

Využitie 3D pera vo výučbe priestorovej geometrie pre zrakovo znevýhodnených žiakov

Zuzana Kucharová^{1*}

Barbora Pokorná^{2†‡}

¹ Katedra didaktiky matematiky, fyziky a informatiky, FMFI UK, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava

² Katedra algebry a geometrie, FMFI UK, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava

Abstrakt: Pre žiakov so zrakovým znevýhodnením má pri výučbe geometrie dominantnú úlohu hmatové vnímanie, preto je nevyhnutné využívať vhodné hmatové didaktické pomôcky. V súčasnosti však na Slovensku evidujeme ich nedostatok, zastaranosť a obmedzenú dostupnosť. Ako inovatívny a efektívny nástroj na rýchlu a cenovo dostupnú výrobu modelov sa javí využitie 3D pera. V článku predstavujeme modely telies vytvorené pomocou 3D pera, navrhnuté v spolupráci so špeciálnou základnou školou pre žiakov so zrakovým znevýhodnením, určené na podporu výučby priestorovej geometrie. Na príklade vybranej šablóny opisujeme postup tvorby 3D modelu a jeho využitie v edukačnom procese. Navrhnuté riešenia umožňujú jednoduchú výrobu modelov bez potreby znalostí špecializovaného softvéru a rozširujú možnosti tvorby dostupných hmatových didaktických pomôcok v pedagogickej praxi.

Kľúčové slová: zrakové znevýhodnenie, hmatové didaktické pomôcky, 3D pero, priestorová geometria, inkluzívne vzdelávanie

1 Úvod

Z hľadiska prijímania informácií sa za najdôležitejší zmysel človeka považuje zrak, nakoľko práve zrakom vnímame z vonkajšieho prostredia približne 80% informácií. Z toho dôvodu prináša život so zrakovým znevýhodnením mnohé obmedzenia v každodennom fungovaní. Výnimkou nie je ani vzdelávanie, ktoré zohráva kľúčovú úlohu v životoch zrakovo znevýhodnených, nakoľko im poskytuje možnosť dosiahnuť rovnaké spoločenské a profesijné príležitosti. K tomu napomáha aj inkluzívne vzdelávanie, ktoré kladie zvýšené nároky na prispôbenie didaktických prostriedkov potrebám znevýhodnených žiakov. Kritickou oblasťou sa javí priestorová geometria, v ktorej je vizuálna predstavivosť primárnym faktorom úspešného zvládnutia učiva. Plnohodnotnému poro-

zumeniu preberaného učiva bráni absencia adekvátne prispôbovaných pomôcok, ich vysoká finančná náročnosť či nevhodná metodická konštrukcia. Na túto problematiku poukázala aj iniciatíva Spojenej školy internátnej pre žiakov so zrakovým postihnutím v Bratislave, ktorá oslovila fakultu s prosbou vytvorenia edukačných pomôcok, ktoré by vyššie uvedené nedostatky eliminovali a tým pomohli kvalitnejšiemu a rovnocennému vzdelávaniu. Cieľom predloženej práce je preto návrh a realizácia cenovo dostupných a didakticky efektívnych pomôcok s využitím technológie 3D pera.

2 Zrakové znevýhodnenie

Zrakové znevýhodnenie znamená pre znevýhodneného jedinca, že má obmedzenú, zníženú alebo úplne vylúčenú schopnosť prijímať vizuálne informácie. Zrakové znevýhodnenie neovplyvňuje len určitý orgán alebo jeho funkčnosť, ale ovplyvňuje aj činnosti v bežnom živote, a teda aj celú osobnosť jednotlivca, jeho fyzický a psychický vývoj. Pokiaľ korekcia zraku pomocou okuliarov alebo operácie nepostačuje k plnému videniu, hovoríme o ťažkom zrakovom postihnutí (Pipeková, 2006, cit. podľa [Plíšková, 2013]).

[Lopúchová, 2021] píše, že vo všeobecnosti majú poruchy zraku rôznorodý pôvod. V dôsledku toho majú rôzne príznaky a prejavy, čo vysvetľuje existenciu viacerých typov zrakových znevýhodnení. Základné delenie vychádza z toho, či zrakové znevýhodnenie bolo prítomné už od narodenia (vrodené), alebo vzniklo počas života (získané). [Lopúchová, 2021, s. 11] ďalej uvádza, že časť vrodených porúch zraku je geneticky podmienená, avšak väčšinou sú tieto poruchy zraku následkom chorobných zmien plodu, ktoré vznikli pri ochoreniach matky (rubeola, toxoplazmóza, infekcia a i.), pod vplyvom rôznych faktorov vonkajšieho a vnútorného prostredia („pôsobením vírusov, baktérií a iných mikroorganizmov, toxickým vplyvom alkoholu a tabakových výrobkov počas tehotenstva, prekonaním zá-

*kucharova56@uniba.sk

†barbora.pokorna@fmph.uniba.sk

‡Školiteľ

važných ochorení“). Ďalšie rozdelenie, ktoré autorka uvádza, je podľa doby vzniku poškodenia, a to:

- *prenatálne* (počas vývoja plodu),
- *perinatálne* (pri pôrode),
- *postnatálne* (po narodení).

Podľa etiológie rozdelíme zrakové znevýhodnenia na orgánové (poškodený je priamo zrakový orgán alebo dráha) a funkčné (porucha zrakových funkcií bez zjavného organického poškodenia, napr. tupozrakosť alebo škúlenie).

„Diferenciácia porúch zraku, ale následne aj samotných jednotlivcov s poruchami zraku, má za cieľ najmä efektívnejší prístup vo vzdelávaní a personalizované riešenie edukačných situácií, ako aj využívanie adekvátnych edukačných stratégií“ [Lopúchová, 2021, s. 12].

V špeciálnej pedagogike sa najčastejšie uplatňuje klasifikácia podľa [Jesenský, 2002]. Žiakov so zrakovým znevýhodnením delíme do štyroch skupín:

1. *nevidiaci*: úplná slepota, praktická slepota so zvyškami zraku alebo svetlocitom,
2. *slabozrakí*: ťažkého, stredného a ľahkého stupňa,
3. *osoby s binokulárnymi poruchami*: tupozrakosť, strabizmus, monokulus,
4. *osoby s kombinovaným postihnutím*.

S každou z uvedených skupín sa v edukačnom procese spájajú špecifické limity, z ktorých v nasledujúcej časti priblížime tie najrelevantnejšie pre výučbu geometrie.

