

Razvoj prostornih vještina učenika osnovne škole primjenom programa za računalno potpomognuto oblikovanje u nastavi Tehničke kulture

Darko Suman

Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Splitu
Poslijediplomski sveučilišni studij: *Istraživanje u edukaciji u području prirodnih i tehničkih znanosti*
– usmjerenje Tehnika
darko.suman@skole.hr

1. UVOD

Sažetak: Razvoj prostornih vještina ima važnost za osnovnoškolske učenike ponaosob te za društvo u cjelini. Unatoč izostanka konsenzusa u definiranju prostornih vještina, dosadašnjim istraživanjima je utvrđeno da se razvoj tih vještina može unaprijediti aktivnostima tehničkoga crtanja i računalno potpomognutog oblikovanja. No, budući da su ta istraživanja uglavnom provedena s uzrastima visokoga i srednjeg obrazovanja, a malobrojna istraživanja s učenicima osnovnoškolskog uzrasta i to izvan redovne nastave, nameće se potreba istraživanja učinka primjene programa za računalno potpomognuto oblikovanje u redovnoj nastavi Tehničke kulture. Razmatra se odabir primjerenog i optimalnog instrumenta za mjerenje određenih prostornih vještina s obzirom na dob te aktivnosti učenika i sadržaje rada u Tehničkoj kulturi. Također, razmatraju se obilježja optimalnog računalnog programa za primjenu u nastavi, potrebna materijalno-tehničku infrastruktura te sadržaji i aktivnosti koje bi se u programu provodile. Temeljem ovih razmatranja provelo bi se istraživanje s učenicima o utjecaju primjene programa za računalno potpomognuto oblikovanje na razvoj prostornih vještina u uvjetima redovne nastave. Budući da je u svakom nastavnom radu ključna stručna i metodička pripremljenost učitelja, predlaže se i provođenje upitnika za učitelje o njihovim iskustvima i spremnosti za odgovarajuću primjenu programa za računalno oblikovanja u redovitu nastavu Tehničke kulture. Slijedom rezultata budućeg istraživanja stekao bi se uvid o utjecaju primjene programa za računalno potpomognuto oblikovanje na prostorne vještine učenika u uvjetima redovne nastave Tehničke kulture, a time i uvid o opravdanosti i potrebom za istim.

Ključne riječi: *Tehnička kultura, prostorne vještine, računalno potpomognuto oblikovanje, CAD,*

Kroz više istraživanja u Republici Hrvatskoj (RH) pokazalo se da učenici 5. razreda, (i to djevojčice više od dječaka) pokazuju značajan interes prema sadržajima tehničkoga crtanja, no kasnije se taj interes smanjuje (Purković i sur. 2022, Purković i sur. 2021, Suman i Purković, 2018). Istovremeno, u praksi je razvidno da značajan dio učenika ima teškoća s vizualizacijom predmeta u prostoru pri izradi tehničkih crteža. Nerijetko, tih problema imaju i studenti tehničkih znanosti (Pawlak-Jakubowska, Terczynska, 2023; Kadam i sur., 2021., Katona, Nagy, 2019; Sorby, 2009b) što ovisi o prostornim vještinama pojedinca. Mnogim istraživanjima je utvrđeno da se prostorne sposobnosti vježbom mogu značajno poboljšati kod svakog čovjeka, neovisno o prethodnim iskustvima, vještinama i obrazovanju, uključujući i osobe s početno visokim prostornim vještinama (Šafhalter i sur. 2022., Newcombe, Frick, 2010), a posebno kod učenika i studenata (Mann i dr, 2011, Uttal, Miller, Newcombe, 2013b), s nešto manjom uspješnosti kod odraslih osoba (McGee, 1979, prema Toker, 2024). Nadalje, prostorne vještine i njihov razvoj imaju važnu ulogu u životu svakog pojedinca na različitim razinama, između ostalog su značajne za uspješnost u obrazovanju te u odabiru zanimanja i jedne su od najvažnijih za uspješnost u STEM području (Wai i sur. 2009, Newcombe 2010, Sorby i sur. 2018, Sorby, Panther 2020, Power, Sorby 2021, Johnson i sur. 2022, Taylor i sur. 2023, Zhu i sur. 2023). Stoga je u svijetu razvijeno više tečajeva razvoja prostornih vještina, no oni često nisu lako dostupni. Nasuprot tome, prepoznato je da bi upravo javno obrazovanje trebalo pružiti veće mogućnosti razvoja prostornih vještina i stvaranja u prostoru kao ključnih, radnih i životnih vještina (Szabo i sur., 2023.). A razvoju prostornih vještina značajan doprinos mogu imati vježbe tehničkoga crtanja (Prieto, Velasco, 2010; Akasah, Alias, 2010; Ogunkola, Knihgt, 2018; Power, Sorby, 2021) i primjena računalno potpomognutog oblikovanja (Šafhalter i sur. 2022).

Posljednjih šest desetljeća se u industriji, dizajnu i višim razinama obrazovanja tehničko projektiranje i crtanje

sve više ostvaruje uz primjenu računala i profesionalnih programa za računalno potpomognuto oblikovanje (CAD). CAD programi postali su neophodan alat u inženjerskom obrazovanju i temeljni dio tehnološkog obrazovanja (Chester, 2007a i 2007b). Ti programi su dugo bili komercijalni te financijski teško dostupni, zahtjevni za sklopovlje računala i zahtjevni za učenje. No u posljednjih dvadesetak godina su pojedini CAD programi na više načina postali dostupni. Konkretno, u smislu izostanka plaćanja (neki su otvorenog koda, a neki su besplatni za edukacijske svrhe), u smislu nevelike zahtjevnosti za hardver te, u odnosu na mnoge prethodne i paralelne inačice, mnogo su jednostavniji za primjenu te s intuitivnim grafičkim sučeljem. U nekim zemljama svijeta se CAD programi za trodimenzionalno modeliranje (3D CAD) primjenjuju od samog početka 21. stoljeća (Australia, Hong Kong, Japan, Kanada, Kina, Novi Zeland, Singapur, Taiwan, Tajland, Ujedinjeno kraljevstvo i SAD, prema: Chester 2004) kroz nastavni predmet općeg tehničkog i tehnološkog obrazovanja za učenike od 13 godina i starije (Fullwood, 2002; Kimbell i sur., 2002; DFEE 1999), a potom i za mlađe uzraste (Barlex i Miles-Pearson, 2008). No, taj nastavni predmet često nije obavezan, primjerice u Engleskoj (DFEE 1999, DFES 2004, DFE 2013). Primjena CAD programa u nastavi pokazala je različite utjecaje, pozitivne i neke negativne te je otvoreno više pitanja koja su i danas predmetima istraživanja (Kimbel i sur. 2002, Chester 2004). Jedan od mogućih pozitivnih utjecaja je, uz pravilan pristup i organizaciju nastave, upravo na prostorne vještine učenika.

Slijedom navedenog proizlazi pitanje kako u okolnostima redovne nastave Tehničke kulture u Republici Hrvatskoj uspješno primjenjivati 3D CAD program i time pomoći učenicima u razvoju njihovih prostornih vještina, kako onih koji su početno manje uspješni u vizualizaciji i tehničkom crtanju tako i onih s početno prosječnim i višim prostornim sposobnostima. Kao podrška primjeni CAD-a u nastavi TK je prijedlog/preporuka iz Kurikuluma Tehničke kulture (MZO, 2019) o primjeni računalnih programa u izradi tehničkih crteža, ali i obveza učitelja za uključivanjem IKT u nastavu kroz međupredmetne teme. Nasuprot tomu, nekoliko je otežavajućih uvjeta za primjenu CAD-a u redovnoj nastavi Tehničke kulture poput vrlo kratkog vremena (35 sati godišnje), upitnih materijalnih uvjeta (u smislu raspoloživosti potrebnih računala), a vjerojatno najvažniji uvjet je pripremljenost učitelja. Pripremljenost učitelja ovdje podrazumijeva odgovarajuću razinu osposobljenosti za rad u konkretnom CAD programu i nužne kompetencije metodičke primjene CAD-a u redovnoj nastavi sa svim učenicima. Uz vješto prenošenje znanja s jasnim saznanjem što se, kako i s kojim ciljem time želi postići s učenicima, glavna zadaća treba biti i poticanje rada na razvoju prostornih vještina.

Provedena su mnoga istraživanja u području tehničkog i tehnološkog obrazovanja o primjeni računalno potpomognutog oblikovanja odnosno CAD-a, no većinom u visokoškolskom obrazovanju (Arhitektura, Strojstvo, Graditeljstvo, Grafika) te u strukovnom obrazovanju (tehničkih struka i likovne umjetnosti). Za osnovnoškolski uzrast proveden je neveliki broj istraživanja o radu s učenicima u CAD-u, no uglavnom u okviru neformalnog obrazovanja (Brink i sur. 2023) kroz izvanškolske i izvannastavne aktivnosti (primjerice Šafhalter i sur., 2022) i istraživačke projekte (primjerice Wong i Shih, 2022) koji nisu nužno vezani uz nastavni predmet tehničkog područja, već primjerice iz matematike (Sun, 2023, Toptas i sur. 2012, Maresch, 2008). Šafhalter i sur. (2022) su utvrdili da je razvoj prostornih sposobnosti učenika bio tema istraživanja za populaciju djece i učenika mlađih od 8 i starijih od 14 godina. Poneka su istraživanja usmjerena na malu djecu (Allan i sur. 2018, prema: Brink i sur. 2023) ili na dob 6-10 godina (Frick, Pichelman 2023). No, trenutno nam nisu poznata istraživanja o primjeni računalnog oblikovanja u okolnostima obvezne i redovne nastave tehničke kulture (odnosno odgovarajućeg nastavnog predmeta) i s time povezanim razvojem prostornog razmišljanja učenika u dobi 11-15 godina. U toj dobi svi učenici u RH pohađaju nastavu obveznog predmeta Tehničke kulture od 5. do 8. razreda osnovne škole usvajajući i ishode vezane uz tehničko crtanje (u 8. razredu samo kroz elektrotehničke i elektroničke sheme). A kao što smo već naveli, važnost razvoja prostornih sposobnosti odnosi se na svakoga učenika, ne samo na posebno motivirane i uključene u izvannastavne programe ili pojedine projekte. Štoviše, potrebe za izraženijim poticajem i razvojem prostornih sposobnosti se prepoznaju većim dijelom kod djevojčica te kod učenika nižeg socijalno-ekonomskog statusa koji ih inače možda nisu u prilici adekvatno razvijati (Johnson i sur. 2022; Power, Sorby 2021). Osim u području tehnike i tehnologije, sve više istraživanja posljednjih godina potvrđuje važnost poticanja i razvoja prostornih vještina kod učenika osnovnoškolskog uzrasta u nastavi STEM područja.

2. PROSTORNE VJEŠTINE

2.1. Opisi prostornih vještina

Prostorna (spacijalna ili vizualno-spacijalna) inteligencija čovjeka, jedna je od sastavnica višestruke inteligencije pojedinca koju je Howard Gardner opisao kao „sposobnost točne percepcije vizualno-prostornog svijeta i izvođenja transformacija na tim percepcijama" (Lie, Sorby, 2009, prema: Katsioloudis i sur., 2014). Odnosi se na snalaženje u prostoru, sposobnost figurativne i apstraktne vizualizacije, slikovne predodžbe i razmišljanja u trećoj dimenziji (Petz, 1992, Gardner, Kornhaber i Wake, 1999,

Gardner, 1993). Kao druga dimenzija inteligencije koja se razlikuje od verbalne i matematičke sposobnosti (Eliot, 1987), ovo je opći pojam koji se odnosi na mentalnu sposobnost pojedinca da vizualizira, transformira i manipulira neverbalnim informacijama kao što su simboli, figure te dvodimenzijски i trodimenzijски objekti temeljeni na vizualnim podražajima (Carroll, 1993; Linn, Petersen, 1985; McGee, 1979, prema: Williams, 2022, disertacija Revidirani PSVT:R). Uz pojam prostorne inteligencije izravno su vezani pojmovi prostornih sposobnosti (ability) i prostornih vještina (skills, Kadam i sur., 2021), te izrazi 'prostorna percepcija', 'prostorno razmišljanje', 'prostorna vizualizacija', 'vizualno-prostorna sposobnost (Gonzalez Campos i dr. 2019)' i 'sposobnost prostorne percepcije' koje su različiti istraživači izdvojili odnoseći se na pojam „prostorna sposobnost“ (Clements, Battista, 1992; Linn, Petersen, 1985; Olkun, 2003; Turgut, 2007, prema: Dere, Kalelioglu 2020). U radovima se navodi i pojam „prostorni talent“ kao "sposobnost generiranja, zadržavanja, dohvaćanja i transformiranja dobro strukturiranih vizualnih slika" (Lohman 1996., str. 1000, prema: Wai, Kell, 2017). „Prostorna sposobnost“ je također poznata kao „prostorna kognicija/spoznaja“ „prostorno razmišljanje“ i „prostorna inteligencija“ (Di, Zheng 2022).

Pedagoški psiholozi suglasni su da sposobnost dolazi od rođenja i osoba ih ima bez formalnog obrazovanja, a vještine se uče i stječu obrazovanjem tj. kroz obuku i iskustvo. No, kod osobe s određenim stečenim iskustvima teško je i gotovo nemoguće razlikovati prostorne sposobnosti od prostornih vještina. Stoga se u pojedinim radovima (primjerice: Sorby, 1999) ova dva izraza navode naizmjenično i gotovo istoznačno (pa će možda tako biti i u ovome radu). Ukratko, može se reći da su prostorne vještine funkcija genetike i životnog iskustva (Allam, 2009) što ujedno implicira da se genetska sposobnost može odgovarajućom vježbom razvijati kao vještina. Temeljni mentalni proces koji omogućuje pojedincu da razvije prostorne sposobnosti naziva se prostorna kognicija (Miller, Bertoline, 1991, prema Katsioloudis i sur. 2014.). Nadalje, sve učestaliji pojam prostornog razmišljanja opisuje se kao sposobnost mentalnog upravljanja i rotacije predmeta u rješavanju dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih geometrijskih problema i sposobnost zamišljanja oblika objekta iz druge perspektive u rješavanju trodimenzionalnih geometrijskih problema (Herawati, Haryjani, 2024). Također, prostorno razmišljanje i rasuđivanje je sposobnost davanja smisla prostornim odnosima između oblika i predmeta te obuhvaća razumijevanje obilježja, veličine, orijentacije, položaja, smjera ili putanje geometrijskih oblika i objekata te sposobnost provedbe prostornih transformacija.

Prostorne sposobnosti su među najistraživanijim faktorima kognitivnih funkcija čovjeka (Carroll, 1993, prema: Guo i dr. 2022), no koncept kognitivnih sposobnosti još uvijek

nije unificiran i postojeća mjerenja i metode testiranja ne mogu u cijelosti izmjeriti prostornu sposobnost. Prostorne sposobnosti znanstvena zajednica objašnjava i definira na mnogo sličnih i različitih načina (Voyer i sur., 1995; Heil, 2020, prema: Morawietz, 2024) (Buckley i sur., 2017; Linn, Petersen 1985; Maier 1998; Mohler 2006; Sutton, Williams 2007, prema: Kadam i sur., 2021). Ekstrom, French, Harman i Dermen (1976) definirali su prostornu sposobnost kao sposobnost percepcije prostorne forme, tj. kao sposobnost orijentacije u novim situacijama. Linn i Petersen (1985) opisali su prostornu sposobnost kao simboličku i neverbalnu informaciju koja se u opisivanju, transformaciji, oblikovanju i pamćenju koristi kao vještina. Stockdale i Possin (1998) opisuju prostornu sposobnost kroz uspostavljanje prostornih odnosa između osobe i njezine okoline navodeći da se prostorni odnosi sastoje od svojstava kao što su veličina, udaljenost, volumen, red i vrijeme. Olkun (2003) je definira kao sposobnost prisjećanja, rotiranja i tumačenja dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih objekata u umu, a Turgut (2007) kao sposobnost misaonog trodimenzionalnog pomicanja ili rekonstruiranja objekata i komponenti koji se sastoje od jednog ili više dijelova. Rafi i Samsudin (2009) prepoznali su prostornu sposobnost kao važnu vještinu koja uključuje stjecanje, zadržavanje i transformaciju vizualnih informacija u specifičnom kontekstu, dok Gardner (2011) sugerira da se ta sposobnost pojavljuje kada osoba otkrije izgled objekta pri mentalnom rotiranju pod određenim kutom kako bi se kopirao ili percipirao oblik. Wai i Uttal (2018.) navode da je prostorna vještina „sposobnost generiranja, zadržavanja, dohvaćanja i transformiranja dobro strukturiranih vizualnih slika koje su povezane s oblikom, veličinom, smjerom lokacije orijentacije ili putanjom objekata i njihovim relativnim položajima“ (prema: Dere, Kalelioglu, 2020). Također, prostorna sposobnost je definirana kao sposobnost razumijevanja odnosa među različitim položajima u prostoru ili zamišljenim pokretima dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih objekata (Clements, 1998.; Wang i sur., 2014., prema: Yuan i sur. 2019). Premda u opisu i definiranju prostornih vještina ne postoji jedinstveni stav, u većini ovih definicija navode se koncepti kao što su prostor, objekti u prostoru, mentalna manipulacija objektima, kretanje objekata, transformacija i njihovi međusobni odnosi. Stoga možemo zaključno prihvatiti definiciju prostorne sposobnosti kao "sposobnost realizacije mentalne transformacije objekata u prostoru, vizualizacije kako objekti izgledaju pod različitim kutovima i razumijevanja kako su objekti povezani jedni s drugima" (Dere, Kalelioglu, 2020).

2.2. Podjele prostornih vještina

Obzirom na dimenzije promatranog prostora, prostorna sposobnost uključuje dvije glavne kategorije: prostorne sposobnosti velikih razmjera i prostorne

sposobnosti malih razmjera. Prostorna sposobnost velikih razmjera odnosi se na sposobnost pojedinca da provodi kognitivnu obradu prostornih informacija kroz proces kojim se perspektiva gledatelja mijenja s obzirom na šire okruženje, ali se prostorni odnosi među pojedinačnim objektima u tom okruženju ne mijenjaju (Hegarty i Waller, 2004 ; Wang i sur., 2014). Tipični primjeri sposobnosti velikih razmjera su sposobnost navigacije i sposobnost prostorne orijentacije (Jansen, 2009; Höffler, 2010; Wang i sur. 2014, prema: Yuan i sur. 2019.). Sposobnost navigacije odnosi se na sposobnost navigacije u okruženju velikih razmjera u kojem se prostorni odnosi među orijentirima ne mogu u potpunosti shvatiti s jedne točke gledišta (Wang i Carr, 2014). Prostorna orijentacija je sposobnost zamišljanja objekata iz različitih perspektiva (Yilmaz, 2009; Turgut, 2015 prema: Yuan i sur., 2019). Prostorna sposobnost malih razmjera odnosi se na sposobnost mentalnog predstavljanja i transformiranja dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih slika koje se obično mogu shvatiti s jedne točke gledišta (Wang i Carr, 2014). Primjeri sposobnosti malih razmjera su sposobnost prostorne vizualizacije i prostornih odnosa (Jansen, 2009; Höffler, 2010). Prostorna vizualizacija odnosi se na sposobnost manipuliranja složenim prostornim informacijama koje uključuju konfiguracije oblika kao što su savijanje slike i kretanje, ili promjenu u razmišljanju o dvodimenzionalnom objektu u trodimenzionalni (Linn, Petersen, 1985; Yang i Chen, 2010). Sposobnost prostornih odnosa znači prepoznavanje odnosa među vizualnim komponentama objekta (Bosnyák, Nagy-Kondor, 2008; Turgut, 2015., prema: Yuan i sur., 2019).

Unatoč suglasnosti da prostorno razmišljanje nije monolitan konstrukt, zbog nedosljednosti u imenovanju i opisima izostaje i konsenzus o njegovim komponentama (Yilmaz, 2009, prema: Seah, Horne, 2018). Dakle, postoji suglasnost da se prostorne sposobnosti mogu podijeliti na različite podfaktore, ali njihova količina, definicija, imenovanje kao i način testiranja značajno varira među istraživačima (D'Oliveira, 2004; Quaiser-Pohl i sur, 2004; Yilmaz, 2009, prema Morewietz, 2024). Prema jednim tumačenjima su dvije glavne komponente: prostorni odnosi i prostorna vizualizacija (McGee, 1979; Burnett, Lane, 1980; Elliot, Smith, 1983; Pellegrino i sur., 1984; Clements, Battista, 1992, sve prema Olkun 2003). Tatre (1990) je na radu McGeeja također predložio dvije kategorije, prostornu vizualizaciju i prostornu orijentaciju (Seah, Horne, 2018) pri čemu se prostorna vizualizacija dijeli na podkomponente mentalne rotacije i mentalne transformacije, dok Hegarty i Waller (2005) navode da McGee također objašnjava prostornu vizualizaciju i prostornu orijentaciju kao dvije komponente prostorne sposobnosti. Prema drugima su identificirane tri kategorije, primjerice: prostorna vizualizacija, mentalna rotacija i prostorna percepcija (Linn, Petersen, 1985., prema Kadam i sur., 2021) odnosno

prostorna vizualizacija, prostorna rotacija i prostorna orijentacija (Ramful, Lowrie, Logan, 2017) dok Pittalis i Christou (2010) prihvaćaju Lohmanov model klasifikacije: prostornu vizualizaciju, prostornu orijentaciju i prostorne relacije. Proširenijom podjelom Maier (1994) predlaže pet komponenti: prostornu percepciju, prostornu vizualizaciju, mentalnu rotaciju, prostorne odnose i prostornu orijentaciju, a pojedine aktivnosti osobe nisu ograničene na samo jednu od ovih pet komponenti. Herawati i Hariyani, (2024) navode da za Suttona (2011) konstrukt prostorne vještine također sačinjava pet dijelova: prostorna percepcija, prostorno rezoniranje, prostorne sekcije, mentalna rotacija i prostorna orijentacija. Supli i Yan (2024) također navode pet oblika sposobnosti prostornog rasuđivanja prema Whiteleyu i sur. (2015): mentalnu rotaciju, prostornu vizualizaciju, orijentaciju u prostoru, prostornu analizu te prostorno pamćenje, a pet čimbenika na kojima je Carroll definirao prostorne sposobnosti su: vizualizacija, prostorni

Table 1 The classification of spatial ability

	Spatial visu- alization	Mental rotation	Spatial perception	Spatial orientation	Spatial relation
Thurstone (1950)	✓	✓	✓		
Smith (1964)	✓	✓	✓		
Pellegrino et al. (1984)	✓				✓
Linn and Petersen (1985)	✓	✓	✓		
Carroll (1993)	✓	✓			
Lohman (1996)	✓			✓	✓
Maier (1996)	✓	✓	✓	✓	✓
Olkun (2003)	✓				✓

Tablica 1. Komponente prostornih sposobnosti prema različitim autorima, preuzeto iz Zhu i sur. (2023)

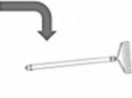
odnosi, brzina zatvaranja, fleksibilnost zatvaranja i perceptivna brzina (Carroll, 2009, prema: Gittinger, Wiesche, 2023). Prema Herawati i Hariyani, (2024), Kimura (1999) prepoznaje šest prostornih čimbenika: prostorne orijentacije, memorija prostorne lokacije, ciljanje, prostorne vizualizacije, rastavljanje i prostorne percepcije.

