

THE USE OF 3D PRINTING TECHNOLOGY IN EDUCATION FOR STUDENTS WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER – ASSESSMENT OF GOOD PRACTICES

Borislava Kostova

Institute of Robotics – Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria

borislava.kst@gmail.com

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА 3D ПЕЧАТ В ОБРАЗОВАНИЕТО НА УЧЕНИЦИ С РАЗСТРОЙСТВА ОТ АУТИСТИЧНИЯ СПЕКТЪР - ОЦЕНКА НА ДОБРИ ПРАКТИКИ

Abstract

The aim of this paper is to identify several promising practices from the scientific literature of using 3D Printing technology in education for students with Autistic Spectrum Disorder (ASD). Such practices could contribute to the learning, social integration and wellbeing of this group of students. In order to achieve this goal, three research questions are defined. More than 50 relevant articles drawn from Google Scholar and Science Direct are reviewed and 25 of them are selected for analyzing the best practices. 7 of them were identified as fully meeting the study criteria. The analysis is made on the basis of criteria like: type of research, target groups, observed results and challenges as well as used 3D printing technology and software. As a result of this analysis, the answers to the research questions were given in order to define the most efficient practices regarding the application of 3D printing in education of people with ASD.

Keywords: 3D Printing; Autism Spectrum Disorder (ASD); Education; STEAM.

ВЪВЕДЕНИЕ – ТЕХНОЛОГИЯТА НА 3D ПЕЧАТ В ОБРАЗОВАНИЕТО

През последните години технологията за 3D печат (или добавъчно производство) се доказва като една от водещите технологии в STEM/ STEAM образованието. Масово училищата закупуват и използват 3D принтери в образователния процес. 3D принтерите позволяват провеждането на интерактивни уроци и сравнително лесно, бързо, персонализирано, евтино [1] и екологично производство [2] на полезни образователни материали, които подпомагат учителите в изложението на урока и учениците – във възприемането на учебния материал. Чрез 3D принтираните модели, ученици имат възможност да визуализират сложни научни концепции [2], [3] и да ги приспособят към своите интереси, което значително улеснява усвояването на нови знания. 3D принтираните модели може да се принтират предварително от обучен персонал [4] или в час – с участието на учениците [5], [6], [7]. Въвеждането на технологията на 3D печат предлага редица ползи за образователния процес на деца с разстройства от аутистичния спектър (РАС) [3], [4], [6], [7], [8], [9], [10]: (1) Визуализацията на учебния материал чрез 3D принтирани образователни предмети е ефективна за ученици с РАС, тъй като те възприемат информацията чрез образи [11], [12] и изпитват трудности с разбирането на абстрактни понятия [11]; (2) Възможност за изработка на специфични помощни средства, които да преодоляват дискомфорт или дефицит у човек с РАС [4], [7]; (3) Фокус върху проектна работа и умения за 3D печат, а не върху устно изложение [13]; (4) Използването на 3D принтирани образователни пособия намира приложение в преподаването и ученето

чрез различни стилове като активен, рефлексивен, теоретичен и прагматичен [14]. Технологията за 3D печат може да се интегрира в учебния план на различни предмети [15] и да бъде застъпена в по-голяма или по-малка степен в зависимост от интересите на учениците и желанието им да развият умения в областта [14]. 3D принтирането е включено в учебните планове на различни възрасти – обикновено на ученици от гимназиална възраст от 9ти до 12ти клас [15], както и на студенти в университетите [16].