Dôsledky *slepoty* sa vo výučbe matematiky prejavujú najmä v nemožnosti vytvárať vizuálne predstavy na základe poznávania okolitého sveta a v sťaženej možnosti získavať informácie prostredníctvom zraku. Žiak nemôže vykonávať činnosti, ktoré vyžadujú optickú kontrolu. Pri praktickej slepote žiak rozoznáva objekty až vo veľmi tesnej blízkosti očí, čo má za následok, že zrak je pre bežnú prácu prakticky nevyužitelný [Lopúchová, 2021].

Medzi časté diagnózy *slabozrakých* zaradíme napríklad anizometriu, astigmatizmus, kataraktu či nystagmus. Pri týchto poruchách si žiaci vytvárajú nepresné alebo skreslené predstavy. Majú častokrát narušenú priestorovú orientáciu alebo zúžené zorné

pole. Obráz toho istého bodu alebo predmetu môžu pravým a ľavým okom vnímať v rôznej veľkosti. Taktiež môže u týchto žiakov dochádzať k dvojitému videniu a statické predmety sa môžu javiť ako pohyblivé [Lopúchová, 2021]. Všetky uvedené faktory majú reálny dopad na vnímanie priestorovej geometrie, a preto je potrebné tomu prispôsobiť vyučovanie a tvorbu úloh.

Osoby, ktoré majú narušené *binokulárne videnie* nedokážu vytvárať na sietnici oboch očí rovnocenné obrazy, ktoré by po splynutí vytvorili priestorový vnem a zabezpečili stereoskopické, teda hĺbkové videnie [Lopúchová, 2021]. V edukačnom procese tento deficit spôsobuje, že žiak nedokáže z dvojrozmerného nákresu na tabuli vnímať hĺbku. Táto skutočnosť výrazne limituje utváranie jeho priestorovej predstavivosti o geometrických telesách.

Vo všetkých uvedených oblastiach je veľkým prínosom, a niekedy až nevyhnutnosťou, používať na hodinách priestorovej geometrie 3D modely. Tieto žiakom so zrakovým znevýhodnením poskytujú kľúčovú pomoc pri pochopení priestorových vzťahov, ktoré im zrak sprostredkovať nedokáže.

V školskom prostredí hrá dôležitú úlohu aj čas vzniku zrakového postihnutia. Ako bolo uvedené vyššie, postihnutie môže byť vrodené alebo získané. Pri získanom postihnutí je možné nadväzovať na predtým nadobudnuté skúsenosti, zatiaľ čo pri vrodenom postihnutí chýbajú akékoľvek predstavy o vizuálnych obrazoch [Vašek, 2005].

2.1 Taktilná perцепcia ako kompenzačný mechanizmus

V prípade osôb so zrakovým znevýhodnením je príjem informácií vizuálnou cestou limitovaný alebo úplne vylúčený. Akonáhle jediniec nemôže používať bežné spôsoby kontroly a interakcie v určitom prostredí, spontánne začína zapájať kompenzačné mechanizmy. Kompenzácia je definovaná ako spôsob aktivácie a využívania zachovaných neurofyziológických a psychických schopností človeka, ktoré umožňujú adaptáciu jedinca v zložitých životných situáciách vyvolaných defektom alebo poškodením orgánizmu [Jesenský, 1973].

Kompenzačné mechanizmy u zrakovo postihnutých sú komplexné procesy, ktorými sa organizmus a myseľ prispôbujú strate alebo oslabeniu zraku. Cieľom je nahradiť, doplniť alebo podporiť chýbajúce zrakové funkcie prostredníctvom iných

zmyslov (sluch, hmat, čuch), zosilnenia kognitívnych schopností a využívania špeciálnych pomôcok [Hlubovič, 2021].

Odborníci z oblasti špeciálnej pedagogiky a psychológie, vrátane [Požár, 2007], rozdeľujú kompenzačné mechanizmy u zrakovo postihnutých na *nižšie* a *vyššie*.

- *nižšie kompenzačné mechanizmy*: sluch, hmat, čuch, chuť a pohyb,
- *vyššie kompenzačné mechanizmy*: pamäť, pozornosť, predstavivosť, myslenie, vôľ a reč

V našej práci sa zameriavame na tvorbu pomôcok založených na hmatovej perцепcii, a preto sa nižšie zaoberáme hmatom ako hlavným kompenzačným mechanizmom.

Zrakový analyzátor priamo sprostredkováva dominantnú časť informácií z prostredia, čo súvisí so skutočnosťou, že zrak sa radí medzi tzv. dištančné zmysly. Teda zmyslové orgány, ktoré umožňujú vnímať podnety z okolitého prostredia bez priameho fyzického kontaktu s objektom. Prostredníctvom zraku je možné simultánne rozlišovať tvar, farbu, polohu a jej zmenu, veľkosť, prípadne aj povrchovú štruktúru pozorovaného objektu. Hoci sú mnohé z týchto vlastností vnímateľné aj hmatovým a kinestetickým (pohybovým) zmyslom, tyflopsychológia upozorňuje, že intenzita a parametre diferencovania uvedených vlastností s pomocou hmatu v bežných podmienkach obyčajne nedosahujú úroveň zrakového vnímania. Hmatové vnímanie vykazuje v porovnaní so zrakovým viaceré obmedzenia. Kľúčovým faktom je, že hmatom môžeme vnímať a poznávať vlastnosti objektov iba, keď sú v bezprostrednej blízkosti [Jesenský, 1988]).

Špecifický deficit predstavuje napríklad neschopnosť hmatovej perцепcie farieb či absenciu celostného (simultánneho) vnímania rozmernejších telies, čo potvrdzuje aj Řezníčková (1989, cit. podľa [Jašková and Kaliaková, 2016]), keď uvádza, že u zrakovo znevýhodnených poznanie prebieha postupne od časti k celku. Takýto spôsob získavania informácií je kognitívne namáhavejší a časovo náročnejší, pričom vyžaduje intenzívnejšie zapojenie vyšších kompenzačných mechanizmov, najmä pozornosti, pamäte a myslenia.

Tieto limitácie predstavujú pre žiaka so zrakovým postihnutím výrazný kognitívny hendikep, ktorý sa v

edukačnom procese zmiernuje využívaním tyflotechnických pomôcok, ako sú napríklad ručné lupy, Pichtov písací stroj, kalkulačka s hlasovým výstupom a mnohé ďalšie [Jesenský, 1988].

