

ANALÝZA NÁVRHOV VYUŽITIA APLIKÁCIE MATHKS ŠTUDENTMI PREDŠKOLSKEJ A ELEMENTÁRNEJ PEDAGOGIKY

Jakub LIPTÁK

Prešovská univerzita v Prešove, Pedagogická fakulta (Slovenská republika)

jakub.liptak@unipo.sk

Abstrakt

Tento príspevok dokumentuje prvotnú skúsenosť študentov predškolskej a elementárnej pedagogiky – budúcich učiteľov – s technológiou rozšírenej reality (AR) v rámci matematickej edukácie. Štúdia je kvalitatívneho charakteru, pričom analyzuje študentské návrhy aktivít využívajúce *MathKS*, čo je aplikácia podporujúca rozšírenú realitu. Jednotlivé návrhy sú následne prezentované v podobe niekoľkých kategórií, a to v zmysle zamerania vytvorených aktivít. Výsledky štúdie poukazujú, okrem iného, na potrebu častejšieho zaradzovania AR technológie do pregraduálnej prípravy učiteľov, so zámerom zdokonalenia ich pedagogických a technických znalostí týkajúcich sa AR technológie a jej využitia v matematickej edukácii.

Kľúčové slová: rozšírená realita, príprava učiteľov, matematická edukácia

ANALYSIS OF EDUCATIONAL PROPOSALS FOR THE MATHKS APP BY PRESCHOOL AND ELEMENTARY SCHOOL PRESERVICE TEACHERS

Abstract

This paper documents the initial experience of preschool and elementary pedagogy students – future teachers – with augmented reality (AR) technology in mathematics education. The study is of a qualitative nature, analysing students' proposals for activities using *MathKS* – an application supporting augmented reality. Individual proposals are subsequently presented in the form of several categories in terms of the focus of the created activities. The results of the study show, among other things, the need for more frequent inclusion of AR technology in the undergraduate training of teachers, with the aim of improving their pedagogical and technological knowledge regarding AR technology and its use in mathematics education.

Keywords: augmented reality, teacher training, mathematics education

1. Úvod

Technológia rozšírenej reality (AR) patrí v súčasnosti medzi najpopulárnejšie technológie v matematickej edukácii (Ahmad et al., 2020; Saundarajan et al., 2020; Jabar et al., 2022; Bulut & Ferri, 2023). Vplyvom rozšírenej reality dochádza v edukácii k obohateniu zmyslového vnímania účastníka procesu prostredníctvom virtuálneho kontextu. Samotná technológia je pritom založená na súčinnosti viacerých hardvérových a softvérových komponentov. Z pohľadu používaných technických zariadení možno rozlíšiť dva základné typy AR, a to *tablet-based AR* a *wearable AR*. Spustenie samotného rozšírenia je pritom založené na určitom podnete, na základe ktorého možno technológiu AR členiť na *marker-based AR*, *markerless AR*, *superimposition-based AR* a *SLAM-based AR* (Hnatová, et al. 2024).

V rámci matematickej edukácie je možné využívať ktorýkoľvek typ AR technológie, nakoľko jej samotné využitie sa môže týkať rozličných edukačných zámerov.

Rozšírená realita sa za posledných niekoľko rokov stala záujmom mnohých štúdií a prác v oblasti matematickej edukácie pre predprimárny a primárny stupeň vzdelávania v stredoeurópskom aj celosvetovom priestore. Jednotlivé štúdie pritom poukázali na využitie rozšírenej reality v rámci rozličných matematických tém, ale aj vplyv rozšírenej reality na psychológiu učenia sa, napríklad v oblasti motivácie žiakov k učeniu sa (Demitriadou et al., 2019; Yousef, 2020; Amir et al., 2020). AR technológia pritom môže mať pozitívny vplyv na učebné výsledky žiakov (Masneri et al., 2022; Bulut & Ferri, 2023).

Rozšírená realita je uplatniteľná v rozličných matematických oblastiach. Prídavková (2023) prezentovala možnosť využitia rozšírenej reality pre účely modelovania zápisu prirodzeného čísla. Okrem vytvárania predstáv o pozičnej sústave však možno AR technológiu využiť aj pri operáciách s číslami (Ivonne et al., 2020), či dokonca riešení rovníc (Mokriš et al., 2023). V spojení s aritmetikou, avšak presahujúco aj do iných oblastí bolo poukázané na možnosti využitia AR technológie pri tvorbe a riešení slovných úloh (Hnatová, 2023).