В последните години, се търсят нови педагогически методи и подпомагащи технологии в образователния процес и социално включване на деца с разстройства от аутистичния спектър (РАС), тъй като техният брой нараства. Докато през 1990г около 1 на 10 000 деца са засегнати от РАС и учениците с аутизъм са изключени от общото образование [13], [17], днес разпространението на РАС достига 1 на 100 деца, според СЗО [18] и повечето от тях посещават общообразователни училища. Включването на ученици с РАС наравно с техните връстници в норма (с подкрепата на специализиран помощен персонал) дава много добри резултати за тяхното развитие [13], [17], [19], [20]. Разстройствата от аутистичния спектър (РАС) представляват група от нарушения в развитието [3], [13]. Дефицитите причинени от РАС се проявяват в три основни области на ежедневието: социално поведение, комуникация и творчество/въображение [3], което се изразява в интерес към повтарящи се дейности, фиксирани и тясно специализирани интереси [12]. Хората с аутизъм имат различни коефициенти на интелигентност и се смята, че тези от тях с коефициент на интелигентност в норма или над нея, имат високо функционален аутизъм; ако те са нямали говорни затруднения, се смята, че те спадат към хората със синдром на Аспергер [11], [12]. Когнитивните различия на хората с високо функциониращ РАС могат да се разглеждат като такива, а не като дефицити [12] и планирането на образователни дейности да се планира вземайки ги в предвид.

Резултати от значими научни изследвания [21] потвърждават, че хора с високо функционален аутизъм (напр. Аспергер и т.нар HFA High Functioning Autism) проявяват талант в STEM дисциплините, особено в научни или компютърни специалности. Това се дължи на факта, че хората с РАС притежават силно развити умения за систематизиране на информация [12], за стъпково изпълнение на задачи, могат лесно да запаметяват и рецитират списъци и формули, да извършват сложни изчисления на ум [13] и да проявяват високо ниво на работоспособност. Въпреки, че много хора с РАС притежават тези качества, които са ценени в кариерното развитие, те изпитват трудност да се реализират на трудовия пазар [17], [23]. Това в голяма степен се дължи на затрудненията, които те изпитват при общуване [12], при изпълнение на задачи свързани с творческо и интердисциплинарно мислене, работа в екип и решаване на проблеми [17]. Възниква въпросът с какви методи и средства те могат да бъдат подпомогнати, за да преодолеят дефицитите или да адаптират когнитивните си различия [6] в обществото и да реализират способностите си [9].

ИЗЛОЖЕНИЕ

Целта на тази статия е, посредством анализ на съществуващата литература, да бъдат проучени добри практики за включване на дейности с 3D принтиране в STEM (STEAM) урок на ученици с РАС. Идентифицирани и описани са основните елементи, на които един такъв урок трябва да се базира. За постигане на тази цел са дефинирани следните изследователски въпроси:

- Q1: Може ли взаимодействието с технологията за 3D печат да подобри удовлетворението, ангажираността в учебния процес и социалните умения на деца и юноши с аутизъм?

- Q2: Може ли включването на 3D принтирането в образователния процес да подобри креативността на ученици с РАС?
- Q3: Какъв тип принтери са подходящи за използване при деца и юноши с аутизъм?

Процесът на преглед на литературата е илюстриран с Фигура 1 и се състои от:

(1) Избор на база данни: Google Scholar и Science Direct бяха избрани, заради достъпността си за авторите;

(2) Избор на ключови думи: РАС (Autistic Spectrum Disorder, ASD), STEM (STEAM) Education, 3D Printing. Търсенето по тези ключови думи изведе 669 резултата. След това бе зададен времеви диапазон от 2014 до 2024 година, което намали броя на резултатите до 523. От тези резултати, 250 научни статии бяха достъпни за преглед чрез Google Scholar и Science Direct. В последствие, времевия диапазон беше увеличен на 24г (2024 – 2000), за да включи значими изследвания в областта.



Фиг. 1. Процес на преглед на литературата

(3) Преглед на литературата и изключване на следните типове статии: а) научни трудове, които не използват 3D печата в образованието; б) Статии, които не включват деца с РАС (а с други състояния като например намален слух и зрение); в) Статии, в които думата 3D не се отнася за тематиката на изследването, например 3D виртуална обучителна технология; г) Статии, в които 3D печатът не се използва с образователна цел (а, например, с медицинска).

(4) В процеса на преглед на литературата бяха добавени нови ключови думи като creativity (креативност), Universal Design for Learning (UDL, Универсален дизайн за обучение), Asperger (Синдром на Аспергер), High Functioning Autism (HFA, Високофункционалещ аутизъм).