Práve problematika transformácie vizuálnych vlastností do hmatovo čitateľnej podoby je kľúčová pre efektívne vyučovanie priestorovej geometrie. Pre plnohodnotné vzdelávanie žiakov so zrakovým znevýhodnením je teda potrebné, aby vytvorené pomôcky zodpovedali určitým kritériám.

2.2 Kritériá tvorby efektívnych hmatových pomôcok

Vzhľadom na uvedené špecifiká taktilnej perцепcie je pri vytváraní didaktických pomôcok nevyhnutné dbať na edukačný cieľ: pomôcka musí zrakovo znevýhodnenému žiakovi uľahčiť pochopenie abstraktného učiva prostredníctvom hmatovo zrozumiteľnej formy. Pri návrhu úloh sme sa inšpirovali metodickými odporúčaniami [Kochová, 2012] pre tvorbu taktilných kníh, pričom sme vybrali a adaptovali tie zásady, ktoré sú pre tvorbu 3D pomôcok kľúčové.

Reliéf a hmatový kontrast – základnou podmienkou je, aby línie (priamky, úsečky, kružnice) a rovinné útvary jasne kontrastovali s pozadím. V tyflografike sa tento kontrast nedosahuje farebnosťou, ale dostatočnou výškou reliéfu. Ten musí byť natoľko výrazný, aby ho žiak dokázal bruškami prstov jednoznačne identifikovať a odlíšiť od podkladu.

Optimálna veľkosť a pamäťová stopa – vhodná veľkosť objektov je kritickým faktorom úspešnej perceptions. Ako bolo spomenuté v podkapitole 2.1, hmatové vnímanie je sukcesívne. Príliš rozmerné útvary môžu viesť k javu tzv. „neuhmatateľnosti“, kedy žiak nie je schopný mentálne obsiahnuť celý objekt naraz, čo sťažuje vytvorenie ucelenej mentálnej reprezentácie geometrického útvaru. Naopak, príliš malé útvary sú nevhodné, nakoľko detaily hmatovo splývajú. Pri zadávaní úloh sa neodporúča vyžadovať rozlišovanie detailov menších ako 0,5 mm.

Dynamika pohybu a mechanická odolnosť – hmatové vnímanie nie je statické, je to aktívny proces spojený s pohybom po objekte. Keďže hmat si vyžaduje opakované prechádzanie po kontúrach, proces kladie vysoké nároky na mechanickú pevnosť a trvanlivosť pomôcky. Materiál musí odolávať tlaku prstov bez toho, aby sa deformoval alebo strácal svoju štruktúru. Súčasťou grafických úloh musí byť aj sprievodný text v Braillovom písme, ktorý podlieha

prísny normám z hľadiska veľkosti bodov a rozstupov.

3 Nástroj 3D pero

3D pero predstavuje inovatívny didaktický nástroj, ktorý umožňuje vytváranie priestorových objektov prostredníctvom extrúzie roztaveného termoplastu (obr. 1). Ide o ručné zariadenie pripomínajúce plniace pero, ktoré namiesto atramentu vytláča plastové vlákno (filament), najčastejšie na báze polylaktidu (PLA). Tento materiál po opustení hrotu rýchlo tuhne na vzduchu, čím vzniká pevná a stabilná štruktúra. Vďaka tejto vlastnosti je možné kresliť nielen v rovine, ale aj priamo v priestore, čo umožňuje tvorbu trojrozmerných modelov.



Obr. 1: Hlavné časti 3D pera. Upravené z [EtechRobot, nd].

Technológia 3D pier sa začala rozvíjať približne v rokoch 2012 – 2013 ako praktické riešenie na opravu nedokonalostí vznikajúcich pri 3D tlači. Postupne si však našla široké uplatnenie v oblasti vzdelávania, dizajnu, architektúry a voľnočasových aktivít. V porovnaní s klasickými 3D tlačiarňami sú 3D perá finančne dostupnejšie, nevyžadujú použitie špecializovaného softvéru a umožňujú okamžitú tvorbu modelov bez potreby zložitej prípravy.

Z technického hľadiska sa 3D perá najčastejšie napájajú prostredníctvom USB rozhrania a ovládajú

sa pomocou tlačidiel regulujúcich rýchlosť extrúzie filamentu. Pokročilejšie modely disponujú LCD displejom, ktorý zobrazuje aktuálnu teplotu hrotu a umožňuje jej plynulú reguláciu, rovnako ako nastavenie rýchlosti posuvu materiálu. Maximálna teplota hrotu je pritom kľúčovým parametrom, keďže určuje kompatibilitu zariadenia s rôznymi typmi filamentov (napr. PLA, ABS).

3.1 Druhy 3D pier

Na trhu sa objavujú dva základné typy pier, ktoré sa líšia fyzikálnym princípom topenia a tuhnutia materiálu a prevádzkovou teplotou.

Ako prvé spomeňme FDM (Fused Deposition Modeling) perá. Ide o najrozšírenejšiu technológiu, ktorá pracuje na princípe *termoplastickej extrúzie*. Posuvný mechanizmus v pere vtáhuje plastové vlákno (filament). Ten sa následne zahrieva za pomoci žhaviaceho systému s teplotou od 130°C do 240°C. Po prechode dýzou (hrotom) filament pod vplyvom okolitého vzduchu chladne a opäť tuhne [TonerPartner.sk, 2024]. Hlavnou výhodou týchto pier je vysoká dostupnosť zariadení a spotrebného materiálu. Kritickým faktorom v edukačnom procese je však vysoká teplota hrotu, ktorá si vyžaduje zvýšenú opatrnosť a inštruktaž, aby sa predišlo riziku popálenia.

Ďalším typom sú fotopolymérové perá. Tieto zariadenia nevyužívajú teplo, ale proces *fotopolymerizácie*. Z pera vyteká syntetická živica, ktorá tuhne pod vplyvom UV svetla, ktoré je umiestnené pri hrote pera. Vďaka chemickým reakciám sa fotoreaktívne molekuly živice spájajú, čo pozorujeme ako tuhnutie živice do požadovaného tvaru [3DPenHub, 2023]. Na rozdiel od FDM pier hrot zostáva studený, čo minimalizuje možnosť úrazu, hlavne pri zrakovo znevýhodnených. Avšak ich cena sa pohybuje okolo 100 €, čo si školy veľakrát nemôžu dovoliť, a preto volia prvú alternatívu pier.