Asi však najfrekvencovanejšie využitie AR technológie v rámci matematických tém, na základe datovaných výskumov, má oblasť geometrie (Hnatová et al., 2024). V geometrii ju pritom možno využiť na rozpoznávanie geometrických útvarov (Gecu-Parmaksiz & Delialioglu, 2019). Prídavková (2022) poukázala na využitie rozšírenej reality pri tvorbe úloh zameraných na tému súmernosť v rovine. Pri vytváraní edukačných materiálov v spojení s AR technológiu protom možno využiť dostupné softvéry, ako napríklad GeoGebra. Mokriš et al. (2024) načrtnol možnosti vytvárania priestorových geometrických útvarov a ich vizualizáciu pomocou programu Geogebra. Wossala (2023) okrem samotných priestorových útvarov upozorňuje na možnosť vizualizácie ich sietí.

AR technológia má svoje uplatnenie aj vo voľnočasových aktivitách matematického charakteru. Lipták (2024) sumarizoval doterajšie výskumné práce zamerané na využitie technológie rozšírenej reality v oblasti mimoškolskej, resp. rekreačnej matematiky, kde najčastejšie sa vyskytujúcou oblasťou boli hry a úlohy v štvorcovej sieti, kartové a stolové hry, a geometrické skladačky. Koreňová et al. (2023) dodáva, že AR technológia je perspektívnym nástrojom edukácie v školskom klube detí. V nadväznosti na to Hnatová (2024a) poukazuje na možnosť využitia AR technológie vo formy didaktickej hry. Iným vhodným materiálom pre edukačné aktivity počas ale aj mimo vyučovania sú kocky a s nimi súvisiace aktivity, pričom AR technológiu možno v spojení s touto oblasťou využiť mnohými spôsobmi (Hnatová, 2024c; Hnatová, 2024d).

V rámci prezentovanej štúdie sú objektom záujmu budúci učitelia predprimárneho a primárneho stupňa vzdelávania v roli tvorcov edukačných aktivít s využitím aplikácie využívajúcej projekciu kockových štruktúr.

2. Metódy

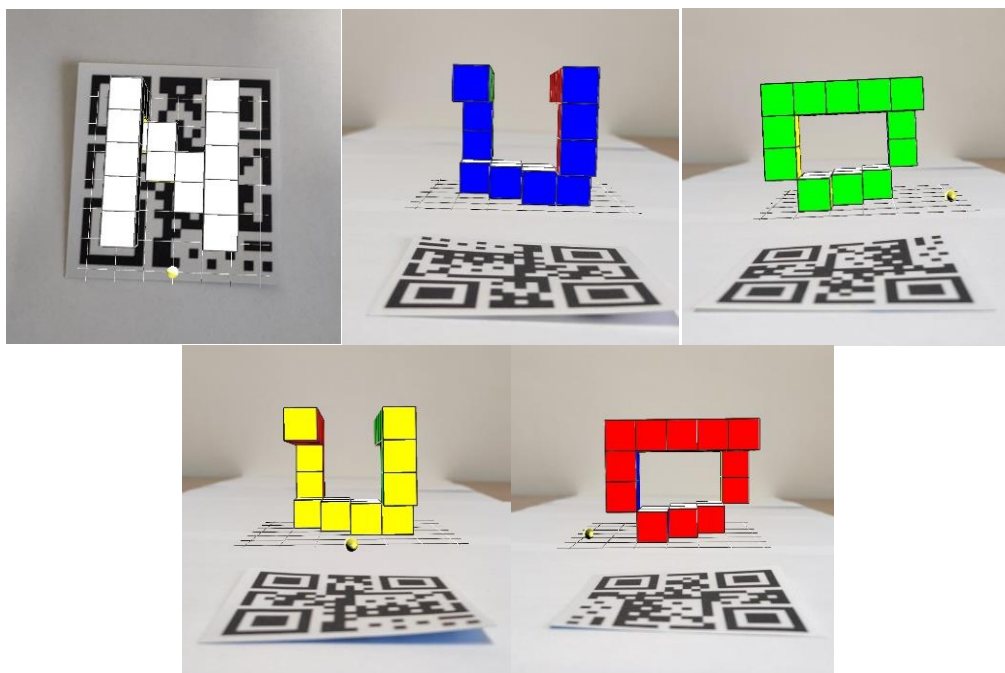
Cieľom tejto štúdie je identifikovať návrhy edukačných aktivít študentov predškolskej a elementárnej pedagogiky s využitím aplikácie *MathKS* vizualizujúcej kockové stavby pomocou rozšírenej reality. Následne je zámerom navrhnuté aktivity kvalitatívne analyzovať a vyvodiť závery pre prípravu budúcich učiteľov predškolského a primárneho stupňa v spojení s využívaním rozšírenej reality pre účely matematickej edukácie. Výskumnou otázkou je teda: *Aké sú primárne návrhy edukačných aktivít študentov predškolskej a elementárnej pedagogiky využívajúce AR technológiu v prostredí aplikácie MathKS?*

