UNIVERZA NA PRIMORSKEM

PEDAGOŠKA FAKULTETA KOPER

Edukacijske vede, 3. stopnja

ALGORITMI STROJNEGA UČENJA ZA IZBIRO UČNE METODE TANDEMSKEGA UČENJA NA PODROČJU DIDAKTIKE MATEMATIKE

Dispozicija doktorske disertacije

Mentor: Kandidat:

prof. dr. Darjo Felda Bor Bregant

Somentor

dr. Daniel Doz

Koper, 2025

Navedba znanstvenega področja

Doktorska disertacija v svojem jedru združuje interdisciplinarno znanje iz pedagogike, didaktike matematike ter področij rudarjenja podatkov in strojnega učenja, s ciljem izboljšanja izbire učne metode v tandemu pri poučevanju matematike. Z uporabo metod umetne inteligence, zlasti klasifikacije in izbire ključnih značilk, raziskava preučuje kompleksne vzorce med interakcijo učiteljev in učencev ter njihov vpliv na učne rezultate, ki diktirajo, ali je posamezniku obravnavana učna metoda ustrezna ali ne. Študija ponuja dragocen vpogled v prilagodljive pristope k personalizirani pedagogiki ter uporabo tehnologije za izboljšanje učnega procesa v matematičnem izobraževanju.

ARRS klasifikacija: 5.01.01, 2.07.08

MSC 2020 klasifikacija: 97D40, 97D60, 62P99

Izvleček  
Glavni cilj vzgojno-izobraževalnih ustanov je zagotoviti kakovostno izobraževanje svojim učencem. Eden od načinov za dosego tega je uvedba različnih pedagoških metod in učnih oblik, med katerimi je tudi tandemsko učenje. Vsakomur ne ustreza enotna metoda, zato je ključno za izobraževalne ustanove razkriti vpoglede za izbiro napovednega modela, prilagojenega posameznim študentom ali učilnicam. Znanje je skrito med izobraževalnimi podatki in je izvlečljivo s tehnikami rudarjenja podatkov.

Poleg širših uporab metod strojnega učenja, se slednje uporablja tudi za predikcijo uspeha in identifikacijo pomembnih spremenljivk, ki vplivajo na opazovan uspeh.

200-250 besed

**Ključne besede:**

Vzgoja in izobraževanje, tandemsko učenje, strojno učenje, podatkovno rudarjenje.

Teoretična izhodišča raziskave

Izobraževalne institucije težijo k stalnem izboljšanju izobraževalnih standardov. Potreba po tem se kaže v vsakdanjih debatah, v medijih in podobno in se uveljavlja preko reform vzgojno-izobraževalnih ustanov in sistemov (Kellaghan & Greaney, 2001). Reforme se uveljavljajo na državnih ravneh, ravni šole, ravni učitelja (kar se navezuje naprej na učne metode) (CITAT).

En od načinov, kako izboljšati pouk in posledično tudi rezultate je vpeljava različnih metod poučevanja.

V smeri zagotavljanja kakovostnega izobraževanja svojim študentom visokošolske ustanove vpeljujejo različne metode poučevanja. Kritike frontalnega poučevanja in razvoj novih metodologij na področju psihologije, pedagogike, sociologije ter pozitivne izkušnje s praktičnim delom so vodile k nastanku novih, posrednih oblik izobraževalnih procesov (Arias & Peralta, 2011; Blažič et al., 2003). V luči teh novih praks so številni raziskovalci predlagali uporabo različnih oblik učenja v majhnih skupinah (S. Wang et al., 2023), saj naj bi bile te bolj učinkovite pri spodbujanju večjih akademskih dosežkov (S. A. Kalaian & Kasim, 2014), pozitivnejših stališč do učenja (Gaudet et al., 2010; Hillyard et al., 2010) ter povečane vztrajnosti pri predmetih in programih STEM (S. Kalaian et al., 2018; Micari et al., 2010; Wieselmann et al., 2020; S. B. Wilson & Varma-Nelson, 2016). Individualni odzivi na enotno metodo poučevanja niso enaki pri vseh (Crisianita & Mandasari, 2022), kar poudarja potrebo po odkrivanju ustreznih modelov poučevanja, prilagojenih posameznim učencem ali učilnicam.

Med oblikami učenja v majhnih skupinah je potrebno omeniti tandemsko učenje. To je pristop, kjer dva učenca skupaj naredita eksperiment, formulirata poročilo, rešita nalogo in podobno (Stickler & Emke, 2011; Tomić, 2002; Wilson & Blednick, 2011). Gre za enostaven pristop z organizacijskega vidika, saj imata učenca v paru več možnosti za sodelovanje kot pri frontalnem učenju, a nista sama, kot bi bila pri individualnem pristopu (Blažič et al., 2003).