Jedan prikaz komponenata prostornih sposobnosti po različitim autorima (preuzeto iz Di, Zheng, 2022) pokazuje da donekle postoji konsenzus znanstvenika o prostornoj vizualizaciji i mentalnoj rotaciji.

Za svaku od podjela postoje argumenti istraživača, a neusuglašenost oko opisa i broja prostornih čimbenika je tolika da im se broj kretao od 2 do više od 25 (Buckley i sur., 2017) pa čak postoji i primjer promjene tih čimbenika unutar istog članka (D'Oliveira, 2004, prema: Dere, Kalelioglu, 2020) Ovakva nedosljednost u divergenciji čimbenika dovelo je do nepotpunog razumijevanja mehanizama koji utječu na prostorne sposobnosti (Hegarty, Waller, 2012) i ograničavajućeg učinka pri njihovim istraživanjima (Höffler, 2010; Uttal, Cohen, 2012, prema: Di, Zheng 2022).

Kombiniranjem različitih definicija te sintetiziranjem lingvističkih i kognitivnih istraživanja, Uttal i sur. (2013b) te Newcombe i Shipley (2015) su različite prostorne

sposobnosti grupirali u četiri kategorije (Gittinger, Wiesche, 2023). Ovaj model prvenstveno razlikuje **intrinzične** i **ekstrinzične** prostorne vještine preslikavajući ih na klasifikaciju unutar objekta odnosno između objekata. Intrinzične i ekstrinzične vještine dalje se kategoriziraju kao statičke ili dinamičke gdje dinamičke vještine uključuju transformaciju ili kretanje. Konkretnije, **intrinzično-statičke** vještine uključuju obradu objekata ili oblika usred ometajućih pozadinskih informacija bez transformacije. Na primjer traženje određenog 2D oblika u većoj ometajućoj slici. **Intrinzično-dinamičke** vještine uključuju obradu i manipulaciju ili transformaciju objekata ili oblika poput mentalne rotacije. **Ekstrinzično-statičke** vještine zahtijevaju obradu i kodiranje prostornih odnosa između objekata, bez daljnje transformacije tih odnosa. Primjer je pronalaženje odgovarajućih lokacija između oblika jednakog omjera, ali različitih veličina (skaliranje i korištenje karte). **Ekstrinzično-dinamičke** vještine uključuju transformaciju odnosa između objekata, odnosno odnosa između objekata i referentnih okvira. Primjer je zauzimanje prostorne perspektive u kojoj sudionik vizualizira promjenu svog odnosa prema objektu razmatrajući kako bi objekt (ili objekti) izgledao iz drugog

	Intrinsic (Within Object)	Extrinsic (Between Objects)
Static		
Dynamic		

Slika 1. Klasifikacija prostornih vještina prema Uttal i sur. (2013a), preuzeto iz Zhu i sur. (2023)

gledišta.

2.3. Faze razvoja i primjeri aktivnosti za razvoj prostornih vještina

Piaget (1936) je opće faze razvoja djetetovih vještina prostornog mišljenja podijelio u četiri faze i opisao u okviru svoje teorije kognitivnog razvoja. Prva fazu, senzomotorni stadij, prolazimo u dobi od oko 0-1,5 godine razvoja, a druga, predoperacijska faza, se očituje u dobi od otprilike 1,5-7 godina. Treća je konkretna, operativna faza. u dobi od 7 do 11-12 godina, dok je četvrta faza razvoja djeca formalna operativna faza vidljiva od dobi s navršениh 11 ili 12 pa do 15 godina. Tek od ove faze djeca općenito mogu razumjeti apstraktne strukture, transformaciju mišljenja,

korištenje hipoteza, hipotetičko-deduktivno mišljenje, kombinatorne vještine te proporcionalnosti i vjerojatnosti (Labinowicz, 1980, prema: Šafhalter i sur., 2016). Kritičari Piagetove ideje navode nedovoljno uvažavanje individualnih razlika u kognitivnom razvoju pojedinaca koji neće istovremeno s drugima napredovati iz jedne faze u drugu, a također je moguće da se prelazi iz jedne faze u drugu ne odvijaju istovremeno u svim mentalnim područjima (npr. prostornom, verbalnom, itd.) S druge strane, mnoga su istraživanja pokazala da se razlika u strategijama rješavanja problema i zaključivanja, kao što je logičko-matematičko i prostorno rezoniranje, javlja u adolescenciji (Greenberg, 1987; Demetriou i Efklides, 1989; Demetriou, Efklides i Platsidou, 1993, sve prema: Šafhalter i sur., 2016).

Današnja saznanja, razumijevanje i prepoznavanje vrsta vještina koje čine skup prostornih vještina rezultat su istraživanja tijekom više od 100 godina (Atit, Uttal, Stief, 2020; Sorby, 1999). Više puta, ali ne i redovito, utvrđene su razlike između muških i ženskih ispitanika pokazujući višu razvijenost pojedinih prostornih vještina kod muških ispitanika. Nadalje, niža razvijenost pojedinih prostornih vještina prepoznaje se i u pojedinim društvima među učenicima nižeg socio-ekonomskog statusa (Power, Sorby 2021). No, nasuprot čestom i pogrešnom shvaćanju da je prostorno razmišljanje „fiksno“ i „nepoučljivo“, prostorno razmišljanje je prilagodljivo, vrlo fleksibilno i može se razvijati (Hawes, Tepylo, Moss, 2015). Kroz različita životna iskustva i široki izbor metoda i specifičnih treninga, prostorne vještine se mogu učinkovito, trajno i prenosivo (transferibilno) uspješno poticati i razvijati kod svakog pojedinca neovisno o dobi. To uključuje i osobe s početno visokim prostornim sposobnostima (Newcombe, Frick, 2010), a posebno je učinkovito kod učenika i studenata (Mann i dr, 2011, Uttal, Miller, Newcombe, 2013b; Miller, Halpern 2013), s nešto manjom uspješnosti kod odraslih osoba (McGee, 1979, prema: Toker, 2024). Treninzima razvoja prostornih vještina može se značajniji napredak ostvariti upravo u skupinama kod kojih su te vještine početno bile niže (Miller, Halpern, 2013). Primjerice, Hsi i sur. (1997) su postigli da spolne razlike zabilježene prije tečaja razvoja prostornih vještina nisu bile prisutne nakon tečaja.

Aktivnostima poput igranja kockicama, konstrukcijskim igračkama ili određenim trodimenzionalnim računalnim igricama, sportom, skiciranjem, crtanjem i tehničkim crtanjem, može se unaprijediti prostorne vještine te posebno namjenskim programima za razvoj prostornih vještina (Sorby, 1999, Stieff, Uttal 2015). Uttal i sur. (2013a) su zaključili da se vještine prostornog rasuđivanja mogu uvježbati sa srednjom veličinom učinka od 0,47 za poboljšanje prostornog uvježbavanja kroz studije (prema: Lowrie i sur. 2018).

Odgovarajućim pristupom poučavanja tehničkoga crtanja (primjerice pristupom „od cijeloga prema dijelovima“ umjesto obrnuto, eng: WTP umjesto PTW) može se u relativno kratko vrijeme smanjiti zaostatke u prostornim vještinama između studenata s iskustvom tehničkoga crtanja i studenata bez iskustva tehničkoga crtanja (Akasah, Alias 2010). Nadalje, pri uvježbavanju primjerice mentalne rotacije primjenjuju se različite metode kao što je fizički trening, trening ručnom manipulacijom objektima (Alias i sur. 2002), računalno-utemeljeni trening, trening primjenom računalno potpomognutog oblikovanja, računalne igrice, animacije, aktivnosti tehničkoga crtanja i tehničkoga skiciranja (Alias i sur., 2002, Sorby 1999, June) (dodatni izvori za svaku od navedenih metoda dostupni u Kadam i sur., 2021).

Sorby i Veurink (2019) primijenili su kurikulum za razvoj prostornih vještina s učenicima uzrasta 7. razreda ruralne škole s nižim postignućima, i ostvaren je napredak u matematičkim testovima, posebno kod djevojaka. Uzrast 7. razreda je odabran slijedom zapažanja Ben-Chaim i sur. (1988) da su prostorne instrukcije imale veći utjecaj na taj uzrast nego na 5., 6. ili 8. razrede. Upravo se viši razredi osnovne škole pokazuju kao optimalni, posebno kod djevojčica, kada se, uz razvoj vještine formira i sve odlučnije uvjerenje o svojim sposobnostima. Naime, kasnije intervencije u srednjoj školi, mogu biti kasne za većinu djevojaka koje su čvrsto utvrdile svoja loša uvjerenja o samoučinkovitosti u vezi s matematikom i prirodnim znanostima (Sorby, 2009a).

Prema Thurstoneu, u razvoju sedam primarnih mentalnih sposobnosti (brojčane, verbalno razumijevanje, prostor - dodatno podijeljen na prostornu sposobnost i prostornu orijentaciju, zatim pamćenje, rasuđivanje, tečnost riječi i perceptivna brzina) najveći potencijal za poboljšanja u prostornom razmišljanju je u dobi od oko 3-15 godina te se do dobi od oko 14 godina obično razvija oko 80% vještina prostornog razmišljanja. Trenutačni rezultati istraživanja pokazuju da se ova krivulja može potvrditi za gotovo sva područja prostornog razmišljanja (Maresch, Sorby 2021). No, i u odrasloj dobi su vještine prostornog razmišljanja vrlo prilagodljive i mogu se nastaviti razvijati (Uttal i sur. 2013a).

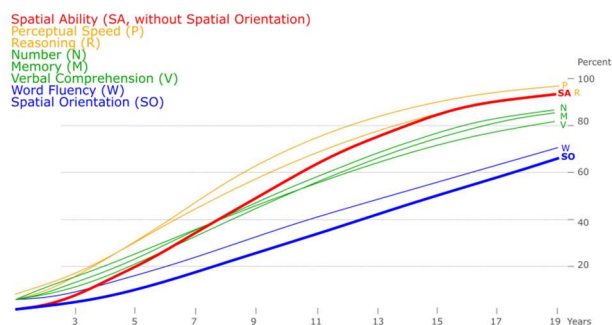


Figure 8: Progress curve of eight intelligence domains. Seven primary intelligence factors according to Thurstone and additionally spatial orientation (SO). The blue intelligence domains develop rather slowly, the green ones at an average rate. The orange intelligence areas develop fastest according to Thurstone's observations.

Grafikon 1. Razvoj sedam primarnih mentalnih sposobnosti kroz djetinjstvo prema Thurstoneu, preuzeto iz Maresch, Sorby, (2021).

2.4. Važnost razvoja prostornih vještina za pojedinca i društvo

Prostorne vještine omogućuju nam da manipuliramo, organiziramo, razmišljamo i damo smisao prostornim odnosima u stvarnim i zamišljenim prostorima (Atit, Uttal, Stief, 2020). Time su iznimno značajne u razvoju, obrazovanju, kretanju, radu i uopće u životu pojedinca, a istovremeno i snažan izvor individualnih razlika (Lubinski, 2010). Smatra se da prostorne vještine čine temelje za rad u 80 % zanimanja (Katsioloudis i Stefaniak 2018, Arikan, Turhan, 2023). Njihov razvoj važan je u strukovnom obrazovanju, primjerice u drvodjelstvu (Lee i sur. 2019), u modi i oblikovanju odjeće (Moriz, Youn 2022) te likovnoj umjetnosti (Karpati i sur., 2023). Višestruko je utvrđeno da poticaj i razvoj prostornih vještina ima presudan utjecaj na uspjeh u prirodoslovlju (posebice kemiji, fizici, geografiji, geologiji), tehnici i tehnologiji, inženjerstvu i matematici, medicini i stomatologiji, ukratko, u STEM području (Sorby, Veurink, Streiner, 2018., Ha i Fang, 2016; Newcombe 2013., Uttal i Cohen, 2012; Lubinski, 2010; Wai, Lubinski i Benbow, 2009; Hegarty i sur., 2007; Shea, Lubinski i Benbow, 2001). Štoviše, prostorne vještine snažno djeluju kao prolaz ili kao prepreka za ulazak i uspjeh učenika u STEM područja te time utječu na odluke vezane uz buduća područja učenja i zanimanja (Uttal, Cohen, 2012; Wai i sur. 2009., prema: Power, Sorby 2021). Stoga stoji tvrdnja da se razvojem prostornih vještina može utjecati na uspješnost u obrazovanju pojedinca te na odabir karijere (Sorby, 2009; Lubinski 2010; Uttal i sur., 2013a ;Steffi i Uttal 2015), a obrazovni psiholozi ističu nužnost njihova ranog poučavanja i trajnog stimuliranog razvoja kao pitanje ravnopravnosti među učenicima (Halpern i sur., 2007, prema: Reilly, Neumann i Andrews, 2017). Također, utvrđeno je da adolescenti s relativno jakim prostornim sposobnostima teže ka znanstvenim i tehničkim poljima poput fizike, inženjerstva, matematike i informatike te bi uključivanje testiranja prostornih sposobnosti u

suvremenim traženjima talenata identificiralo mnoge s potencijalom za STEM kadrove koji nedostaju (Wai, Lubinski, Benbow, 2009). Ukratko, prepoznavanje, razvoj i unaprjeđenje prostornih vještina u interesu je svakog pojedinca (Ingale, Srinivasan i Bairaktarova 2017) i društva (Atit, Uttal, Stief, 2020). Slijedom prepoznate veze između vještina prostornog razmišljanja s izvedbom, upornošću i postignućima u školskim predmetima iz znanosti, tehnologije, inženjerstva i matematike (STEM), kao i da su ta znanja i vještine sastavni dio dobro obučene radne snage u i izvan STEM-a, prostorne vještine postale su glavni fokus kognitivnih, razvojnih i obrazovnih istraživanja (Uttal i sur. 2024).

Prepoznavanje prostornih vještina važno je i u potrazi talentiranih učenika (Wai, Lakin, 2024). Naime, iako su prostorne, verbalne i numeričke sposobnosti u pozitivnoj korelaciji, njihova relativna ravnoteža može uvelike varirati. Stoga, traženjem talentiranih učenika samo školskim uspjehom ili standardiziranim testovima usmjerenim isključivo na verbalne i matematičke vještine, oni s izraženim verbalnom i numeričkim vještinama imaju priliku biti identificirani dok netko s posebno jakim prostornim sposobnostima može ostati neprepoznat (Park, Lubinski, Benbow 2010). Tako ostaju zanemareni pojedinci s visokim rezultatima prostornih zadataka koji nemaju visoke verbalne i/ili matematičke vještine, ali imaju relevantne kognitivne vještine za uspjeh u STEM poljima i pomoć u popunjavanju manjka STEM radne snage (Taylor i sur. 2023). Također, utvrđeno je da od 1 % najboljih pojedinaca u testovima prostornih sposobnosti čak 70 % nije među 1 % najboljih u testovima verbalnih ili matematičkih sposobnosti (Wai i sur. 2009). Time se otvara rasprava o širim društvenim implikacijama zanemarivanja prostorno nadarenih učenika. Na primjer, koliko je inovacija izgubljeno jer neki od najperspektivnijih inovatora nisu adekvatno prepoznati i dalje razvijali talente (Wai, Kell, 2017, Kell, Lubinski 2013). Također je i Nacionalni odbor za znanost (2010) ustvrdio da su pojedinci vješti u prostornom razmišljanju „neiskorištena baza talenata“ koja je ključna za visoko tehnološko društvo (Miller, Halpern, 2013).

2.5. Izostanak važnosti prostornih vještina u školskom sustavu

Slijedom prethodno navedenog, za očekivati je da se u obveznim i općeobrazovnim sustavima daje naglasak razvoju i primjeni prostornih vještina i njihovo „iskorištavanje“ za što boji uspjeh učenika u obrazovanju. Tako se u pojedinim zemljama poput Australije i Kanade prostorno razmišljanje izričito navodi u kurikulumima. U nekim zemljama poput Engleske i Sjedinjenih Američkih Država se za promicanje prostornog razmišljanja oslanjaju

na inherentno prostorne sadržaje, poput oblika i mjerenja (Gilligan-Lee i sur., 2022). No, upravo u Sjedinjenim Američkim Državama je još prije gotovo dvadeset godina Nacionalno istraživačko vijeće (2006.) pozvalo na nacionalnu reformu kako bi se prostorno razmišljanje unijelo u kurikulum temeljen na standardima, posebno u STEM kolegijima. Prepoznali su tada da je unatoč svojoj temeljnoj vrijednosti, prostorno razmišljanje „nedovoljno priznato, nedovoljno cijenjeno i stoga nedovoljno poučeno“ u tradicionalnom obrazovanju (National Research Council, 2006., str. 14-15). Naime, prostorna sposobnost uvijek je bila od sekundarnog interesa u istraživanju ljudske inteligencije (Guo, 2022). U većini odgojno-obrazovnih sustava stanje je takvo da se potreba razvoja prostornih vještina uglavnom previdi (Newcombe i Frick 2010) ili zanemari uz nerijetko podcjenjivanje njihove važnosti dok se naglasak daje verbalnim i numeričkim odnosno analitičkim vještinama (Sorby, 2009a). Prostorne vještine uglavnom nisu uključene u kurikule i ne potiču se u okruženjima za učenje (Arikan, Turhan), a bez eksplicitnog prostornog kurikuluma za podršku nastavnicima koji manje razmišljaju o prostoru, često se propuštaju prilike za poticanje prostornog razvoja učenika kroz nastavu (Davis i Spatial Reasoning Study Group, 2015; Lowrie i Logan, 2018; Bates i sur., 2022; Gilligan-Lee i sur., 2022, prema: Harris, 2023).

Također, većina učitelja uglavnom nije zainteresirana za aktivnosti razvoja prostornih vještina te ih mnogi učitelji smatraju djetinjastim, primitivnim i prelogijskim (Sommers, 1978, prema: Sorby, 2009b). Mnogi od onih koji imaju visoko razvijene prostorne vještine možda ne znaju da su svoje vještine vjerojatno razvijali godinama i ne razumiju da isto nekome nije lako. Oni možda ne vjeruju da se prostorne vještine mogu poboljšati vježbom, a pogrešno vjeruju da se osoba s tom vještinom „rađa“ ili „ne rađa“ (Sorby, 2009b) te ovakve miskoncepcije mogu imati negativan učinak na uspjeh učenika i studenata na svim razinama obrazovanja (Arikan, Turhan, 2023; Sorby 2009b). Nadalje, prema pojedinim istraživanjima edukatori kao skupina imaju prostorne vještine niže od prosjeka opće populacije (Verdine i sur., 2017; Atit i sur., 2018) zbog čega se također prostorne mogućnosti ne prevode uvijek u prostornu nastavu (Gilligan-Lee i sur., 2022; Hawes i sur., 2023; prema: Harris, 2023). I dok dio učenika ima znatnih poteškoća u shvaćanju i primjeni prostornih vještina te se mogu osjećati uskraćenima, edukatori uglavnom nemaju ni obvezu ni formalno obrazovanje potrebno za razumijevanje i djelotvoran razvoj tih vještina te ih teško potiču i razvijaju kod učenika (Arikan, Turhan, 2023). Ovakvo stanje ima svoje duboke korijene u tradicionalno izraženoj dihotomiji između percepcije (vizualnog mišljenja) i zaključivanja (kognitivnog mišljenja) u obrazovanju gdje je percepcija nešto „manje vrijedno“ u procesu spoznaje. Prema Arnheimu (1980) još su od Descartesa ljudske sposobnosti

rasuđivanja smatrane superiornijima od sposobnosti opažanja premda su i percepcija i rasuđivanje neophodni u procesu razmišljanja. Štoviše, Arnheim navodi da uzdizanje vještina rasuđivanja iznad vještina vizualnog mišljenja znači ignoriranje načina na koji um zapravo radi te zaključuje da je "Razmišljanje, dakle, uglavnom vizualno razmišljanje" (Sorby, 1999; Arnheim, 1980).