2.1. Participanti

Štúdie sa celkovo zúčastnilo 153 študentov predškolskej a elementárnej pedagogiky v druhom ročníku bakalárskeho štúdia na jednej univerzite na Slovensku. Vek participantov sa pohyboval v rozmedzí 20–22 rokov, pričom dostupným výberom získaná vzorka mala rýdzo ženské zastúpenie. Nikto z participantov nemal dovtedy skúsenosť s technológiou rozšírenej reality; participantí dokonca nevedeli čo je rozšírená realita.

2.2. Použité nástroje

V rámci štúdie bola použitá aplikácia *MathKS* zobrazujúca kockové štruktúry prostredníctvom technológie rozšírenej reality. Uvedená aplikácia je kompatibilná so systémom Android. Ide o marker-based aplikáciu, teda na vizualizáciu rozšírenej reality v podobe kockovej stavby je v tomto prípade použitý QR kód. QR kódu je jednoznačne priradená stavba, ktorá je načítaná z vytvorenej databázy. Aplikácia umožňuje individuálne zobrazenie celkovo 52 rozličných kockových štruktúr. Vyobrazenú kockovú štruktúru možno pozorovať z jednotlivých strán (pôdorys a 4 bokorysy), pričom každý z pohľadov je farebne rozlíšený. Navyše, každý z pohľadov je vyobrazením určitého tlačeneho písmena latinského písma. Orientácia daných písmen sa môže líšiť od klasického zápisu (pozri Obrázok 1). Každá z týchto kockových stavieb takto zobrazí tri odlišné písmená (v tomto prípade sú to písmená N - biele, U – modré a žlté, D – zelené a červené).



Obrázok 1. Jednotlivé pohľady na kockovú stavbu v rozšírenej realite

2.3. Priebeh

So skupinami participantov bolo organizované jednohodinové stretnutie, pričom participantí absolvovali stretnutie v skupinách o veľkosti 20-27 jedincov. Počas tohto stretnutia boli participantí oboznámení s aplikáciou *MathKS*. Participantom boli prezentované kockové stavby zobrazené prostredníctvom opísanej aplikácie na mobilnom zariadení, ktorého plocha bola zdieľaná so stolovým počítačom pomocou programu *TeamViewer* a projektovaná na bielom plátne. QR kód nasníмали tí participantí, ktorí o to prejavili záujem. Zvyšní participantí sledovali rozšírenú realitu na premietacom plátne. V priebehu snímania a projekcie digitálneho

vyobrazenia sa vyskytli technické problémy súvisiace s prerušením vizualizácie v dôsledku rýchlych pohybov so zariadením, alebo odklonením zariadenia od QR kódu. To však výrazným spôsobom neovplyvnilo zámer, ktorým bolo oboznámenie participantov s aplikáciou. Aby participanty evidovali možnosť využitia danej aplikácie v edukačnej realite, zadali sme im úlohu identifikovať jednotlivé písmená a zapisovať ich. Následne bolo ich úlohou zostrojiť čo najviac plnovýznamových slov. Pri riešení úlohy pracovali v 5–8 členných skupinách. Po ukončení skupinovej práce a prezentácií jednotlivých riešení bola skupinám participantov daná nasledovná úloha: „Navrhните edukačné aktivity pre deti mladšieho školského veku zamerané na oblasť matematiky, v ktorých bude dochádzať k používaniu aplikácie *MathKS*.“

Každá skupina mala na vypracovanie zadania dostatok času; vypracovanie odovzdávali keď sami uvážili jeho obsahovú saturáciu.