Крайният брой разгледани научни статии е 27, от които 7 напълно покриват критериите на изследването. Представената в тях методология и получени резултати според нас могат да бъдат използвани като добри практики за включването на

технологията за 3D печат в образованието на ученици с РАС. Те са систематизирани в Таблица 1 по следните критерии: (1) Вид научно изследване (колона В); (2) Таргет група (колона С, D), (3) Наблюдавани подобрения (колона I) и резултати (колона К); (4) Наблюдавани предизвикателства (колона J); (5) Използван 3D принтер и материали (колона L) и софтуер за 3D моделиране;

Таблица. 1. Обобщена информация от селектираните 7 статии, покриващи критериите на изследването

Автори, година	Пилотно изследване	Брой участници	Възрастова група	Третирана област	Средство	Държава	Место на провеждане	Наблюдавани подобрения	Наблюдавани предизвикателства	Резултат/Добри Практики	3D принтер и материали	Софтуер за 3D Моделиране
Marzanna Farnicka, Margrda Pochino, 2021	Пилотно	N=40 (20 – експериментална група (ЕГ) с РАС, 20 – контролна група(КГ))	5-16 г	Удовлетворение, комуникативни умения, креативност, последователност, занимания с 3D принтиране	Тест за креативност на Голфрда, полуструктурирано интервю, оценка на 3D продукти и наблюдателни резултати	Португалия	Център за аутизъм и социално включване	Подобрени комуникативни умения	Предизвикателства при оценяването на креативността чрез традиционни методи; необходимо е адаптиране към 3D технологиите за участниците с аутизъм (ASD).	Технологията за 3D принтиране показва потенциал като иновативен инструмент за подобряване на социалните умения и комуникацията при деца с аутизъм (ASD).	Flash Forge Creator - принтер, при който всички нагревателни елементи са покрити поради съображения за безопасност 3D неточен биоразградим термoplast, който е лесен за принтиране и издръжлив.	TinkerCAD Безплатен интуитивен онлайн софтуер за 3D моделиране, който позволява работа с 2D и 3D обекти.
Chen, S.H., Lin, C.Y. and Mao, G.C., 2018.	Експериментално	3	Начално училище	Разработване на 3D принтирано образователно устройство, насочено подобряване на фините двигателни умения и социалното взаимодействие на деца с РАС.	Дълготренични наблюдения на класната става и интервюта с персонала	Тайван	Национален университет на Тайван, Национален университет на Чай	Подобрение на фините двигателни умения, координацията между ръцете и очите, мотивацията за учене при адаптирането към системата за деца с цифровизирана парализа и аутизъм.	Висока цена на традиционните помощни устройства, изключително трудност при адаптирането към системата за поставяне на монети.	3D принтираното предлага икономичен и увлекателен метод за подобряване на фините двигателни умения и социалното взаимодействие при деца със специални нужди.	В това проучване беше използвана полимелена пластика (PLA), произведена чрез комбиниране на шредено месо и провирки на заварява тръстика, тъй като е биоразградима и не отделя токсични вещества при принтиране при температура около 180 градуса.	TinkerCAD
Buehler, E., Comrie, N., Holmann, M., McDonald, S. and Hurst, A., 2016.	Експериментално	N=13 (6) наблюдения на класове (с между 3 и 13 ученици), N=13 интервюта с персонал, инструктори и терапевти.		Технологията за 3D печат за ученици със специални потребности (когнитивни, моторни и зрители увреждания).	Дълготренични наблюдения в класната става и интервюта с персонала	САЩ	Училище за специално образование, обслужващо ученици с когнитивни увреждания и множествени увреждания; Училище, обслужващо ученици със зрители увреждания; и отдел за технологични услуги на национална организация, работеща с незрящи лица.	1) повишен интерес към STEM дисциплините, 2) намален интерес, 3) възможност за създаване на персонализирани образователни инструменти на лична цена; 3) интерес към използването на 3D принтиране в специалното образование и терапията.	