Mnogo sodobnih pedagogov, psihologov, siocilogov in teoretikov v edukacijskih vedah se strinja, da je individualna oseba v moderni družbi pripadnik mnogo skupin, zato je pomembno, da učenci že tekom vzgojno-izobraževalnega procesa razvijejo pomembne veščine socializiranja(Elliott et al., 2001; Johns et al., 2017; Selimović et al., 2018). Implementacija dela v skupini doseže pet pomembnih ciljev (Peklaj, 2001): (1) učenci se učijo drug o drugem, (2) učenci razvijejo skupinsko identiteto, (3) učenci podpirajo drug drugega, (4) učijo se razlik drug o drugem in (5) razvijejo karakteristike timskega dela. Te pristopi h karakterizaciji ciljev se skladajo s tako imenovanimi fundamentalnimi elementi učenja v skupini (Johnson et al., 1991): (1) pozitivna soodvisnost, (2) spodbujanje interakcije na štiri oči, (3) individualna odgovornost, ki zagotovi aktivno udeležbo vseh učencev, (4) redna uporaba medosebnih in skupinskih socialnih veščin in (5) stalna ter periodična evalvacija skupinske dinamike in uspeha. Z objemanjem teh principov, lahko učitelji v vzgoji in izobraževanju bolje pripravijo svoje učence s socialnimi in medosebnimi kompetencami, ki so potrebne za uspeh v modernem svetu. (Slavin et al., 2003) identificira štiri znatne teoretične poglede na efekt uspešnosti dela v skupini: (1) motivacijski, (2) socialno kohezijski, (3) kognitivno-razvojni in (4) kognitivno-razdelovalni vidik. Zadnje dva se nanašata predvsem na interakcijo med članomi skupin. Te štiri peespektive pa se med sabo prepletajo in dopolnjujejo. Učni načrt za matematiko v gimnaziji izpostavi skupinsko delo kot eno od procesnih znanj (Žakelj et al., 2008).

Delo v skupini ima tako prednosti kot slabosti, ki so zbrane v Tabeli x.

|  |  |
| --- | --- |
| Prednosti | Slabosti |
| Boljši dosežki učenca (Moreno-Guerrero et al., 2020; Puklek, 2001; Rau & Heyl, 1990). | Skupinski cilj ima prednost pred individualnim (Puklek, 2001). |
| Medosebna podpora in razvoj čuta za pomoč (Puklek, 2001). | Pomanjkanje izkušenj lahko vodi v resentiment do učne metode (Puklek, 2001). |
| Razvoj večih veščin (kognitivnih, čustvenih, motivacijskih, socialnih) in razumevanje samega sebe (Pateşan et al., 2016; Puklek, 2001). | Člani skupine se fokusirajo le na svojo nalogo (Puklek, 2001). |
| Ekonomičnost, tako z vidika časovne komponente (vodenje skupine vzame manj časa kot vodenje individualnih učencev), kot finančne komponente (učenci si lahko izposojajo učbenike ipd.) (Puklek, 2001). | Neenakost vloženega dela (Puklek, 2001). |
| Manj anksioznosti in stresa (Goreyshi et al., 2013). | Težko za izvesti v razredih z velikim številom učencev (Kubale, 2015). |
| Nekateri izpostavljajo, da zna delo v skupini negativno vplivati na učence, ki ciljajo na višje rezultate, saj so primorani pomagati šibkejšim članom skupine. Ekvivalentne pa so izpostavke, da učenci, ki morajo pomagati šibkejšim členom skupine potegnejo iz takega načina dela več kot tisti, ki so primorani pomoč prejemati. Kakorkoli je večina študij soglasnih, da so prednosti skupinskega dela enake za ves spekter: Od učencev, ki dosegajo nižje standarde, do tistih, ki dosegajo višje standarde (Slavin et al., 2003). | |

Mnogo študij je bilo opravljenih z glavnim ciljem ugotoviti posledice dela v skupini na akademski uspeh (F. Ahmad, 2010; Gull & Shehzad, 2015; Hossain & Tarmizi, 2013) in v glavnem je soglasen rezultat, da je efekt pozitiven (Al Mulhim & Eldokhny, 2020; Bilgin et al., 2015; Johnson & Johnson, 2011; Kalaian et al., 2018; Kanter & Konstantopoulos, 2010; Mahasneh & Alwan, 2018; Slavin, 1996; Webb, 1991).

Z namenom predikcije uspešnosti dela v tandemu moramo razumeti širok spekter spremenljivk, ki na to uspešnost vplivajo. Ozadje problema lahko ošinemo z vpogledom v splošne faktorje kot so spol, razred, učeči profesor in ocena pri predmetu. Slednje morda nima signifikantnega vpliva (Slavin et al., 2003; Van Der Laan Smith & Spindle, 2007), medtem ko spol domnevno ima vpliv (Gnesdilow et al., 2013; Rodger et al., 2007). Raziskave, kako pripadajoč razred in učeči profesor vplivata so šrbinaste, razen splošnih navodil, kako delo v tandemu implementirati (McCaslin & Lowman, 1985; Van Diggele et al., 2020). Poleg teh splošnih demografskih vidikov lahko opazujemo psihološki profil učencev, kjer pridejo v poštev tip osebnosti (Akben-Selcuk, 2017; Kurniawati et al., 2023; Major et al., 2006; Peklaj et al., 2015; Wahyu Ariani, 2013), matematična anksioznost (Li et al., 2021; Wang et al., 2015) in motivacija za učenje matematike (Tella, 2007). Myers-Briggs Type Indicator (MBTI) meri osebnosti tip (v literaturi tudi kognitivni stil) v štirih dimenzijah: Ekstroverzija-introverzija (EI), zaznavanje-intuicija (SN), čutenje-mišljenje (TF) in presojanje-opazovanje (JP) (Ramsay et al., 2000). Literatura pravi, da ima EI dimenzija največji vpliv na odziv do tandemskega učenja (Ramsay et al., 2000; Smith & Irey, 1974), medtem ko so ostale razsežnosti bolj stvar špekulacije in jim manjka empirične podkrepitve (Ramsay et al., 2000). Matematična anksioznost negativno vpliva na uspeh pri skupinskem delu, saj kvari delovni spomin, vpliva na reševanje problemov in izbiro strategije za spopad s tem problemom in je še posebej vplivna v kontekstu, kjer je rezultat uspeha pomemben (Klados et al., 2019). V okoljih skupinskega dela, kjer pa je interakcija kvantitativno višja pa se vpliv matematične anksioznosti lahko zmanjša (Vallée-Tourangeau et al., 2013). Te opazke so tudi v skladu z raziskavami, ki kažejo, da skupinsko delo niža matematično anksioznost (Batton, 2010; Rafiei Taba Zavareh et al., 2022). Matematična motivacija pa je faktor, ki kaže z matematično anksioznostjo negativno korelacijo(Bregant & Doz, 2024) in ga lahko uspešno nižamo s pomočjo skupinskega dela (Järvelä et al., 2010). Faktorje lahko opazujemo tudi tekom same izvedene ure, kjer imamo kvaliteto interakcije v paru, kvantiteto interakcije in ali učenec v paru pripomore več kot njegov dodeljen partner v tandemu. Poudarjena je tudi pozitivna plat tekmovalnosti med samimi člani skupin, ki pozitivno vpliva na učni uspeh (Puklek, 2001).