2.6. Prepoznata važnost prostornih vještina i pozivi na promjene sadržajima i aktivnostima tehničko-tehnološkog područja nastave

Posljednjih godina se u mnogim edukacijskim istraživanjima ističe potreba šireg prepoznavanja i prihvaćanja dubokih utjecaja prostornog razmišljanja. Pri tom se smatra se da su škole pogodna i strateška okruženja za razvoj prostornih vještina kroz procese koje se može prilagoditi svakoj aktivnosti učenja te da prostorne vještine treba stjecati kroz sve faze školskog života. Predlaže se intenzivna obuka koja nadilazi klasične metode i prakse, podržana tehnologijom uz pružanje kontinuirane obuke prostornih vještina tijekom cijelog ciklusa učenja učenika, počevši od predškolskog odgoja (Arikan, Turhan, 2023). Primjerice, za edukaciju matematike se predlažu promjene u paradigmi poučavanja (Winarti i sur. 2024; Hawes i sur. 2023; Sorby, Veurink, 2019). Ističe se da je prostorno rasuđivanje još uvijek nedovoljno cijenjena, nedovoljno priznata i nedovoljno instruirana značajka obrazovanja. Štoviše, s vještinama rješavanja matematičkih problema riječima i s geometrijom nije povezano logičko zaključivanje već upravo sposobnost prostorne obrade (Yu i sur. 2022). Uz potrebu uvođenja „prostornog“ kurikulumu, prostorno rasuđivanje se može i treba iskoristiti kao podrška u poučavanju i učenju matematike, a pri tomu bi se istovremeno poboljšavalo i samo prostorno razmišljanje (Yu i sur. 2022). Hawes i sur. (2023). također naglašavaju da prostorno razmišljanje predstavlja neiskorišteni potencijal i skrivenu snagu u učenicima koju se može crpiti i njegovati kako bi se postigli novi disciplinarni uvidi, razumijevanja i uvježbavanja matematike.

Više je dokaza o poboljšanjima u matematičkoj izvedbi učenika ostvarenih uvježbavanjem vještina prostornog razmišljanja (Kock, Maresch, 2023). Jedan od recentnih primjera projekta s ciljem unapređenja prostornih vještina učenika i učitelja opisali su Maquet i sur. (2023) te Benedicic i sur (2023). Radi se o projektima u Irskoj tijekom 2021/2022. godine kada je u pilot projektu sudjelovalo 9 učitelja matematike u formi stručnoga usavršavanja te preko 370 učenika u dobi od (14)15-16 godina (raspoređenih u eksperimentalnu i kontrolnu grupu). Ukupno je kroz cjelokupan projekt sudjelovalo oko 50 učitelja i 1500 učenika navedene dobi širom Irske te se pokazalo statistički značajno unaprjeđenje prostornih sposobnosti učenika

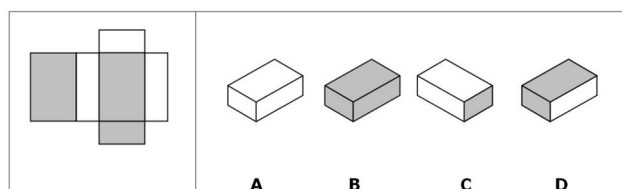
eksperimentalne skupine i učitelja. Ovdje trebamo naglasiti da su sadržaji i aktivnosti kojima je ostvareno unaprjeđenje uglavnom tipični sadržaji i aktivnosti iz nastave tehničke kulture, odnose se na izradu tehničkih crteža skiciranjem i priborom za crtanje crtanjem mreža tijela, pravokutnih projekcija, izometrije (i simetrije) te vizualizacije oblikovanih rješenja i tumačenja tehničkih crteža (Maquet i sur. 2023). Također, korištene su kockice za fizičku manipulaciju kao pomoć u vizualizaciji složenijih geometrija te interaktivni online softver. I u mnogim drugim istraživanjima i projektima za razvoj prostornih vještina učenika (neki od njih sa ciljem razvoja matematičkih vještina, primjerice „Robertson Program za poučavanje matematike i znanosti temeljeno na istraživanju“ na Institutu za proučavanje djece Dr. Eric Jackman u Torontu-Kanada kojeg vode prof. Hawes i suradnici) uz navedeno, ističu se još neki sadržaj, aktivnosti, alati i sredstva koji izvorno pripadaju području tehničkog i tehnološkog obrazovanja, primjerice programi za računalno potpomognuto oblikovanje (CAD programi), aktivnosti 3D modeliranja i danas sve dostupniji i rasprostranjeniji - 3D ispis (Hawes, 2023). Ovime se još izravno potvrđuje pozitivna korelacija između pojedinih sastavnica općeg tehničkog obrazovanja poput izrade i primjene tehničkih crteža, s razvojem prostornih vještina, a samim time je najlogičnije, najprirodnije, kontekstualno najautentičnije i najsvrhovitije okruženje za provođenje ovih sadržaja upravo u nastavi tehničke kulture. (Tehničke kulture za koju je nastavnim planom zadano samo 35 sati godišnje.) I dok je više istraživanja usmjereno mogućnostima razvoja i integracije prostornih sposobnosti u matematičkim i prirodoslovnim kurikulumima, malo je pokušaja u lociranju manifestacije prostornih sposobnosti u kurikulumima tehnologije obveznog obrazovanja (Lin i sur., 2023). Jednim od takvih rijetkih primjera, Lin i sur. (2023) su temeljem analize kurikuluma švedskog obveznog obrazovanja za predmete Zanati i Tehnologija pokazali da se razvoj prostornih sposobnosti očituje kroz dvije dimenzije u ovim predmetima. Jednu dimenziju čine vizualne komponente i to su grafičke, slikovne i proizvodne komponente, a druga komponenta se odnosi na oblikovanje konceptualnog i proceduralnog znanja učenika koje je u interakciji s grafičkim i proizvodnim komponentama. Kroz predmet *Zanati* se od učenika traži da, uz bavljenje grafičkim i proizvedenim komponentama, u različite slikovne sastavnice prenošene obrtničkim proizvodima, uključe kulturna i povijesna značenja. Slijedom navedenog primjera moglo bi se analizirati i potvrditi manifestacije prostornih sposobnosti kroz nastavni predmet općeg tehničkog odgoja i obrazovanja kao što je u RH Tehnička kultura, no u ovom radu ćemo se ostati na sadržajima i aktivnostima tehničkoga crtanja.

2.7. Mjerenje prostornih vještina i odabir instrumenta

Za mjerenje prostornih sposobnosti razvijene su kroz desetljeća stotine testova (Uttal i sur. 2024). Mnogi od testova razvijani su za specifične potrebe (primjerice Minnesota paper form board test još u 1. Svjetskom ratu) i u pravilu usmjereni na jednu od komponenti prostornih vještina. I kod testova, kao i u opisivanju prostornih vještina, postoji problem neusuglašenosti o tome što pojedini testovi mjere (Bartlett, Camba, 2023) te o njihovoj primjerenosti određenim dobnim skupinama. Nadalje, neki su testovi vrlo sličnih naziva usmjereni mjerenju različitih konstrukata, dok se za neke testove različitih naziva navodi da procjenjuju različite prostorne konstrukte premda zapravo mjere iste vještine (Hegarty, i sur. 2024; Morawietz i sur. 2024.). Mnogi od testova oblikovani su za određene dobne skupine što kod primjene na različitim uzrastima ometa usporedivost rezultata tijekom razvoja (Morawietz i sur. 2024).

Unatoč različitostima, u mnogim testovima su operacije prostornih sposobnosti vezane uz rotiranje objekata u prostoru i njihovu vizualizaciju u dvije ili tri dimenzije. Također je važno te operacije izvoditi brzo (Olkun, 2003) pa testovi koji mjere prostornu sposobnost imaju vremenska ograničenja (Cokcaliskan 2024). S druge strane, prostorno je rasuđivanje toliko intrinzično povezano s našim svakodnevnim iskustvom da izdvajanje pojedinih vještina ne može dati potpune odgovore o prostornim odnosima. Uklanjanjem konteksta u kojem se prostorne vještine razvijaju i primjenjuju, moguće je da se promijeni i način na koji se te vještine provode (Boone i sur., 2019; Newcombe i sur., 2022, prema: Harris 2023). Stoga ćemo izdvojiti četiri primjera prostornih testova koji su često primjenjivani, a njihovi zadaci imaju značajne sličnosti sa sadržajima nastave tehničkog crtanja osnovne škole u RH s ciljem ostvarenja zadanih odgojno-obrazovnih ishoda. Također, uz primjenu s uzrastima srednjoškolskih učenika i visokoškolskih studenata te odraslih osoba, ovdje istaknuti testovi su primjenjivi s određenim uzrastima osnovne škole.

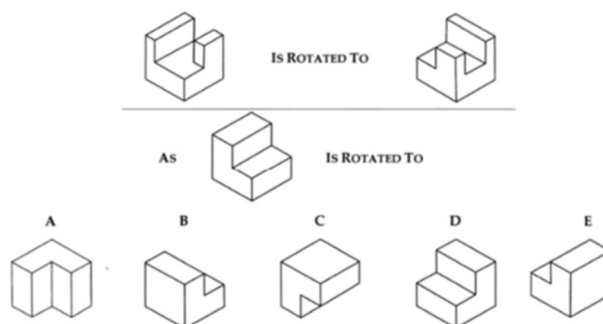
DAT:SR (Bennett, Seashore, Wesman, 1973), punim nazivom kod nas preveden kao *Diferencijalni testovi sposobnosti, Test prostornih odnosa (PO)* je jedan od ispita iz višestruke DAT baterije testova sposobnosti i jedan je od najšire primjenjivanih u istraživanju prostornih sposobnosti (Wang 1993). Izvorno je objavljen 1947. godine te revidiran nekoliko puta, u Hrvatskoj je objavljen 2005. godine i dostupan u standardiziranoj inačici za učenike osnovnih škola dobi 13-15 godina te za starije uzraste (Matešić i sur., 2005).



Slika 2. Primjer iz DAT:SR testa (Prostorni odnosi), preuzeto iz Marsch, (2015)

U zadacima ovoga testa učenik treba prepoznati kojem tijelu pripada ponuđena mreža što je blisko sadržajima o mrežama geometrijskih tijela pri usvajanju ishoda Tehničke kulture 5. razreda.

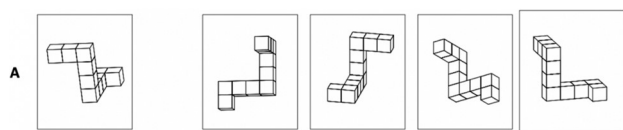
PSVT:R (Guay, 1976) *Purdue test prostorne vizualizacije: Rotacija, i Revidirani PSVT:R* (Yoon, 2011) od ispitanika traži da u zadacima prema prikazanom primjeru promjene položaja rotacijom jednog tijela prepozna između više ponuđenih odgovarajuću rotaciju drugog tijela. Primjenjuje se za učenike s navršenih 13 godina i starije uzraste. Svi crteži tijela su izometrijski prikazi što je učenicima blisko iz nastave, a rješavajući ovakve zadatke učenik ulaže slične napore kao kada promišlja o izgledu zadanog tijela prilikom crtanja i promatranja pravokutnih projekcija (5. razred) i prostornih prikaza (7. razred). Test je inicijalno razvijen za istraživanje odnosa između prostorne sposobnosti i uspješnosti studenata u uvodnim kolegijima kemije. U revidiranoj inačici (Yoon, 2011) dostupan je preko kontakata s www.spatiallearning.org. U kraćoj inačici autori ga označavaju **ROT** (*Purdue vizualizacija rotacije*, Bodner, Guay 1997), a pojedini istraživači **PRVT** (Basham, Kotrlík, 2008). Jedan je od dva testa s recentnom kritikom da možda ne mjeri mentalnu rotaciju te da favorizira muškarce (Bartlett, 2024).



Slika 3. Primjer iz testa PSTV:R, preuzeto iz Šafhalter i sur. (2022)

MRT (prema zadacima testa što su izradili Shepard i Metzler 1971. sličan test su izradili Vandenberg i Kuse 1978, a revidirao Peters i sur. 1995) Test mentalne rotacije, možda je najzastupljeniji test prostornih sposobnosti primjenjivan s različitim uzrastima i profilima, između ostalog i u sportu (Hellermann, 2022). Postoje viđenja da nije prikladan za učenike osnovnih škola (Hoyek i sur. 2012., prema: Ramful i sur. 2017) premda autori navode da je primjenjiv je s učenicima uzrasta od 10 godina, a u nekim su istraživanjima uključeni i mlađi učenici (u dobi 7-11

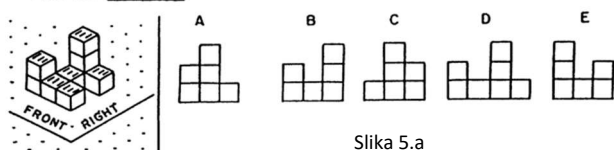
godina, Williams, 2022). Preveden je na hrvatski jezik i dostupan od strane autora preko kontakata s www.spatiallearning.org. Kroz 20 zadataka ispitanik treba usporediti četiri prikaza figure i odabrati dvije koje odgovaraju kriterijskoj slici dok su druge dvije figure zrcalnog oblika. (Vandenberg i Kuse, 1978.) Figure prikazane u zadacima su građene nizanjem deset jediničnih kocaka na ukupno četiri pravca. Takvi oblici se jednostavno i brzo oblikuju računalom u programu za 3D modeliranje što uz razmatranje izgleda u različitim položajima istoga tijela može biti brza i učinkovita vježba učenicima na nastavi te u samostalnom radu izvan učionice. Papirnata inačica ovog instrumenta izložena je recentnoj kritici pa čak i osporavanju od strane dijela istraživača (Bartlett, Camba, 2023).



Slika 4. Primjer iz testa MRT, preuzeto iz Hellermann i sur. (2022.)

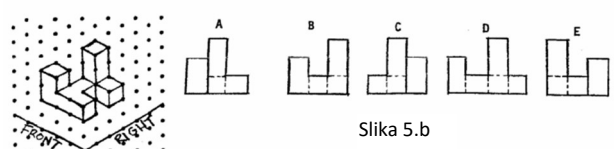
Lappan test (1981) ili **MGMP** test prostorne vizualizacije (Lappan, 1981), namijenjen učenicima petog do osmog razreda, razvijen je na matematičkom odjelu Michigan State University za procjenu učeničkog razumijevanja osnova izometrijskog skiciranja i pravokutnih projekcija. U izvornoj inačici se kroz 10 tipova zadataka uspoređuju i traže odgovarajući pogledi tijela građenih od jediničnih kocaka (primjerice izometrijski prikaz prema pravokutnom prikazu ili pravokutni prikaz s jedne strane prema pravokutnom prikazu s druge strane). U tim prikazima nisu primjenjivane norme tehničkoga crtanja (Slika 5.a) te je objavljena inačica s modificiranim zadacima i prikazom tijela uz primjenu normi (Slika 5.b). Dostupnost testa nije trenutno poznata.

2. You are given a picture of a building drawn from the FRONT-RIGHT corner.
Find the BACK VIEW.



Slika 5.a

2. You are given a picture of a building drawn from the FRONT-RIGHT corner.
Find the BACK VIEW.



Slika 5.b

Slika 5.a i 5.b, primjeri jednog od tipova zadataka iz Lappan testa prije i nakon usklađivanja s normama tehničkoga crtanja, Preuzeto iz Ben-Chaim i sur. (1986) i Gorska, Sorby (2009).

Kao na primjeru prethodnog testa, za mnoge testove postoji problem dostupnosti. Također, za mnoge testove

vrijedi da su, kao i u prikazanim primjerima, uglavnom usmjereni prema jednom od prostornih konstrukata. To je istraživače potaklo na izradu testova koji ponekad čine „šaroliku mješavinu“ prostornih testova, a mnogi od njih su bez psihometrijskih informacija poput onih o pouzdanosti i valjanosti. Uttal i suradnici (2024) su prepoznali da je u odabiru odgovarajućeg testa kod istraživača čest pristup pogađanja (i promašivanja) te se kao pomoć predlaže izrada „banke“ resursa i zajedničkih sustava testiranja putem interneta (Uttal i sur., 2024).

Za provedbu ovog istraživanja trenutno je u razmatranju primjena još dva dostupna testa. Jedan od njih je test oznake **SRI** (Spatial Reasoning Instrument), izradili su ga Ramful, Lowrie i Logan (2017) s ciljem popunjavanja praznine u literaturi i davanjem alata za procjenu prostornih sposobnosti učenika u dobi od 11 do 13 godina. Postavljen je na teoriji o tri konstrukta prostornog razmišljanja: mentalnoj rotaciji, prostornoj orijentaciji i prostornoj vizualizaciji. Za razliku od mnogih instrumenata koji su više psihološki usmjereni, ovaj je usmjeren kurikulumskim iskustvima učenika procjenjujući prostornu sposobnost ispitanika na širem rasponu zadataka unutar svakog konstrukta i kao takav ima veću vidljivu valjanost. Istovremeno pruža tri odvojene mjere prostorne sposobnosti i izbjegava potrebu za provedbom tri odvojena testa, a psihometrijske karakteristike opravdavaju njegovo korištenje u istraživačke i pedagoške svrhe (Ramful i sur., 2017). Iako je uputa da je instrument namijenjen učenicima dobi 11 – 13 godina, sami autori su ga primjenili u radu s učenicima u dobi 9-13 godina (Lowrie, Logan, Hegarty, 2018). Nadalje je primijenjen u radu Supli i Yan (2024) s 54 učenika osnovne škole u dobi 8 do 10 godina mjereći utjecaj proširene stvarnosti (AR) na njihove prostorne vještine. U radu Winarti, Patahuddin, Lowrie, (2024) korišten je u radu s učenicima dobi 13-15 godina samo dio s česticama vizualizacije pa je instrument označavan SRI-SV. Prije primjene u RH potrebno je provesti prijevod teksta. Drugi instrument koji razmatramo izradili su Šafhalter i sur. (2022). Ovaj instrument također je izrađen temeljem utvrđene praznine u proučavanju populacije između 8 i 14 godina i fokusirano na razvoj sposobnosti prostorne vizualizacije. Test se sastoji od ukupno 14 zadataka usvojenih i bodovanih iz osam različitih i standardiziranih testova:

- Usklađivanje oblika (Newton i Bristoll, 2019)
- Test rotacije slike (Newton i Bristoll, 2019)
- Test ploče (Ekstrom i sur. 1976)
- DAT:SR (Newton i Bristoll 2019)
- Test probušenih rupa (Ekstrom i sur. 1976.)
- MRT (Vandenberg i Kuse 1978.)
- Test razvoja površine (Ekstrom i sur. 1976)
- PSVT:R (Guay, 1979).

Pri rješavanju, učenici trebaju mentalno manipulirati prikazanim objektima kako bi došli do točnih rješenja, a

kako bi se izbjeglo rješavanje zadataka napamet u post-testu, pripremljene su dvije inačice testa. Tekstualni dio testa također je potrebno prevesti na hrvatski jezik.

U novije vrijeme razvijeni su i drugi instrumenti namijenjeni mjerenju prostornih vještina učenika viših osnovnoškolskih razreda. Karpati, Babaly Budai (2014) razvili su test prostornih vještina ISAT (Interactive Spatial Abilities Test) temeljen na kurikulumu matematike i vizualne umjetnosti te na orijentacijskim situacijama stvarnog života. Standardiziran je u Mađarskoj u inačici A za 4 i 5 razred (10-11 godina) i inačici B za 6.-8. razred (12-14 godina). U Turskoj su instrument za učenike 6., 7. i 8. razreda razvili Goktepe Yildiz i Ozdemir (2017), a Çokçalışkan (2024) je za učenike 7. razreda razvio Spatial Ability Achievement Test (SAT) koji uključuje brojanje i usporedbu kocaka, vizualizaciju prijelaza iz 2D u 3D i iz 3D u 2D prikaza, mentalnu rotaciju 2D i 3D objekata, dovršetak površine (mentalna integracija) i mentalnu dekompoziciju oblika.

Slijedom navedenih primjera instrumenata, za provedbu našeg istraživanja će biti potrebno odabrati optimalan i dostupan instrument. Ovdje valja napomenuti da su za sve navedene instrumente dostupni podaci o procjenama pouzdanosti ostvareni za određene uzorke ispitanika. Međutim, citiranje i korištenje prethodnih procjena, a propuštanje izvještavanja o procjenama pouzdanosti za **svoje uzorke**, naziva se indukcijom pouzdanosti (Vacha-Haase et al., 2000; prema: Williams, 2022). To je svojevrsna zlouporaba termina pouzdanost koja je još uvijek učestala u obrazovnim i psihološkim istraživanjima (Williams, 2022). Prečesto autori netočno navode da je instrument pouzdan dovodeći do pogrešnog shvaćanja da je pouzdanost karakteristika instrumenta, dok je ona zapravo svojstvo rezultata koje proizvodi taj instrument (Thompson, Vacha-Haase 2000, prema: Williams, 2022). Pouzdanost ilustrira u kojoj su mjeri rezultati dobiveni instrumentom primijenjenim na ciljanoj populaciji, u određeno vrijeme i pod određenim uvjetima, dosljedni i ponovljivi (Crocker, Algina 1986; Onwuegbuzie, Daniel, 2000, prema: Williams, 2022). Dakle, na pouzdanost rezultata koje daje instrument mogu utjecati karakteristike studije i uzorka, a neovisno o tome koji i kakav instrument odaberemo za istraživanje razvoja određenih prostornih sposobnosti, provest ćemo i provjeru pouzdanosti dobivenih rezultata tim instrumentom.