3.2 Použitie 3D pera vo výučbe geometrie

V posledných rokoch sa využitie 3D pier vo výučbe geometrie stalo predmetom viacerých medzinárodných výskumov, ktoré poukazujú na ich významný didaktický potenciál. Významnú líniu predstavuje viacročný výskum [Ng and Ye, 2023], ktorý ukazuje, že používanie 3D pier vo vyučovaní matematiky podporuje proces „učenia tvorbou“, pri ktorom si žiaci aktívne konštruujú matematické vý-

znamy prostredníctvom práce s materiálom, čo predstavuje proces matematizácie. 3D pero zároveň prepája žiaka, technológiu a matematické koncepty do jedného celku, v ktorom poznanie vzniká prostredníctvom interakcie a činnosti. Pri práci s týmto nástrojom žiaci rozvíjajú kreativitu a dokážu objavovať nové spôsoby riešenia problémov, napríklad pri skúmaní rezov telies [Ng and Ferrara, 2020]. Článok [Lee and Kwon, 2023] prezentuje meta-analýzu viacerých výskumov o využití 3D tlače vo vzdelávaní, ktorá potvrdzuje jej stredne veľký pozitívny vplyv na učenie žiakov. Zistenia ukazujú, že technológia podporuje nielen vedomosti, ale aj motiváciu a postoje k učeniu. Najväčší efekt bol zaznamenaný v matematike a u žiakov nižšieho sekundárneho stupňa, pričom nadaní žiaci dosahovali ešte výraznejšie zlepšenia. Významné je aj zistenie, že 3D perá vykazujú vyšší edukačný efekt než 3D tlačiarne. Štúdia [Ng et al., 2020] dokonca naznačuje, že dynamické geometrické vizualizačné prostredia (ako napríklad GeoGebra) podporujú rýchle učenie, avšak 3D perá prispievajú k hlbšiemu a trvalejšiemu osvojeniu geometrických poznatkov.

Z uvedených článkov vyplýva, že 3D perá môžu byť efektívnym nástrojom podporujúcim hlbšie porozumenie geometrie, rozvoj priestorovej predstavivosti a aktívne, konštruktivistické učenie. Ich využitie predstavuje perspektívny smer modernizácie vyučovania matematiky, najmä v oblastiach, kde je potrebná vizualizácia a manipulácia s trojrozmernými objektmi.

4 Tvorba taktilných pomôcok pre výučbu geometrie

Ako bolo spomenuté v kapitole 2.2 pomôcky pre zrakovo znevýhodnených majú splňať viacero kritérií. Pri návrhu šablón a následnej tvorbe modelov bolo kľúčové zvoliť vhodné rozmery a zabezpečiť takú funkčnosť, ktorá by žiakom so zrakovým znevýhodnením poskytla čo najviac hmatových informácií. Kľúčovým aspektom bola úzka spolupráca so *Spojenou školou internátnou pre žiakov so zrakovým postihnutím v Bratislave*, ktorá poskytla odbornú validáciu potrieb cieľovej skupiny. Špeciálny pedagóg z tejto školy nám predstavil hlavné problémy a limity dostupných didaktických pomôcok. Ako je ilustrované na obrázku 2, bežne dostupné modely sú zvyčajne vytvorené buď ako plné telesá, alebo ako skeletové mo-



Obr. 2: Existujúce didaktické pomôcky používané v škole, ktoré sú z hľadiska súčasných potrieb nedostávajúce.

dely bez plášť a. V prvom prípade si žiak vie vytvoriť predstavu o tvare telesa, ale model neumožňuje skúmanie vnútorných vzťahov. Pri druhom type telesa má žiak zase problém vytvoriť si ucelenú predstavu o tvare a zväčša v týchto pomôckach chýbajú dôležité úsečky (napr. výška telesa, telesová uhlopriečka, stenová výška). Tieto nedostatky sú kritické vzhľadom na riešenie rôznych stereometrických úloh vyžadujúcich napr. aplikáciu *Pytagorovej vety*, kde žiak potrebuje jasne identifikovať pravouhlý trojuholník v reze telesa. Rovnaký problém sme videli aj na zvyšných telesách, ktoré nám škola poskytla (kocky, hranoly, ihlany a guľ a).

Preto sme pri tvorbe modelov vychádzali z metodických odporúčaní pre hmatovú perцепciu (kapitola 2.2) a výška modelov je väčšia ako 10 cm. Tento rozmer zabezpečuje pre žiakov jednoduchšiu imagináciu telesa. Zároveň sme do vnútra modelov implementovali všetky dôležité geometrické vzťahy a prvky (pravouhlý trojuholník, výška telesa, uhlopriečky podstavy) nevyhnutné pre správne riešenie variabilných úloh. Pri tvorbe modelu sme dbali aj na to, aby hmatové prvky boli pre žiaka ľahko prístupné a jednoznačne identifikovateľné.

4.1 Využitie 3D pera ako technologického riešenia

Metodické podmienky uvedené v kapitole 2.2 sme sa rozhodli implementovať prostredníctvom techno-

lógie 3D pera. Pre účely tejto práce sme zvolili 3D pero pracujúce na FDM technológií práve pre jeho cenovú dostupnosť a jednoduchosť pri práci. Hoci sa pero zahrieva na vyššiu teplotu, čo predstavuje potenciálne riziko termického poranenia, predpokladáme, že tvorcom didaktických pomôcok bude primárne pedagóg. Z tohto dôvodu nepovažujeme bezpečnostné riziká spojené s vysokou teplotou za rozhodujúci limitujúci faktor pre implementáciu tejto technológie do vyučovacieho procesu. Ďalším pozitívom 3D pera je jeho jednoduché ovládanie, kde, na rozdiel od 3D tlačiarne, jeho užívateľ nemusí ovládať žiaden počítačový softvér.

4.2 Vývoj didaktických pomôcok

Po prvej konzultácii so špeciálnym pedagógom a zohľadnení kritérií sme navrhli a vytvorili prvý prototyp – pravidelný šesťboký ihlan (obr. 3). Hlavným cieľom bolo hmatovo sprístupniť zrakovo znevýhodneným žiakom vnútorné geometrické vzťahy. Praktické testovanie na partnerskej škole však odhalilo dve slabiny:

1. *Nízka mechanická odolnosť*: Steny modelu vytvorené 3D perom vykazovali pri mechanickom používaní tendenciu k lámavosti.
2. *Taktilná nejednoznačnosť*: Chýbajúca výplň stien (plášť) neposkytovala žiakom adekvátnu senzorickú spätnú väzbu pre komplexné pochopenie tvaru.