Do sedaj smo razmišljali o sami kompoziciji dela v skupini, pred tem pa moramo vzeti v ozir, kako skupine (oziroma tandem) formulirati. Predlaganih je več kriterijev razvrščanja , ki lahko dinamično oblikujejo heterogene, homogene in mešane skupine. Zbrani so v Tabli x, kot so predlagani s strani (Amara et al., 2016). Mnogo študij je obravnavalo slabosti in prednosti homogeniziranja oziroma heterogeniziranja skupin glede na različne metrike kot so starost (Magnusson & Bäckman, 2022), tip osebnosti (Zhang et al., 2022), spol (Yu-Tzu Lin et al., 2020), akademski uspeh (Wyman & Watson, 2020). Obravnavane prednosti in slabosti so se merile tako na podlagi uspeha metode, socialnega učenja in drugih aktivnosti ter interakcij. Različni algoritmi formuliranja skupin so tudi stvar debate (Amara et al., 2021). Stvar debate je tudi velikost skupine, kjer nekatere študije zagovarjajo večje skupine, ki naj bi prinesle bolj kvalitetne rezultate, medtem ko drugi zagovarjajo manjše skupine, ki naj bi spodbidile tekmovalno okolje in motivacijo (A. Ahmad et al., 2021). Različni rezultati izvirajo iz različnih eksperimentalnih okolij, različnih študijskih področij in različnih opazovanih metrikah.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Osebna karakteristika | Učno vedenje | Kontekst okolja |
| Starost | Komunikacija s partnerji | Okolje (tako lokacija učencev kot lokacija predmeta učenja) |
| Spol | Komunikacija z učiteljem | Predviden čas dela |
| Materni jezik in obvladani jeziki | Interakcija z obravnavanim predmetom učenja | Razpoložljivost (tako učencev kot predmeta učenja) |
| Akademski uspeh | Učni stil |  |

Morda zgoraj se kratka zgodovina, razvoj in moznosti

Rudarjenje podatkov, umetna inteligenca in strojno ucenje

Klasifikacija

Feature selection

Vse zgoraj v Sloveniji

Opredelitev problema, ciljev in hipotez disertacije oziroma raziskovalnih vprašanj ter pričakovanih rezultatov

Disertacija je bila opravljena, saj so vzorci, ki diktirajo ali so posamezne učne metode uspešne dokaj neraziskani. Literatura kaže da ima več faktorjev ne-zanemarljiv učinek na odnos do tandemskega učenja, torej je vpliv teh faktorjev potrebno raziskati. V nekaterih zgoraj (v teoretičnem izhodišču) se srečamo z idejo, da nam vpogled v ta problem lahko nudi rudarjenje podatkov – specifično metode strojnega učenja. Te rešitve pa so dobile zagon šele v zadnjih nekaj letih. Raziskave so pokazale, da imajo metode strojnega učenja večjo statistično moč kot klasične metode.

Cilj naše raziskave je razviti model, ki na podlagi določenih vhodnih informacij predvidi, ali se posameznik na delo v tandemu dobro odzove. Raziskati hočemo kateri uveljavleni modeli se pri predikciji obnesejo bolje in katere značilne so pri tej predikcije pomembnejše.

Glavni splošni hipotezi sta torej: (i) Nekatere spremenljivke imajo večji vpliv na tandemsko učenje in (ii) Nekateri algoritmi strojnega učenja bolje napovejo dijakov odziv do tandemskega učenja.

Tudi če raziskave ne nudijo najbolj plodnih rezultatov, kar tudi deloma pričakujemo, glede na pomanjkanje literature, opravljene raziskave vseeno vplivajo na širše razumevanje konteksta tandemskega učenja. Poleg tega pa morda dobijo zagon druge raziskave, ki bi na podlagi novejših statističnih metod kaj raziskale, a zaradi pomanjkanja literature še niso. Specifično pričakujemo, da bodo modeli vseeno dokaj natančno napovedali rezultat in da bodo spremenljivke, vezane na samo delo v tandemu, imele večjo napovedno moč, kot spremenljivke vezane na informacije splošnega značaja in psihološkega ozadja.

Prispevek k znanosti

Disertacija se osredotoča na integracijo in implementacijo tehnik strojnega učenja v konteksts vzgoja in izobraževanja. Ker je to področje razmeroma še ne-raziskano, je prispevek k znanosti niti ne toliko fokusiran na rezultate, ki raziščejo širši konteksts tandemskega dela, temveč leži v težnji, da tudi v raziskovalno-edukacijskem kontekstu razširimo obzorja statističnih metod, ki jih sodobna tehnologija omogoča.

Širši kontekst obravnave uspešnosti tandemskega učenja je večkrat problematičen, saj je evalvacija le tega pogosto subjektivna (Popović et al., 2020) in je možno, da ne odraža dejanskega stanja. V disertaciji si torej prizadevamo raziskati metode, ki bi to evalvacije naredile čim bolj objektivno s pomočjo statističnih metod strojnega učenja.