1. Бавно усвояване, водещо до фрустрация, разсейване и намален интерес. 2. Трудност при разбирането на възможностите на примера. 3. За ученици със зрители увреждания: текстурата издръжливостта са важни.	Разработка на специфични асистенти: (1) Интерфейсни системи за визуална поддръжка, включително мобилни устройства и лични записващи устройства; мотивация: изработване на обекти за училищна благотворителна кампания.	MakelBot Replicator 2X (Site A and C), Material: ABS or PLA plastic, 2 color ZPrinter® 450 (Site B), Resin composite powder, multicolor Cubex Duo (Site C), ABS or PLA plastic, 2 color	TinkerCAD позволява използването на готови образци от Thingiverse.
A. Chibe Simpson, Andrea Ruth Talsidemo, 2021	Експериментално	-	Ученици с РАС	Физическо възпитание достъпно за лица със специфични нужди и участие в дейности на ученици с аутизъм (ASD).	Наблюдения	САЩ	-	Увеличено участие и ангажираност на занимащата по физическо възпитание	Висока цена и липса на подготовка на учителите	Използване на 3D принтиране за създаване на помощни средства за физическо възпитание и различни дейности за ученици с аутизъм (ASD). Учениците не участват в дейностите по 3D принтиране.	Dremel Digilab 3D45	TinkerCAD Thingiverse
Sandoval Poveda, A. and Hernandez Montoya, D., 2021	Експериментално	10	Юноши с аутизъм (ASD), имащи и средно училище.	Социални умения	Наблюдения; Съдържателен анализ на снимките и записките.	Коста Рика	Сан Хосе	Подобрение на социални умения като самоконтрол, комуникация, постоителна мисъл и работа в екип	Висока степен на фрустрация от персонализирано индивидуално взаимодействие	Използване на театър и дигитална креативност за развиване на социални умения. 3D принтираното беше използвано в клас за създаване на ревизит.	-	Scratch programming, mBlock programming
Yu-Lun Chen, Kaitha Murthi, Wendy Marlin, Regan Vidskis, Ariana Risco, Kristie Patten	Експериментално, качествено изследване, фокусирано върху възприятията	Двадесет и шест ученици (17 с аутизъм, 9 без аутизъм), 13 родители и девет учители.	Ученици на възраст от 11 до 14 години	STEM образование	Полуструктурирани интервюта/фокус групи и програмни ревизити, за период от 2 години.	САЩ	Но Йорк: 3 държавни училища, включващи ученици с аутизъм.	Повишена мотивация и умения в областта на интерес, като 3D принтиране. Развитие на социални взаимоотношения, саморегулация, решаване на проблеми и самостоятелност.	Ограничения: представяща високоефективна край на аутистичния спектър.	Използвана учебна програма, която насърча ангажираността на учениците с връстниците им.	-	TinkerCad
Meaghan McLeod Molloy, Krzysztof J. Rechowicz, 2023	Експериментално	-	Деца и юноши с РАС	Развитие на умения	Качествени наблюдения	САЩ	Университет "Доминиън", Норфолк, Вирджиния.	Повишено участие, саморегулация, умения сред участниците с положителна обратна връзка от родителите	Предизвикателства при извършване на специализирана поддръжка и предоставяне специфични дейности за различните нужди на децата	3D принтери, използвани за отпечатване на финалния дизайн, създаден от обучаващите се.	-	-

АНАЛИЗ НА ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИТЕ ВЪПРОСИ

- **Q1: Може ли взаимодействието с 3D технологията да подобри удовлетворението, ангажираността в учебния процес и социалните умения на деца и юноши с аутизъм? Какви други подобрения се наблюдават?**

Дейностите с технологията за добавъчно производство са ефективни за ученици с РАС, както за тяхното образование, така и за социалното им включване и удовлетвореност. Образователни дейности включващи 3D принтиране или 3D принтирани макети дават възможност на учениците с РАС да развият мотивация и умения за саморегулация [22], самоконтрол [7], да поддържат ниво на ангажираност [6] в учебния