Na základe tejto spätnej väzby sme pristúpili k modifikácii konštrukcie. Nový model, nepravidelný štvorboký ihlan (obr. 3), bol navrhnutý už s vyplnenými stenami filamentom a zároveň bol doplnený o magnety. Táto implementácia umožňuje žiakom skúmať nielen vonkajšie, ale aj vnútorné charakteristiky telesa vďaka možnosti rozdelenia a opätovného spojenia bez porušenia jeho celistvosti.

Navrhnutý model bol predstavený a opätovne konzultovaný so špeciálnym pedagógom a jedným nevidiacim žiakom. Ich spätná väzba bola vysoko pozitívna. Žiak prejavil zvýšený záujem o pomôcku aj vďaka mechanizmu rozpájania a spájania modelu, ktorý podporuje aktívne poznávanie formou hry a experimentu. Pod vedením pedagóga dokázal správne identifikovať všetky prvky a vnútorné vzťahy telesa.

Tento model sme na niekoľko mesiacov ponechali škole k dispozícii, aby boli v edukačnom procese ove-



Obr. 3: Hmatové modely ihlanov vytvorené pomocou 3D pera určené na podporu vnímania telesových a stenových výšok a na využitie pri riešení úloh s aplikáciou Pytagorovej vety, pri ktorých je potrebné identifikovať pravouhlý trojuholník v telese.

rené aj jeho mechanické vlastnosti. Ukázalo sa, že spojenie magnetov s modelom za pomoci tavnej pištole bolo nedostatočné, čo viedlo k ich separácii a uvoľneniu. Riešením tohto nedostatku bola priama implementácia magnetov do modelu za pomoci 3D pera, čím sa dosiahlo ich pevné mechanické ukotvenie v štruktúre modelu.

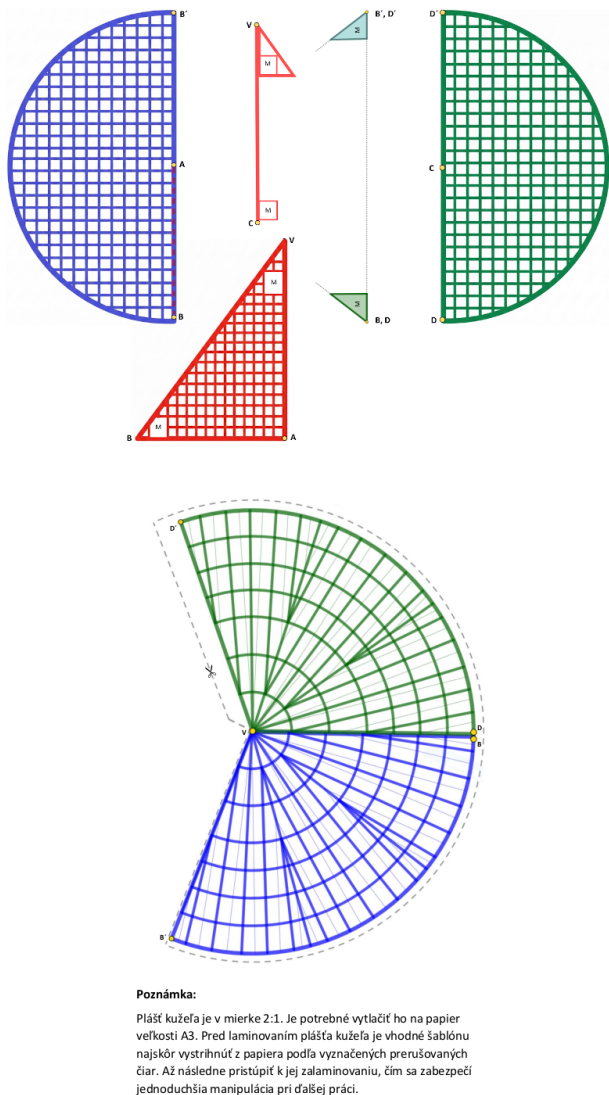
Ako vytvoriť takúto pomôcku, ukážeme na nasledujúcom príklade.

4.3 Model kužeľa a jeho tvorba

Šablóna pre tento model bola vytvorená prostredníctvom programu GeoGebra. Je navrhnutá tak, aby slúžila ako univerzálny podklad pre učiteľov v špeciálnych aj inkluzívnych triedach. Šablóna obsahuje plášť kužeľa rozdelený na dve farebne odlíšené časti, podstavu kužeľa rozdelenú na polovice tiež odlíšenú dvoma farbami, výšku kužeľa, vnútorný trojuholník s vyznačeným umiestnením magnetov a menšie trojuholníkové časti s naznačenými polohami magnetov (obr. 4).

Na vytvorenie 3D modelu kužeľa je potrebné vopred pripraviť 3D pero, PLA filamenty v troch rôznych farbách, magnety, zalaminovanú šablónu siete kužeľa a doplnujúce časti, nožnice a zošívачku alebo tavnú pištoľ na fixáciu šablóny.

Pred samotným laminovaním *plášťa* kužeľa odporúčame najskôr vystrihnúť šablónu z papiera podľa vyznačených prerušovaných čiar. A až následne pristúpiť k jej zalaminovaniu, čím sa zabezpečí jednoduchšia manipulácia pri ďalšej práci.

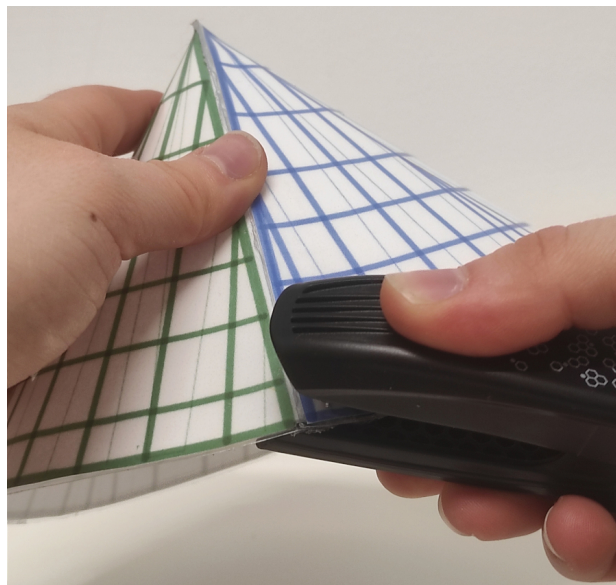


Obr. 4: Šablóna na tvorbu hmatového modelu kužeľa a.

