

VÝHODY A ÚSKALIA INKORPORÁCIE „NOVÝCH“ DIGITÁLNYCH TECHNOLOGIÍ DO MATEMATICKEJ EDUKÁCIE

Jana HNATOVÁ,
Prešovská univerzita v Prešove, Pedagogická fakulta (Slovenská republika)
jana.hnatova@unipo.sk

Abstrakt

Rýchle tempo technologického pokroku má výrazný a nepopierateľný vplyv na rozvoj spoločnosti vo všetkých jej oblastiach, vrátane vzdelávania. Nové technológie môžu byť v klasickej aj v online vzdelávacom priestore použité v rôznych situáciách ako kognitívno-prieskumné nástroje, ako prostriedok na vyhľadávanie a zhromažďovanie informácií, ako prostriedok na komunikáciu a interakciu medzi učiteľom a študentmi alebo medzi študentmi navzájom. V edukácii sú technológie zároveň nositeľmi výziev ale aj úskalí spojených s ich využitím. V príspevku je načrtnutá základná charakteristika vybraných technológií a aktuálne výskumné problémy riešené v tejto oblasti so zameraním na matematickú edukáciu. Výstupy sú dokumentované SWOT analýzami zaradenia vybraných digitálnych technológií (digitálne hry, rozšírená realita a virtuálna realita) do matematickej edukácie.

Kľúčové slová: digitálne hry, rozšírená realita, virtuálna realita, matematická edukácia

BENEFITS AND DIFFICULTIES OF INCLUDING “NEW” DIGITAL TECHNOLOGIES IN MATHEMATICAL EDUCATION

Abstract

The rapid pace of technological progress has a significant and undeniable impact on the development of society in all its areas, including education. New technologies can be used in various situations in both classical and online educational spaces, as cognitive-research tools, as a means of searching and gathering information, as a means of communication and interaction between teacher and students or between students and each other. In education, technologies are both bearers of challenges and pitfalls associated with their use. The paper outlines the basic characteristics of selected technologies and current research problems solved in this area with a focus on mathematical education. The outputs are documented by SWOT analyzes of the inclusion of selected digital technologies (digital games, augmented reality, and virtual reality) in mathematical education.

Keywords: digital games, augmented reality, virtual reality, mathematical education

1. Úvod

S príchodom reforiem zdôrazňujúcich potrebu transformácie tradičných vyučovacích metód, požadujúcich rozvoj kritického myslenia, spolupráce, angažovaný prístup k riešeniu problémov a v neposlednom rade formovanie informačného vedomia študentov sa viacerí autori zhodujú na potrebe získania solídnych empirických dôkazov o dosahu technológií na vzdelávanie (Deng et al., 2020, Tsai & Tsai, 2020, Mayer, 2015). Z množstva existujúcich a v edukačnej praxi dosiahnuteľných digitálnych technológií sa v príspevku zameriame na tie,

ktoré sú v súčasnosti, v rámci laického ale i odborného diskurzu, často označované prívlastkom „nové“. Novosť technológie však nie je, predovšetkým v odbornom diskurze, chápaná len v časovej rovine. Je interpretovaná vo vzťahu k pohlcujúcim a interaktívnym možnostiam, ktoré, v rámci zapojenia 3D efektov, tieto technológie ponúkajú. Výber sme teda fokusovali na analýzu výhod a úskalí, ktoré so sebou prináša včlenenie digitálnych hier, rozšírenej reality a virtuálnej reality do matematickej edukácie, s ohľadom na možné získavanie matematických poznatkov čiastočným alebo úplným ponorením sa do virtuálneho sveta.

2. Digitálne hry

Digitálne hry charakterizujú viacerí autori (Svitavsky, 2017, Rutter & Bryce, 2006) obdobne. Spoločným znakom ich zavedenia je pochopenie digitálnych hier ako komerčných produktov vyvíjaných a distribuovaných etablovanými mediálnymi spoločnosťami, ktoré sú založené na interakcii s užívateľom a majú charakter zábavy, odreagovania alebo vzdelávania. Dumbleton a Kirriemuir (2006) konkretizujú časté dopĺňanie hrovej línie známymi postavami a scenármi z mediálneho prostredia (komiks, kniha, televízia, kino). Svitavsky (2017) v charakteristike hier navyše zmiňuje aj zámer socializácie s ostatnými hráčmi. Tsai Y. a Tsai Ch. (2020) označujú digitálne hry určené pre vzdelávanie pojmom vzdelávacie resp. edukačné hry, nakoľko práve tieto edukačné hry majú, podľa uvedených autorov, tendenciu nenásilnou formou dopĺňať v nich vytvorený herný svet o atribút poznania.