2.4. Analýza dát

Študentské návrhy aktivít zamerané na využívanie aplikácie *MathKS* v edukačnom procese boli podrobené obsahovej kvalitatívnej analýze. Celkovo bolo zozbieraných 26 vypracovaní, pričom niektoré vypracovania obsahovali aj viac návrhov edukačných aktivít. Tieto aktivity boli kódované na základe ich špecifického zamerania. V prípade výskytu podobne formulovaných aktivít boli tieto aktivity analyzované, no do ďalšej analýzy bola braná len jedna.

3. Výsledky

Na základe obsahovej analýzy návrhov aktivít/úloh sme vytvorili štyri kategórie návrhov:

- návrhy aktivít zamerané na precvičovanie matematických znalostí,
- návrhy aktivít bez spätosti so špecifickým edukačným obsahom,
- návrhy aktivít na oboznamovanie sa s rozšírenou realitou,
- návrhy aktivít bez jasného edukačného zámeru alebo problematické z hľadiska jednoznačnosti a korektnosti.

Tieto námety na aktivity uvádzame v nasledujúcej Tabuľke 1. až 4. Jednotlivé námety sú podporené našim komentárom, ktorého hlavnou úlohou je ozrejmiť navrhnutú aktivitu a uviesť ju do širšieho edukačného kontextu.

Tabuľka 1. Aktivity zamerané na oblasť matematiky

Popis navrhutej aktivity/úlohy	Komentár
Určiť počet štvorcov v jednotlivých písmenách (farieb).	Úloha je vhodná od najnižšieho stupňa matematického vzdelávania. V nadväznosti na túto úlohu možno formulovať pokyny zamerané napr. na porovnávanie a usporiadanie.
Usporiadať písmená (zostupne/vzostupne) podľa počtu štvorcov.	Úloha predpokladá určenie počtu štvorcov jednotlivých farieb. Tie je možné následne porovnávať a usporadúvať.
Určiť počet kociek v kockovej stavbe.	Žiaci určujú počet predmetov počítaním po jednom. Úloha pritom vyžaduje systematický postup riešenia. V opačnom prípade môže dôjsť k chybe kvôli viacnásobnému započítaniu kociek, resp. vynechaniu niektorých kociek.
Zoradiť QR kódy podľa počtu kociek v stavbách.	Žiaci najprv musia určiť počty kociek v jednotlivých stavbách a následne tieto hodnoty porovnať.

Určiť počet kociek potrebných na doplnenie stavby aby vznikla kocka/kváder.	Túto úlohu možno riešiť viacerými spôsobmi, na čo je potrebné v priebehu práce so žiakmi podotknúť. Typickými spôsobmi je dopočítavanie (dopĺňanie) kociek do stavby. Iným spôsobom je riešenie úlohy hľadaním rozdielu medzi počtom kociek stavby a počtom kociek, ktoré vytvoria „veľkú“ kocku. Úloha je vhodná pre oboznamovanie sa s vlastnosťami kocky.
QR kódy sú uložené vedľa seba (je nimi vyskladané slovo). Úlohou detí je „uhádnúť“ myslené slovo.	Riešenie tejto úlohy zahŕňa kombinovanie jednotlivých písmen, čo priamo súvisí s riešením kombinatorických úloh. V nadväznosti na túto úlohu možno formulovať problém: Koľko rôznych slov možno vytvoriť z daných možností?
Postaviť z reálnych kociek písmená na základe projektovaných modelov – diskusia o vlastnostiach kocky	Vytváranie písmen pomocou kociek môže byť aktivitou pre deti zoznamujúce sa s písmenami. Následne z toho možno vytvoriť úlohy zamerané na oblasť kombinatoriky, obsahu, objemu a pod.

Najfrekvencovanejšími námetmi na prácu s deťmi boli aktivity, kde hlavnou náplňou detí je určiť počet kociek, resp. štvorcov danej farby. Ide o očakávaný výsledok, nakoľko úlohy na určovanie počtu možno považovať za najjednoduchšie v zmysle vytvorenia samotnej úlohy. Ďalším námetom bolo dopĺňanie kociek do stavby. Nazdávame sa, že pri tomto návrhu boli účastníci ovplyvnení riešením podobnej úlohy v minulosti, avšak v podobe plánu stavby alebo 3D grafického náhľadu na stavbu z kociek.