3. UTJECAJ PRIMJENE CAD-a NA PROSTORNE VJEŠTINE UČENIKA VIŠIH OSNOVNOŠKOLSKIH UZRASTA

Kada se prije tridesetak godina započelo se s primjenama trodimenzijskih računalnih programa u visokoškolskom, a potom i na nižim razinama obrazovanja, ubrzo je prepoznato da bi se njihovom primjenom moglo utjecati na poboljšanje prostornih vještina studenata tj. učenika. Do danas su provedena mnoga istraživanja o

odnosu između prostornih vještina ispitanika i njihovog korištenja programima za računalno potpomognuto oblikovanje (CAD) ili sličnih programa. Pretraživanjem baza radova s ključnim riječima koje se primjenjuju za računalno potpomognuto oblikovanje i prostorne vještine, Williams (2022a) je pronašla 222 rada objavljena od 1980. do 2021. godine. Nakon uklanjanja duplikata (-28) i nepovezanih članaka temeljenih na naslovima i sažetcima (-71), pregledani su cjeloviti tekstovi preostale 123 moguće primarne studije. Kako bi se najbolje predstavilo utjecaj CAD softvera na prostorne sposobnosti učenika, završni odabir provela je temeljem četiri kriterija: 1. objava na engleskom jeziku; 2. navođenje primijenjenog CAD-a (ili sličnog programa); 3. navođenje rezultata mjerenja prostorne sposobnosti; 4. dovoljno statističkih podataka za izračunati veličinu učinka usporedbom razlike između intervencijskih skupina s CAD-om i kontrolnih skupina bez CAD-a ili dobitke testiranja skupine prije i nakon CAD intervencije. Zadanim kriterijima udovoljilo je 19 radova. Za te radove je izračunata veličina ponderiranog Hedgesovog g učinka od 0,37 za studije s eksperimentalnom i kontrolnom skupinom te ponderirana veličina d učinka od 0,35 za studije s jednom grupom. To ukazuje da su CAD intervencije imale pozitivan utjecaj na prostornu sposobnost učenika.

Nadalje, Williams (2022a) je uz pripadajuće statističke vrijednosti sintetizirala saznanja tih radova razmatranjem parametara poput dobi ispitanika, instrumente mjerenja, odabrani CAD softver te oblike intervencije. Kroz svih 19 članaka **ustrajan je koncept prostorne vizualizacije, geometrijskog znanja i učeničkog angažmana**. Zaključuje da su CAD sustavi izvrstan nastavni alat i da njihova primjena u učionici može biti od koristi svim učenicima poticanjem razvoja njihove prostorne sposobnosti već kroz šest sati nastave (pozivajući se na Contero i sur., 2006), neovisno o prethodnim učeničkim

Table 2.2 Primary Study Identification

Study#	Authors	Year	N	Educational Level
1	Basham & Kotrlík	2008	199	High School
2	Duesbury & O'Neil	1996	33	Mixed
3	Erkoç, Gecü, & Erkoç	2013	62	Middle Grades
4	Kösa & Karakuş	2018	116	Post-Secondary
5	Kurtuluş & Uygan	2010	48	Post-Secondary
6	Rafi, Anuar, Samad, Hayati, & Mahadzir	2005	98	Post-Secondary
7	Şafhalter, Vukman, & Glodež	2016	196	Mixed
8	Shavaliier	2004	116	Elementary
9	Toptaş, Çelik, & Karaca	2012	82	Middle Grades
10	Workman & Zhang	1999	22	Post-Secondary
11	Bairaktarova	2017	115	Post-Secondary
12	Budinoŧ & McMains	2018	47	Post-Secondary
13	Hilton, Paige, Williford, Li, Hammond, & Linsey	2017	146	Post-Secondary
14	Johnson & Yoon	2015	143	Post-Secondary
15	Martin-Dorta, Saorin, & Conerto	2008	40	Post-Secondary
16	Marunić & Glazar	2014	104	Post-Secondary
17	Onyancha, Derov, & Kinsey	2009	27	Post-Secondary
18	Rodriguez & Rodriguez	2016	19	Post-Secondary
19	Tumkor	2018	217	Post-Secondary

Tablica 2. Popis primarnih studija utjecaja CAD-a na prostorne sposobnosti učenika (1980. - 2021.), preuzeto iz Williams (2022).

Red. br.	Autor i godina	N	Dob	CAD	Način intervencije	Trajanje intervencije	Instrument	Dodatne varijable
1.	Shavaliier (2004)	116 EG +CG	4., 5. i 6., r. (=10-12 god)	Virtus WalkThrough Pro, program nalik CAD-u	3D modeliranje geometrijskih tijela i oblika, kretanje kroz virtualne prostorije	11 tjedana po 50 minuta	MRT (Vandenberg, Kuse, 1978) i Paper Folding test (1976)	Analizom kovarijance nije utvrđeno značajnih dobitaka
2.	Basham, Kotrlík (2008)	464, 3EG +CG	14-15 godina	Pro/Desktop	Izborna nastava Tehnološka otkrića s CAD modulom, 3 eksperimentalne grupe: nastavnik i modul , samo modul, postojeći materijal; učenici rade u paru	1 semestar	PRVT (Bodner, Guay, 1997)	Likovna umjetnost, Geometrija
3.	Toptas, Celik, Karaca (2012)	82 EG +CG	8. razred (14-15 god)	Google SketchUp	3D modeliranje kroz eksperimentalni istraživački dizajn	6 tjedana, po 60-80 minuta	MRT (Peters, 1995) DAT-SR (Bennett, 1947)	Nikad prije nisu koristili CAD
4.	Erkoc, Gecu, Erkoc (2013)	62 EG +CG	8. razred (14-15 god)	Google SketchUp	Oblikovanje i slaganje virtualnom jediničnih kocaka, prva tri sata uvježbavanje rada s Google SketchUp	6 tjedana, po 1,5 sati	MRT (Peters, 1995)	
5.	Šafhalter, Bakarčević Vukman, Glodež (2016)	196 EG +CG	11-15 godina	SketchUp	Izvanastavna aktivnost 3D modeliranja Ista intervencija opisana u Šafhalter i sur. (2014)	Nastavna godina, 30 sati, 1 sat tjedno	Hibridni test (Šafhalter, 2022)	Prije toga provedeno pilot istraživanje (2012)
6.	Williams (2022c)	31 bez CG	7-11 godina	Tinkercad	Ljetni kamp	5 dana po 1,5 sati	MRT (Peters, 1995)	
7.	Williams, Capraro (2020)	25 bez CG	7-11 godina	Tinkercad i SketchUp	Ljetni kamp	5 dana po 1,5 sati	MRT (Peters, 1995)	
8.	Šafhalter, Glodež, Šorgo, Ploj Vrtič (2022)	166 EG +CG	11-14 godina	SketchUp	Izvanastavna aktivnost 3D modeliranja	Nastavna godina, 30 sati, 1 sat tjedno	Hibridni test (Šafhalter, 2022)	Prethodno iskustvo, ocjene nastavnog predmeta T i T
9.	Guo, Wang, Deng, Hong, Wang, Wu (2022)	97 EG +CG	1. r. (middle) ≈12 god	geekCAD	15 minuta upute učitelja kroz izradu šalice + 80 minuta učenike izrade modela mosta	1 susret od 95 minuta	MRT (Peters, 1995)	xAPI specifikacija
10.	Chou, Shih (2020)	10 bez CG	4. r. ≈10 god	Tinkercad	grupe izvanastavnih aktivnosti, učeničko 3D modeliranje objekata prema svom interesu i 3D ispis	6 tjedana, 3 sata tjedno	Nepoznat test autora Ou (2016)	
11.	Dilling, Vogler (2021)	2	14 i 15 godina	Tinkercad	dvije radionice poslije nastave, snimke aktivnosti i razgovora učenika tijekom izrade pantografa, 35-minutni zapis ekrana		studija slučaja, odnos aktivnosti u CAD programu s aspektima prostornih sposobnosti prema Maieru (1994)	
12.	Sumen (2018)	(170) 5	5. razred ≈11 godina	SketchUp	Na populaciji od 170 učenika proveden je MGMP test (turski prijevod) i izdvojeno pet učenika, po dva s krajnjim i jedan sa srednjim rezultatom. Ti učenici su rješavali pretest i posttest MRST (turski test), a intervencija je uključivala rad u SketchUp-u oblikovanjem tijela iz zadataka.			
13.	Wong, Shih (2022)	1	6. razred (11-12 godina)	Onshape	Jednotjedna napredna razina pilot nastave provedena je kao korisnički test kako bi se procijenila učinkovitost predloženog obrazovnog okvira. Tijekom pilot nastave, učenik iskusi je cijeli proces ciklusa dizajna, u rasponu od istraživanja korisnika, razmišljanja o idejama, CAD modeliranja i izrade prototipova. Povratna informacija ostvarena upitnikom za refleksiju			

Tablica 3. Popis istraživačkih radova o utjecaju primjene CAD-a na prostorne sposobnosti učenika osnovnoškolske dobi.

vještinama, iskustvima, dobi i slično (pozivajući se na Šafhalter i sur., 2016). Također navodi da se može povećati angažman učenika. Ukratko, kroz CAD sustave učenici usvajaju nekoliko matematičkih koncepata, bave se naprednim tehnologijama i povećavaju prostorne sposobnosti, a sve to može imati pozitivan učinak i na njihova STEM postignuća.

Pregledom dobi ispitanika u 19 navedenih radova vidljivo je da je jedan rad (najstariji) ostvaren s odraslim osobama zaposlenim u tehničkim proizvodnim kompanijama (Duesbury, O'Neil, 1996), a 13 radova je ostvareno sa visokoškolskim studentima. Od preostalih pet radova, jedan rad ostvaren je kroz izborni predmet opće srednje škole (High School) u razredu s učenicima uzrasta 15 godina (Basham i Kotrlík, 2008), a dva rada s učenicima u dobi 14-15 godina iz osmih razreda osnovne škole (Toptas i sur. 2012; Erkoc i sur. 2013). Dva rada su ostvarena s miješanim uzrastima učenika osnovne škole: Šafhalter i sur. (2016) s učenicima viših razreda (11-15 godina) te Shavaliier (2004), jedan od prvih radova uopće ostvaren primjenom programa nalik CAD-u s učenicima četvrtih, petih i šestih razreda (približno 10-12 godina).

Dakle, svega je pet radova provedeno s učenicima koji odgovaraju uzrastima učenika viših razreda osnovne škole u RH, od toga tri s učenicima u dobi učenika osmih razreda (koji u RH više nemaju „klasične“ sadržaje tehničkoga crtanja već sadržaje u kojima su elektrotehničke i elektroničke sheme). Preostala dva rada su ostvarena s učenicima približne dobi 11 – 13 godina (tj. 5. – 7. razreda u RH), a jedan od njih ostvaren je prije 20 godina s programom nalik CAD-u, s teškoćama u radu uzrokovanim starijim i nepouzdanim računalima te nisu utvrđeni značajniji dobitci u prostornim vještinama učenika (Shavaliier, 2004). Uz

navedene radove, i sama autorica (Williams, 2022) je u okviru svoje disertacije provela istraživanje s učenicima u dobi 7 - 11 godina također utvrdivši pozitivan učinak primjene programa za računalno modeliranje na prostorne vještina učenika.

Daljnijim pretraživanjem radova o utjecaju primjene CAD-a na prostorne vještine učenika osnovnoškolska dobi, pronašli smo još sedam radova u posljednjih šest godina. Među njima je još jedan rad iste autorice (Williams, Capraro, 2020) i noviji rad Šafhalter i sur. (2022), oba rada s ponovljenim uzrastima učenika. Preostalih pet radova uzeli smo u razmatranje iako po određenim sastavnicama opisuju drugačije provedbe. Primjerice Guo i sur. (2022) opisuju učinak postignut primjenom programa za računalno oblikovanje geekCAD tijekom samo jednog susreta u trajanju od 95 minuta. U radu Chou i Shih (2020) je ostvarena izvanastavna aktivnost kroz 6 tjedana, ali nije nam poznat primijenjeni instrument (Ou, 2016). Studija slučaja (Dilling, Vogler, 2021) ostvarena je s dva učenika i opisuje odnos pojedinih aktivnosti učenika u CAD programu s aspektima prostornih sposobnosti. U radu Sumena (2018) opisan je učinak primjene SketchUp-a na uzorku od izdvojenih 5 učenika odabranih iz 170 učenika slijedom rezultata u prethodnom MGMP testu. Wong i Shih (2022) opisuju provedbu primjene CAD-a u projektu s jednim učenikom, a povratna informacija od učenika prema istraživačima je ostvarena upitnikom za refleksiju.

Zajedničko za svih 13 ovdje navedenih radova je provedba intervencije s učenicima **izvan** redovite nastave. Jedan rad (Basham i Kotrlík, 2008) opisuje provedbu kroz izborni predmet tijekom jednog polugodišta, dva kroz izvanastavne aktivnosti tijekom nastavne godine (Šafhalter i sur., 2016 i 2022) i ostali opisuju intervencije kraćeg trajanja. Također, uz jedan izuzetak (Shavaliier, 2004), u

svim drugim radovima je prepoznat pozitivan utjecaj na prostorne vještine učenika, čak i kada je intervencija trajala vrlo kratko, manje od dva sata (Guo i sur. 2022), ili do dva dana. (Dilling, Vogler, 2021). Tako se i za adolescente potvrđuje saznanje da mala količina uvježbavanja može unaprijediti prostorno rezoniranje pojedinca, kao što su prethodno utvrdili Contero i sur. kroz šest sati intervencije te Uttal i sur. (2013a). Ovo višestruko potvrđeno saznanje da se u relativno kratkom vremenu, odgovarajućim aktivnostima provedenim kroz nekoliko sati, može (možda znatno i trajno) unaprijediti određene prostorne vještine, posebno je značajno i motivirajuće za naše istraživanje budući da je na godišnjoj razini, od 35 sati redovne nastave Tehničke kulture, raspoloživo samo desetak sati za aktivnosti i sadržaje iz područja dokumentiranja i tehničkog crtanja. Naime, približna raspodjela raspoloživog vremena za ostvarivanje odgojno-obrazovnih ishoda predmeta predviđena je Predmetnim kurikulumom Tehničke kulture (MZO, 2019).

4. ULOGA UČITELJA, SADRŽAJA I OBLIKA NASTAVNOG RADA TE MATERIJALNO-TEHNIČKIH UVJETA

4.1. Priprema učitelja, sadržaja, metoda i oblika rada – i tehnička kultura

U odgojno-obrazovnom radu je poznat didaktički trokut učenik-učitelj-nastavni sadržaj, a uključivanjem tehnologije i medija u nastavu danas se govori o didaktičkom četverokutu (Hrvatska enciklopedija). Uloga učitelja i kvalitetne pripreme odgovarajućih nastavnih materijala, sadržaja i računalne opreme, vidljiva je i usporedbom rezultata primjene računalno potpomognutog oblikovanja u **izornoj** nastavi u okviru istraživanja Basham i Kotrlík (2008). Obrazovni materijali s uputama tada su izrađeni uz uvažavanje preporučene kombinacije metoda primjene 3D fizičkih modela, promatranja i praktične upotrebe računala uz učenje primjene CAD programa. Također su uvažene preporuke Roschelle i sur. (2001) da u nastavi s računalnom tehnologijom budu uključena četiri čimbenika: aktivni angažman, sudjelovanje u grupama, česte interakcije s povratnim informacijama te uključivanje konteksta stvarnog svijeta. U kontrolnoj skupini nastava se provodila bez primjene CAD programa, a u tri eksperimentalne skupine nastava se provodila uz primjenu CAD-a kroz tri različita pristupa i usmjerena razvoju prostornih vještina učenika. Učenici eksperimentalnih skupina su organizirani u parovima, svaki par na jednom računalu. Rezultatima je utvrđen značajan napredak kod učenika skupine u kojoj je nastava ostvarivana kombinacijom učiteljskog vođenja učenika kroz module za rad u CAD-u i primjene fizičkih modela koji su učenicima bili dostupni za promatranje. U drugoj skupini su učenici pratili pripremljene module uz tek uvodno

vođenje učitelja, a u trećoj se radilo prema prethodnoj praksi bez modula i fizičkog modela te kod učenika iz ove dvije skupine nije zapažen značajniji napredak prostornih vještina, kao ni kod učenika kontrolne skupine. Ovime se pokazalo da je primjenom računalnog oblikovanja moguće utjecati i pospješiti prostorne vještine učenika, ali je pri tome ključna uloga pripremljenoga učitelja, kvalitetnih i usmjeravajućih nastavnih materijala, kao i postojanje fizičkih modela kao materijalnog prikaza onoga što se računalom modelira i prikazuje. Time je potvrđeno da tehnologija i multimedija može biti relativno uspješna kao alat za učenje, ali sama po sebi nije dovoljna i nije garancija uspješnog učenja, a pomoć učitelja odlučujući je faktor u postizanju dodane vrijednosti kod učenika (Šafhalter i sur. 2014).

Komentirajući pojedinačne rezultate prema kojima su neki učenici ostvarili značajan napredak, neki djelomičan, a neki uopće nisu napredovali, autori ističu da društveni konteksti i grupno učenje uz vodstvo učitelja omogućuju učenicima uspješnija postignuća nego što bi ih učenici ostvarili sami. Zajednički rad učenika na zadatku pruža im prilike za repliciranje i raspravu o zadatku uz razmjenu ideja o onome što rade (Basham, Kotrlík, 2008). No, isto tako, ako je za učenike u paru dostupno samo jedno računalo, moguće je da će jedan učenik dominirati kroz interakciju sa softverom dok će pasivni učenik možda samo promatrati bez odgovornosti za svoje učenje i rezultate učenja. Kada su učenici u relativno pasivnoj ulozi primanja informacija, često ne uspijevaju razviti dovoljno razumijevanja za kasniju primjenu onoga što su učili (Roschelle i sur., 2001, prema: Basham, Kotrlík, 2008).

Od ostvarivanih sadržaja i konkretnih aktivnosti učenika tijekom 3D modeliranja, Tóptas i sur. (2012) ističu prikazivanje trodimenzionalnih figura u ortogonalnim i izometrijskim prikazima te razvoj ploha trodimenzionalnog tijela u dvodimenzionalni plašt tj. mrežu. Erkoć i sur (2013) također ističu aktivnosti izrade pravokutnih i prostornih prikaza figura koje učenici formiraju virtualnim slaganjem jediničnih kocaka (poput tijela iz testova mentalne rotacije i Lappan testa, op. a.). Prije provedbe samog eksperimenta, učenici eksperimentalne grupe su tri sata uvježbavali uporabu programa (SketchUp). Prepoznajući ovakve sadržaje kao izvorno tehničke i tehnološke, Basham i Kotrlík (2008) ističu da je **razvoj vještine prostorne vizualizacije** možda najvažnije od svega što tehnološko obrazovanje može dati učenicima, a time i najbranjiviji razlog da nastavni predmet Tehnološko obrazovanje ima status obaveznog za sve učenike. Također, prema Šafhalteru i sur. (2022) „rezultati navode na zaključak i jamstvo da bi smo uključivanjem 3D modeliranja u kurikulum Tehnike i tehnologije, odnosno odgovarajućih tehničkih predmeta kojima se poučava učenici u dobi od 11 do 14 godina, mogli značajno povećati razinu njihove sposobnosti prostorne vizualizacije.“ Štoviše, predlaže se promjena statusa 3D

modeliranja iz izbornih predmeta i izvannastavnih aktivnosti u obvezne nastavne planove i programe tj. kurikulume nastavnog predmeta Tehnika i tehnologija (slovenskog naziva kojemu u RH odgovara Tehnička kultura). Williams (2022) zaključuje da su iskustva s CAD-om i 3D ispisom izvrstan način primjene naprednih tehnologija za razvoj i poboljšanje prostornih vještina učenika čime bi im se u mlađoj dobi moglo značajno utjecati uspjeh u STEM područjima.

Ovdje ćemo još jednom naglasiti da navedeni radovi opisuju istraživanja ostvarena kroz različite projekte izvan redovite nastave. Obzirom na raspoloživo vrijeme i zadane ishode nastavnog predmeta, u našem istraživanju nije cilj učenike poučavati 3D modeliranju (premda smo mišljenja da bi imalo vrijednost u kontekstualnoj nastavi) niti ih poučavati mogućnostima programa za 3D modeliranje, već ispitati utjecaj primjene takvog programa kao alata za uspješan razvoj prostornih vještina uz istovremenu pomoć u razumijevanju i usvajanju vještina čitanja i izrade tehničkih crteža kod učenika. Dakle, uvođenje računalno potpomognutog oblikovanja u nastavu tehničke kulture nikako ne znači umanjivanje važnosti ili zanemarivanje tradicionalnog tehničkog crtanja, prostoručno (skiciranje) ili uz primjenu pribora (trokuta za crtanje i šestara). Štoviše, temeljem utvrđenih vrijednosti za razvoj prostornih sposobnosti, crtanje tradicionalnim priborom, a posebno skiciranje, u osnovnoj školi treba svakako zadržati. „Skiciranje se konzistentno pokazuje kao značajan faktor u razvoju spacijalnih vještina“ (Sorby, 2009) te i u drugim nastavnim predmetima treba poticati učenike da skiciraju svoje vizualizacije određenih nastavnih sadržaja za što postoji pet važnih razloga: potiče se angažiranost, dublje razumijevanje, zahtjeva razmišljanje, potiče na eksplicitne ideje, potiče komunikaciju u grupi (Newcombe, 2013). Nadalje, mada zvuči kao nešto što se podrazumijeva, u svakom zadatku za vježbu tehničkoga crtanja, od početnog crtanja najjednostavnijih oblika, važno je učenicima naglasiti da se crtanjem prikazuje izgled konkretne tehničke tvorevine. To će u početnim zadacima izgledati kao crtanje nekog geometrijskog lika (npr. kvadrata, pravokutnika) i ako učenici pritom nemaju saznanje o tome gdje i kojoj tehničkoj tvorevini taj lik pripada, tada za njih samo crtanje imati manji značaj i proizlazi da se crta radi crtanja. Dakle, svaki tehnički crtež treba imati pripadnost određenoj tehničkoj tvorevini koju se tim crtežom prikazuje, barem uz pripadajuće tekstualno objašnjenje. Uz primjenu i dostupnost fizičkog objekta te primjenom računalno potpomognutog oblikovanja kada učenik u virtualnom prostoru može manipulirati zadanim objektom i promatrati ga iz različitih strana, učeniku će biti razumljiviji i nastanak različitih tehničkih crteža toga objekta. A, kao što smo već u uvodu naveli, teškoće s različitim tehničkim prikazima tj. projekcijama mogu imati i stariji, prostorno neuvježbani učenici te studenti.