Je faktom, že hra zohráva dôležitú funkciu v kognitívnom vývine a učení sa človeka, pričom motivácia k učeniu je jedným zo zdrojov pozitívnych vzdelávacích výsledkov. Podľa Larkina (2015) je preto možné vzdelávacie hry považovať za prostriedky, ktoré majú významný potenciál pre podporu učenia sa a to aj v matematike. Ich analýza a z nej vyplývajúce zistenia, v kontexte tohto príspevku, vychádzajú z výsledkov troch rôznych metaanalýz (Hays, 2005, Randel et al., 1992, Vogel et al., 2006) a 7 výskumných štúdií (Anghel & Anghel, 2014, Arvanitaki & Zaranis, 2020, Dumbleton & Kirriemuir, 2006, Fesakis et al., 2018, Kyriakides et al., 2016, Litster 2020, Moyer & Pakenham, 2019). Z nich extrahujeme zistenia týkajúce sa zapojenia digitálnych hier do matematickej edukácie.

Tabuľka 1. Prehľad zistení z výskumných šetrení zameraných na vplyv edukačných hier začlenených do matematickej edukácie

Oblasť výskumu/štúdie	Zistenia:
Edukačná hra - dizajnové prvky matematických hier (napr. virtuálna manipulácia s objektami, funkcionálna dostupná v edukačnej hre)	<ul style="list-style-type: none"> • aspekty hrateľnosti v technológii, s ktorou edukanti interagujú, ovplyvňujú ich prežívanie a následný výkon mimo hry, • interakcie edukantov s funkciami (napr. nápoved') môžu zohrávať dôležitú úlohu pri prenose učenia sa mimo hru,
Prenositeľnosť učenia sa z kontextu digitálnych hier na výkon mimo digitálneho prostredia (testy, resp. z herných do skutočných kontextov)	<ul style="list-style-type: none"> • dobre navrhnutá digitálna hra má vysoký potenciál prenosu učenia do ďalších kontextov, • v rámci personalizovaného prístupu nemá každá digitálna matematická hra rovnaký vplyv na každého edukanta,
Frekvencia hrania	<ul style="list-style-type: none"> • výsledky vplyvu frekvencie hrania digitálnych hier na sledované výstupy matematickej edukácie sú protichodné,

Rodová závislosť	<ul style="list-style-type: none"> • prenositeľnosť učenia sa mimo kontext hry v závislosti na rode nie je štatisticky preukázaná (chlapci - mierne lepšie výsledky pri riešení problémových úloh, dievčatá - mierne lepšie výsledky vo výpočtových úlohách), • preferencia typu spätnej väzby a výberu interaktívnych prvkov v matematických hrách sa rodovo líši (chlapci – výber podmienený motiváciou a interaktivitou prvkov, dievčatá - výber podmienený snahou o porozumenie obsahu učiva z matematiky),
Učiteľ	<ul style="list-style-type: none"> • je významne ovplyvňujúcim faktorom v prípade výberu hry a spôsobu jej použitia vo výučbe,
Žiak - existujúce postoje k matematike	<ul style="list-style-type: none"> • v rámci kvalitatívnych štúdií bol identifikovaný pozitívny vplyv na angažované správanie sa v hre a vplyv na záujem o včasnú intervenciu,
Žiak - predchádzajúce znalosti z matematiky	<ul style="list-style-type: none"> • pozitívny vplyv na vnímanie intervencie.

Zistenia, v prípade štúdií zameraných na porovnanie výstupov žiakov po zaradení didaktických hier do výučby matematiky oproti výstupom žiakov vzdelávaných transmisívnymi vyučovacími metódami, poskytujú empirické dôkazy podporujúce gamifikáciu výučby. Edukačné hry, v podobe autorsky vytvorených výskumných nástrojov, boli aplikované do rôznych oblastí matematickej edukácie a rôznych procesných fáz realizácie vzdelávania. Pri vývoji edukačných hier a ich inkorporácii do výučby matematiky bol v štúdiách čitateľný predpoklad rešpektovania potrieb žiakov a s nimi súvisiacich požiadaviek kladených na ich matematické vzdelávanie. Okrajovou otázkou riešenou v uvedených štúdiách však zostáva súbežný psychosociálny vplyv edukačných hier na skúmané cieľové skupiny edukantov, nakoľko pri všetkých hrách (aj tých didaktických) existuje určitá motivácia hrania sýtená pocitom uspokojenia, víťazstva, dosiahnutia cieľa ale aj straty zábran, pocitom vznikajúceho napätia, potreby odvahy až riskovania, a to predovšetkým vtedy, keď je stimul hry prevážený emóciami. Pri interpretácii výsledkov je teda potrebné zvažovať nielen vplyv jednotlivých atribútov, ale aj ich kumulovaný vplyv vzhľadom na existenciu priamych i nepriamych väzieb medzi nimi.