Tabuľka 2. Námety pre nešpecifický edukačný obsah

Popis navrhnutej aktivity/úlohy	Komentár
Zadaním bude omaľovanka, ktorej jednotlivé sektory budú mať vpísané matematické príklady (napr. $3 \cdot 2 = \dots$). Okrem toho budú v zadaní písmená, ktoré budú priradené k číslam – výsledkom príkladov. Úlohou žiakov je: - vypočítať príklady a tým identifikovať priradené písmeno, - nasnímaním stavieb zistiť, aká farba prislúcha danému písmenu, - danou farbou vyfarbiť obrázok.	Táto a podobné aktivity by využívali prezentovanú aplikáciu v zmysle referencie na farbu alebo nejakú inú vlastnosť späť s vyobrazenými stavbami a písmenami. Takýmto spôsobom by mohla byť aplikácia využitá v rámci série úloh, ktoré vzájomne odkazujú na seba.
Deti riešia matematické úlohy s výberom možností. Po vyriešení úlohy a nasnímaní QR kódu, ktorý sa nachádza pri zadaní úlohy si deti overia správnosť odpovede (napr. správna je odpoveď A vtedy, ak jedným z písmen v kockovej stavbe je písmeno A).	Tento návrh má všeobecnú platnosť z pohľadu obsahu vyučovania. V prípade matematiky, teoreticky, by správnosť číselnej odpovede matematickej úlohy mohla byť overená napr. určením počtu, rozdielu, podielu alebo súčinu konkrétnych kociek stavby.

V prípade prvého návrhu sa študenti pravdepodobne nechali inšpirovať úlohami z pracovných zošitov pre primárne vzdelávanie. Druhý návrh pôvodne nie je viazaný na matematický obsah, a jeho násilné spájanie s matematikou sa nejaví byť vhodnou cestou. Napriek tomu je možné nájsť určité prieniky.

Tabuľka 3. Aktivity na oboznamovanie sa s rozšírenou realitou

Popis navrhutej aktivity/úlohy	Komentár
Zakresliť do štvorcovej siete jednotlivé pohľady na kockovú stavbu (jednotlivé písmená). Následne možno žiakom formulovať úlohy ako: • presuň štvorce tak, aby ti vzniklo iné písmeno, • urč počet štvorcov, ktoré potrebujeme pridať/odobrať, aby sme vytvorili iné písmeno.	Túto úlohu možno považovať za vhodnú pre oboznamovanie sa s písmenami. Diskutovanie počtu použitých štvorcov však môže prispieť k budovaniu predmatematickej gramotnosti.
Deti hľadajú konkrétne písmená v AR stavbách. Ak nájdu dané písmeno, spolu s ním si zapisujú všetky zvyšné písmená v stavbe.	Aktivita je zameraná na manipuláciu s AR technológiou a identifikovanie písmen abecedy.
Vypisovanie písmen a skladanie viet	Aktivita je zameraná na manipuláciu s AR technológiou a identifikovanie písmen abecedy. Potenciálne možno navrhnúť aktivitu na tvorbu písaného alebo hovoreného textu.
Po ukážke kockovej stavby žiakom sú im kladené otázky typu: Aké písmená tam boli? Aký bol počet kociek/štvorcov? Aké farby boli použité? ...	Touto aktivitou môže dochádzať k cvičeniu pracovnej pamäti.

Uvedené aktivity možno využiť či už v rámci vyučovania alebo voľnočasovej edukácie. Zameraním sa však vzdiaľujú od matematickej edukácie, resp. boli študentmi formulované aktivity nešpecifické pre matematické vzdelávanie.

Do poslednej kategórie (Tabuľka 4.) sme zaradili námety aktivít a úloh, z ktorých znenia nie je viditeľný prínos pre matematické vzdelávanie, resp. ktoré nemožno efektívne realizovať z dôvodu objektívnych obmedzení. Napriek tomu sme sa u niektorých námetov pokúsili nájsť určité prieniky s matematickou edukáciou.