4.2. Primjeri i neka obilježja CAD programa

Kada je na samom prijelazu iz 20. u 21. stoljeće u pojedinim zemljama započela primjena trodimenzionalnih CAD programa u nastavi, uglavnom je toj program bio Pro/DESKTOP, program tvrtke PTC (Kimbell i sur., 2002; Hodgson i Allsop, 2003; Chester, 2004). To je bila nešto jednostavnija inačica programa Pro/ENGINEER kojim je u računalno potpomognuto oblikovanje uvedeno parametarsko modeliranje 1988. godine. *Oba programa su razvijana do pred petnaestak godina kada je nova generacija programa preimenovana u Creo.* Danas postoje brojni CAD profesionalni i komercijalni programi koji mogu biti razmatrani za primjenu u nastavi, a među najcjelovitijim i najmoćnijim su Catia i SolidWorks (Dassault Systèmes), Inventor i Fusion (Autodesk), Solid Edge i NX (Siemens) te Creo (PTC). U većini ovih programa se uglavnom provodi parametarsko modeliranje temeljeno na značajkama („feature based“). Parametarsko modeliranje pomoću značajki znači da se tijekom razvoja projekta razvija i stablo značajki (razvojno stablo, „feature tree“) u kojem se kronološki bilježe sve veličine, parametri i odnosi stvarajući informacije o 3D modelu, o sklapanju i procesu (Gan, Ma, 2019). Stablo značajki je niz koraka tj. primijenjenih elemenata (linija, likova) i njihovih određenja te uspostavljen odnos među njima što omogućuje korisniku da uređuje svaku značajku zasebno u bilo kojem trenutku. Kako se u model unose nove značajke i elementi (crteži, skice), one se dodaju se na dno popisa, ali mogu se i umetati na željeno mjesto unutar postojećeg (razvojnog) stabla. Ovo omogućuje korisniku da napravi bilo kakve promjene na svom modelu bez ugrožavanja drugih karakteristika i značajki koje postoje. Popisom značajki korištenih za izradu modela, definira se 'recept' kako je dio napravljen. Stoga se za takvo modeliranje kaže i da je temeljeno na povijesti („history-based“). Geometrija samog modela oblikovanog na taj način određena je specifičnim parametrima kao što su veličina, oblik i položaj, a svaki od tih parametara može lako biti mijenjan (Madsen i Madsen, 2012) samo je potrebno prepoznati gdje se taj parametar nalazi u stablu značajki. U složenijim projektima ovakvo modeliranje zahtijeva od korisnika određena znanja, vještine i iskustvo (Chow, Kubota i Georgescu, 2015). Prema nekim autorima se ove programe smatra programima za inženjerski dizajn tj. inženjersko projektiranje (Gan, Ma, 2019). Svi gorenavedeni programi su instalacijski, a neki od njih postupno razvijaju mogućnost rada u oblaku tj. bez instalacije kroz internet preglednik (Fusion, SolidWorks). Neki su prilično visokih hardverskih zahtjeva (primjerice Inventor) i relativno visokih cijena, a svi imaju ugodno sučelje za rad i moguće ih je primjenjivati u edukacijske svrhe, neke uz značajne popuste, a neke i besplatno uz određenu administrativnu proceduru (Fusion, Inventor,

SolidWorks). Nerijetko se na višim razinama obrazovanja primjenjuju u nastavi te u istraživanjima (primjerice Nemer, Klein 2019).

Drugu skupinu trodimenzionalnih CAD programa čine programi izravnog modeliranja („direct modeling“) s brzim i jednostavnim generiranjem geometrije 3D modela razvojem poligona, bez postavljanja ograničenjima. Programi za izravno modeliranje omogućuju jednostavnost uporabe CAD sustava u fazi konceptualnog oblikovanja gdje se provodi i izmjenjuje više različitih „brzih i prljavih“ koncepata. Program sadrži informacije o teksturi i sastavu modela, efektu osvjetljenja, okolišu i drugome što je prikladno za kasniju izradu i animaciju. Izravnim modeliranjem olakšana je interoperabilnost modela i izbjegavanje nekih problema iz programa temeljenog na povijesti koji može biti neprikladan u početnoj fazi industrijskoga projektiranja kada još nisu definirani svi potrebni parametri i ovisnosti među značajkama (Chow, Kubota i Georgescu, 2015; Ault i Phillips, 2006a, 2016b). Stoga se za programe izravnog modeliranja navodi da su za industrijski dizajn tj. programi za industrijsko projektiranje (Gan, Ma, 2019). Primjer ovakvog programa je Rhinoceros, program s donekle jednostavnim sučeljem i alatima za modeliranje u trodimenzionalnom okruženju, te sa širokom zajednicom korisnika (Nemer, Klein 2019).

Za korištenje prednosti svake od dviju opisanih skupina programa razvijeni su i hibridni programi. Tako su u sustavima temeljenim na povijesti ugrađene funkcionalnosti izravnog modeliranja pa se primjerice u programu Fusion može birati između moda parametarskog modeliranja ili izravnog modeliranja, dok primjerice za Rhinoceros postoji dodatak Grasshopper 3D kojim se omogućuje parametarsko modeliranje (Uremović, Završki, 2022).

Uz komercijalne programe treba navesti i programe otvorenog koda kao što su Bledner i FreeCAD, parametarske programe s kvalitetnom podrškom za početnike i znatnom zajednicom korisnika. I ovi programi su instalacijski, a postupno im se razvijaju inačice i nadogradnje za rad u internetskom pregledniku. Primjerice, za Blender je nadogradnja *CAD Sketcher*, a za Rhinoceros *RhinoAnywhere0.1.0* (<https://makertales.gumroad.com/l/CADsketcher> i <https://www.food4rhino.com/en/app/rhino-anywhere>). Rad više korisnika s mogućošću povezivanja do 30 učenika na istom projektu u programu Rhinoceros omogućuje nadogradnja *Crash* <https://www.food4rhino.com/en/app/crash-multi-user-rhino>.

Brink i suradnici (2023) navode da je više CAD programa prikladno za tehnološko obrazovanje u višim razredima osnovne škole, a ističu Tinkercad i SketchUp. Ova dva programa ističu se i primjenom u 9 od 13 analiziranih radova (str. 12.). Wong i Shih (2022) su temeljem usporedbe različitih CAD programa izdvojili dva programa koji se temelje na oblaku, Tinkercad i Onshape,

navodeći da su to najprikladniji programi za učenike. Za Tinkercad navode da je najprikladniji za osnovnoškolce i početnike u učenju CAD modeliranja koji je besplatan i pruža sjajno iskustvo modeliranja za stvaranje vlastitog dizajna u jednostavnim koracima. Iako nema naprednih naredbi, temeljnim alatima za početnike se može lako realizirati različite oblike i strukture, što pomaže otključati maštu učenika. Za Onshape navode da uključuje različite napredne značajke i snažne naredbe za različite razine korisnika u izradi detaljnih i preciznih 3D modela te da je stoga najbolji izbor za napredne učenike i srednjoškolce. Zaključno, sva tri istaknuta i preporučena programa se temelje na oblaku i primjenjuju u internetskom pregledniku.

4.3. Očekivane mogućnosti optimalnog CAD programa za nastavu Tehničke kulture

Tehnički crteži namijenjeni su prikazivanju tehničke tvorevine, a izradu dvodimenzionalnih crteža kao što su pravokutne projekcije može se primjenom računala ostvariti relativno jednostavno kroz različite programe. Uz mnoge dvodimenzionalne CAD programe među kojima su neki besplatni, izrada dvodimenzionalnih crteža može se ostvariti i programima kojima osnovna namjena nije crtanje, poput programima za pisanje teksta ili za izradu prezentacije. No, primjena takvih programa u nastavi Tehničke kulture nije predmet ovih razmatranja. Nasuprot tomu, razmatramo trodimenzionalne CAD programe kojima se omogućuje jednostavna izrada trodimenzionalnih modela i njihov prikaz u virtualnom prostoru čime se učenicima može značajno olakšati i ubrzati razumijevanje i izrada različitih vrsta crteža tih modela.

Slijedom zadanih ishoda i pripadajućih sadržaja prema postavkama Kurikuluma Tehničke kulture u osnovnoj školi, primjena CAD programa u nastavi treba omogućiti jednostavno oblikovanje uglatih (i drugih) geometrijskih tijela uz mogućnost sastavljanja više dijelova u cjelinu kao i dobivanje tehničkih crteža oblikovanog modela: pravokutnih projekcija, izometrijskog prikaza, presjeke te prikaze plašta, sve uz mogućnost odabira mjerila crtanja te kotiranje prema normama tehničkog crtanja. Kao dodatna pomoć u razumijevanju te virtualnom i misaonom predočavanju, za učenike mogu biti korisne (i zanimljive) mogućnosti dodjeljivanja realističkih svojstava poput različitih boja, pa čak i „materijala“ čime se oblikovanom modelu uz postojeće fizičke veličine ploštine i obujma, dodjeljuje i masa. Također, premda ne proizlaze nužno iz Kurikuluma, u radu s pomičnim dijelovima dobrodošle su simulacije gibanja.

Sve navedeno učitelji mogu provoditi primjenjujući CAD program kao nastavno sredstvo i kao nastavno pomagalo pokazujući postupke rada učenicima uz projiciranje na platnu. Učitelji također mogu izraditi

nastavni materijal u formi zadataka ili ispisanih radnih listova koje učenici potom rješavaju: mjerenjem duljina ispisane projekcije i kotiranjem, docrtavanjem pravokutne projekcije koja nedostaje, ucrtavanjem zaklonjenih bridova u projekciji i drugo (Suman, 2018). Nadalje, zadaci za učenike mogu biti takvi da trebaju prepoznati odgovarajući izgled modela promatranog iz određenog smjera što lako mogu provjeriti uz manipulaciju gotovim modelom u virtualnom prostoru sagledavajući traženi izgled objekta brzo i učinkovito. Nakon pokazivanja određenih postupaka učenicima, odabrani program trebao bi biti u ulozi alata i za učenike kojim oni oblikuju određene modele primjenom jednostavnih naredbi i značajki, a potom generiraju pripadajuće tehničke crteže te ih kotiraju. Dodatni poticaj razvoju prostornih vještina očekuje se učeničkim oblikovanjem modela uz primjenu naredbi zrcaljenja i rotacije.

Nadalje, u današnjem svijetu brzih internetskih mreža, važna je mogućnost rada u oblaku, a s time i formiranje virtualnih učionica za komunikaciju učitelja s učenicima, suradničkih grupa, mogućnost rada učenika izvan učionice i pristup sadržajima drugim računalom ili odgovarajućim uređajem te formiranje svojevrsnog portfolia svakog učenika. Formiranje svojevrsnih učeničkih portfolia prepoznato je kao jedna od izraženijih potreba još u prvim iskustvima primjene CAD-a u školi kada to još nije bilo lako ostvarivo (Kimbell i sur 2002), ali danas jest. U smislu praćenja napretka učenika kroz pojedine (složenije) zadatke i uvida u proces kroz koji svaki učenik razvija svoj model, značajno mjesto za učitelje i za učenike ima primjena CAD programa temeljenog na povijesti time što je učitelju dostupno razvojno stablo modela što ga oblikuje učenik.

Konačno, u svrhu praćenja domaće zakonske regulative, za odabrani računalni program bi trebao postojati prijevod (Šafhalter i sur., 2022) na hrvatski jezik. Također, bilo bi dobro da je cijenom pristupačan odnosno besplatan budući da se primjenjuje za rad u nastavi s velikim brojem korisnika.

4.4. CAD programi u oblaku

Primjena programa koji se temelje u oblaku putem internetskog preglednika donosi višestruke prednosti za učitelje i učenike u odnosu na programe koji se instaliraju. Za učitelja se programom u oblaku potpuno izbjegava briga i aktivnosti oko instalacije i reinstalacije novih inačica programa, briga oko eventualne instalacije na nova računala i možebitno obnavljanje licenci. Također, nerijetko su instalacijski CAD programi vrlo visokih zahtjeva prema sklopovlju računala, poglavito procesora, grafike i radne memorije, što je i financijski zahtjevno. Nasuprot tomu, za ostvarivanje hardverskih uvjeta rada u oblaku dovoljna su funkcionalna računala sa stabilnom i pouzdanom

internetskom vezom. (Umjesto računala mogu poslužiti i tableti, pa i mobiteli, ali ih ne bismo preporučili kao hardversku platformu za edukaciju). Uz primjenu programa u oblaku otvara se i mogućnost formiranja virtualnih učionica tj. virtualnih razrednih odjela što može biti od velike koristi i učenicima i učiteljima. U virtualnim učionicama učitelj može komunicirati s učenicima, u realnom vremenu ili naknadno, kroz postavljanje zadataka i pregledavanje učeničkih radova. Za eventualne potrebe i želje učenika da uvežbavaju i rade kod kuće na svojim računalima, također nema potrebe za instalacijama i licencama već mogu bilo kada i bilo gdje jednostavno pristupati virtualnoj učionici, preuzimati zadatke i izrađivati ih, a također mogu i surađivati te raditi na zajedničkom projektu razvijajući vještine kolaboracije i komunikacije. Nadalje, nema potrebe za preuzimanjem i pohranjivanjem dokumenata jer je njihova izrada izravno u oblaku i dostupni su u realnom vremenu.

Tinkercad je besplatan online program tvrtke Autodesk koji radi u web pregledniku. Omogućuje 3D modeliranje (te izradu elektroničkih simulacija i blokovsko programiranje), intuitivan i jednostavan alat za rad i učenicima i učiteljima. Učitelju omogućuje formiranje virtualnih razrednih odjela i umetanje popisa učenika, a učenici mogu pristupiti bez primjene osobnih podataka te samo poznavanjem svog dodijeljenog korisničkog imena i pristupnog koda virtualnom razredu. Uz jednostavno i brzo upoznavanje sučelja i temeljnih naredbi, također brzo i jednostavno se postiže oblikovanje početnih modela. Korisnici mogu započeti svoje dizajne s osnovnim geometrijskim tijelima (3D primitivima: kocka, kugla, valjak, piramida) (Avila, Bailey, 2016) kojima se može manipulirati i međusobno kombinirati kako bi se konstruirali složeniji oblici (Boubekeur, Kaiser i Ybanez Zepeda, 2019). Početnom primjenom osnovnih 3D oblika se na mnogo načina omogućuje stvaranje složenih oblika i objekata. Tinkercad pruža jednostavan i početni teren za uvođenje 3D modeliranja i 3D ispisa zbog čega se često odabire za rad mlađih ili manje iskusnih učenika (Williams, Capraro 2020, Williams, 2022). Međutim, gledajući cjelovitije potrebe za nastavu tehničke kulture, kao nedostatak se nameće izostanak mogućnosti dobivanja tehničkih crteža oblikovanog modela u pravokutnim projekcijama, izometriji, presjecima te izostanak dobivanja plaštava i provedbe kotiranja.

SketchUp (nekada poznat kao Google SketchUp dok je bio u vlasništvu tvrtke Google) je komercijalni alat tvrtke Trimble, s različitim cjenovnim paketima, a u edukativne svrhe besplatan za učenike i učitelje iz sustava obrazovanja (u RH s Microsoft računom dostupnom CARNet podacima). Primjenjenjuje se za različite svrhe uključujući arhitekturu, dizajn interijera, strojarstvo i dizajn videoigara. Također je relativno lako i brzo učenje osnovnih naredbi u oblikovanju modela, a rad započinje s ravninskim

geometrijskim elementima (2D primitivima: točka, linija, geometrijski likovi) te njihovim „guranjem“ ili „povlačenjem“ u 3D objekte (Avila, Bailey, 2016). SketchUp korisnicima pruža platformu za skiciranje i stvaranje 3D dizajna s puno više kreativnosti, preciznosti, detalja i složenosti od TinkerCAD-a te bi se mogao smatrati srednjim do naprednim CAD programom, ali još uvijek jednostavnim i pristupačnim za korištenje (Williams, Capraro 2020). Prema trenutnim saznanjima nema mogućnost formiranja virtualnih učionica, a dobivanje tehničkih crteža izrađenog modela nije jednostavno i brzo za početnika.

Onshape je prvi profesionalni CAD program isključivo u oblaku, namijenjen je proizvodnim tvrtkama, amaterima, istraživačima te u edukacijske svrhe za što je dostupan bez novčane naknade. Edukatorima je dostupna i mogućnost formiranja virtualnih učionica u kojima mogu komunicirati s učenicima dodjelom materijala i uvidom u učeničke radove koji se za svakog učenika grupiraju u svojevrsnom portfoliju. Onshape je parametarski CAD temeljen na značajkama te omogućuje izrade modela i pripadajućih tehničkih crteža. Za razliku od prethodna dva programa, Onshape je program koji se temelji na povijesti u kojem se tijekom oblikovanja modela gradi i stablo značajki (razvojno stablo, „feature tree“). Time je u svakom trenutku i učitelju omogućen uvid preko svojeg korisničkog računa u razvoj modela od strane svakog učenika kao osnova za daljnje usmjeravanje i vrednovanje rada. Nadalje, za oblikovane modele se mogu vrlo brzo i jednostavno generirati pripadajući tehnički crteži različitih vrsta: pravokutne projekcije, izometrijski prikaz, presjeci kao i plaševi koje se može postići kroz više načina oblikovanja samog modela. Izrađene tehničke crteže se jednostavnom primjenom naredbi/alata brzo i u skladu s normama može kotirati. Jezik korisničkog sučelja se može izabrati između nekoliko svjetskih jezika među kojima nije i hrvatski jezik, ali se uvjet za prijevod na odabrani jezik može ostvariti uključivanjem automatskog prijevoda u pregledniku.

Slijedom navedenih svojstava tri programa koja su prepoznata kao primjereni za rad s učenicima osnovne škole, u smislu najpotpunijeg udovoljavanja potreba redovne nastave Tehničke kulture izdvaja se Onshape.

Rad u oblaku s punom funkcionalnošću u internetskom pregledniku omogućuje posljednjih godina i Autodeskov Fusion, koji se u izvornoj inačici instalirava na računalo. No, za besplatno kreiranje korisničkih računa u edukacijske svrhe uvjet je dokumentiranje između škole tj. edukacijske ustanove i Autodesk-a te obnova računa svake godine što je svojevrsno dodatno opterećenje za učitelje. Ovdje ćemo navesti da je primjena svakog konkretnog CAD programa podložna promjenama, od promjena koje donose nove inačice kroz drugačija korisnička sučelja ili nove mogućnosti rada do samih uvjeta korištenja softvera što bismo posebno istakli. Primjerice, Autodeskov program

Fusion 360 je unazad 7-8 godina, tijekom svojevrsnog promoviranja, za edukacijske svrhe bio dostupan kroz znatno jednostavnije kreiranje edukacijskog korisničkog računa i trogodišnju besplatnu licencu koju se, prema najavi, po isteku ponovno moglo produljiti. No, to se je promijenilo unazad nekoliko godina i registracija nije više tako jednostavna i brza, licenca je jednogodišnja s mogućnosti produljenja, a ove godine, manje značajno, ali znakovito, naziv programa je ostao bez broja 360 te je sada Autodesk Fusion. Na sličan način možemo navesti program SketchUp kojem se dva puta mijenjao vlasnik (djelomično i naziv, u vlasništvu Google-a bio je Google SketchUp), a time i dostupnost bez financijske naknade korištenja. Za program OnShape također možemo navesti da je prošao promjenu vlasništva od tvrtke koja ga je kreirala prema tvrtki PTC u čijem je i danas vlasništvu. U svakom slučaju, uz neophodnu početnu edukaciju i prihvaćanje rada s ovakvim tehnologijama koje su u stalnom razvoju i promjenama, učitelj preuzima i obvezu praćenja barem glavnih promjena, a to zahtjeva stalno usavršavanje i osobni razvoj učitelja odnosno korisnika tih i takvih tehnologija. Što se tiče financijskih troškova za školske administracije, treba znati da dostupnost besplatnog korištenja određenog programa tijekom nekog vremena ne znači i njegovu trajno besplatnu dostupnost. Dakle, moguće je da u nekom trenutku, za uporabu tog ili takvog programa, nastanu određeni financijski zahtjevi tj. troškovi koji možda neće biti ostvarivi. Neke od spomenutih okolnosti zasigurno su na umu barem dijelu učitelja koji promišljaju o mogućnostima primjene CAD-a u nastavi te mogućem utjecaju tih okolnosti na radno opterećenje samog učitelja.

4.5. Učitelji i CAD u nastavi

Kako se digitalne tehnologije razvijaju i uvode u tehnološko obrazovanje, potrebno je razvijati znanje nastavnika i o tim tehnologijama i kako ih poučavati (Mishra i Koehler 2006). A digitalne tehnologije čine veliku promjenu u učiteljskoj profesiji u odnosu na prijašnje analogne tehnologije koje su bile stabilnije. Prema nekim istraživanjima, učiteljima je teško naučiti ne samo hardver i softver, već i kako koristiti digitalne tehnologije u različitim situacijama i na obrazovni način (Koehler i Mishra 2005, prema: Brink i sur. 2022). Također, moguć je i određeni otpor nastavnčkog kadra prema primjeni CAD-a u nastavi kao što je svojevremeno zabilježen i u visokoškolskoj nastavi, primjerice na studijima arhitekture (Iyendo, Alibaba 2015). Nasuprot tomu, prilikom prvih uvođenja CAD programa u škole (s učenicima od približno 15 godina i starijim) postojao je entuzijizam učitelja (i učenika) prema uvođenju novih tehnologija (Kimbell i sur. 2002) te je prepoznat njihov potencijal u nastavi i u oblikovanju (Hodgson, Fraser, 2005). Maresch (2008) također navodi da

su predani učitelji osjetili potencijal razvoja novih medija i alata te su mnogi prošli opsežne obuke stjecanja tehničkih i metodičkih vještina potrebnih za aktivnu primjenu novih alata u nastavi. No, ističe i da unatoč tehničkoj opremljenosti i velikoj motivaciji nositelja, očekivani uspjeh i motivacija učenika nisu ostvareni prema početnim rezultatima te da se očekivao bolji učinak. A ti su „otrežnjujući početni nalazi“ motivirali na daljnji razvoj didaktičkog koncepta (Maresch, 2008). U tom smislu je nedvojbeno da prije uvođenja primjene CAD programa u nastavu, učitelji trebaju biti svjesni svojstava i mogućnosti samog programa te promišljati primjerene razine, metode i koncepte primjene i poučavanja u skladu s razinom i vrstom te potrebama obrazovanja (Suman, 2018). Nadalje, u brojnim studijama su znanje, vještine i stavovi nastavnika prepoznati kao jedan od najvažnijih čimbenika kvalitete nastave, a time i čimbenika u poticanju interesa i oblikovanju stavova učenika (Purković, Kovačević, 2024). Uz razvoj vještina i znanja, oblikovanje interesa i stavova učenika je osobito važno u tehnologiji i tehnici (inženjerstvu) te uopće u STEM obrazovanju gdje je utvrđen nedovoljan interes učenika u mnogim zemljama (Purković, Kovačević, 2024). I u tom smislu je ovdje uloga učitelja od značajnog utjecaja u procesu učenja i razvoja vještina te odlučujući faktor u postizanju „dodane vrijednosti“ za učenika (Šafhalter i sur., 2014).