3. Rozšírená realita

Výučba matematiky v rámci formálneho vzdelávania je štandardne viazaná na rôzne typy reálne existujúcich prostredí (školské, domáce, vnútorné, outdoorové atď.). Pridaním obrazových, zvukových a doplnujúcich sensorických podnetov k existujúcemu reálnemu prostrediu môžu technológie toto skutočné prostredie obohatiť vloženou digitálnou informáciou (Dejian et al., 2017). Technológia rozšírenej reality (ang. *augmented reality*, skr. AR) integruje digitálne informácie s fyzickým prostredím naživo a v reálnom čase pomocou rôznych, v súčasnosti už bežne dostupných technických zariadení (napr. pomocou smartfónov alebo tabletov) a k tomu slúžiacich off-line alebo on-line aplikácií. Pri včlenení do edukačnej aktivity poskytuje AR čiastočné ponorenie edukanta do virtuálneho prostredia a to prostredníctvom zobrazenej digitálnej vrstvy s relevantným matematickým obsahom, ktorou sa však nenarúša

jeho bežné vnímanie sveta. Týmto sa stáva najprístupnejšou z doteraz existujúcich technológií meniacich realitu. Alsop (2021) na základe prieskumu z roku 2020 medzi americkými odborníkmi z odvetvia XR (spoločné odvetvie pre zmiešanú, rozšírenú a virtuálnu realitu) uvádza, že v priebehu nasledujúcich dvoch rokov budú pohlcujúce technológie ťahúňom všetkých technológií používaných vo vzdelávacom sektore. Podľa Aggarwala (2013) sa môžu aplikácie pracujúce s AR, vďaka možnostiam vkladania multimediálnych objektov do reálneho sveta, stať chrbticou vzdelávacieho priemyslu s odhadovanými 2,5 miliardami stiahnutí aplikácií AR ročne.

Aby bolo možné tento existujúci potenciál pre potreby matematického vzdelávania využiť, je žiaduce podrobnejšie sa venovať skúmaniu empiricky zistených výhod, nevýhod, príležitostí a ohrození, ktoré technológia AR so sebou prináša. Pri štúdiu zdrojového portfólia (31 štúdií z rokov 2002 až 2019) sme v niekoľkých výskumných správach narazili na protichodné vnímanie a posudzovanie konkrétnych skutočností. Kým Deng et al. (2019) konštatujú pozitívny trend vývoja AR a jej inkorporácie do matematického vzdelávania žiakov, včítane žiakov so špecifickými poruchami učenia, Zaman et al. (2013) nevidia zaradenie AR do vzdelávania ako bezproblémové. Upozorňujú predovšetkým na nákladnosť prvotnej investície. Vychádzajúc z existujúceho ťažiskového zamerania AR na interné neformálne vzdelávanie odborného charakteru, autori taktiež zdôvodňujú aktuálne nízky podiel AR v aktivitách zameraných na školy.

Podobná situácia nastáva pri posudzovaní dostupnej kvantitý dát v AR. Miundy et al. (2017) vítajú zvyšujúci sa objem informácií vzhľadom na zjednodušený a cielený prístup k nim. Naproti tomu Wu et al. (2012) konštatujú možnú kognitívnu preťaženosť edukantov neúmernym množstvom informácií vytváraných touto technológiou. Otázka „veľkého“, „neúmerneho“ alebo „vhodného“ množstva dostupných informácií v nich nie je zodpovedaná a ostáva otvorená ako predmet ďalšieho skúmania.

Výstupom štúdia zdrojového portfólia bola SWOT analýza zaradenia technológie AR do vzdelávania (Hnatová & Hnat 2019). V nej boli identifikované prehľadové štúdie s väzbou na výučbu matematiky, ktoré sme pre potreby tohto príspevku rozšírili o novšie štúdie (Anggraini et al., 2020, Ahmad, 2020, Pellas et al., 2019) so zachovaním pôvodnej metodiky výberu, ktorá spočívala v ich vyhľadávaní s využitím biometrickej databázy Scopus pomocou identických kľúčových slov („augmented reality“, „augmenty reality“, „mixed reality“ v kombinácii s pojmami „mathematics“ a „education“ resp. „mathematics“ a „teaching“ v rozšírenom vyhľadávaní). Zo vzniknutého korpusu 19 výskumných štúdií publikovaných v anglickom jazyku boli následne extrahované nasledujúce zistenia.