Tabuľka 4. Nevhodné návrhy aktivít

Popis navrhutej aktivity/úlohy	Komentár
Na základe „digitálnej“ kockovej stavby postaviť reálnu stavbu z kociek.	V prípade nami prezentovanej aplikácie je vo väčšine prípadov nemožné postaviť reálnu stavbu kvôli typu stavby (pozri Obrázok 1). V prípade iných typov stavieb by však išlo o aktivitu vhodnú pre deti predprimárneho vzdelávania.
Usporiadať písmená/stavby podľa výšky, šírky	Nami prezentované stavby majú buď rovnaké rozmery alebo rozmery líšiac sa o jednu kocku. Na základe nízkej disperzie je tak nevhodné porovnávať jednotlivé rozmery.
V poradí ktoré je písmeno napr. „Z“?	Z tohto návrhu nie je zrejmý edukačný zámer. Teoreticky, písmená so stavieb možno priradiť k číslam (napr. nominálne na základe vzostupného poradia) a následne to využiť pre aktivity so šiframi.
Skladanie písmen zo zápaliek	Aktivita je bez konkrétneho cieľa. Teoreticky, spolu so skladaním písmen so zápaliek možno úlohu poňať divergentným spôsobom a prepojiť to s kombinatorikou.
Prepojenie písmen na rímske čísla – Ktoré písmená sú rímskymi číslicami?	Aj keď rímske čísla sú v kurikule matematického vzdelávania, nevidíme potenciál využitia prezentovanej aplikácie pre tento obsah.

Žiak má danú farebnú postupnosť. Jednotlivé stavby musí zoradiť do takejto postupnosti.	Každá stavba pozostáva z rovnakého spektra farieb, a preto napr. pre postupnosť štyroch farieb a daných štyroch stavbách existuje $4! = 24$ riešení. Úloha preto nie je problémom.
Na základe „digitálnej“ kockovej stavby vytvoriť plán stavby.	Keďže stavby v aplikácii neboli klasickými stavbami z kociek, vytvorený plán by bol nejednoznačný. V prípade jednoduchších stavieb by však išlo o vhodnú aktivitu pre žiakov predprimárneho a primárneho vzdelávania.

4. Záver

Prezentovaná štúdia poukazuje na niekoľko podstatných faktov. Prvým faktom je to, že technológia rozšírenej reality a jej didaktické využitie je pomerne málo známe budúcim učiteľom primárneho a predprimárneho stupňa vzdelávania, pričom k podobnému záveru dospela aj Hnatová (2024b). Tieto zistenia sa pritom týkajú znalostí študentov predprimárnej a elementárnej pedagogiky vo vzťahu s používaním digitálnych technológií vo všeobecnosti (Lipták, 2023).

Druhým faktom je to, že napriek limitovanej skúsenosti s technológiou rozšírenej reality boli budúci učelia schopní navrhnuť rozmanité edukačné aktivity a úloh. Na druhej strane, nakoľko išlo o študentov druhého ročníka bakalárskeho štúdia, nižšia kvalita edukačných návrhov bola pravdepodobne spôsobená ich doposiaľ nedostatočnými didaktickými a odbornými znalosťami prislúchajúcimi učiteľovi matematiky primárneho stupňa vzdelávania. K podobným záverom dospela Hnatová (2024b), ktorá pri identifikácii úrovne edukačných návrhov s rozšírenou realitou pomocou modelu TIM dospela k tomu, že budúci učelia predprimárneho a primárneho stupňa vzdelávania majú tendenciu vytvárať aktivity s jednoduchším spôsobom integrácie. Tento stav by bolo zaujímavé sledovať aj z dlhodobého hľadiska, resp. porovnať úroveň aktivít budúcich učiteľov v jednotlivých fázach ich pregraduálnej prípravy.

Na záver možno konštatovať, že prezentovaná aplikácia *MathKS* ponúka dostatok priestoru pre vytváranie edukačných aktivít, no jej efektívne využitie je závislé od didaktického a odborného majstrovstva daného učiteľa, čo taktiež nadväzuje na zistenia Mokriš et al. (2023). Pri práci s novým a pútavým edukačným nástrojom akým je prostredie rozšírenej reality môžu neskúsení učelia, resp. budúci učelia sklznúť od samotného matematického obsahu k povrchovej činnosti (Prídavková, 2023). Nakoľko sa ukázalo, že samostatná práca študentov – budúcich učiteľov – s digitálnymi technológiami nepoukazuje na ich znalostné prírastky (Prídavková, 2023; Nocar & Zdráhal, 2016), považujeme za potrebné zaradzovať efektívne digitálne nástroje do pregraduálnej prípravy učiteľov, pričom významnú časť by mala tvoriť činnosť spojená s týmito nástrojmi pod vedením erudovaných pedagógov. Na základe toho možno predpokladať zvýšenú pravdepodobnosť znalostných prírastkov u študentov. Aby sa však študenti dokázali aj samostatne vzdelávať v oblasti práce s AR technológiou, považujeme za potrebné učiteľom ponúknuť kvalitnú metodickú príručku, resp. učebnicu zameranú na pedagogickú činnosť s využitím AR technológie v matematickej edukácii.