процес и чрез проектна дейност да развият комуникационни и социални умения [3], [7] като умение да се заявят и да разрешават проблеми [22], както и да разпознават своите силни страни [6], да взаимодействат със съучениците си [9], [22] и да се включват активно в заниманията [4], да изпитат положителни емоции по време на урока [6], [7], емоционална и социална удовлетвореност, усещане за споделеност и общност [23]. Не на последно място, научните изследвания доказват, че образователна дейност с 3D принтиране увеличава интересът [8] на ученици с високо функциониращ РАС към STEM дисциплините и по този начин ги стимулира да получат и развият умения, които са търсени на трудовия пазар, увеличавайки техните шансове за кариерна и социална реализация.

Simpson, A.C., & Taliaferro, A.R. (2021) [4] използват технологията за 3D печат за изработката на персонализирани пособия, които подпомагат учениците с РАС в техните уроци по физкультура. Авторите наблюдават увеличение на желанието за взаимодействие на учениците с РАС с техните съученици и удовлетворение от класните занимания. Alicia Sandoval Poveda, Diana Hernández Montoya, 2021 [7] също използват технологията за 3D печат за изработка на специализирани пособия, които подпомагат образователната дейност и наблюдават повишена удовлетвореност, социално включване и комуникация. Изследването на Buehler et al. (2016) [8] в САЩ, фокусирано върху използването на 3D печат за ученици с когнитивни, моторни и зрителни увреждания, установява, че 3D печатът увеличава интереса към STEM дисциплините и позволява създаването на персонализирани учебни инструменти сравнително бързо и на ниска цена. В изследването на Chen, Lin, and Mao (2018) [23] в Тайван, авторите наблюдават значителни подобрения във фината моторика, координацията око-ръка и мотивацията за учене при деца с церебрална парализа и аутизъм чрез разработването на 3D отпечатано образователно устройство.

Предизвикателство за всяка дейност насочена към хора с РАС е да се сведе до минимум проявата на дефицитите, които са характерни за хората от тази група. Това се изразява в изграждането на подкрепяща и структурира среда чрез утвърдената система за дизайн на образователни дейности за хора с РАС Universal Design Learning. Системата UDL е емпирично обследвана и нейната ефективност е потвърдена [24]. UDL, както и подобният на него метод Handlungsspielraum [25], цели изграждането на адаптиран урок, който включва изпълнението на множество специфични за РАС елементи: ясни и визуално онагледени инструкции, използването на визуални помощни средства и индивидуално пригодени подходи към всеки ученик, което да включва помощен персонал и ментор [19], [23], [24], както и фокус върху настоящите интереси на ученика [25]. Ако участниците представят завършените си проекти накрая на дейността, това трябва да бъде под формата на дискусия с портфолио, където фокусът е върху визуализацията на свършената работа [13], [17], [19]. Използването на различни аларми и напомняния за организацията на дейността също се използват във всяка дейност за хора с РАС [13], както и подпомагащи технологии [17]. Учебната среда трябва да бъде с минимална сензорна стимулация [6] и да е предоставена възможност за невербална комуникация чрез рисунки или писмено [6].

- **Q2: Може ли включването на 3D принтирането в образователния процес да подобри креативността на ученици с РАС в учебния процес?**

Творческото мислене е смятано за сфера на дефицит в хората с РАС, въпреки че отявлени представители на тази група са реализирали световно признати новаторски идеи [3]. На този парадокс се базира изследването на Marzanna Farnicka and Margarida Rosinho (2021) [3], проведено в Португалия. Експериментът представен от тези автори

включва дейности насочени към развиване на творческото мислене на 40 човека с РАС чрез занимания с 3D принтиране. Дейностите включват разработка на идея за 3D модел, моделиране и 3D принтиране. Резултатите от изследването показват успех в използването на въображение, позитивни емоции в учениците и техните родители, подобрене на комуникацията между тях, мотивация и нова перспектива за възможностите на хората с РАС [3]. Вследствие на този експеримент може да се заключи, че дейности с технологията за 3D печат могат да развият творческите умения на хората с РАС благодарение на включването както на креативен, така и на технологичен елемент. За работа с технологията за добавъчно производство се изискват както умения за систематизиране и стъпково изпълнение на задачи, които представляват силни страни на хората с РАС, така и творческо мислене, което те могат да развият.