Raziskava bo v mednarodnem prostoru prikazala še en vidik strojnega učenja v vzgoji in izobraževanju. Doseženi modeli evalvacije pa niso le teoretične narave, temveč imajo tudi praktičen vidik. Na podlagi le teh modelov, se lahko izdela posebne programske opreme, ki bi avtomatično učence razvrstile glede na pričakovan odziv do tandemskega dela (ki ga lahko enostavno z novimi podatki za treniranje modelov umetne inteligence posplošimo še na druge metode) na podlagi različnih vhodnih informacij; V našem primeru informacij splošnega značaja, psihološke slike učenca in informacije glede na samo delo v tandemu. V bodočnosti je razširitev, kot smo že orisali, enostavna, tako na druge predmetne kategorije, druge šole, druge predmete, druga okolja (npr. drug kulturni kontekst), kot tudi na druge vhodne podatke.

Metode raziskovanja

Uporabljena je kavzalna ne?-eksperimentalna metoda pedagoške raziskave. Po pridobitvi ustreznih soglasij s strani šole in dijakov, v skladu z etičnimi standardi Helsinki deklaracije in evropski splošni uredbi o varstvu podatkov, so profesorji vključeni v raziskavo v okviru kratkega števila ur matematike v drugem in tretjem letniku gimnazije pouk izvedli v obliki tandemskega učenja.

Po izvedenih urah, so dijaki izpolnili vprašalnik, ki je zajemal 56 vprašanj, ki so določali 14 spremenljivk. Ena od teh je bila ciljna spremenljivka na 3-stopenjski Likertovi lestvici, ki je določala dijakov odziv do uporabljene metode dela v tandemu. Napovedne spremenljivke, skupaj s kratkimi kategorizacijami so zbrane v Tabeli x.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Spremenljivka | Možne vrednosti | Tip spremenljivke in pripadajoč instrument | Število vprašanj, ki določa spremenljivko (instrument) |
| Spol | 0-1 (Male, female) | A priori | 1 |
| Razred | 0-6 (7 present classes) | A priori | 1 |
| Profesor | 0-3 (4 teachers) | A priori | 1 |
| Lanska ocena pri matematiki | 1-5 | A priori | 1 |
| Introverzija | 8-40, 24 being “neutral” point | Psihološka  (MBTI test) | 8 |
| Sensing / intuition | 8-40, 24 being “neutral” point | Psihološka  (MBTI test) | 8 |
| Thinking / feeling | 8-40, 24 being “neutral” point | Psihološka  (MBTI test) | 8 |
| Judging / perceiving | 8-40, 24 being “neutral” point | Psihološka  (MBTI test) | 8 |
| Matematična anksioznost | 7-45 | Psihološka  (AMAS test) | 9 |
| Matematična motivacija | 9-35 | Psihološka  (del ATMI testa) | 7 |
| Kvalitativna interakcija | 1-3 (little communication – lots of communication) | Vezano na tandemsko učenje | 1 |
| Kvantitativna interakcija | 1-3 (work was not productive – work was productive) | Vezano na tandemsko učenje | 1 |
| Prekašanje partnerja v tandemu | 1-3 (worked less – outperform) | Vezano na tandemsko učenje | 1 |

Za zgoraj navedene spremenljivke, ki določajo psihološki profil dijaka smo izbrali kombinacijo uveljavljenih instrumentov, ki smo jih prilagodili družbenemu, kulturnemu in soacialnemu okolju šole. Za določanje spremenljivk tipa osebnosti (ekstroverzija , ...) smo uporabili Open extended Jungian Type Scale test (OEJTS), ki velja za odprtokodno različico testa Myers-Briggs Type Indicator (MBTI). Matematično anksioznost smo določili s pomočjo testa Abbreviated Math Anxiety Scale (AMAS), matematično motivacijo pa kot del instrumenta Attitudes Toward Math Instruction (ATMI). Zadnja dva testa sta v literaturi že potrjeno veljavna (Fiorella et al., 2021; Hopko et al., 2003; Sundre et al., 2012; Yavuz et al., 2012), test OEJTS pa ima tako argumente za (Carlson, 1985; Carlyn, 1977; Randall et al., 2017) kot tudi proti (Boyle, 1995; Druckman & Bjork, 1991). To se sklada tudi z našimi rezultati. Celoten vprašalnik najdemo v Prilogi A.

Statistika je bila izvedena s pomočjo programskega jezika Python, primarno z uporabo knjižnic pandas in scikit-learn. Statistična koda, tako kot tudi anonimiziran nabor podatkov sta odprto dostopna na (Bregant, 2023). Za hipotezo glede pomembnosti značilk smo uporabili metodi Mutual Information (MI) in Recursive feature analysis (RFE) z ozirom na logistično regresijo. Za klasifikacijo uspešnosti smo uporabili 9 metod, specifično Gavsov Naivni Bayes, Najbližje sosede, Odločitveno drevo, Gaussian Mixture, LDA, ADA, GB, SVC in naključne gozdove. Slednje uspešnosti modelov smo vizualizirali z matriko zmede in validirali s pomočjo križnega preverjanja

Kontrolne skupine nismo imeli, saj izbrane statistične metode tega niso terjale. Preverjali smo le, ali lahko napovemo odziv dijaka in pomembne značilke tega odziva, nismo pa preverjali ali je metoda na sploh uspešna, kar je morebitna pomankljivost raziskave.

