Papert, S. *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. New York: Basic Books, 1980.
14. Schreurs, J., Dumbrăveanu, R. A shift from teacher centered to learner centered approach. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 2014, 4(3), pp. 36–41. DOI: 10.3991/ijep.v4i3.3395
15. Thornton, R. K., Sokoloff, D. R. Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools. *American Journal of Physics*, 1990, 58(9), pp. 858–867. DOI: 10.1119/1.16350
16. UPS „Ion Creangă”. *Extinderea Centrului Național de Inovații Digitale în Educație „Clasa Viitorului”*: agenda evenimentului, 6 octombrie 2021. Chișinău, 2021. Disponibil: https://upsc.md/wp-content/uploads/2021/10/6-octombrie_Agenda_FCL-launch_October.pdf