Tabuľka 2. SWOT analýza zaradenia technológie AR do matematickej edukácie

Silné stránky (Strengths)
<ul style="list-style-type: none"> • vytvára interakciu medzi virtuálnym svetom reprezentovaným napr. 3D modelom telesa a reálnym svetom reprezentovaným samotným edukantom bez jeho izolácie od reality, • umožňuje rýchlu vzdialenú podporu (v prípade online pripojenia) a spoluprácu edukantov (v prípade vhodne zvolených metód a foriem výučby), • elementárne použitie je možné aj bez vysokých nárokov na vybavenie, napr. v prostrediach vyvinutých samotnými edukátormi, taktiež v dostupných matematicky zameraných aplikáciách, • uľahčuje porozumenie v podobe vizualizácie informácií, napr. pri odhade a následnom meraní vzdialeností dvoch markermi označených bodov v reálnom priestore, • ponúka adekvátnu spätnú väzbu v reálnom čase, ktorá môže byť realizovaná interakciou medzi virtuálnymi 3D modelmi spustením ich animácie,

<ul style="list-style-type: none"> • zážitky s AR sú príjemné, ovládanie je intuitívne, nie je potrebné prekonávať ďalšie prekážky spojené s prácou s AR, napr. v podobe časovo náročného zaškolenia alebo inštruktaže, • má pozitívny vplyv na efektivitu a produktivitu práce (zvyšuje motiváciu, znižuje chybovosť, podporuje tvorbu kreatívnych výstupov, rozvíja kritické myslenie).
<p>Slabé stránky (Weaknesses)</p> <ul style="list-style-type: none"> • umožňuje kognitívne preťaženie edukantov množstvom informácií tvorených technológiou AR, • vyžaduje prvotnú investíciu z pohľadu hardvérovej a softvérovej podpory realizácie pri začlenení AR do výučby, • vyžaduje vývoj aplikácií AR (návrh – dizajn – programovanie – testovanie – aplikácia), • dovoľuje len obmedzenú správu vzdelávacieho obsahu v AR, • v súčasnosti je nedostatok expertov AR pôsobiacich školách.
<p>Príležitosti (Opportunities)</p> <ul style="list-style-type: none"> • je badateľný pozitívny trend vývoja napríklad v podobe nárastu počtu projektov využívajúcich AR technológiu vo vzdelávaní, • je zjavné rozširovanie vzdelávacích príležitostí (napr. rastúca dostupnosť knižných publikácií s edukačným zámerom podporeným AR technológiou), • možnosť prepájania rôznych odvetví a oblastí vzdelávania.
<p>Ohrozenia (Threats)</p> <ul style="list-style-type: none"> • existuje nebezpečenstvo zmeny vnímania reality vplyvom zanedbania fyzikálnych vlastností objektov znázornených v AR pomocou ich 3D modelov a taktiež zmien v ich rozdielnych vzájomných interakciách, • môže byť rizikovým faktorom pri výbere vhodnej technológie, • je potrebné počítať s morálnym a technickým opotrebením zariadení podporujúcich AR, • možné odmietnutie AR expertmi/ učiteľmi/ vedením školy, • adaptovanie AR do výučby matematiky vyžaduje čas a ďalšie administratívne úkony (napr. zmeny existujúcich tematických výchovno-vzdelávacích plánov, učebných osnov resp. kurikul).

Bilancia početného zastúpenia faktorov v jednotlivých kvadrantoch realizovanej SWOT analýzy pre matematickú edukáciu nie je vyrovnaná. V prípade porovnania počtu pozitívne pôsobiacich faktorov v silných stránkach a v príležitostiach a negatívnych faktorov zaradených v slabých stránkach a ohrozeniach je však stav vyrovnaný. Pri porovnaní počtov interne a externe orientovaných faktorov zisťujeme prevahu interných nad externými faktormi ($7 + 5 > 3 + 5$). Početne nad ostatnými prevažujú silné stránky zaradenia AR do matematickej edukácie. Tento stav je možné pripísať pozitívnej angažovanosti autorov výskumných štúdií zostaveného portfólia.

V rámci tematickej orientácie zaradenia AR do matematickej edukácie bolo možné v štúdiách identifikovať viaceré oblasti inkorporácie, z nich najčastejšou bola geometria. K ďalším zastúpeným tematickým oblastiam patrili algebra, pravdepodobnosť a štatistika. V matematickej edukácii na primárnom stupni vzdelávania boli preferované tematické oblasti geometria a meranie, vytváranie matematických predstáv o číslach, nácvik základných matematických operácií na množine prirodzených čísel. Samostatnou oblasťou sa javí výskum možností začlenenia AR do výučby skupín žiakov so špecifickými vývinovými poruchami učenia v kombinácii s poruchou matematických schopností – dyskalkúliou.