Kazalo predvidene vsebine disertacije

1. Uvod
2. Teoretični del
   1. Pouk in učne oblike
      1. Kratko o pouku
      2. Neposredna in posredna učna oblika
   2. Delo v tandemu
      1. Začetki, razvoj in možnosti dela v tandemu
      2. Potek in struktura dela v tandemu
      3. Prednosti in slabosti dela v tandemu
      4. Spremenljivke, ki vplivajo na delo v tandemu
      5. Formiranje skupin
   3. Strojno učenje in klasifikacija
      1. Uvod v umetno inteligenco in aplikativnost v edukacijskih vedah
      2. Strojno učenje
      3. Naloga klasifikacije in izbire napovednih spremenljivk
3. Empirični del
   1. Raziskovalni problem, namen in cilji
   2. Raziskovalne hipoteze
   3. Metodologija
      1. Vzorec
      2. Zbiranje podatkov
      3. Obdelava podatkov
   4. Rezultati in interpretacija
      1. Test zanesljivosti
      2. Test normalnosti
      3. Test korelacije značilk
      4. Test pomembnosti značilk
      5. Test predikcije
      6. Test manjšanja dimenzije prostora oziroma vizualizacija podatkov
4. Sklepne ugotovitve
5. Literatura in viri
6. Priloge

Navedba osnovne literature in virov

Ahmad, A., Zeeshan, F., Marriam, R., Samreen, A., & Ahmed, S. (2021). Does one size fit all? Investigating the effect of group size and gamification on learners’ behaviors in higher education. *Journal of Computing in Higher Education*, *33*(2), 296–327. https://doi.org/10.1007/s12528-020-09266-8

Ahmad, F. (2010). Effect of Cooperative Learning on Students’ Achievement at Elementary Level. *The International Journal of Learning: Annual Review*, *17*(3), 127–142. https://doi.org/10.18848/1447-9494/CGP/v17i03/46928

Akben-Selcuk, E. (2017). Personality, Motivation, and Math Achievement Among Turkish Students: Evidence from PISA Data. *Perceptual and Motor Skills*, *124*(2), 514–530. https://doi.org/10.1177/0031512516686505

Al Mulhim, E. N., & Eldokhny, A. A. (2020). The Impact of Collaborative Group Size on Students’ Achievement and Product Quality in Project-Based Learning Environments. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, *15*(10), 157. https://doi.org/10.3991/ijet.v15i10.12913

Amara, S., Bendella, F., Macedo, J., & Santos, A. (2021). Forming Suitable Groups in MCSCL Environments: *International Journal of Information and Communication Technology Education*, *17*(1), 42–56. https://doi.org/10.4018/IJICTE.2021010103

Amara, S., Macedo, J., Bendella, F., & Santos, A. (2016). Group Formation in Mobile Computer Supported Collaborative Learning Contexts: A Systematic Literature Review. *Journal of Educational Technology & Society*, *19*(2), 258–273.

Batton, M. (2010). The effect of cooperative groups on math anxiety. *Walden Dissertations and Doctoral Studies*. https://scholarworks.waldenu.edu/dissertations/822

Bilgin, I., Karakuyu, Y., & Ay, Y. (2015). The Effects of Project Based Learning on Undergraduate Students’ Achievement and Self-Efficacy Beliefs Towards Science Teaching. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *11*(3). https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1015a

Blažič, M., Ivanuš-Grmek, M., Kramar, M., & Strmčnik, F. (2003). *Didaktika: Visokošolski učbenik*. Visokošolsko središče, Inštitut za raziskovalno in razvojno delo.

Boyle, G. J. (1995). Myers-Briggs Type Indicator (MBTI): Some Psychometric Limitations. *Australian Psychologist*, *30*(1), 71–74. https://doi.org/10.1111/j.1742-9544.1995.tb01750.x

Bregant, B. (2023). *Tandem learning: Student dataset* (1.0) [dataset]. GitHub. https://github.com/borbregant/ai\_tandem\_learning

Bregant, B., & Doz, D. (2024). *Korelacija matematične anksioznosti in matematične motivacije pri pouku matematike v gimnaziji* [Unpublished manuscript].

Carlson, J. G. (1985). Recent Assessments of the Myers-Briggs Type Indicator. *Journal of Personality Assessment*, *49*(4), 356–365. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa4904\_3

Carlyn, M. (1977). An Assessment of the Myers-Briggs Type Indicator. *Journal of Personality Assessment*, *41*(5), 461–473. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa4105\_2

Crisianita, S., & Mandasari, B. (2022). The use of small-group discussion to improve students’ speaking skill. *Journal of English Language Teaching and Learning*, *3*(1), 61–66. https://doi.org/10.33365/jeltl.v3i1.1680

Druckman, D., & Bjork, R. A. (1991). *In the Mind’s Eye: Enhancing Human Performance* (p. 1580). National Academies Press. https://doi.org/10.17226/1580

Elliott, S. N., Malecki, C. K., & Demaray, M. K. (2001). New Directions in Social Skills Assessment and Intervention for Elementary and Middle School Students. *Exceptionality*, *9*(1–2), 19–32. https://doi.org/10.1080/09362835.2001.9666989

Fiorella, L., Yoon, S. Y., Atit, K., Power, J. R., Panther, G., Sorby, S., Uttal, D. H., & Veurink, N. (2021). Validation of the Mathematics Motivation Questionnaire (MMQ) for secondary school students. *International Journal of STEM Education*, *8*(1), 52. https://doi.org/10.1186/s40594-021-00307-x

Gnesdilow, D., Evenstone, A. L., Rutledge, J., Sullivan, S., & Puntambekar, S. (2013). *Group Work in the Science Classroom: How Gender Composition May Affect Individual Performance*. 34–37. https://doi.org/10.13140/2.1.1718.5285