Danas se temeljem istraživanja i iskustava može reći da učitelji općeg tehničkog obrazovanja u različitim zemljama, postupno i na različite načine, a rijetko kroz izvanastavne aktivnosti i različite projekte, primjenjuju računalno potpomognuto oblikovanje (Brink i sur. 2023). No, kao relativno nov element poučavanja, malo se zna o tome što se uči i poučava kao i o svrsi koju učitelji žele postići tim poučavanjem (Brink i sur. 2023). Jedna saznanja ukazuju da programe za računalno potpomognuto oblikovanje učitelji primjenjuju s različitim ciljanim postignućima, a može ih se svesti na četiri kategorije:

- 1) rukovanje softverom,
- 2) upotreba gotovih modela,
- 3) izrada i kreiranje tiskanih modela,
- 4) projektiranje/modeliranje.

Ove kategorije ukazuju na poučavanje **primjene CAD-a** i poučavanje **uz primjenu CAD-a** te postupno unaprjeđenje nastave, a osnova su za daljnju raspravu među učiteljima, edukatorima učitelja i istraživačima (Brink i sur. 2023). Ove kategorije također pokazuju da izrijeком nema navoda o ciljanom razvoju prostornih vještina, o čemu bi također trebalo educirati učitelje. Štoviše, potrebno je i formalizirano uključivanje aktivnosti razvoja prostornih vještina unutar kurikulumu (Power, Sorby, 2021).

U Republici Hrvatskoj se posljednjih godina kroz stručne skupove državne i županijske razine za učitelje tehničke kulture provode predavanja i radionice o mogućnostima rada i primjene računalno potpomognutog

oblikovanja u redovnoj nastavi te izvanastavnim i izvanškolskim aktivnostima. Slijedom razgovora među učiteljima postoje saznanja o pojedinim primjerima primjene s različitim, pozitivnim i negativnim iskustvima, a za detaljniji uvid potrebna je provedba istraživanja među učiteljima.

Uz stručna i metodička znanja i vještine potrebna za primjerenu primjenu CAD programa u nastavi Tehničke kulture, potrebno je razmotriti moguće i vjerojatne dodatne obveze za učitelje koje im donosi primjena računalno potpomognutog oblikovanja u nastavu. Naime, pripreme računala za nastavu, u učionicama tehničke kulture gdje ista uglavnom nisu trajno dostupna u potrebnom broju, čine dodatne poslove i obveze za učitelja tehničke kulture. Tako, uz fizičku pripremu svakog računala, primjena instalacijskih programa zahtjeva prvo njihovu instalaciju i licenciranje, a potom svojevrsno održavanje što u svijetu CAD programa uglavnom znači praćenje novih generacija programa te reinstalacije i vrlo vjerojatne obnove licenci na svakom računalu. Stoga prethodno navedene prednosti primjene CAD programa u oblaku, u odnosu na instalacijske programe, mogu biti jedan od motivirajućih faktora na odluku učitelja da prihvati primjenu CAD-a u nastavi, pogotovo ako u razrednim odjelima ima standardni ili povišeni broj učenika. Dodatne obveze ovdje navodimo jer one pridonose opterećenju i stresu za učitelja, a upravo je osjećaj ulaganja velikih napora u obavljanje posla izraženo povezan uz emocionalnu iscrpljenost i viši stupanj sagorijevanja kod učitelja tehničke kulture (Jelić i sur., 2023). Ovdje trebamo naglasiti i neke od specifičnosti ovog nastavnog predmeta, primjerice da slijedom dinamičnosti i progresivnosti tehnike uopće, pojedini tehnički sadržaji vrlo brzo gube na aktualnosti i kontekstualnom značaju (Jelić i sur., 2023) čime je posebno izražena potreba kontinuiranog i širokog stručnog usavršavanja učitelja. Također, ovaj nastavni predmet prolazio je i kroz paradigmatičke, strukturne i organizacijske promjene kao nijedan drugi (Kovačević, 2012; Purković, 2015), a slijedom posljednjih kurikularnih promjena dogodio se i određeni izostanak metodičkih i provedbenih uputa te su učitelji tehničke kulture izloženi brojnim poznatim i nepoznatim izazovima (Kovačević i sur., 2022., prema: Jelić i sur., 2023). Uz navedeno, kao trajno negativan utjecaj stoji činjenica iznimno kratkog raspoloživog vremena od 35 sati godišnje za ostvarenje zadanih ishoda. Slijedom svega ovdje navedenog, i uz nužno zadovoljen uvjet raspoloživosti potrebnog broja računala i posjedovanja potrebnih znanja i kompetencija učitelja, potpuno je razumljiv možebitan oprez kod učitelja tehničke kulture prema ideji uvođenja računalom potpomognutog oblikovanja u nastavu tehničke kulture. Stoga bi jedan dio našeg istraživanja bio usmjeren prema učiteljima Tehničke kulture, o njihovim dosadašnjim iskustvima, znanju i spremnosti te stavovima prema

primjeni programa za računalno potpomognuto oblikovanje u redovnoj nastavi Tehničke kulture.

5. PREDSTAVLJANJE BUDUĆEG ISTRAŽIVANJA

5.1. Predmet i cilj istraživanja

S obzirom na utvrđenu važnost razvoja prostornih vještina svakog pojedinca te istraživanjima potvrđenim pozitivnim odnosom između razvoja prostornih vještina i aktivnosti poput tehničkog crtanja te primjene računalno potpomognutog oblikovanja u različitim okolnostima, ali ne i u uvjetima redovne nastave općeg tehničkog nastavnog predmeta obveznog za sve učenike, predmet ovoga rada je usmjeren mogućnostima i potrebi primjene trodimenzijskog računalno potpomognutog oblikovanja u redovnu nastavu Tehničke kulture i prepoznavanju utjecaja te primjene na prostorne vještine svih učenika. Budući da aktivnosti tehničkoga crtanja i računalno potpomognutog oblikovanja izvorno pripadaju tehničkom obrazovanju, nastavna općeg tehničkog obrazovanja koje se u Republici Hrvatskoj provodi u osnovnoj školi kroz predmet Tehnička kultura je zasigurno najprimjerenije okruženje za poticaj prostornih vještina svakog učenika spomenutim aktivnostima i sadržajima. Međutim, postoji niz otežavajućih okolnosti za sustavnu primjenu 3D CAD programa u nastavu Tehničke kulture poput: kratkog raspoloživog vremena u godišnjem Planu, rada učitelja s cjelovitim razrednim odjelom od preko 20 učenika umjesto s manjom grupom, upitne raspoloživosti dostatnog broja računala. Također, svakako treba procijeniti i stručnu te metodičku pripremljenost učitelja kao i njihovu motiviranost te stavove prema primjeni 3D CAD programa u redovnoj nastavi. Stoga je cilj istraživanja odrediti utjecaj na razvoj prostornih vještina učenika primjenom programa za računalno potpomognuto oblikovanje u nastavi Tehničke kulture te utvrditi stavove učenika i učitelja prema primjeni računalno potpomognutog oblikovanja u nastavi.

Teorijski okvir istraživanja određen je:

- ulogom prostornih vještina u obrazovanju i životu pojedinca;
- utvrđivanjem postupaka za procjenu prostornih vještina;
- utvrđenim odnosom između prostornih vještina pojedinca, tehničkoga crtanja i računalno potpomognutog oblikovanja;
- ulogom tehničkoga crtanja i računalo potpomognutog oblikovanja u Tehničkoj kulturi, tehnici i životu pojedinca uopće;
- konceptom Tehničke kulture u osnovnoškolskom obrazovanju učenika u Republike Hrvatske;
- ulogom odabira nastavnih sadržaja i metodičkog oblikovanja nastave za optimalno usvajanje odgojno-obrazovnih ishoda i istovremeni razvoj prostornih vještina.

Navedeni teorijski okvir je djelomično ostvaren u ovome radu i bio bi dodatno obrazložen.

5.2. Istraživačka pitanja i hipoteze

Za ostvarivanje zadanog cilja istraživanja postavlja se pet istraživačkih pitanja:

IP1: *Može li primjena programa za trodimenzionalno računalno potpomognuto oblikovanje u nastavi Tehničke kulture dodatno unaprijediti razvoj prostornih vještina učenika u odnosu na razvoj prostornih vještina ostvaren bez primjene računalno potpomognutog oblikovanja u nastavi?*

IP2: *Postoje li razlike u utjecaju primjene 3D CAD programa u nastavi Tehničke kulture na učenike obzirom na njihovu dob (5. i 7. razred) i spol?*

IP3: *Kakvi su stavovi učenika prema primjeni programa za trodimenzionalno računalno potpomognuto oblikovanje u nastavi Tehničke kulture?*

IP4: *Kakva su dosadašnja iskustva učitelja Tehničke kulture u radu s programima za računalno potpomognuto oblikovanje?*

IP5: *Kakvi su stavovi učitelja Tehničke kulture o uvjetima, mogućnostima i potrebama primjene programa za trodimenzionalno računalno potpomognuto oblikovanje u nastavi Tehničke kulture?*

Temeljem zadanog cilja istraživanja, postavljenih istraživačkih pitanja i dosadašnjih saznanja ostvarenih prethodnom istraživanjima, hipoteze istraživanja su sljedeće:

H1: Postoji statistički značajna razlika između razvoja prostornih vještina učenika ostvarenih u nastavi Tehničke kulture s primjenom programa za računalno potpomognuto oblikovanje i prostornih vještina ostvarenih u nastavi Tehničke kulture bez te primjene.

H2: Utjecaj primjene računalno potpomognutog oblikovanja na razvoj prostornih vještina razlikuje se statistički značajno između učenika 5. i učenika 7. razreda.

H3: Utjecaj primjene računalno potpomognutog oblikovanja na razvoj prostornih vještina ne razlikuje se statistički značajno između dječaka i djevojčica.

H4: Učenici imaju afirmativne stavove prema primjeni programa za računalno potpomognuto oblikovanje.

H5: Učitelji Tehničke kulture imaju znanja i vještine potrebna za metodičku primjenu 3D CAD programa u nastavi Tehničke kulture.

H6: Učitelji Tehničke kulture procjenjuju da nemaju potrebne materijalno-tehničke uvjete i nužno raspoloživo vrijeme za primjenu programa za trodimenzionalno računalno potpomognuto oblikovanje u redovnoj nastavi.

5.3. Empirijsko istraživanje, uzorak i faze

Empirijski dio istraživanja bio bi proveden kroz kvaziekperimentalni dizajn i s tri smjera prikupljanja podataka:

1. S učenicima kontrolne i eksperimentalne skupine, pretestom i posttestom prostornih sposobnosti usporediti utjecaj na razvoj pojedinih prostornih sposobnosti između nastave tehničkoga crtanja s primjenom i bez primjene 3D CAD programa. Instrument će biti odabran temeljem dodatne procjene optimalnosti u smislu utvrđenih teorijskih postavki, dosadašnjih eksperimentalnih iskustava i samih aktivnosti učenika kroz nastavu tijekom intervencije;

2. S učenicima eksperimentalne skupine, izlaznim anketnim upitnikom o njihovom viđenju ostvarene primjene računalno potpomognutog oblikovanja u redovnoj nastavi, koliko ih motivira i koliko im pomaže te moguće poruke i prijedlozi učenika učitelju. Upitnik će izraditi autor istraživanja;

3. S učiteljima Tehničke kulture, anketnim upitnikom o njihovim stavovima prema primjeni 3D CAD programa u redovnoj nastavi Tehničke kulture tijekom ostvarivanja sadržaja tehničkoga crtanja. Očekivan je uvid u iskustva učitelja s računalno potpomognutim oblikovanjem te njihova procjena mogućnosti, potreba i opravdanosti primjene računalno potpomognutog oblikovanja u nastavi kroz moguće pozitivne i negativne aspekte te otežavajuće okolnosti, kao i procjenu osobne spremnosti za tu primjenu. Upitnik će izraditi autor istraživanja.

Uzorak učitelja činili bi sudionici stručnih skupova za učitelje Tehničke kulture u više županija i na državnoj razini.

Uzorak učenika činili bi učenici četiri peta i četiri sedma razreda iz škole istraživača, grupirani u kontrolnoj i eksperimentalnoj skupini. Iz istraživanja će biti izuzeti učenici šestih razreda zbog sadržajne usmjerenosti nastavnog predmeta prema graditeljstvu, te učenici osmih razreda zbog sadržajne usmjerenosti prema elektrotehnici i elektronici.

Proces istraživanja ostvarit će se kroz četiri opsežne faze. U **prvoj** fazi će biti izrađen anketni upitnik za učenike eksperimentalne skupine i anketni upitnik za učitelje te će biti odabran jedan od postojećih instrumenta za određivanje prostornih vještina učenika ili izrađen novi instrument kao hibrid više instrumenata. Istovremeno će se izrađivati i metodički dorađivati nastavni materijali i sadržaji za odgovarajuću primjenu programa za računalno potpomognuto oblikovanje u nastavi. Pri završetku prve faze zatražit će se suglasnost škole koju učenici pohađaju i suglasnost roditelja kao i možebitno potrebnu suglasnost vlasnika odabranog instrumenta za određivanje prostornih sposobnosti te vlasnika odabranog CAD programa. Druga

faza je usmjerena provjeri valjanosti i pouzdanosti anketnih upitnika te instrumenta za određivanje prostornih vještina učenika. U provedbi ove provjere primjenit će se test-retest metoda s grupom od 10 do 15 učenika te 8-10 učitelja. Vremenski razmak između testa i retesta bit će tri do četiri tjedna, a učenici uključeni u ovaj dio neće biti sudionici kasnijeg istraživanja. Slijedom rezultata pristupilo bi se mogućoj doradi anketnih upitnika i instrumenta, a potom bi pristupilo trećoj fazi koja započinje provedbom pretesta sa svim učenicima. Kako bi eksperimentalna i kontrolna skupina bile početno ujednačene, slijedom rezultata pretesta će biti odabrana po dva 5. i po dva 7. razredna odjela za eksperimentalnu i po dva razredna odjela za kontrolnu skupinu, ukupno oko 180 učenika. Potom slijedi intervencija s učenicima eksperimentalne skupine u trajanju od približno 8-10 sati (tijekom 4-5 tjedana) nakon čega bi se sa svim učenicima proveo posttest. Istovremeno i nakon intervencije s učenicima, može se provoditi anketiranje učitelja Tehničke kulture na stručnim skupovima u nekoliko županija i pretpostavljenom skupu državne razine. Ciljani broj učitelja kao ispitanika je oko 100, što se može i značajno povećati anketiranjem učitelja na državnom skupu ukoliko se takav skup održi tijekom ove faze istraživanja. Prikupljeni podaci bit će statistički obrađeni i interpretirani u četvrtoj fazi.

Očekivani rezultati eksperimentalnog istraživanja trebali bi pokazati može li se na malom uzorku ostvariti dodatni razvoj prostornih vještina učenika primjenom računalno potpomognutog oblikovanja u uvjetima redovne nastave Tehničke kulture, kao i uvid u postojeće stanje i uvjete primjene računalno potpomognutog oblikovanja i uvid u uvjete koje bi tek trebalo ostvariti. Slijedom već utvrđene važnosti prostornih sposobnosti kao i njihove povezanosti s vještinama primjene i izrade tehničkih crteža pri čemu je razvoj i jednih i drugih vještina istovremeno i cilj i sredstvo, prema dobivenim rezultatima odgovor će se prostor za daljnja istraživanja. Ipak, slijedom upozorenja Sieffea i Uttala (2015) svjesni smo da su obrazovne intervencije kojima se traže značajna, opća poboljšanja u ishodima učenika rijetko uspješne te da intervencije prostornog osposobljavanja možda nikada neće proizvesti velike i očekivane učinke na postignuća učenika. Iako se ovo može činiti obeshrabrujućim, čak i mali učinak može biti značajan za veliki broj učenika.

5.4. Očekivani znanstveni doprinos istraživanja

Slijedom postavljenog cilja predloženog istraživanja i svega gorenavedenog, primarno očekivani znanstveni doprinos je činjenično utvrđen utjecaj na razvoj prostornih vještina učenika osnovne škole primjenom programa za računalno modeliranje u nastavi Tehničke kulture. Doprinos je u potpori dosadašnjih istraživanja proširivanjem na okolnosti redovne nastave Tehničke kulture sa svim

učenicima. Ukoliko se i ovim istraživanjem potvrdi pozitivan utjecaj, bit će to znanstveni argument za šire i obvezno uvođenje CAD-a u nastavu Tehničke kulture. Istovremeno, teorijska osnova i rezultati istraživanja predstavljat će uz znanstveni i stručni materijal koji je do sada kod nas izostajao, a može biti i podrška učiteljima za ovakav rad s uzrastima viših razreda osnovne škole.

Sekundarno, iz rezultata upitnika za učitelje dobit će se uvid u njihovo viđenje trenutne ostvarenosti uvjeta za šire uvođenje CAD-a u nastavu Tehničke kulture, a time i saznanje o tipu (i količini) potrebnih dodatnih intervencija koje bi ministarstvo obrazovanja, osnivači škola i stručna tijela trebali organizirano provoditi prema školama (možebitno potrebnom opremom) i prema učiteljima (možebitno potrebnim stručnim usavršanjima).

Također, slijedom primjene instrumenta za određivanje razvoja prostornih vještina učenika, neovisno bude li se radilo o odabiru između postojećih instrumenata ili o formiranju novog, hibridnog instrumenta, provest će se procjena konstruktivne valjanosti i pouzdanosti mjernog instrumenta što također pridonosi budućim istraživanjima.

Još jedan mogući doprinos ovog istraživanja proizlazi iz činjenice da do sada nije bilo istraživanja utjecaja nastave Tehničke kulture na razvoj prostornih vještina učenika. Naime, budući da će kontrolna skupina učenika sudjelovati u redovnoj nastavi Tehničke kulture između pretesta i posttesta, i za kontrolnu skupinu je moguće određivanje veličine učinka kojim će se dobiti pokazatelj o utjecaju tradicionalne nastave tehničkoga crtanja u nastavi Tehničke kulture na razvoj prostornih vještina učenika. Dobivni podaci mogu biti znanstveno relevantni za buduća istraživanja o razvoju prostornih vještina učenika i prepoznavanje važnosti nastave Tehničke kulture uopće. A slijedom prepoznate važnosti možda se stvore argumenti za neke nove rasprave o povećanju satnice Tehničke kulture na razini godine u sva četiri viša razreda osnovne škole te rasprava o radu učitelja s jednom od dvije skupine na koje bi bili podijeljeni svi razredni odjeli sa standardnim brojem učenika.