Сред предизвикателствата, които среща изследването на Marzanna Farnicka and Margarida Pocinho (2021) [3] е трудността да се намери метод за оценка на творческото мислене и неговата промяна преди и след дейността с 3D принтиране. Друго предизвикателство е сложността да се интерпретират творческите дейности на човек с РАС от човек в норма [25].

- **Q3: Какъв тип принтери са подходящи за използване при деца и юноши с аутизъм?**

Прегледаните емпирични изследвания използват различни типове 3D принтер. Marzanna Farnicka, Margarida Pocinho, 2021 [3] поставят въпроса за условията на безопасност като изтъкват, че е важно да се избере принтер, при който всички нагревателни елементи са покрити. За целите на образователни дейности с хора с РАС, се изтъква и нуждата да се използват изцяло нетоксични материали [3], [23] да се осигури достатъчна здравина на принтираните макети, което да намали вероятността от разочарование, разсейване [26] и нужда от повтаряне на експеримента.

Прегледаната научна литература показва, че софтуерът за 3D моделиране ThinkerCAD е изключително популярен за образователни дейности насочени към хора с РАС (Таблица 1, колона М). Въпреки, че авторите избират този софтуер, заради това, че е удобен за ползване, повечето изследвания докладват предизвикателства като времето за обучение и привикване към програмата, както за учениците, така и за учителите [4] и помощния персонал, което води до усещане за безсилие и разочарование [7], разсейване, намален интерес [8]. Друг проблем е липсата на лесен начин за адаптиране на софтуера към специфичните и индивидуални нужди на участниците с РАС [7], [8]. Тези изследвания подчертават нуждата от персонализирани, адаптивни и автоматизирани подходи при интегрирането на 3D печата в образователната среда, за да бъде още по-ефективно използването на технологията от ученици с РАС. Докато технологията показва голям потенциал, предизвикателства като достъпността, сложността на софтуера за 3D моделиране и необходимостта от продължаваща подкрепа трябва да бъдат адресирани, за да се реализира напълно нейният потенциал в специалното образование [8]. Има необходимост от специализиран софтуер [3], с подходящ дизайн и различни опции, който да може да се актуализира, за да посрещне променящите се интереси и нужди на учениците [19].

Няколко научни изследвания насочват бъдещото развитие на технологията за 3D печат за хора с РАС посредством интеграцията ѝ с подпомагащи програми и приложения, които да асистират ученика чрез аларми, напомняния, напътствия, записване и възпроизвеждане на глас, преработка от текст в говор и обратното, асистенти с Изкуствен Интелект и др., вече прилагани с успех в ежедневието на хора с РАС. Chen, Lin, and Mao

(2018) [23] докладват предизвикателства, свързани с високата цена на традиционните асистивни устройства и първоначалните трудности при адаптирането на технологиите.

В заключение, основните елементи, които е необходимо да присъстват при една образователна дейност за ученици с РАС, в която е включена технологията за 3D печат, са:

- Подходяща учебна среда и адаптиран учебен план, създаден по системата UDL (или друга система за интеграционно образование);
- Достатъчен брой преподавателски и подпомагащ персонал, който да е запознат предварително с индивидуалните нужди на учениците, както и с работата с технологията за 3D печат;
- Фокус върху проектната работа, а не върху вербалното изложение;
- Подходящ 3D принтер със закрити нагревателни елементи;
- Подходящ софтуер за 3D моделиране и принтиране, който има опция за автоматизация, адаптиран интерфейс, свързване с подпомагащи приложения и технологии;
- Използването на нетоксични материали като филамент;