Goreyshi, M. K., Kargar, F. R., Noohi, S., & Ajilchi, B. (2013). Effect of Combined Mastery-Cooperative Learning on Emotional Intelligence, Self-esteem and Academic Achievement in Grade Skipping. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *84*, 470–474. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.06.586

Gull, F., & Shehzad, S. (2015). Effects of Cooperative Learning on Students’ Academic Achievement. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, *9*(3), 246–255. https://doi.org/10.11591/edulearn.v9i3.2071

Hopko, D. R., Mahadevan, R., Bare, R. L., & Hunt, M. K. (2003). The Abbreviated Math Anxiety Scale (AMAS): Construction, Validity, and Reliability. *Assessment*, *10*(2), 178–182. https://doi.org/10.1177/1073191103010002008

Hossain, A., & Tarmizi, R. A. (2013). Effects of Cooperative Learning on Students’ Achievement and Attitudes in Secondary Mathematics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *93*, 473–477. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.09.222

Järvelä, S., Volet, S., & Järvenoja, H. (2010). Research on Motivation in Collaborative Learning: Moving Beyond the Cognitive–Situative Divide and Combining Individual and Social Processes. *Educational Psychologist*, *45*(1), 15–27. https://doi.org/10.1080/00461520903433539

Johns, B. H., Crowley, E. P., & Guetzloe, E. (2017). The Central Role of Teaching Social Skills. *Focus on Exceptional Children*, *37*(8). https://doi.org/10.17161/foec.v37i8.6813

Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2011). *Learning together and alone: Cooperative, competitive, and individualistic learning* (5. ed. [Repr.]). Allyn and Bacon.

Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Smith, K. A. (1991). *Cooperative learning: Increasing college faculty instructional productivity*. School of Education and Human Development, George Washington University.

Kalaian, S., Kasim, R., & Nims, J. (2018). Effectiveness of Small-Group Learning Pedagogies in Engineering and Technology Education: A Meta-Analysis. *Journal of Technology Education*, *29*(2), 20–35. https://doi.org/10.21061/jte.v29i2.a.2

Kanter, D. E., & Konstantopoulos, S. (2010). The impact of a project‐based science curriculum on minority student achievement, attitudes, and careers: The effects of teacher content and pedagogical content knowledge and inquiry‐based practices. *Science Education*, *94*(5), 855–887. https://doi.org/10.1002/sce.20391

Kellaghan, T., & Greaney, V. (2001). *Using assessment to improve the quality of education*. UNESCO: International Institute for Educational Planning.

Klados, M., Paraskevopoulos, E., Pandria, N., & Bamidis, P. (2019). The Impact of Math Anxiety on Working Memory: A Cortical Activations and Cortical Functional Connectivity EEG Study. *IEEE Access*, *7*, 15027–15039. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2892808

Kubale, V. (2015). *Skupinska učna oblika* (2. dopolnjena izd). Samozal. V. Kubale ; Piko’s Printshop.

Kurniawati, A. D., Genarsih, T., & Nurhidayati, M. (2023). Motivation to Learn Mathematics on Different Personality Types. *Sainstek : Jurnal Sains Dan Teknologi*, *15*(1), 36. https://doi.org/10.31958/js.v15i1.8622

Li, Q., Cho, H., Cosso, J., & Maeda, Y. (2021). Relations Between Students’ Mathematics Anxiety and Motivation to Learn Mathematics: A Meta-Analysis. *Educational Psychology Review*, *33*(3), 1017–1049. https://doi.org/10.1007/s10648-020-09589-z

Magnusson, L. O., & Bäckman, K. (2022). Teaching and learning in age-homogeneous groups versus mixed-age groups in the preschool – the Swedish example. *Cogent Education*, *9*(1), 2109802. https://doi.org/10.1080/2331186X.2022.2109802

Mahasneh, A. M., & Alwan, A. F. (2018). The Effect of Project-Based Learning on Student Teacher Self-efficacy and Achievement. *International Journal of Instruction*, *11*(3), 511–524. https://doi.org/10.12973/iji.2018.11335a

Major, D. A., Turner, J. E., & Fletcher, T. D. (2006). Linking proactive personality and the Big Five to motivation to learn and development activity. *Journal of Applied Psychology*, *91*(4), 927–935. https://doi.org/10.1037/0021-9010.91.4.927

McCaslin, W. J., & Lowman, J. (1985). Mastering the Techniques of Teaching. *Teaching Sociology*, *12*(4), 494. https://doi.org/10.2307/1318070

Moreno-Guerrero, A.-J., Jurado De Los Santos, P., Pertegal-Felices, M. L., & Soler Costa, R. (2020). Bibliometric Study of Scientific Production on the Term Collaborative Learning in Web of Science. *Sustainability*, *12*(14), 5649. https://doi.org/10.3390/su12145649

Pateşan, M., Balagiu, A., & Zechia, D. (2016). The Benefits of Cooperative Learning. *International Conference KNOWLEDGE-BASED ORGANIZATION*, *22*(2), 478–483. https://doi.org/10.1515/kbo-2016-0082

Peklaj, C. (2001). *Sodelovalno učenje ali Kdaj več glav več ve* (1. izd., 1. natis). DZS.

Peklaj, C., Podlesek, A., & Pečjak, S. (2015). Gender, previous knowledge, personality traits and subject-specific motivation as predictors of students’ math grade in upper-secondary school. *European Journal of Psychology of Education*, *30*(3), 313–330. https://doi.org/10.1007/s10212-014-0239-0

Popović, M., Savić, G., Kuzmanović, M., & Martić, M. (2020). Using Data Envelopment Analysis and Multi-Criteria Decision-Making Methods to Evaluate Teacher Performance in Higher Education. *Symmetry*, *12*(4), 563. https://doi.org/10.3390/sym12040563

Puklek, M. (2001). Skupinsko delo: Kako ga oceniti? *Didakta*, *11*(60/61), 47–51.