LITERATURA

- Akasah, Z. A., Alias, M. (2010). Bridging the Spatial Visualisation Skills Gap Through Engineering Drawing using the Whole-to-parts Approach. *Australasian Journal of Engineering Education*, 16(1), 81–86. <https://doi.org/10.1080/22054952.2010.11464037>
- Allam, Y. S. (2009). Enhancing Spatial Visualization Skills in First-Year Engineering Students [Doctoral dissertation, Ohio State University]. OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center. http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=osu1259703062
- Allan, D., Vettese, S., Thompson, P. (2018). A study of children's relationship with making and use of CAD in collaborative, informal environments and the implications for institutional learning environments. *Design and Technology Education: An International Journal*, 23(3), 10–25.
- Alias, M., Black, T., Gray, D. (2002). Effect of Instructions on Spatial Visualisation Ability in Civil Engineering Students. *International Education Journal* 3.
- Arikan, A., Turhan, Ç. (2023). Exploring middle school students' spatial skills self-efficacy. *Journal of Innovative Research in Teacher Education*, 4(1), 51-76. <https://doi.org/10.29329/jirte.2023.531.4>
- Arnheim, R., (1980). A Plea for Visual Thinking. *Critical Inquiry* 6(3). pp. 489-497. <http://www.jstor.org/stable/1343105>
- Atit, K., Miller, D. I., Newcombe, N. S., Uttal, D. H. (2018). Teachers' spatial skills across disciplines and education levels: exploring nationally representative data. *Arch. Sci. Psychol.* 6, 130–137. doi:10.1037/arc0000041
- Atit, K., Uttal D. H., Stieff M (2020). Situating space: Using a discipline-focused lens to examine spatial thinking skills. " *Cognitive research: principles and implications* 5 : 1-16.
- Ault, H.K., Phillips A. D. (2016a). Direct Modeling: Easy Changes in CAD?, *ASEE/EDGD 70th Midyear Conference*, Daytona Beach.
- Ault, H. K., Phillips, A. D. (2016b) New Directions in Solid Modeling - What Direct Modeling Means for CAD Educators. *ASEE's 123rd Annual Conference & Exposition*, New Orleans, June 26-29.
- Avila, L., Bailey, M. (2016). A computer graphics back-to-school special. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 36(5), 95–96. <https://doi.org/10.1109/MCG.2016.104>
- Barlex, D., Miles-Pearson. S. (2008). Introducing CAD/CAM into Primary Schools, Part 1 of a Case Study – Developing the Curriculum, IN: Norman, E.W.L., Spendlove, D. (eds.). *The Design and Technology Association International Research Conference*, [Loughborough University, 2-4 July]. Wellesbourne pp. 5-11.
- Bartlett, K.A., Camba, J.D. (2023). Gender Differences in Spatial Ability: a Critical Review. *Educational Psychology Review* 35, 8. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09728-2>

- Bartlett, K. A. (2024). The Politics of the Purdue Spatial Visualization Test of Rotations (PSVT:R) and its Use in Engineering Education. *Engineering Studies*, 16(1), 56–77.
<https://doi.org/10.1080/19378629.2023.2297958>
- Basham, K. L., Kotrlík, J.W. (2008) The Effects of 3-Dimensional CADD Modeling on the Development of the Spatial Ability of Technology Education Students, *Journal of Technology Education* 20 (1) doi: 10.21061/jte.v20i1.a.3
- Bates, K. E., Williams, A. Y., Gilligan-Lee, K. A., Gripton, C., Lancaster, A., Williams, H., et al. (2022). Practitioner's perspectives on spatial reasoning in educational practice from birth to 7 years. *Br. J. Educ. Psychol.* 93, 571–590. doi: 10.1111/bjep.12579
- Ben-Chaim, D., Lappan, G., Houang, R. T. (1986). Development and Analysis of a Spatial Visualization Test for Middle School Boys and Girls. *Perceptual and Motor Skills*, 63(2), 659–669.
<https://doi.org/10.2466/pms.1986.63.2.659>
- Ben-Chaim, D., Lappan, G., Houang, R.T. (1988), The Effect of Instruction on Spatial Visualization Skills of Middle School Boys and Girls *American Educational Research Journal*, 25 (1), 51-71
<https://doi.org/10.2307/1163159>
- Benedicic, U., Maquet, L., Duffy, G., Dunbar, R., Buckley, J., Sorby, S. (2023). Implementation and analysis of a spatial skills course for Secondary level STEM education. *The 40th International Pupils' Attitudes Towards Technology Conference Proceedings 2023, 1(October)*. Retrieved from
<https://openjournals.ljmu.ac.uk/PATT40/article/view/1533>
- Bodner, G.M., Guay, R.B. (1997). The Purdue Visualization of Rotations Test. *Chem. Educator* 2, 1–17
<https://doi.org/10.1007/s00897970138a>
- Boone, A. P., Maghen, B., Hegarty, M. (2019). Instructions matter: individual differences in navigation strategy and ability. *Mem. Cogn.* 47, 1401–1414. doi: 10.3758/s13421-019-00941-5
- Bosnyák, A., Nagy-Kondor, R. (2008). The spatial ability and spatial geometrical knowledge of university students majored in mathematics. *Acta Didact. Universit. Comenianae*. 8, 1–25.
- Boubekur, T., Kaiser, A., Ybanez Zepeda, J. A. (2019). A survey of simple geometric primitives detection methods for captured 3D data. *Computer Graphics Forum*, 38(1), 167–196.
<https://doi.org/10.1111/cgf.13451>
- Brink, H., Kilbrink, N., Gericke, N. (2022). Teaching digital models: secondary technology teachers' experiences. *International Journal of Technology and Design Education* 32, 1755–1775.
<https://doi.org/10.1007/s10798-021-09659-5>
- Brink, H., Kilbrink, N., Gericke, N. (2023) Teach to use CAD or through using CAD: An interview study with technology teachers. *International Journal of Technology and Design Education* 33, 957–979. doi:10.1007/s10798-022-09770-1
- Buckley, J., Seery, N., Canty, D. (2017). Spatial Cognition in Engineering Education: Developing a Spatial Ability Framework to Support the Translation of Theory into Practice. *European Journal of Engineering Education*. doi:10.1080/03043797.2017.1327944.
- Burnet, S. A., Lane, D. M. (1980) Effects of Academic Instruction on Spatial Visualization. *Intelligence* 4 (July- September): 233-242.
- Carroll, J. B. (1993, 2009). Human cognitive abilities: A survey of factor analytic studies. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511571312>
- Chester, I. (2004). Teaching CAD: A snap or are we missing the point? *Learning for Innovation in Technology Education Research: Proceedings of the 3rd Biennial International Conference on Technology Education: Volume One (TERC 2004)*, 1, 1, 2004, 113-121
- Chester, I. (2007a). 3D-CAD: Modern Technology - Outdated Pedagogy? *Design and Technology Education: an international Journal*, 12(1).
- Chester, I. (2007b). Teaching for CAD expertise. *International Journal of Technology and Design Education*, 17(1), 23–35. doi:10.1007/s10798-006-9015-z
- Chou, P-N., Shih, R.-C. (2020). 3D Digital Design to Support Elementary School Students' Spatial Visualization Skills: A Preliminary Analysis. doi:10.1007/978-3-030-63885-6_8.
- Chow, P., Kubota, T., Georgescu, S. (2015). Automatic Detection of Geometric Features in CAD models by Characteristics, *Computer-Aided Design and Applications*, 12:6, 784-793,
- Clements, D. H. (1998). “Geometric and spatial thinking in young children,” in *Engaging Young Children in Mathematics: Standards for Early Childhood Mathematics Education*, ed J. V. Copley (Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics), 267–297. doi: 10.4324/9781410609236.
- Clements, D. H., Battista, M. T. (1992). Geometry and spatial reasoning. In D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning: A project of the National Council of Teachers of Mathematics* (pp. 420–464). New York, NY: Macmillan.
- Çokçalışkan, H. (2024). Development of a spatial ability test for 7th grade students, *International Journal of Eurasian Education and Culture*, 9(26), 180-214. DOI: <http://dx.doi.org/10.35826/ijoecc.1811>
- Contero, M., Naya, F., Company, P., Saorin, J. L. (2006). Learning support tools for developing spatial abilities in engineering design. *International Journal of Engineering Education*, 22(3), 470–477.
- Crocker, L., Algina, J. (1986). Introduction to classical and modern test theory. Holt, Rinehart & Winston.
- Demetriou, A., Efklides, A. (1989). The person's conception of the structures of developing intellect: Early adolescence to middle age. *Genetic, Social and General Psychology Monographs*, 115(3), 371–423.

- Demetriou, A., Efklides, A., Platsidou, M. (1993). The architecture and dynamics of developing mind: Experiential structuralism as a frame for unifying cognitive developmental theories. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 58(5–6), 1–205.
- Dere, H.E., Kalelioglu, F. (2020). The effects of using web-based 3D design environment on spatial visualisation and mental rotation abilities of secondary school students. *Informatics in Education*. 19(3), 399–424. doi: 10.15388/infedu.2020.18
- de Vries, M. J. (2016). *Teaching about technology: An introduction to the philosophy of technology for non-philosophers*. Springer.
- DFEE -Department for Education and Employment (1999) The National Curriculum: Handbook for primary teachers in England <https://education-uk.org/documents/pdfs/1999-nc-primary-handbook.pdf>
- DFES- Department for Education and Skills (2004) The National Curriculum: Handbook for secondary teachers in England. <https://education-uk.org/documents/pdfs/2004-nc-secondary-handbook.pdf>
- DFE-Department for Education (2013) The national curriculum in England: Framework document. <https://education-uk.org/documents/pdfs/2013-nc-framework.pdf>
- Di, X., Zheng, X. A meta-analysis of the impact of virtual technologies on students' spatial ability. *Education Tech Research Dev* 70, 73–98 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10082-3>
- Dilling, F., Vogler, A. (2021). Fostering Spatial Ability Through Computer-Aided Design: a Case Study. *Digit Exp Math Educ* 7, 323–336 <https://doi.org/10.1007/s40751-021-00084-w>
- D'Oliveira, T. C. (2004). Dynamic spatial ability: An exploratory analysis and a confirmatory study. *International Journal of Aviation Psychology*, 14(1), 19–38.
- Duesbury, R. T., O'Neil, H. F., Jr. (1996). Effect of type of practice in a computer-aided design environment in visualizing three-dimensional objects from two-dimensional orthographic projections. *Journal of Applied Psychology*, 81(3), 249–260. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.81.3.249>
- Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., Dermen, D. (1976). Manual for kit of factor-referenced cognitive tests. Princeton, NJ: Educational testing service.
- Eliot, J. C. (1987). Models of psychological space: Psychometric, developmental, and experimental approaches. New York: Springer-Verlag.
- Eliot, J., Smith, I. M. (1983). An International Dictionary of Spatial Tests. Windsor, United Kingdom: The NFER-Nelson Publishing Company, Ltd.
- Erkoc, M., Gecu-Parmaksiz, Z., Erkoç, C. (2013). The Effects of Using Google SketchUp on the Mental Rotation Skills of Eighth Grade Students. *Educational Sciences: Theory and Practice*. 13(2). 1285-1294.
- Frick, A., Pichelmann, S. (2023). Measuring Spatial Abilities in Children: A Comparison of Mental-Rotation and Perspective-Taking Tasks. *Journal of Intelligence* 11: 165. <https://doi.org/10.3390/jintelligence11080165>
- Fullwood, J., (2002), CAD/CAM in Schools. *The Journal of Design and Technology Education*, 7(1), 46-53, Wellesbourne: The Design and Technology Association
- Gan, J., Ma, L. (2019). Study on the Modeling Converting Methods of Complex Mechanical Product Exterior DesignL. In: Cocchiarella (Ed.), *ICGG 2018-Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics, Advances in Intelligent Systems and Computing* 809, pp. 790–797, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95588-9_66
- Gardner, H. (1993). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. New York, NY: Basic books
- Gardner, H., Kornhaber, M. L., Wake, W. K. (1999). *Inteligencija: različita gledišta*. Jastrebarsko: Naklada Slap.
- Gilligan-Lee, K. A., Hawes, Z. C. K., Mix, K. S. (2022). Spatial thinking as the missing piece in mathematics curricula. *npj Science of Learning* 7, 10–14. doi: 10.1038/s41539-022-00128-9
- Gittinger, M., Wiesche, D. (2023). Systematic review of spatial abilities and virtual reality: The role of interaction. *Journal of Engineering Education*. 113. <https://doi.org/10.1002/jee.20568>
- Goktepe Yıldız, S., Ozdemir, A. (2017). Development of the Spatial Ability Test for Middle School Students. *Acta Didactica Napocensia* 10. 41-54. doi: 10.24193/adn.10.4.5.
- Gonzalez Campos, J.S., Sánchez-Navarro, J., Arnedo-Moreno, J. An empirical study of the effect that a computer graphics course has on visual-spatial abilities. *Int J Educ Technol High Educ* 16, 41 (2019). <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0169-7>
- Gorska, R., Sorby, S. (2008), Testing Instruments For The Assessment Of 3 D Spatial Skills Paper presented at 2008 Annual Conference & Exposition, Pittsburgh, Pennsylvania. doi:10.18260/1-2--4411
- Greenberg, D. (1987). Free at last: The Sudbury Valley School. Sudbury, Canada: Sudbury Valley School Press.
- Guo, S., Wang, X., Deng, W., Hong, J., Wang, J., Wu, Y. (2022). Whose Spatial Ability Benefits from Learning with 3D Design? From the Perspective of Learning Analysis. *Educational Technology & Society*, 25 (1), 179-192.
- Ha, O., Fang, N. (2016). Spatial Ability in Learning Engineering Mechanics: Critical Review. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 142(2).
- Halpern, D. F., Benbow, C. P., Geary, D. C., Gur, R. C., Hyde, J. S., Gernsbacher, M. A. (2007). The science of sex differences in science and mathematics. *Psychological Science in the Public Interest*, 8(1), 1–51. doi:10.1111/j.1529-1006.2007.00032.x.

- Hardiess, G., Mallot, H. A., Meilinger, T. (2015). Virtual reality and spatial cognition. In *International encyclopedia of the social behavioral sciences* (pp. 133–137). Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.43098-9>.
- Harris, D., (2023) Spatial reasoning in context: bridging cognitive and educational perspectives of spatial-mathematics relations. *Front. Educ.* 8:1302099. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1302099>
- Hauptman, H. (2010). Enhancement of spatial thinking with Virtual Spaces 1.0. *Computers & Education*, 54(1), 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.07.013>
- Hawes, Z., Tepylo, D., Moss, J. (2015). Developing spatial thinking: Implications for early mathematics education In: *Davis, B. and the Spatial Reasoning Study Group (Eds.). Spatial reasoning in the early years: Principles, assertions and speculations* (pp. 29-44). New York, NY: Routledge.
- Hawes, Z. C. K., Gilligan-Lee, K. A., Mix, K.S. (2023). Infusing Spatial Thinking Into Elementary and Middle School Mathematics: What, Why, and How?. In: *Robinson, K.M., Dubé, A.K., Kotsopoulos, D. (eds) Mathematical Cognition and Understanding*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29195-1_2
- Hegarty, M., Keehner, M., Cohen, C. A., Montello, D. R., Lippa, Y. (2007). The role of spatial cognition in medicine: Applications for selecting and training professionals. In Allen, G. L. (ed.), *Applied spatial cognition: From research to cognitive technology*, New Jersey Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 285-315.
- Hegarty, M., Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32(2), 175–191.
- Hegarty, M., Waller, D. A. (2012). Individual differences in spatial abilities. In Shah, P., Miyake, A. (Eds.), *The Cambridge handbook of visuospatial thinking* (pp. 121–169). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511610448.005>
- Heil, C. (2020). The impact of scale on Children's spatial thought: A quantitative study for two settings in geometry education. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Hellermann, F., Piesch, L., Weigelt, M. (2022). Mental Rotation in Sports: A Comparison of the Mental Rotation of Two-Dimensional Timeout Displays in Basketball and the Classical Mental Rotation Test (MRT) of Three-Dimensional Objects. *Zeitschrift für Sportpsychologie*. 29(4) 141-153. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000374>.
- Herawati, H., Hariyani, M. (2024). Spatial Thinking Ability in Elementary School. *Pionir: Jurnal Pendidikan*. 13(1). pp. 157-168. <https://doi.org/10.22373/pjp.v13i1.23002>.
- Höffler, T.N. (2010). Spatial Ability: Its Influence on Learning with Visualizations – a Meta-Analytic Review. *Educ Psychol Rev* 22, 245–269. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9126-7>
- Hodgson, T., Allsop, C. (2003). Beyond Pro/DESKTOP Computer Aided Design (CAD) : the transfer of CAD-based design modelling skills from schools to Higher Education. Loughborough University. Online resource. <https://hdl.handle.net/2134/2792>.
- Hodgson, A., Fraser, A. S. (2005). The impact of Computer-aided design and Manufacture (CAD/CAM) on school-based design work. In Norman, E.: *DATA International Research Conference 'Inspire and Educate'*. 2005, 95-103, Wellesbourne: The Design and Technology Association
- Hoyek, N., Collet, C., Fargier, P., Guillot, A. (2012). The use of the Vandenberg and Kuse mental rotation test in children. *Journal of Individual Differences*, 33, 62-67.
- Hsi, S., Linn, M. C., Bell, J. E. (1997). The Role of Spatial Reasoning in Engineering and the Design of Spatial Instruction. *Journal of Engineering Education*, 86(2), 151–158. doi:10.1002/j.2168-9830.1997.tb00278.x
- Hungwe, K., Sorby, S., Molzon, R., Charlesworth, P., Wang, M. (2014). Supporting the development of spatial visualization in middle grade and high school students. *Journal of Women and Minorities in Science and Engineering*. 20. doi:10.1615/JWomenMinorScienEng.2014010709.
- Ingale, S., Srinivasan, A., Bairaktarova, D. (2017). CAD platform independent software for automatic grading of technical drawings. *Proceedings of the ASME 2017 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*.
- Iyendo, T. O., Alibaba, H. Z. (2015). Computer aided design (CAD) technology versus students' learning in architectural design pedagogy – A controversial topic review. *International Journal of Development Research*. 5(1). 3152-3158.
- Jansen, P. (2009). The dissociation of small- and large-scale spatial abilities in school-age children. *Percept. Motor Skills* 109, 357–361. doi: 10.2466/pms.109.2.357-361
- Jelić, J., Kovačević, S., Purković, D. (2023). Zadovoljstvo poslom i profesionalno sagorijevanje učitelja tehničke kulture. *Školski vjesnik*, 72 (2), 128-141. doi:10.38003/sv.72.2.8
- Johnson, T., Burgoyne, A. P., Mix, K. S., Young, C. J., Levine, S. C. (2022). Spatial and mathematics skills: Similarities and differences related to age, SES, and gender, *Cognition*, 218. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104918>.
- Jost, L., Jansen, P. (2024). The influence of the design of mental rotation trials on performance and possible differences between sexes: A theoretical review and experimental investigation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 77(6), 1250-1271. <https://doi.org/10.1177/17470218231200127>
- Kadam, K. Mishra, S., Deep, A., Iyer, S. (2021): Enhancing engineering drawing skills via fostering mental rotation processes, *European Journal of Engineering Education*, doi: 10.1080/03043797.2021.1920891

- Katona, J., Nagy Kem, G. (2019). The CAD 3D course improves students' spatial skills in the technology and design education. *YBL Journal of Built Environment*, 7, 26 - 37. doi:10.2478/jbe-2019-0002.
- Katsioloudis, P., Jovanovic, V., Jones, M.V. (2014). A comparative analysis of spatial visualization ability and drafting models for industrial and technology education students. *Journal of Technology Education*, 26(1), 88-101. doi:10.21061/jte.v26i1.a.6
- Katsioloudis, P. J., Stefaniak, J. E. (2018). Effectiveness of drafting models for engineering technology students and impacts on spatial visualization ability: An analysis and consideration of critical variables. *Journal of Technology Education*, 29(2), 91-106.
- Kell, H. J., Lubinski, D. (2013). Spatial Ability: A Neglected Talent in Educational and Occupational Settings. *Roeper Review*, 35(4), 219–230. doi:10.1080/02783193.2013.829896
- Kimbell, R., Lawler, T., Stables, K., Balchin, T. (2002). Pro/DESKTOP in Schools: A pilot research study. *The Journal of Design and Technology Education*, 7(1), 29-33, Wellesbourne: The Design and Technology Association
- Kimura, D. 1999. Sex and cognition. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Kock, J., Maresch, G. (2023). Remarkable correlations between math grades and spatial thinking skills of primary and secondary school students. *Symmetry: Culture and Science* 34(4) 357-368. https://doi.org/10.26830/symmetry_2023_4_357
- Koehler, M. J., Mishra, P. (2005). Teachers learning technology by design. *Journal of Computing in Teacher Education*, 21(3), 94–102. <https://doi.org/10.1080/10402454.2005.10784518>
- Kovačević, S. (2012). Kurikulumska matrica tehničkih kompetencija u odgoju i općem obrazovanju. Doktorski rad. Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb
- Kovačević S., Purković D. i Pivac J. (2022). Nastava Tehničke kulture na daljinu tijekom pandemije bolesti COVID-19 – smjernice za budućnost. In: A. Zovko, N. Vukelić i I. Miočić (ur.), *Prema postpandemijskom obrazovanju: kako osnažiti sustav odgoja i obrazovanja?* (str. 212–231). Filozofski fakultet Sveučilište u Rijeci.
- Labinowicz, E. (1980). The Piaget Primer: Thinking, learning, teaching. Menlo Park, CA: Addison-Wesley.
- Lappan, G. (1981). Middle grades mathematics project, Spatial Visualization Test, Michigan State University.
- Lieu, D. K., Sorby, S. A. (2009). Visualization, modeling, and graphics for engineering design. Clifton Park, NY: Delmar, Cengage Learning.
- Lin, T.-J., Buckley, J., Gumaelius, L., Ampadu, E. (2023). Situating spatial ability development in the Craft and Technology curricula of Swedish compulsory education. *The 40th International Pupils' Attitudes Towards Technology Conference Proceedings 2023, 1*. Retrieved from <https://openjournals.ljmu.ac.uk/PATT40/article/view/1508>
- Linn, M. C., Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56(6), 1479–1498.
- Lohman, D. F. (1996). Spatial ability and G. In I. Dennis, P. Tapsfield (Eds.), *Human abilities: Their nature and assessment* (pp. 97–116). Hillsdale: Erlbaum.
- Lowrie, T., Logan, T., Harris, D., Hegarty, M. (2018). The impact of an intervention program on students' spatial reasoning: student engagement through mathematics-enhanced learning activities. *Cognitive Research: Principles and Implications*. 3. 10.1186/s41235-018-0147-y.
- Lubinski, D. (2010). Spatial ability and STEM: A sleeping giant for talent identification and development. *Personality and Individual Differences*, 49(4), 344–351.
- Maier, P. (1994). Räumliches Vorstellungsvermögen: Komponenten, geschlechtsspezifische Differenzen, Relevanz, Entwicklung und Realisierung in der Realschule. Frankfurt am Main, Germany: Peter Lang.
- Maier, P. H. (1998). Spatial Geometry and Spatial Ability: How to Make Solid Geometry Solid? In *Selected Papers from the Annual Conference of Didactics of Mathematics 1996*. Regensburg, pp. 63–75.
- Mann, E. L., Mann, R. L., Strutz, M. L., Duncan, D., Yoon, S. Y. (2011). Integrating Engineering Into K-6 Curriculum: Developing Talent in the STEM Disciplines. *Journal of Advanced Academics*, 22(4), 639–658.
- Maresch, G. (2008.) Blended-Learning-Didaktik. Österr. StudienVerlag
- Maresch, G. (2015), How to Develop Spatial Ability? Factors, Strategies, and Gender Specific Findings, *Journal for Geometry and Graphics* 19 (1), 133–157.
- Maresch, G., Sorby, S.A. (2021) Perspectives on Spatial Thinking. *Journal for Geometry and Graphics* 25(2), 271–293.
- Maquet, L., Benedicic, U., Dunbar, R., Buckley, J., Duffy, G., Sorby, S. (2023). The challenges of implementing a spatial ability intervention at secondary level. Conference: *The 40th International Pupils' Attitudes Towards Technology Conference, Liverpool* doi:10.24377/PATT40.2023.
- Matešić, K., Jutriša, D., Pinjušić, K. (2005). Hrvatska standardizacija DAT-a za učenike osnovnih škola // Diferencijalni testovi sposobnosti DAT : priručnik za učenike osnovnih škola / Bennett, George K., Seashore, H. G., Wesman, A. G. (ur.). Jasrebarsko: Naklada Slap. 5. izdanje, str. 109-120.
- Madsen, D. A., Madsen, D. P. (2012). Engineering Drawing and Design, Fifth Edition. New York: Delmar Cengage Learning.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences.