V rámci technickej realizácie včlenenia AR do výučby bolo v štúdiách skúmané použitie rôznych typov AR technológií (marker based – AR a markerless AR) a vývojových prostredí. K tým najpreferovanejším patrili *Unity 3D* a *HP Reveal*.

Podrobnejší pohľad na uvedenú problematiku, vzhľadom na novosť skúmanej technológie a nárast záujmu o jej začlenenie do výučby matematiky na rôznych stupňoch vzdelávania, bude predpokladaným predmetom (nielen) nášho ďalšieho výskumu.

4. Virtuálna realita

Technológia virtuálnej reality (VR), na rozdiel od predchádzajúcej technológie rozšírenej reality), umožňuje edukantovi úplné ponorenie sa do počítačom generovaného virtuálneho sveta. Táto technológia produkuje realistické trojrozmerné prostredie, v ktorom sa používateľ pohybuje a vníma ho ako skutočné. Steuer (1992) definuje VR ako technológiu vytvárajúcu multisenzorické učebné prostredie, ktoré je veľmi podobné vizuálnym, sluchovým a hmatovým vnemom zo skutočného prostredia. Liu, Liu a Ren (2018) dopĺňajú, že sa taktiež vyznačuje požadovanými vlastnosťami – ponorenie, interakcia a spoluúčasť, vďaka ktorým edukant získava pri vzdelávaní pocit personalizovaného prístupu.

Technológia VR zatiaľ nie je v prostredí našich škôl etablovaná a väčšina vzdelávacích VR aplikácií bola vyvinutá pre neformálne vzdelávanie. Napriek tomu, existujú aj na školách (predovšetkým SOŠ a VŠ) na Slovensku učebne využívajúce VR pri získavaní vysoko špecifických odborných zručností. Pri štúdiu zahraničných zdrojov v podobe metaanalýz (Pellas et al., 2020, Maheshwari & Maheshwari, 2020) zameraných na zaradenie VR do vzdelávania predmetov STEM a metaanalýzy (Oyelere, 2020) zameranej na zaradenie technológie VR do výučby školskej matematiky sumarizujeme štyri dimenzie, na ktoré boli výskumy zamerané:

- *edukant* – jeho názory, správanie sa pri učení, postoje k učeniu a dosahovaná výkonnosť pri učení sa matematiky,
- *edukátor* – vyhodnotenie vzdelávacích programov a kurzov určených pre učiteľov primárneho a nižšieho sekundárneho vzdelávania a taktiež zisťovanie názorov a postojov učiteľov a budúcich učiteľov k implementácii VR do vzdelávania (jej prijatie a používanie),
- *koncept výučby* - výskum efektov výučby a učenia sa založených na použití konkrétnej vyučovacej metódy napr. obojstrannej metódy (umožňuje súbežné použitie virtuálnych simulácií i skutočných predmetov získaných 3D tlačou), metódy riešenia problémov, použitie situačných úloh, gamifikácia výučby s využitím VR,
- *použité prostredie VR* – identifikovanie rozdielov medzi tréningovými a vzdelávacími aplikáciami, výber stratégií návrhu aplikácie VR pre naplnenie rôznych vzdelávacích cieľov, vývoj a testovanie aplikácií.

Implementáciu VR do matematickej edukácie nie je zatiaľ možné považovať za preskúmanú. Z pohľadu primárnej matematiky bola technológia VR experimentálne aplikovaná do tematických oblastí: geometria (identifikácia a skúmanie vlastností konkrétnych 3D modelov telies, propedeutika zhodných zobrazení v priestore), aritmetika (návčik početových operácií, automatizácia spojov, počítanie spamäti, propedeutika zlomkov). Z týchto dôvodov prináša SWOT analýza VR (tab. 3) okrem zistení aj námety na ďalšiu diskusiu a výskum.

Tabuľka 3 SWOT analýza zaradenia VR do vzdelávania

Silné stránky (Strenghts)
<ul style="list-style-type: none"> • poskytuje autentické kontexty, v ktorých používatelia vytvárajú a zdieľajú virtuálne aktíva, • personalizuje učenie - umožňuje kontrolu stimulov, • poskytuje okamžitú spätnú väzbu, • podporuje aktívne učenie, samovzdelávanie,