Rafiei Taba Zavareh, S. E., Bagheri, N., & Sabet, M. (2022). Effectiveness of Cooperative Learning on Math Anxiety, Academic Motivation and Academic Buoyancy in High school Students. *Iranian Evolutionary and Educational Psychology Journal*, *4*(3), 410–421. https://doi.org/10.52547/ieepj.4.3.410

Ramsay, A., Hanlon, D., & Smith, D. (2000). The association between cognitive style and accounting students’ preference for cooperative learning: An empirical investigation. *Journal of Accounting Education*, *18*(3), 215–228. https://doi.org/10.1016/S0748-5751(00)00018-X

Randall, K., Isaacson, M., & Ciro, C. (2017). Validity and Reliability of the Myers-Briggs Personality Type Indicator: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Best Practices in Health Professions Diversity*, *10*(1), 1–27.

Rau, W., & Heyl, B. S. (1990). Humanizing the College Classroom: Collaborative Learning and Social Organization among Students. *Teaching Sociology*, *18*(2), 141. https://doi.org/10.2307/1318484

Rodger, S., Murray, H. G., & Cummings, A. L. (2007). Gender Differences in Cooperative Learning with University Students. *Alberta Journal of Educational Research*, *53*(2), Article 2. https://doi.org/10.11575/ajer.v53i2.55260

Selimović, Z., Selimović, H., & Opić, S. (2018). Development of social skills among elementary school children. *International Journal of Cognitive Research in Science Engineering and Education*, *6*(1), 17–30. https://doi.org/10.5937/ijcrsee1801017S

Slavin, R. E. (1996). Research on Cooperative Learning and Achievement: What We Know, What We Need to Know. *Contemporary Educational Psychology*, *21*(1), 43–69. https://doi.org/10.1006/ceps.1996.0004

Slavin, R. E., Hurley, E. A., & Chamberlain, A. (2003). Cooperative Learning and Achievement: Theory and Research. In I. B. Weiner (Ed.), *Handbook of Psychology* (1st ed., pp. 177–198). Wiley. https://doi.org/10.1002/0471264385.wei0709

Smith, A. B., & Irey, R. K. (1974). *Personality Variables and the Improvement of College Teaching*. https://eric.ed.gov/?id=ED096313

Stickler, U., & Emke, M. (2011). Tandem Learning in Virtual Spaces: Supporting Non-formal and Informal Learning in Adults. In P. Benson & H. Reinders (Eds.), *Beyond the Language Classroom* (pp. 146–160). Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1057/9780230306790\_12

Sundre, D., Barry, C., Gynnild, V., & Tangen Ostgard, E. (2012). Motivation for Achievement and Attitudes toward Mathematics Instruction in a Required Calculus Course at the Norwegian University of Science and Technology. *Numeracy*, *5*(1). https://doi.org/10.5038/1936-4660.5.1.4

Tella, A. (2007). The Impact of Motivation on Student’s Academic Achievementand Learning Outcomes in Mathematics among Secondary School Students in Nigeria. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *3*(2). https://doi.org/10.12973/ejmste/75390

Tomić, A. (2002). *Spremljanje pouka* (1. natis). Zavod Republike Slovenije za šolstvo.

Vallée-Tourangeau, F., Sirota, M., & Villejoubert, G. (2013). Reducing The Impact of Math Anxiety on Mental Arithmetic: The Importance of Distributed Cognition. *Cognitive Science*, *35*. https://consensus.app/papers/reducing-impact-math-anxiety-mental-arithmetic-vall%C3%A9etourangeau/a1049a1c0af255c7a9d4f20dc1b547e2/

Van Der Laan Smith, J., & Spindle, R. M. (2007). The impact of group formation in a cooperative learning environment. *Journal of Accounting Education*, *25*(4), 153–167. https://doi.org/10.1016/j.jaccedu.2007.09.002

Van Diggele, C., Burgess, A., & Mellis, C. (2020). Planning, preparing and structuring a small group teaching session. *BMC Medical Education*, *20*(S2), 462. https://doi.org/10.1186/s12909-020-02281-4

Wahyu Ariani, D. (2013). Personality and Learning Motivation. *European Journal of Business and Management*, *5*.

Wang, Z., Lukowski, S. L., Hart, S. A., Lyons, I. M., Thompson, L. A., Kovas, Y., Mazzocco, M. M. M., Plomin, R., & Petrill, S. A. (2015). Is Math Anxiety Always Bad for Math Learning? The Role of Math Motivation. *Psychological Science*, *26*(12), 1863–1876. https://doi.org/10.1177/0956797615602471

Webb, N. M. (1991). Task-Related Verbal Interaction and Mathematics Learning in Small Groups. *Journal for Research in Mathematics Education*, *22*(5), 366. https://doi.org/10.2307/749186

Wilson, G. L., & Blednick, J. (2011). *Teaching in tandem: Effective co-teaching in the inclusive classroom*. ASCD.

Wyman, P. J., & Watson, S. B. (2020). Academic achievement with cooperative learning using homogeneous and heterogeneous groups. *School Science and Mathematics*, *120*(6), 356–363. https://doi.org/10.1111/ssm.12427

Yavuz, G., Ozyildirim, F., & Dogan, N. (2012). Mathematics Motivation Scale: A Validity and Reliability. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *46*, 1633–1638. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.05.352

Yu-Tzu Lin, Cheng-Chih Wu, Zhi-Hong Chen, & Pei-Yi Ku. (2020). How Gender Pairings Affect Collaborative Problem Solving in Social-Learning Context: The Effects on Performance, Behaviors, and Attitudes. *Educational Technology & Society*, *23*(4). https://doi.org/10.30191/ETS.202010\_23(4).0003

Žakelj, A., Bon Klanjšček, M., Jerman, M., Kmetič, S., Repolusk, S., Ruter, A., Legiša, P., & Hvastija, D. (2008). *Učni načrt. Matematika gimnazija: Splošna, klasična in strokovna gimnazija : obvezni predmet in matura (560 ur)*. Ministrstvo za šolstvo in šport : Zavod RS za šolstvo.