Acknowledgements

Príspevok je čiastkovým výstupom grantového projektu *KEGA* č. 024PU-4/2024 *Technológia rozšírenej reality a jej inkorporácia do matematickej prípravy študentov v študijnom programe Predškolská a elementárna pedagogika*.

Literatúra

- Ahmad, N. I. N., & Junaini, S. N. (2020). Augmented Reality for Learning Mathematics: A Systematic Literature Review. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15(16), 106–122. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i16.14961>
- Amir, M. F., Fediyanto, N., Rudyanto, H. E., Nur Afifah, D. S., & Tortop, H. S. (2020). Elementary students' perceptions of 3Dmetric: A cross-sectional study. *Heliyon*, 6(6), e04052. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04052>
- Bulut, M., & Borromeo Ferri, R. (2023). A systematic literature review on augmented reality in mathematics education. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 11(3), 556–572. <https://doi.org/10.30935/scimath/13124>
- Demitriadou, E., Stavroulia, K.-E., & Lanitis, A. (2020). Comparative evaluation of virtual and augmented reality for teaching mathematics in primary education. *Education and Information Technologies*, 25(1), 381–401. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09973-5>
- Gecu-Parmaksiz, Z., & Delialioglu, O. (2019). Augmented reality-based virtual manipulatives versus physical manipulatives for teaching geometric shapes to preschool children. *British Journal of Educational Technology*, 50(6), 3376–3390. <https://doi.org/10.1111/bjet.12740>
- Hnatová, J. (2023). Využitie technológie rozšírenej reality pri tvorbe a riešení slovnej úlohy z matematiky študentmi učiteľstva pre primárne vzdelávanie. *Elementary Mathematics Education Journal*, 5(1), 22–31. https://emejournal.upol.cz/Issues/Vol5No1/Vol5No1_Hnatova.pdf
- Hnatová, J., Prídavková, A., & Lipták, J. (2024). *Rozšírená realita v primárnej matematickej edukácii: analýza edukačných aktivít študentov – budúcich pedagógov*. Prešov: Prešovská univerzita v Prešove. Dostupné z: <https://www.pulib.sk/web/kniznica/elpub/dokument/Hnatova2>
- Hnatová, J. (2024a). Didaktická hra s podporou rozšírenej reality (AR). In: *Dva dny s didaktikou matematiky 2024* (39–46). Praha: PF UK. Dostupné z: <https://8d8f55af62.clvaw-cdnwnd.com/0023db53731df613e31376e312bef977/200000249-bd96bbd96d/DvaDny2024.pdf>
- Hnatová, J. (2024b). Edukačné aktivity využívajúce rozšírenú realitu pri rozlišovaní základných telies a ich vlastností v primárnej matematickej edukácii – prípadová štúdia. *Elementary Mathematics Education Journal*, 6(1), 24–36. Dostupné z: https://emejournal.upol.cz/Issues/Vol6No1/Vol6No1_Hnatova.pdf
- Hnatová, J. (2024c). Edukačná hra so stavbami z kociek v rozšírenej realite pre žiakov v 1. cykle ZŠ. In: T. Nestorenko, R. Bernátová, & D. Kalita (Eds.), *Edukacja i społeczeństwo IX*. (21–30). Katowice: Akademia Śląska. Dostupné z: <http://www.wydawnictwo.wst.pl/uploads/files/2583a312fe258bf61be2fbc498017f63.pdf>
- Hnatová, J. (2024d). Stavby z kociek v rozšírenej realite pre žiakov 1. a 2. cyklu ZŠ. In: *Dva dni s didaktikou matematiky 2024* (24–29). Bratislava: FMFI UK. Dostupné z: <https://fmph.uniba.sk/fileadmin/fmfi/microsites/kdmfi/odm/zbornik2024.pdf>
- Ivonne, H. P. A., Alberto, M. P. M., & Guadalupe, C. F. R. (2020). Augmented Reality Application for Teaching Basic Operations with Fractions of the Same Denominator. *Journal of Computer Science*, 16(7), 1042–1062. <https://doi.org/10.3844/jcssp.2020.1042.1062>
- Jabar, J. M., Hidayat, R., Samat, N. A., Rohizan, M. F. H., Rosdin, N. 'Ain, Salim, N., & Norazhar, S. A. (2022). Augmented Reality Learning in Mathematics Education: A