В зависимост от спецификата на учебния предмет и преценката на преподавателя, към тези елементи могат да бъдат добавени и други.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията е направен преглед на литературата, в която се изследва потенциала на технологията за 3D печат за повишаване на ефективността на образованието на ученици с разстройства от аутистичния спектър (РАС) в контекста на STEM/STEAM образованието. Таблично са обобщени доказано добри практики от литературата. Направеният анализ потвърждава, че тази технология може да подобри удовлетворението, ангажираността в учебния процес, социалните и творчески умения на учениците с РАС. Основните ѝ предимства са персонализация, визуализация и достъпност. Предизвикателствата пред масовото използване на тази технология са свързани предимно със сложността на софтуера за 3D моделиране, времето за обучение на учениците и на техните преподаватели. Тази бариера може да бъде преодоляна чрез въвеждането на специфични софтуерни приложения за хора с РАС, каквито предстои да бъдат разработени и експериментирани.

БЛАГОДАРНОСТИ

Научното изследване е проведено като част от проекта „Приложение на иновативни асистирани технологии в процеса на социално включване на хора с разстройства от аутистичния спектър и/или интелектуални увреждания“ № КП-06-КОСТ/14 от 16.11.2022г., финансиран от Фонд „Научни изследвания“ на Република България

REFERENCES // ЛИТЕРАТУРА

1. Gallup, N., & Pearce, J.M. (2020). “The economics of classroom 3-D printing of open-source digital designs of learning aids”. Designs, 2020, 4, 50. DOI: <https://doi.org/10.3390/designs4040050>
2. Khosravani, M.R., & Reinicke, T. (2020). “On the environmental impacts of 3D printing technology”. Applied Materials Today, 2020, 20, 100689. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2020.100689>

3. Farnicka, M., & Pocinho, M. (2021). “3D technology as a tool to improve the wellbeing of children and adolescents with autism spectrum disorder”. In *Polskie Forum Psychologiczne*, 2021 (Vol. 26, No. 2, pp. 153-170). Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy.
4. Simpson, A.C., & Taliaferro, A.R. (2021). “Designing inclusion: Using 3D printing to maximize adapted physical education participation”. *TEACHING Exceptional Children*, 2021, 54(1), pp. 26-35. DOI: <https://doi.org/10.1177/00400599211010191>
5. Chen, Y.L., Murthi, K., Martin, W., Vidiksis, R., Riccio, A., & Patten, K. (2022). “Experiences of students, teachers, and parents participating in an inclusive, school-based informal engineering education program”. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2022, 52(8), pp. 3574-3585. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10803-021-05230-2>
6. Mazingo, M.M., & Rechowicz, K.J. (2023). “Promoting skills in children and teens with autism spectrum disorder through play and steam”, 2023.
7. Sandoval Poveda, A., & Hernández Montoya, D. (2021). “Digital fabrication and theater: Developing social skills in young adults with autism spectrum disorder”. *Frontiers in Psychology*, 2021, 12, 615786. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.615786>
8. Buehler, E., Comrie, N., Hofmann, M., McDonald, S., & Hurst, A. (2016). “Investigating the implications of 3D printing in special education”. *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)*, 2016, 8(3), pp. 1-28. DOI: <https://doi.org/10.1145/2870640>
9. Kouo, J.L., Hogan, A.E., Morton, S., & Gregorio, J. (2021). “Supporting students with an autism spectrum disorder in engineering: K-12 and beyond”. *Journal of Science Education for Students with Disabilities*, 2021, 24(1), n1. DOI: <https://doi.org/10.14448/jsestd.13.0011>
10. Moon, N.W., Todd, R.L., Morton, D.L., & Ivey, E. (2012). “Accommodating students with disabilities in science, technology, engineering, and mathematics (STEM)”. Center for Assistive Technology and Environmental Access, Georgia Institute of Technology, 2012, pp. 8-21. DOI: <https://doi.org/10.1187/cbe.21-07-0196>
11. Baron-Cohen, S. (2000). “Is Asperger syndrome/high-functioning autism necessarily a disability?”. *Development and Psychopathology*, 2000, 12(3), pp. 489-500. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0954579400003126>
12. Baron-Cohen, S. (2009). “Autism: The empathizing–systemizing (E-S) theory”. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2009, 1156(1), pp. 68-80. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04467.x>
13. Van Bergeijk, E., Ranaldo, M., & Shtayermman, O. (2008). “Teaching STEM to students with autism spectrum disorders”. *STEM Education*, 2008, 81, 97.
14. Morze, N., Varchenko-Trotsenko, L., & Tiutiunnyk, A. (n.d.). “Introduction of steam education with the use of 3D technologies: Modelling, scanning, and printing”. ISSN: 2414-0325. DOI: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2016.2.t5159>
15. Bonorden, M., & Papenbrock, J. (2022). “Evidence-based optimization of classroom teaching units using 3D printers for designing models—From the 2D picture to the 3D flower model”. *Educ. Sci.*, 2022, 12, 831. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci12110831>
16. Chong, S., Pan, G.-T., Chin, J., Show, P.L., Yang, T.C.K., & Huang, C.-M. (2018). “Integration of 3D printing and Industry 4.0 into engineering teaching”. *Sustainability*, 2018, 10, 3960. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10113960>
17. Basham, J.D., & Marino, M.T. (2013). “Understanding STEM education and supporting students through universal design for learning”. *Teaching Exceptional Children*, 2013, 45(4), pp. 8-15, DOI: <https://doi.org/10.1177/004005991304500401>
18. WHO (2024). “Autism”, Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders> (last view: 11-08-2024)
19. Davis, K.E.B. (2014). “The need for STEM education in special education curriculum and instruction”. *STEM Education: Strategies for Teaching Learners with Special Needs*, 2014, pp. 1-20.
20. Hayes, G.R., Hirano, S., Marcu, G., Monibi, M., Nguyen, D.H., & Yeganyan, M. (2010). “Interactive visual supports for children with autism”. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2010, 14, pp. 663-680. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00779-010-0294-8>
21. Wei, X., Yu, J.W., Shattuck, P., McCracken, M., & Blackorby, J. (2013). “Science, technology, engineering, and mathematics (STEM) participation among college students with an autism spectrum