<ul style="list-style-type: none"> • pôsobí motivačne, • zodpovedá životnému štýlu generácie Z.
Slabé stránky (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • existujú viaceré podporované platformy a technické riešenia VR, • vysoké náklady (finančné, časové, personálne), • nízka dostupnosť produktov s matematickým vzdelávacím obsahom, • „wow“ efekt – rozptyľovanie edukanta vo virtuálnom prostredí pre výučbu nepodstatným sekundárnymi stimulmi (detaily virtuálneho priestoru, textúra 3D objektov, pridaná funkcionalita napr. levitácia modelov), • komplexnosť riešenia.
Príležitosti (Opportunities)
<ul style="list-style-type: none"> • efektívna platforma pre 21. storočie s predpokladom ďalšieho rozvoja, ktorým sa technológia stane lacnejšou a dostupnejšou, • vhodné využitie pre vzdelávanie i výcvik, • možné využitie v rámci formálneho i neformálneho vzdelávania, • možno implementovať viacero metód a foriem práce používané vo výučbe predmetov STEM.
Ohrozenia (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> • udržateľnosť, • „nedostatočný“ zážitok - súčasná technológia neumožňuje používateľom dosiahnuť úplné ponorenie bez rušivej možnosti rozlíšenia reálneho a virtuálneho sveta, • nevhodné začlenenie v ponímaní výučby v tradičnej učebni, • možná kinetóza a ďalšie zdravotné problémy (krátkozrakosť), • neatraktívnosť pre učiteľov / školiteľov / inštruktorov.

Bilancia početného zastúpenia faktorov v jednotlivých kvadrantoch realizovanej SWOT analýzy nie je ani v tomto prípade vyrovnaná. Rozdiely v početnosti medzi sledovanými faktormi sa však pohybujú v rozmedzí intervalu [0,2]. Rovnovážny stav nastáva pri porovnaní počtu pozitívne pôsobiacich faktorov (silné stránky, príležitosti) a negatívnych faktorov (slabé stránky a ohrozenia), pričom početnosť interne orientovaných faktorov je vyššia ako početnosť externe orientovaných faktorov ($6 + 5 > 4 + 5$). Vzhľadom na nízky počet dostupných štúdií venovaných inkorporácii VR do matematického vzdelávania a rozdielnosť zaradenia jednotlivých výskumných skupín do primárneho, sekundárneho a terciárneho vzdelávania, nie je možné považovať uvedené zistenia za konečné. Prvotne identifikované faktory však naznačujú smer možného ďalšieho a podrobnejšieho skúmania riešenej problematiky.

Je predpokladom, že sa výskum zameraný na technológiu VR bude postupne presúvať z vysokoškolského prostredia na nižšie stupne škôl a školských zariadení. Bude preto potrebné, pri jej implementácii do tohto prostredia, venovať zvýšenú pozornosť obmedzeniam a výzvam spojeným s potrebou hĺbkovej analýzy správania sa detí v simulovanom prostredí, skúmaním ich emocionálnych reakcií na virtuálne podnety, dopadom absencie neverbálnej komunikácie vo virtuálnom prostredí, výskumom informačnej vyťažnosti detí za použitia technológie VR, prevencii pred možnými sociálno-patologickými dôsledkami, ktoré digitálne technológie umožňujúce ponorenie do virtuálneho sveta so sebou prinášajú. Rovnako zaujímavou sa javí oblasť identifikácie špecifických potrieb rôznych skupín žiakov, ako sú napríklad nadaní žiaci, ale taktiež aj žiaci s rôznymi druhmi a stupňami zdravotného a mentálneho postihnutia, žiaci zo sociálne znevýhodneného a výchovne menej podnetného prostredia, ktorí vyžadujú diferencovaný a personalizovaný prístup učiteľa a to z hľadiska obsahu vzdelávania, ako aj použitých metód a organizačných foriem výučby.

5. Záver

Paralelu separovaných prístupov k skúmaniu komplexného problému nachádzame v starom indickom príbehu, ktorý prerozprával John Godfrey Saxe (1873, nám dostupné vydanie z r. 1963). V tomto príbehu šesť slepých mužov, odkázaných na svoj hmat, skúmalo jedno a to isté zviera - slona, ktorého nikdy predtým nemohli vidieť. Každý z nich sa pri svojom skúmaní dotkol inej časti tela zvierat'a. Tak každý z nich mylne predpokladal, že podobne, ako sa mu javí jeho časť slona, javí sa (jemu i všetkým ostatným) celý slon. Vznikol medzi nimi spor, pričom každý z mužov nahlas a vytrvalo bránil pred ostatnými svoj názor. Poučením plynúcim z príbehu nie je fakt, že by sa niektorý z týchto mužov mýlil v tom, čo objavil alebo či a ako svoj objav interpretoval. Chybou je, že každý z nich pri svojom bádání zotrval len vo svojej komfortnej zóne.