Zalaminovanú šablónu plášťa je potrebné opäť vystrihnúť podľa vyznačených prerušovaných čiar. Následne ju ohnúť do tvaru kužeľa a jej okraje pevne spojiť, napríklad pomocou zošívачky alebo tavnej pištole (obr. 5).

Po vytvorení základného tvaru kužeľa je možné pristúpiť k práci s 3D perom. 3D pero je potrebné zapojiť do zásuvky a nechať zahriať na pracovnú teplotu. Po zahriatí sa do zariadenia zasunie filament zvolenej farby (obr.6). Pre presnejšiu manipuláciu sa odporúča nastaviť nižšiu rýchlosť posuvu filamentu. V prípade predchádzajúcich skúseností s 3D perom je možné rýchlosť individuálne prispôsobiť.

Následne sa pristúpi k obťahovaniu plášťa kužeľa, pričom jemný vlnkový pohyb prispieva k zvýšeniu pevnosti a stability výsledného modelu. Najskôr sa



Obr. 5: Vytvorenie pomocnej šablóny na konštrukciu plášťa.

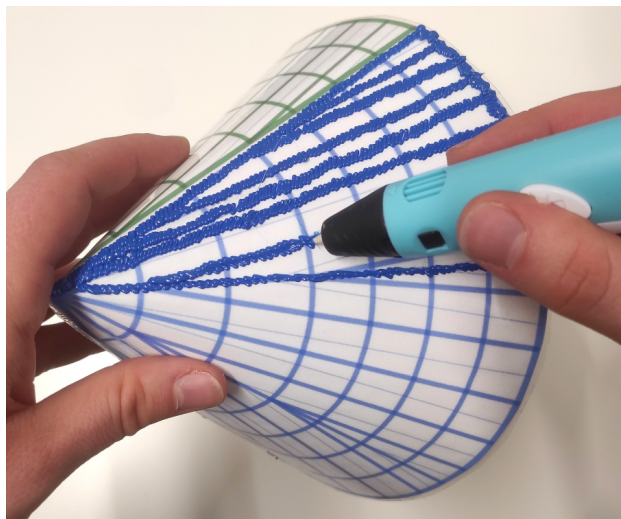


Obr. 6: 3D pero so zasunutým filamentom pripravené na tvorbu.

jednou farbou obtiahne jedna polovica plášťa kužeľa podľa farebného rozlíšenia na šablóne (obr.7). Po krátkom vychladnutí materiálu (zvyčajne niekoľko sekúnd) sa vytvorená časť opatrne oddelí od šablóny. Následne sa prvý filament nahradí filamentom inej farby a rovnakým spôsobom sa zhotoví druhá polovica plášťa. Pri výmene filamentov je dôležité nechať zvyšok pôvodného materiálu voľne odtekať mimo pracovnej plochy, až kým nezačne z hrotu vytekať filament požadovanej farby.

Týmto spôsobom sa následne postupuje aj pri tvorbe ostatných častí modelu, konkrétne podstavy kužeľa (obr. 8), jeho výšky, vnútorného trojuholníka a menších trojuholníkových prvkov s vyznačenými pozíciami magnetov.

Osobitnú pozornosť si vyžaduje umiestnenie mag-



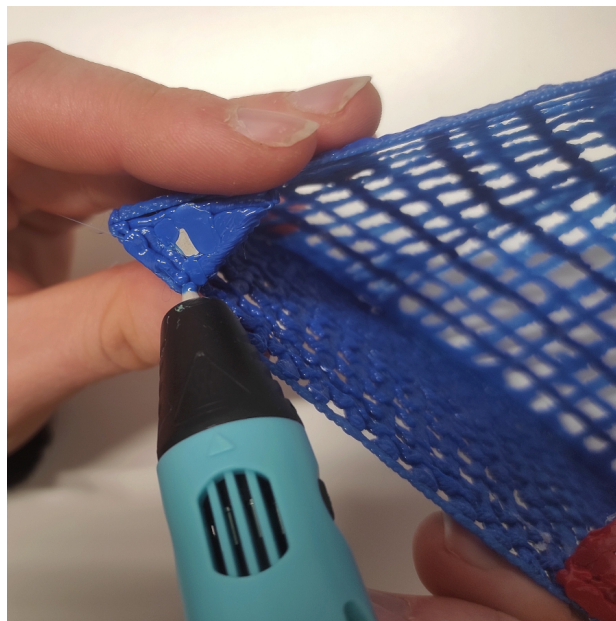
Obr. 7: Tvorba kužeľového plášťa pomocou pripravenej šablóny.



Obr. 8: Tvorba podstavy kužeľa pomocou pripravenej šablóny.

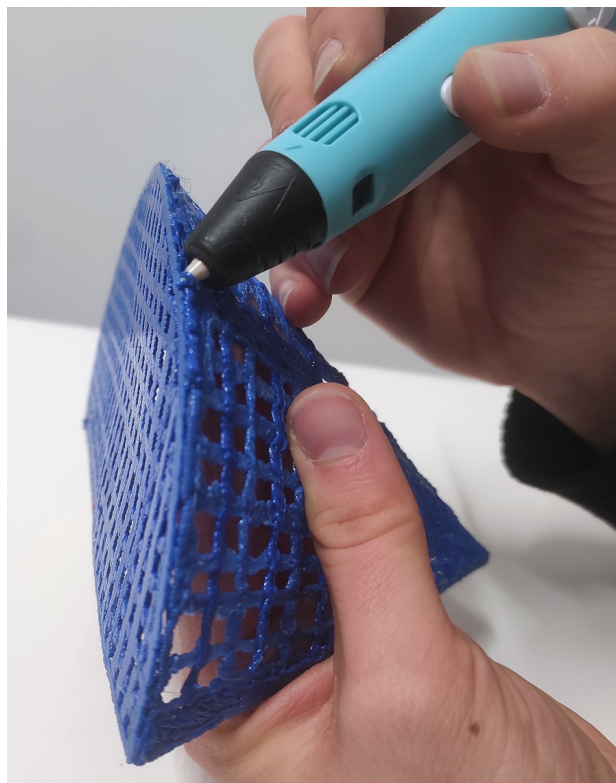
netov. Najskôr sa na šablónu obtiahnu štvorce určené pre magnety. Do nich sa vloží magnet, ktorý sa následne fixuje filamentom po jeho obvode. Magnet nie je vhodné prekryť úplne – materiál sa aplikuje len po jeho okrajoch, tak aby funkčná plocha zostala odkrytá. Tým sa zabezpečí dostatočná príľnavosť medzi jednotlivými magnetmi a správna funkčnosť modelu. Úplné prekrytie magnetu by mohlo viesť k oslabeniu magnetického spojenia a zníženiu stability konštrukcie. Vizuálna podoba správneho upevnenia magnetov je znázornená na obrázku 9.