- disorder”. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2013, 43, pp. 1539-1546. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1700-z>
22. Yu-Lun, Chen, Murthi, K., Martin, W., Vidiksis, R., Riccio, A. and Patten, K., 2022. “Experiences of students, teachers, and parents participating in an inclusive, school-based informal engineering education program”. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2022, 52(8), pp.3574-3585. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10803-021-05230-2>
23. Chen, S.H., Lin, C.Y., & Mao, Q.C. (2018). “Effects of 3D printing interactive technology on special education for children with different disabilities”. In *Proc. The Asian Conference on Education 2018* (pp. 333-340).
24. Capp, M.J. (2017). “The effectiveness of universal design for learning: A meta-analysis of literature between 2013 and 2016”. *International Journal of Inclusive Education*, 2017, 21(8), pp. 791-807. DOI: <https://doi.org/10.1080/13603116.2017.1325074>
25. Makhaeva, J., Frauenberger, C., & Spiel, K. (2016, August). “Creating creative spaces for co-designing with autistic children: the concept of a “Handlungsspielraum””. In *Proceedings of the 14th Participatory Design Conference: Full Papers-Volume 1*, 2016, (pp. 51-60). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-59608-8_22
26. Anđić, B., Lavicza, Z., Ulbrich, E., Cvjetičanin, S., Petrović, F., & Maričić, M. (2022). “Contribution of 3D modelling and printing to learning in primary schools: a case study with visually impaired students from an inclusive Biology classroom”. *Journal of Biological Education*, 2022, pp. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2118352>

Received: 08-09-2024 Accepted: 24-09-2024 Published: 20-12-2024

Cite as:

Kostova, B. (2024). “The Use of 3D Printing Technology in Education for Students with Autism Spectrum Disorder – Assessment of Good Practices”, *Science Series “Innovative STEM Education”*, volume 06, ISSN: 2683-1333, pp. 173-181, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55630/STEM.2024.0620>