Začlenenie digitálnych technológií umožňujúcich čiastočné alebo úplné ponorenie sa do virtuálneho priestoru v rámci matematickej edukácie možno za takýto komplexný problém považovať. Pri jeho skúmaní by sme preto chceli vychádzať z doterajších zistení identifikujúcich pozitíva i negatíva inkorporácie sumarizované v SWOT analýzach. Vzhľadom na novosť technológií, predovšetkým rozšírenej a virtuálnej reality, je výskum možností ich využitia v školskom prostredí otvorený.

Vzhľadom na súčasný stav (zvýšené náklady, nízka dostupnosť edukačne zameraných aplikácií AR a VR, chýbajúca metodika ich inkorporácie do výučby a nezaškolenosť učiteľov), je pochopiteľné ojedinelé využitie analyzovaných technológií na hodinách matematiky v našich podmienkach. Na druhej strane, z empirických poznatkov v príspevku citovaných zahraničných štúdií vyplýva, že tieto technológie majú vysoký potenciál presadiť sa v školskom prostredí, a to v rámci formálneho i neformálneho vzdelávania, skrz rastúci záujem odbornej i laickej verejnosti o ne.

Acknowledgements

Príspevok vznikol s podporou grantového projektu KEGA 036PU-4/2021 *Technológia rozšírenej reality v profesijnej matematickej príprave budúcich učiteľov elementaristov* riešeného na PF PU v Prešove.

Literatúra

- Aggarwal, V. (2013). *Augmented Reality – introduction and its real world uses*. 3Pillar Global. <https://www.3pillarglobal.com/insights/augmented-reality-introduction-and-its-real-world-uses>.
- Ahmad, N. I., & Junaini, S. N. (2020). Augmented Reality for Learning Mathematics: A Systematic Literature Review. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*. 2020, 15(16), 106-122. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i16.14961>.
- Alsop, T. (2021). *Top XR/AR/VR/MR applications in the education sector as per U.S. XR experts 2020*. Statistica WebSites. <https://www.statista.com/statistics/1185078/applications-immersive-technologies-xr-ar-vr-mr-education/>.
- Angraini, S., W Setyaningrum, H., Retnawati, A., & Marsigit. (2020). How to improve critical thinking skills and spatial reasoning with augmented reality in mathematics learning? *Journal of physics*. 2020, 1581(1), 12-66. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1581/1/012066>.
- Anghel, G., & Anghel, I. A. (2014). Trends in developing visual educational content in mathematics and physics. *ELearning*, 2014, (3), 210-217. <https://doi.org/10.12753/2066-026X-14-173>.

- Arvanitaki, M., & Zaranis N. (2020). The use of ICT in teaching geometry in primary school. *Education and Information Technologies: The Official Journal of the IFIP Technical Committee on Education*. 2020, 25(6), 5003-5016. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10210-7>.
- Dejian L., Dede, Ch., Huang, R. & Richards J. (2017). *Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education. Smart Computing and Inteligence*. Springer Verlag Gmbh.
- Deng, L., Wu. S., Chen Y., & Peng, Z. (2020). Digital Game-Based Learning in a Shanghai Primary-School Mathematics Class: A Case Study. *Journal of Computer Assisted Learning*, 36(5), 709-717.
- Deng, L., Tian J., Cornwell, Ch., Phillips, V., Chen, L., & Alsuwaida A. (2019). Towards an Augmented Reality-Based Mobile Math Learning Game System. In: *HCI International 2019 - Posters. HCII 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1034*. (217-225). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23525-3_28.
- Dumbleton, T., & Kirriemuir, J. (2006). Digital games and education. In *Understanding digital games*, 223-240. SAGE Publications Ltd.
- Fesakis, G., Karta, P., & Kozas K. (2018). Designing Math Trails for Enhanced by Mobile Learning Realistic Mathematics Education in Primary Education. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 2018, 8(2), 49-63. <https://doi.org/10.3991/ijep.v8i2.8131>.
- Hays, R. T. (2005). *The effectiveness of instructional games: A literature review and discussion. Technical report 2005–004*. Orlando, FL: Naval Air Warfare Center Training Systems Division.
- Hnatová, J., & Hnat, A. (2019) SWOT analýza zaradenia technológie rozšírenej reality do vzdelávania In Zacio, Z. & Bernátová, R. (Eds.), *Między teorią pedagogiczną a praktyką edukacyjną. Annales Pedagogicae Nova Sandes – Presoves VIII*, 75-83.
- Kyriakides, A. O., Meletiou-Mavrotheris M., & Prodromou, T. (2016) Mobile Technologies in the Service of Students' Learning of Mathematics: The Example of Game Application A.L.E.X. in the Context of a Primary School in Cyprus. *Mathematics Education Research Journal*. 2016, 28(1), 53-78.
- Larkin, K. (2015). “An app! An app! My kingdom for an app”: An 18-month quest to determine whether apps support mathematical knowledge building. In *Digital games and mathematics learning: Potentials, promises and pitfalls, Mathematics education in the digital era, Vol. 4*, 251-276.
- Liu, R., Liu, Ch., & Ren, Y. A. (2018). Virtual Reality Application for Primary School Mathematics Class. *International Symposium on Educational Technology (ISET)*, 138-141. <https://doi.org/10.1109/ISET.2018.00038>.
- Litster, K., Lommatsch Ch. W, Novak J. R., Moyer-Packenham P. S., Jill Harmon M., Roxburgh A. L., & Bullock E. P. (2020). The Role of Gender on the Associations among Children’s Attitudes, Mathematics Knowledge, Digital Game Use, Perceptions of Affordances, and Achievement. *International Journal of Science and Mathematics Education*. <https://doi.org/10.1007/s10763-020-10111-8>.
- Maheshwari, I., & Maheshwari, P. (2020). Effectiveness of Immersive VR in STEM Education. *Seventh International Conference on Information Technology Trends (ITT)*, 2020, 7-12. <https://doi.org/10.1109/ITT51279.2020.93207>.