Po vyhotovení všetkých jednotlivých častí modelu je možné pristúpiť k jeho zostaveniu. Jednotlivé prvky kužeľa sa spájajú podľa orientačných bodov



Obr. 9: Zapustené magnety zabezpečujú, že model drží pohromade aj napriek jeho rozložiteľnosti.

vyznačených na šablóne. Spojenie jednotlivých častí sa uskutočňuje pomocou 3D pera, pričom postup je podobný ako pri práci s tavnou pištoľou (obr. 10).

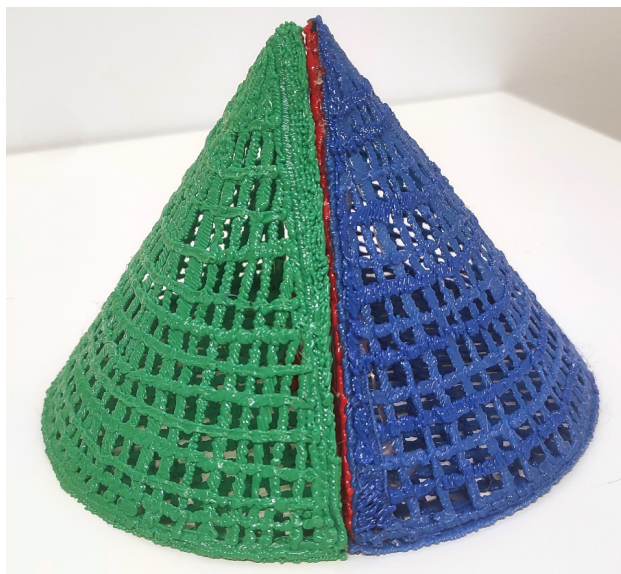


Obr. 10: Spojenie podstavy a plášťa pomocou 3D pera.

Najskôr sa spoja časti plášť a kužeľ a s podstavou, pričom sa dodržiava farebné rozlíšenie jednotlivých dielov. Následne sa postupne pripájajú ostatné prvky modelu podľa vyznačených bodov na šablóne. Spojenie sa vytvárajú na miestach, kde majú jednotlivé časti spoločnú hranu alebo styčnú plochu.

Počas skladania je dôležité dbať na správnu orientáciu jednotlivých prvkov, aby bola zachovaná geometrická presnosť modelu a predišlo sa komplikáciám pri jeho zostavovaní.

Po dokončení konštrukcie vzniká priestorový model kužeľa, ktorý predstavuje efektívnu pomôcku vo vyučovaní geometrie pre žiakov s rôznou etiológiou a stupňom zrakového znevýhodnenia. Žiak vie hmatom poznávať jeho tvar (obr.11) a zároveň po jeho rozdelení dokáže vnímať jeho vnútornú štruktúru a geometrické vzťahy v reze (obr.12).

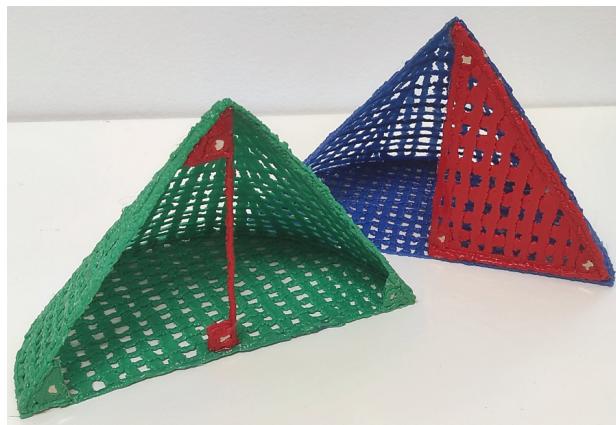


Obr. 11: Spojený model kužeľa umožňuje hmatové poznávanie jeho tvaru a objemu.

Prostredníctvom manipulácie s modelom môže žiak overiť, že kužeľ je rotačné teleso vznikajúce rotáciou pravouhlého trojuholníka okolo jednej z jeho odvesien.

5 Vyhodnotenie a diskusia

Hmatové vnímanie v kombinácii s manipuláciou napomáha žiakom vytvárať si presnejšie predstavy o tvare telesa a jeho jednotlivých častiach. Výsledný model, ktorý bol predstavený špeciálnemu pedagógovi a prácu s ním si skúsili aj dvaja nevidiaci žiaci,



Obr. 12: Hotový model s možnosťou otvárania a sporenia pomocou zapustených magnetov.

bol zhodnotený ako najvyhovujúcejší zo všetkých navrhnutých modelov.

Hoci sa táto metóda javí pre inkluzívne vzdelávanie ako prínosná, vnímame aj určité nedostatky. Preto sa v rámci ďalšej aktivity plánujeme zamerať na kvantitatívne testovanie na viacerých školách pre zrakovo znevýhodnených žiakov, aby sme overili efektivitu pomôcok v pedagogickej praxi.

Ako zásadný priestor na vylepšenie vnímame implementáciu popisu vrcholov, strán a hrán priamo na povrch modelu v Braillovom písme. Nakoľko si uvedomujeme, že by to zefektívnilo prácu učiteľa a podporilo samostatnosť žiaka pri riešení úloh a zápise výsledkov, podobne ako pri vizuálnych náčrtoch vidiacich spolužiakov. Zároveň by sme radi vytvorili sadu príkladov, šablón a postupov na rôzne typy telies, či už kocky, kvádre, ihlany alebo kužeľe, vzájomne korešpondujúcich a prispôsobených učebným osnovám základných škôl.

Z hľadiska technologických nedostatkov si uvedomujeme, že modely vytvorené za pomoci 3D pera pri použití PLA filamentu vykazujú nižšiu mieru mechanickej odolnosti, a pri intenzívnej manipulácii v edukačnom procese sú náchylné na štrukturálne poškodenie. Jedným z možných riešení je prechod na odolnejší materiál ABS. Alternatívnym riešením je aj transformácia modelov do digitálnej podoby pre 3D tlač, nakoľko výroba prostredníctvom 3D tlačiarne vykazuje výrazne vyššiu mieru trvácnosti a materiálovej stability.