- Systematic Literature Review. *Journal of Higher Education Theory and Practice*, 22(15). <https://doi.org/10.33423/jhetp.v22i15.5570>
- Koreňová, L., Severini, E., & Cavojsky, I. (2023). The Use of Augmented Reality in the After School Club From the Point of View of Future Educators. In: *INTED2023 Proceedings*, 5254–5263. <https://doi.org/10.21125/inted.2023.1360>
- Lipták, J. (2023). Rozšírená realita vo voľnočasovej matematickej edukácii očami študentov predprimárnej a primárnej pedagogiky. *Elementary Mathematics Education Journal*, 5(2), 17–24. Dostupné z: https://emejournal.upol.cz/Issues/Vol5No2/Vol5No2_Liptak.pdf
- Lipták, J. (2024). Analýza možností implementácie rozšírenej reality do kurzu Rekreačná matematika. In: B. Hlebová & V. Piskura (Eds.), *Transformácia edukácie v predprimárnom, primárnom a špeciálnom vzdelávaní v 21. storočí* (418–426). Prešov: Prešovská univerzita v Prešove. Dostupné z: <https://www.pulib.sk/web/kniznica/elpub/dokument/Hlebova4>
- Masneri, S., Domínguez, A., Zorrilla, M., Larrañaga, M., & Arruarte, A. (2022). Interactive, Collaborative and Multi-user Augmented Reality Applications in Primary and Secondary Education. A Systematic Review. *JUCS - Journal of Universal Computer Science*, 28(6), Article 6. <https://doi.org/10.3897/jucs.76535>
- Mokriš, M., Šimčíková, E., & Tomková, B. (2023). Riešenie rovníc v príprave učiteľov elementaristov. *Elementary Mathematics Education Journal*, 5(2), 25–33. Dostupné z: https://emejournal.upol.cz/Issues/Vol5No2/Vol5No2_Mokris-Simcikova-Tomkova.pdf
- Mokriš, M., Šimčíková, E., & Tomková, B. (2024). Jednoduché priestorové geometrické útvary v prostredí technológie rozšírenej reality. In: B. Hlebová & V. Piskura (Eds.), *Transformácia edukácie v predprimárnom, primárnom a špeciálnom vzdelávaní v 21. storočí* (427–431). Prešov: Prešovská univerzita v Prešove. Dostupné z: <https://www.pulib.sk/web/kniznica/elpub/dokument/Hlebova4>
- Nocar, D., & Zdráhal, T. (2016). Efektivita softwaru dynamické geometrie při samostudiu na příkladě jednoho geometrického konceptu. *Trends in Education*, 9(1), 198–204. <https://doi.org/10.5507/tvv.2016.027>
- Prídavková, A. (2022). Technológia rozšírenej reality a rozvoj matematických schopností. *Elementary Mathematics Education Journal*, 4(1), 53–63. Dostupné z: https://emejournal.upol.cz/Issues/Vol4No1/Vol4No1_Pridavkova.pdf
- Prídavková, A. (2023). Analýza prác študentov v kontexte zaradenia technológie rozšírenej reality do matematickej edukácie. *Elementary Mathematics Education Journal*, 5(2), 53–66. Dostupné z: https://emejournal.upol.cz/Issues/Vol5No2/Vol5No2_Pridavkova.pdf
- Saundarajan, K., Osman, S., Kumar, J. A., Daud, M. F., Abu, M. S., & Pairan, M. R. (2020). Learning Algebra using Augmented Reality: A Preliminary Investigation on the Application of Photomath for Lower Secondary Education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15(16), Article 16. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i16.10540>
- Wossala, J. (2023). Zásada názornosti v matematice s využitím programu Geogebra. *Elementary Mathematics Education Journal*, 5(2), 77–86. Dostupné z: https://emejournal.upol.cz/Issues/Vol5No2/Vol5No2_Wossala.pdf
- Yousef, A. M. F. (2021). Augmented reality assisted learning achievement, motivation, and creativity for children of low-grade in primary school. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(4), 966–977. <https://doi.org/10.1111/jcal.12536>