- Mayer, R. E. (2015). On the need for research evidence to guide the design of computer games for learning. *Educational Psychologist, 50*(4), 349–353.
- Moyer-Packenham, P. S., Lommatsch CH. W., Litster K., Ashby J., Bullock E. K., Roxburgh A. L., Shumway J. F., Speed E., Covington B., Hartmann Ch, Clarke-Midura J., Skaria J., Westenskow A., MacDonald B., Symanzik J., & Jordan, K. (2019). How design features in digital math games support learning and mathematics connections. *Computers in Human Behavior, 91*, 316-332. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.09.036>.
- Miundy, K., Zaman, H. B., & Nordin, A. (2017). Review on data driven preliminary study pertaining to assistive digital learning technologies to support dyscalculia learners. In: *Lecture Notes in Computer Science*. 10645 LNCS, 233-246.
- Saxe, J. G. (1963). The Blind Men and the Elephant. <https://www.goodreads.com/book/show/13598237-the-blind-men-and-the-elephant>.
- Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of Communication, 42* (4), 73-93. <https://doi-org.ezproxy.is.cuni.cz/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>
- Svitavsky, W. L. (2017). Examining the evolution of gaming and its impact on social, cultural, and political perspectives. *CHOICE: Current Reviews for Academic Libraries, 54*(6), 847-847.
- Oyelere, S. S., Bouali, N., Kaliisa, R., Obaido, G., Yunusa A. A., & Jimoh, E. R. (2020). Exploring the trends of educational virtual reality games: a systematic review of empirical studies. *Smart Learning Environments, 7*(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-020-00142-7>.
- Pellas, N., Dengel, A., & Christopoulos, A. (2020) A Scoping Review of Immersive Virtual Reality in STEM Education. *IEEE transactions on learning technologies, 2020, 13*(4), 748-761. <https://doi.org/10.1109/TLT.2020.3019405>.
- Pellas, N., Fotaris, P., Kazanidis, I. & Wells, D. (2019). Augmenting the learning experience in primary and secondary school education: a systematic review of recent trends in augmented reality game-based learning. *Virtual Reality 23*, 329-346. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0347-2>.
- Randel, J. M., Morris, B. A., Wetzel, C. D., & Whitehill, B. V. (1992). The effectiveness of games for educational purposes: A review of recent research. *Simulation and Gaming, 23*(3), 261-276.
- Tsai, Y., & Tsai, Ch. (2020). A meta-analysis of research on digital game-based science learning. *Journal of Computer Assisted Learning, 36*(3), 280-294. <https://doi.org/10.1111/jcal.12430>.
- Vogel, J. F., Vogel, D. S., Cannon-Bowers, J., Bowers, C. A., Muse, K., & Wright, M. (2006). Computer gaming and interactive simulations for learning: A meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research, 34*(3), 229-243. <https://doi.org/10.2190/FLHV-K4WA-WPVQ-H0YM>.
- Wu, H. K., Wen-Yu Lee, S., Chang, H. Y., & Liang J. C. (2012). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. In: *Computers & Education, 62*(01), 41-49.
- Zaman, H. B., Periasamy, E., Ahmad, A., Sulaiman, R., Ang, Ch. M., & Nayan, M. N. (2013). Evaluation of Augmented Reality Remedial Worksheet Based on AVCTP Algorithm for Negative Numbers (AR²WN²). *Lecture Notes in Computer Science 8237 LNCS*, 581-594.