6 Záver

V článku približujeme problematiku deficitu kvalitných pomôcok na hodinách priestorovej geometrie pre žiakov so zrakovým znevýhodnením. Navrhnutá inovatívna metóda tvorby cenovo dostupných a konštrukčne nenáročných modelov prostredníctvom technológie 3D pera predstavuje efektívny nástroj na podporu inkluzívneho vzdelávania. Opísaný metodický postup umožňuje vytvárať modely, ktoré žiakom sprostredkujú vonkajšiu, ale aj vnútornú geometrickú štruktúru telies. Takto vytvorené modely predstavujú dostupné a efektívne didaktické pomôcky, ktoré prispievajú k lepšiemu porozumeniu geometrických pojmov prostredníctvom viacmysľového učenia.

Možno teda konštatovať, že predstavená metodika otvára nové možnosti využitia 3D pera a vytvárania nových, kvalitných a didakticky vyhovujúcich pomôcok. Predstavuje most medzi teoretickou geometriou a hmatovou percepciou žiakov so špeciálnymi výchovno-vzdelávacími potrebami a napomáha inkluzívnemu vzdelávaniu.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená grantami KEGA č. 038UK-4/2024 a KEGA č. 070UK-4/2026 realizovanými na Univerzite Komenského v Bratislave. Autori ďakujú Spojenej škole internátnej pre žiakov so zrakovým postihnutím v Bratislave za spoluprácu a možnosť overiť navrhnuté didaktické pomôcky v praxi.

Literatúra

- [3DPen Hub, 2020] 3DPen Hub (2020). Intro to 3D pens. Accessed: 2026-03-26.
- [3DPenHub, 2023] 3DPenHub (2023). How do 3D pens work – photopolymer cool ink edition. [online]. [cit. 2026-03-25]. Dostupné na internete: <https://3dpenhub.com/how-do-3d-photopolymer-cool-ink-edition/>.
- [EtechRobot, nd] EtechRobot (n.d.). 3D Pen. Online; prístupné 27. marca 2026.
- [Hlubovič, 2021] Hlubovič, J. (2021). Odborné postupy v pedagogickej a poradenskej praxi: Žiak so zrakovým postihnutím v edukačnom procese (z pohľadu odborného zamestnanca). [online]. [online]. [cit. 2026-01-10]. Dostupné na internete: <https://vudpap.sk/wp-content/uploads/2023/06/ziak-so-zrakovym-postihnutim-v-edukacnom-procese.pdf>.
- [Jašková and Kaliaková, 2016] Jašková, L. and Kaliaková, M. (2016). Kognitívne schopnosti nevidiacich žiakov druhého stupňa ZŠ a ich využitie pri vyučovaní informatiky. In *DIDINFO 2016: Zborník príspevkov z 22. ročníka medzinárodnej konferencie*, pages 27–32, Banská Bystrica. Univerzita Mateja Bela. [online]. [cit. 2026-01-23]. Dostupné na internete: http://www.didinfo.net/images/DidInfo/files/didinfo_2016.pdf.
- [Jesenský, 1973] Jesenský, J. (1973). *Výber z pedagogiky zrakovo chybných*. Slovenské pedagogické nakladateľstvo, Bratislava.
- [Jesenský, 1988] Jesenský, J. (1988). *Hmatové vnímaní informací s pomocí tyflografiky*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- [Jesenský, 2002] Jesenský, J. (2002). *Přehled systému komprehenzivní tyflopédie*. Gaudeamus, Hradec Králové.
- [Kochová, 2012] Kochová, T. (2012). *Tak a tak na taktilní knížku*. Asociace rodičů a přátel dětí nevidomých a slabozrakých v ČR, Praha. [online, cit. 2026-03-23]. Dostupné na internete: http://www.tactus.wz.cz/tak_a_tak.pdf.
- [Lee and Kwon, 2023] Lee, D. and Kwon, H. (2023). Meta-Analysis on Effects of Using 3D Printing in South Korea K-12 Classrooms. *Education and Information Technologies*, 28(9):11733–11758.
- [Lopúchová, 2021] Lopúchová, J. (2021). *Průručka o vzdělávání žiaka s poruchou zraku v běžnej škole*. IRIS, Bratislava. [online]. [cit. 2026-01-08]. Dostupné na internete: https://sluchzrak.fedu.uniba.sk/wp-content/uploads/2022/01/prirucka_-_porucha-zraku.pdf.
- [Ng and Ferrara, 2020] Ng, O. L. and Ferrara, F. (2020). Towards a Materialist Vision of Learning as Making: The Case of 3D Printing Pens in School Mathematics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 18(5):925–944.
- [Ng et al., 2020] Ng, O. L., Shi, L., and Ting, F. (2020). Exploring Differences in Primary Students' Geometry Learning Outcomes in Two Technology-Enhanced Environments: Dynamic Geometry and 3D Printing. *International Journal of STEM Education*, 7(1):50.
- [Ng and Ye, 2023] Ng, O. L. and Ye, H. (2023). Doing Mathematics with 3D Pens: Five Years of Research on 3D Printing Integration in Mathematics Classrooms. In *Learning Mathematics in the Context of 3D Printing: Proceedings of the International Symposium on 3D Printing in Mathematics Education*, pages 143–162. Springer.
- [Plíšková, 2013] Plíšková, K. (2013). *Rehabilitace očních patologií a kompenzace zrakových znevýhodnění*. Bakalárska práca, Jihočeská univerzita v

- Českých Budějovicích, České Budějovice. [online]. [cit. 2026-01-08]. Dostupné na internete: https://dspace.jcu.cz/bitstream/handle/20.500.14390/21043/Bakalarska_prace_-_Pliskova.pdf?sequence=1.
- [Požár, 2007] Požár, L. (2007). *Psychológia postihnutých (patopsychológia)*. RETAAS, Bratislava, 2. prepr. vyd. edition.
- [TonerPartner.sk, 2024] TonerPartner.sk (2024). 3D pero: návod pre začiatočníkov. Online; prístupné 27. marca 2026.
- [Vašek, 2005] Vašek, Š. (2005). *Základy špeciálnej pedagogiky*. Vysoká škola Jana Amosa Komenského s.r.o., Praha.