Psychological Bulletin, 86(5), 889-918. doi:10.1037/0033-2909.86.5.889

Miller, C. L., Bertoline, G. R. (1991). Spatial visualization research and theories: Their importance in the development of an engineering and technical design graphics curriculum model. *Engineering Design Graphics Journal*, 55(3), 5–14.

Miller, D. I., Halpern, D. F. (2013). Can spatial training improve long-term outcomes for gifted STEM undergraduates? *Learning and Individual Differences*, 26, 141–152. doi:10.1016/j.lindif.2012.03.012

Mishra, P., Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>

Mohler, J. L. (2006). Computer Graphics Education: Where and How Do We Develop Spatial Ability? EUROGRAPHICS '06 / Judy Brown and Werner Hansmann, Education Papers.

Morawietz, C., Dumalski, N., Wissmann, A.M., Wecking, J., Muehlbauer, T. (2024) Consistency of spatial ability performance in children, adolescents, and young adults. *Front. Psychol.* 15:1365941. doi: 10.3389/fpsyg.2024.1365941

Moritz, A., Youn, S. (2022) Spatial ability of transitioning 2D to 3D designs in virtual environment: understanding spatial ability in apparel design education *Fashion and Textiles* 9:29 <https://doi.org/10.1186/s40691-022-00293-w>

Nemer, L., Klein, I. (2019). Spatial Analysis and 3D Modeling: Drawing the Cathedral of Brasilia in Different Software, In: Cocchiarella (Ed) *ICGG 2018 Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics*, Advances in Intelligent Systems and Computing 809, pp. 2223–2226, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95588-9_207.... Milan, Italy)

Newcombe, N. S. (2010). Increasing Math and Science Learning by Improving Spatial Thinking, *American Educator*, 34 (2).

Newcombe, N. S. (2013) Using Spatial Thinking to Teach Science, Mathematics, and Social Studies, *American Educator*, 37 (1).

Newcombe, N. S., Frick, A. (2010). Early education for spatial intelligence: Why, what, and how. *Mind, Brain, and Education*, 4(3), 102-111. doi:10.1111/j.1751-228X.2010.01089.x

Newcombe, N. S., Hegarty, M., Uttal, D. (2022). Building a cognitive science of human variation: individual differences in spatial navigation. *Top. Cogn. Sci.* 15, 6–14. doi:10.1111/tops.12626

Newcombe, N. S., Shipley, T. F. (2015). Thinking about spatial thinking: New typology, new assessments. In J. Gero (Ed.), *Studying visual and spatial reasoning for design creativity* (pp. 179-192). Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-94-017-9297-4_10

MZO (2019). Kurikulum nastavnoga predmeta Tehnička kultura za osnovne škole. Dostupno na: <https://mzom.gov.hr/istaknute->

[teme/odgoj-i-obrazovanje/nacionalni-kurikulum/predmetni-kurikulumi/tehnicka-kultura/754](https://mzom.gov.hr/istaknute-teme/odgoj-i-obrazovanje/nacionalni-kurikulum/predmetni-kurikulumi/tehnicka-kultura/754) (19. srpnja 2024.)

Ogunkola, B., Knight, C. (2018). Does technical drawing increase students' mental rotation ability? *Cogent Education* 5(1) 1489209 <https://doi.org/10.1080/2331186X.2018.1489209>

Olkun, S. (2003). Making connections: Improving spatial abilities with engineering drawing activities. *International Journal of Mathematics Teaching and Learning*, 3(1), 1–10.

Onwuegbuzie, A. J., Daniel, L. G. (2000). Reliability generalization: The importance of considering sample specificity, confident intervals, and subgroup differences. *Paper presented at the annual meeting of the Mid-South Educational Research Association* (ED448204)

Ou, R. L. (2016) *The study on the problem representation of spatial ability for sixth-grade students*. Unpublished Master Thesis, National Taichung University of Education – nedostupno, prema: Chou, Shih

Park, G., Lubinski, D., Benbow, C. P. (2010). "Recognizing Spatial Intelligence". *Scientific American*. November 2.

Pawlak-Jakubowska, A., Terczyńska, E. (2023). Evaluation of STEM students' spatial abilities based on a novel net cube imagination test. *Scientific Reports* 13. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44371-5>

Pellegrino, J. W., Alderton, D. L., Shute, V. J., (1983). Understanding Spatial Ability. *Educational Psychologist* 19: 239-253.

Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R., Richardson, C. (1995). A Redrawn Vandenberg and Kuse Mental Rotations Test - Different Versions and Factors That Affect Performance. *Brain and Cognition*, 28(1), 39–58. doi:10.1006/brcg.1995.1032

Peters, M. (2005). Sex differences and the factor of time in solving Vandenberg and Kuse mental rotation problems. *Brain and Cognition*, 57(2), 176–184. doi:10.1016/j.bandc.2004.08.052

Petz, B. i dr. (1992). *Psihologijski rječnik*. Zagreb: Prosvjeta.

Piaget, J. (1936): La naissance de l'intelligence chez l'enfant. *Collection d'actualités pédagogiques publiée sous les auspices de l'Institut J. J. Rousseau et de la Société belge de psychotechnie*. Delachaux & Niestlé S.A., Neuchâtel and Paris.

Pittalis, M., Christou, C. (2010). Types of reasoning in 3D geometry thinking and their relation with spatial ability. *Educational Studies in Mathematics*, 75(2), 191–212.

Power, J.R., Sorby, S.A. (2021). Spatial development program for middle school: teacher perceptions of effectiveness. *International Journal of Technology and Design Education* 31, 901–918. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09587-w>

Prieto, G., Velasco, A. D. (2010). Does spatial visualization ability improve after studying technical drawing? *Quality & Quantity*:

International Journal of Methodology, 44(5), 1015–1024.

<https://doi.org/10.1007/s11135-009-9252-9>

Purković, D. (2015). *Realiteti tehničke kulture*. Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet, Odsjek za politehniku.

Purković, D., Delač, D., Kovačević, S. (2022). Interests of Croatian primary school pupils about elective technology teaching and school activities. *Metodički ogledi*, 29 (1). 167-189.

<https://doi.org/10.21464/mo.29.1.6>

Purković, D., Kovačević, S. (2024). The relationship between the teacher's approach to teaching and the student's attitude toward technology in Croatian primary schools. *Int J Technol Des Educ*.

<https://doi.org/10.1007/s10798-023-09875-1>

Purković, D., Suman, D., Jelaska, I. (2021). Age and gender differences between pupils' preferences in teaching general and compulsory technology education in Croatia. *International Journal of Technology and Design Education*, 31, 919–937.

<https://doi.org/10.1007/s10798-020-09586-x>

Quaiser-Pohl, C., Lehmann, W., and Eid, M. (2004). The relationship between spatial abilities and representations of large-scale space in children--a structural equation modeling analysis. *Pers. Individ. Differ.* 36, 95–107. doi: 10.1016/S0191- 8869(03)00071-0.

Rafi, A., Samsudin, K. (2009). Practising mental rotation using interactive desktop mental rotation trainer (iDeMRT). *British Journal of Educational Technology*, 40(5), 889–900.

Ramful, A., Lowrie, T., Logan, T. (2017). Measurement of Spatial Ability: Construction and Validation of the Spatial Reasoning Instrument for Middle School Students. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 35(7), 709–727. doi:10.1177/0734282916659207.

Reilly, D., Neumann, D. L., Andrews, G. (2017). Gender Differences in Spatial Ability: Implications for STEM Education and Approaches to Reducing the Gender Gap for Parents and Educators. In Khine, M. S. (ed.), *Visual-spatial Ability in STEM Education: Transforming Research into Practice*. Abu Dhabi: Emirates College for Advanced Education.

Roschelle, J., Pea, R., Hoadley, C., Gordin, D., Means, B. (2001). Changing how and what children learn in school with computer-based technologies. *The Future of Children*, 10(2), 76-101.

Seah, R. Horne, M. (2018) Perceiving and Reasoning about Geometric Objects in the Middle Years, Mathematics Education Research Group of Australasia, *Paper presented at the Annual Meeting of the Mathematics Education Research Group of Australasia (MERGA)* (41st, Auckland, New Zealand, 2018)

Shavaliar, M. (2004). The Effects of CAD-Like Software on the Spatial Ability of Middle School Students. *Journal of Educational Computing Research*, 31(1), 37–49. doi:10.2190/x8bu-wjgy-dvru-we2l

Shea, D. L., Lubinski, D., Benbow, C. P. (2001). Importance of assessing spatial ability in intellectually talented young adolescents: A 20-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 604–614. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.3.604>

Sommer, R. (1978). *The mind's eye: Imagery in everyday life*. New York: Delacorte Press.

Sorby, S. A. (1999a) Developing 3D spatial visualization skills, *Engineering Graphics Journal*, 62(2), pp. 21-32,

Sorby, S. A. (1999b), Spatial Abilities And Their Relationship To Computer Aided Design Instruction. *Paper presented at 1999 Annual Conference*, Charlotte, North Carolina. 10.18260/1-2--8070

Sorby, S. A. (2009a). Developing spatial cognitive skills among middle school students. *Cognitive Processing*, 10(2), 312–315. <https://doi.org/10.1007/s10339-009-0310-y>

Sorby, S. A. (2009b). Educational Research in Developing 3-D Spatial Skills for Engineering Students. *International Journal of Science Education*, 31(3), 459–480. <https://doi.org/10.1080/09500690802595839>

Sorby, S. A., Panther, G. C. (2020). Is the key to better PISA math scores improving spatial skills? *Mathematics Education Research Journal*, 32(2), 213–233. doi:10.1007/s13394-020-00328-9

Sorby, S. A., Veurink, N. (2019). Preparing for STEM: Impact of spatial visualization training on middle school math performance. *Journal of Women and Minorities in Science and Engineering*, 25(1), 1–23. <https://doi.org/10.1615/JWomenMinorScienEng.2018024516>

Sorby, S., Veurink, N., Streiner, S. (2018). Does spatial skills instruction improve STEM outcomes? The answer is “yes.” *Learning and Individual Differences*, 67, 209–222. doi:10.1016/j.lindif.2018.09.001

Stieff, M., Uttal, D. (2015). How Much Can Spatial Training Improve STEM Achievement? *Educational Psychology Review*, 27(4), 607–615. doi:10.1007/s10648–015–9304

Stockdale, C., Possin, C. (1998). *Spatial Relations and Learning*. ARK Foundation, Allenmore Medical Center. New Horizons for Learning.

Sumen, O. O. (2018). Enhancing Mental Rotation Skills through Google SketchUp. *Universal Journal of Educational Research*, 6(11), 2586 - 2596. DOI: 10.13189/ujer.2018.061124.

Suman, D. (2018). Tehničko crtanje, spacijalna inteligencija i CAD u osnovnoj školi - opravdanost, potreba, mogućnost, izazov. *Politehnika*, 2 (1), 51-70.

Suman, D.; Purković, D. (2018), “Preferencije učenika kao polazište za organizaciju i strukturiranje nastave općeg tehničkog odgoja i obrazovanja”, *Politehnika*, 2(2), pp. 29–42. doi:10.36978/cte.2.2.3

Sun, Y. (2023) Action-based Embodied Design: Spatial-mathematical Learning Experiences with Tinkercad 3D Modeling for

Elementary Students. *Digital Experiences in Mathematics Education* 9, 492–507. <https://doi.org/10.1007/s40751-023-00129-2>

Sutton, K. J. 2011. Development of an online psychometric test of spatial ability, Doctoral thesis, The University of Newcastle, Newcastle, available at: <http://nova.newcastle.edu.au/vital/access/manager/Indeks>

Sutton, K. J., Williams, A. P. (2007). Spatial Cognition and its Implications for Design. *Proceedings of the International Association of Societies of Design Research (IASDR'07)* (Hong Kong 12 - 15 November, 2007)

Supli, A.A., Yan, X. (2024) Exploring the effectiveness of augmented reality in enhancing spatial reasoning skills: A study on mental rotation, spatial orientation, and spatial visualization in primary school students. *Educ Inf Technol* 29, 351–374. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12255-w>

Szabo, T., Babály, B., Pataiova, H. Kárpáti, A. (2023). Development of spatial abilities of preadolescents: what works? *Education Sciences*, 13(3) : 312, <https://doi.org/10.3390/educsci13030312>

Šafhalter, A., Glodež, S., Aberšek, B., Bakarčević Vukman, K. (2014). Developing spatial ability using 3D modeling in lower secondary school. *Problems of Education in the 21st Century*. 61. 113-120 <http://oaji.net/articles/2015/457-1422204168.pdf>. doi:10.33225/pec/14.61.113.

Šafhalter, A., Vukman, K. B., Glodež, S. (2016). The effect of 3D-modeling training on students' spatial reasoning relative to gender and grade. *Journal of Educational Computing Research*, 54(3), 395–406. <https://doi.org/10.1177/0735633115620430>

Šafhalter, A., Glodež, S., Šorgo, A., Ploj Virtič, M. (2022). Development of spatial thinking abilities in engineering 3D modeling course aimed at lower secondary students. *International Journal of Technology and Design Education*. 32, 167–184 <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09597-8>

Taylor, H.A., Burte, H., Renshaw, K.T. (2023). Connecting spatial thinking to STEM learning through visualizations. *Nat Rev Psychol* 2, 637–653 <https://doi.org/10.1038/s44159-023-00224-6>

Thompson, B., Vacha-Haase, T. (2000). Psychometrics is datametrics: The test is not reliable. *Educational and Psychological Measurement*, 60(2), 174-195. <https://doi.org/10.1177/0013164400602002>

Toptas, V., Celik, S., Karaca, E. T. (2012). Improving 8th grades spatial thinking abilities through a 3D modeling program. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 11(2), 128–134

Tuker, C. (2024). Training Spatial Skills with Virtual Reality and Augmented Reality. In: Lee, N. (eds) *Encyclopedia of Computer Graphics and Games*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23161-2_173

Turgut, M. (2007). İlköğretim 2. kademe öğrencilerinin uzamsal yeteneklerinin incelenmesi [Investigation of 6, 7 and 8 grade

students' spatial ability] (Unpublished Master's thesis). Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Turkey

Turgut, M. (2015). Development of the spatial ability self-report scale (SASRS): reliability and validity studies. *Quality Quant.* 49 (5): 1997–2014. doi: 10.1007/s11135-014-0086-8

Turgut, M., Uygan, C. (2015). Designing Spatial Visualisation Tasks for Middle School Students with a 3D Modelling Software: An Instrumental Approach. *International Journal for Technology in Mathematics Education*. 22 (2). 45-52. 10.1564/tme_v22.2.01.

Uremović, B., Završki, I. (2022). Parametarsko modeliranje i varijacije oblika. *Simpozij doktorskog studija građevinarstva*, 5. - 6. rujna 2022., Zagreb. <https://doi.org/10.5592/CO/PhDSym.2022.22>

Uttal, D. H., Cohen, C. A. (2012). Spatial thinking and STEM education: When, why, and how?. *Psychology of learning and motivation*, 57, 147–181. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394293-7.00004-2>.

Uttal, D. H., McKee, K., Simms, N., Hegarty, M., Newcombe, N. S. (2024). How Can We Best Assess Spatial Skills? Practical and Conceptual Challenges. *Journal of Intelligence* 12:8. <https://doi.org/10.3390/jintelligence12010008>

Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., Newcombe, N. S. (2013a). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139(2), 352–402. <https://doi.org/10.1037/a0028446>

Uttal, D. H., Miller, D. I., Newcombe, N. S. (2013b). Exploring and Enhancing Spatial Thinking: Links to Achievement in Science, Technology, Engineering, and Mathematics? *Current Directions in Psychological Science*, 22(5), 367-373.

Vacha-Haase, T., Kogan, L. R., Thompson, B. (2000). Sample compositions and variabilities in published studies versus those in test manuals: Validity of score reliability inductions. *Educational and Psychological Measurement*, 60(4), 509–522.

Verdine, B. N., Golinkoff, R. M., Hirsh-Pasek, K., Newcombe, N. S. (2017). I. Spatial skills, their development, and their links to mathematics: spatial skills, their development, and their links to mathematics. *Monogr. Soc. Res. Child Dev.* 82, 7–30. doi:10.1111/mono.12280.

Voyer, D., Fau-Bryden, V. S., Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychol. Bull.* 117, 250–270. doi: 10.1037/0033-2909.117.2.250

Wai, J., Kell, H.J. (2017). What Innovations Have We Already Lost?: The Importance of Identifying and Developing Spatial Talent. In: Khine, M. (eds) *Visual-spatial Ability in STEM Education*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44385-0_6 - Ističe u uvodu dva nobelovca koji nisu u

Wai, J., Lakin, J. M. (2024). The Importance of Identifying Spatial Skills in Talented Students. *Gifted Child Today*, 47(3), 178-185. <https://doi.org/10.1177/10762175241242496>

- Wai, J., Lubinski, D., Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817-835. <https://doi.org/10.1037/a0016127>
- Wai, J., Uttal, D. (2018). Why Spatial Reasoning Matters for Education Policy. *The American Enterprise Institute*. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED592011.pdf>
- Wang, L. (1993). The Differential Aptitude Test: A Review and Critique. *Annual Meeting of the Southwest Educational Research Association* (Austin, Texas, January 28-30).
- Wang, L., Carr, M. (2014). Working memory and strategy use contribute to gender differences in spatial ability. *Educ. Psychol.* 49, 261–282. doi:10.1080/00461520.2014.960568
- Wang, L., Cohen, A. S., and Carr, M. (2014). Spatial ability at two scales of representation: a meta-analysis. *Learn. Individ. Diff.* 36, 140–144. doi: 10.1016/j.lindif.2014.10.006
- Whiteley, W., Sinclair, N., Davis, B. (2015). What is spatial reasoning? In: *Spatial Reasoning in the Early Years* (1st ed., pp. 3–14). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315762371-2/spatial-reasoning-walter-whiteley-nathalie-sinclair-brent-davis> .
- Williams, A.M., Capraro, R.M. (2020). Enhancing spatial abilities through exposure to computer-aid design programs. In: Sacristán, A.I., Cortés-Zavala, J.C., Ruiz-Arias, P.M. (Eds.). *Mathematics Education Across Cultures: Proceedings of the 42nd Meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Mexico. Cinvestav. <https://doi.org/10.51272/pmna.42.2020-105>
- Williams, A.M. (2022) Developing Spatial Abilities thru Computer-Aided Design Software Experiences: Enhancing STEM Education. *A Dissertation. Submitted to the Graduate and Professional School of Texas A&M University*. dostupno na: <https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstreams/bceafb7-e776-467e-890b-519975eab1a2/download> 30.09.2024.
- a) Effects Of Three-Dimensional Modeling Or Designin Software Interventions On Students' Spatial Abilities: A Meta-Analysis
 - b) Review Of The Redrawn Mental Rotation Test: A Reliability Generalization Meta-Analysis Of Coefficient Alpha
 - c) Fostering Elementary Students' Spatial Ability Development With Computer-Aided Design Software
- Winarti, D.W., Patahuddin, S.M., Lowrie, T. (2024). Unleashing the potential: spatializing middle school mathematics for enhanced learning. *Educational Studies in Mathematics: an international journal*, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10649-024-10343-3>
- Wong, C. Y., Shih, Y. T. (2022). Enhance STEM Education by Integrating Product Design with Computer-Aided Design Approaches. *Computer-Aided Design and Applications*, 19(4), 694-711. doi:10.14733/cadaps.2022.694-711
- Yang, J. C., Chen, S. Y. (2010). Effects of gender differences and spatial abilities within a digital pentominoes game. *Comput. Educ.* 55, 1220–1233. doi:10.1016/j.compedu.2010.05.019.
- Yılmaz, H. B. 2017. “On the Development and Measurement of Spatial Ability”. *International Electronic Journal of Elementary Education* 1(2): 83-96. <https://www.iejee.com/index.php/IEJEE/article/view/279>.
- Yoon, S. Y. (2011). Psychometric properties of the Revised Purdue Spatial Visualization Tests: Visualization of Rotations (The Revised PSVT:R) (*Doctoral Dissertation*). Retrieved from ProQuest Dissertations and Theses.
- Yuan, L., Kong, F., Luo, Y., Zeng, S., Lan, J., You, X. (2019). Gender Differences in Large-Scale and Small-Scale Spatial Ability: A Systematic Review Based on Behavioral and Neuroimaging Research. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 13. doi:10.3389/fnbeh.2019.00128
- Yu, M., Cui, J., Wang, L., Gao, X., Cui, Z., Zhou, X. (2022). Spatial processing rather than logical reasoning was found to be critical for mathematical problem-solving. *Learning and Individual Differences*, 100, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2022.102230>
- Zhu, C., Leung, C.O-Y., Lagoudaki, E., Velho, M., Segura-Caballero, N., Jolles, D., Duffy, G., Maresch, G., Pagkratidou, M., Klapwijk, R. (2023) Fostering spatial ability development in and for authentic STEM learning. *Front. Educ.* 8:1138607. doi: 10.3389/educ.2023.1138607