Zhang, W., Yang, A. C. H., Huang, L., Leung, D. Y. H., & Lau, N. (2022). Correlation between the composition of personalities and project success in project-based learning among design students. *International Journal of Technology and Design Education*, *32*(5), 2873–2895. https://doi.org/10.1007/s10798-021-09716-z

# Priloga A: Vprašalnik

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ciljna spremenljivka:  Označi, kje na linearni skali od 1 (Ne – zdi se mi izguba časa) do 3 (Metoda je bila zabavna in koristna) | 1. | Se ti je metoda (delo v skupini) zdela na sploh uspešna? Upoštevaj tako vidik napredovanja pri matematiki, kot popestritve pouka. |  |
| Kviz osebnosti (motivacija): Označi, koliko od 1 do 5 se strinjaš s trditvijo | 2. | V moji izobraževalni poti želim imeti čim več matematike | 2-3+4+5+6+7-8 |
| 3. | Na fakulteti bi se rad izognil matematki |
| 4. | Težavnost matematike me privlači |
| 5. | Učenje (napredne) matematike smatram za uporabno |
| 6. | Deljenje idej za reševanje matematičnega problema mi je v coni udobja |
| 7 | Rad imam matematiko |
| 8 | Matematika je dolgočasna |
| Kviz osebnosti (matematična anksioznost): Od 1 (skoraj nič anksioznosti) do 5 (velika anksioznost) označi, koliko ti sledeča stvar povzroča anksioznosti (nelagodja, tesnobe) | 9 | Uporaba in iskanje formul ter tabel na zadnji strani poglavja v učbeniku | 9+10+11+12+13+14+15+16+17 |
| 10 | Razmišljanje o testu matematike dan prej |
| 11 | Gledanje profesorja, ki na tablo rešuje enačbo |
| 12 | Pisanje testa matematike |
| 13 | Prejemanje domače naloge pri matematiki |
| 14 | Poslušanje ure matematike v razredu |
| 15 | Poslušanje sošolca, ki razlaga snov pri matematiki |
| 16 | Pisanje kratkega nenapovedanega preverjanja pri matematiki |
| 17 | Začetek nove snovi pri pouku matematike |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Kviz osebnosti (MBTI): Za vsak par označi, kje na lestvici (od 1 do 5) med elementoma, meniš, da si | 18 | Naredim seznam | Zanašam se na spomin | Introvertiranost / ekstrovertiranost:  Sensing / intuicija  Meja za vse: 24 |
| 19 | Skeptičen | Želim verjeti |
| 20 | Dolgčas mi je biti sam | Potrebujem čas zase |
| 21 | Sprejmem stvari take kot so | Nisem zadovoljen s trenutnim stanjem |
| 22 | Skrbim za čistočo sobe | Odlagam stvari kjerkoli |
| 23 | Oznaka človeka kot “robota” je žaljiva | Stremim k “mehaničnemu” razmišljanju |
| 24 | Poln energije | Relaksiran |
| 25 | Raje imam vprašanja zaprtega tipa | Raje imam esejska vprašanja |
| 26 | Sem kaotičen | Sem organiziran |
| 27 | Enostavno me je čustveno raniti | Imam trdo kožo |
| 28 | Najbolje delam v skupinah | Najbolje delam sam |
| 29 | Osredotočen sem na sedanjost | Osredotočen sem na prihodnost |
| 30 | Načrte delam vnaprej | Narte delam zadnji hip |
| 31 | Želim spoštovanje drugih | Želim ljubezen drugih |
| 32 | Zabave me utrujajo | Na zabavah zaživim |
| 33 | Fits in | Izstopam |
| 34 | Imam rezervne načrte | Dejanju sem predan |
| 35 | Želim biti dober v popravljanju stvari | Želim biti dober v “popravljanju” oseb |
| 36 | Več govorim | Več poslušam |
| 37 | Ko razalagm dogodek, povem, kaj se je zgodilo | Ko razalagm dogodek se osredotočim na njegov pomen |
| 38 | Dela se hitro lotim | Z delom odlašam (prokrastiniram) |
| 39 | Sledim srcu | Sledim glavi |
| 40 | Ostanem doma | Grem ven |
| 41 | Želim širšo sliko zgodbe | Želim podrobnosti zgodbe |
| 42 |  |  |
| 42 | Improviziram | Se pripravim |
| 43 | Etiko temeljim na pravici | Etiko temeljim na sočustvovanju |
| 44 | Ne maram kričati | kričanje, ko so poslušalci daleč mi je naravno |
| 45 | Raje imam teorijo | Raje imam prakso (empirijo) |
|  | 46 | Trdo delam | Trdo se zabavam |  |
|  | 47 | Čustva me spravijo iz cone udobja | Čustva upoštevam in cenim |  |
|  | 48 | Rad nastopam pred ljudmi | Javnemu govoru se izogibam |  |
|  | 49 | Želim vedeti kdo, kaj, kdaj. | Želim vedeti zakaj |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Splošna vprašanja | 50 | 48 | Lanska zaključna ocena pri matematiki | Možne vrednosti 1 – 5 |
| 51 | 49 | Razred | n možnih izbir |
| 52 | 50 | Spol | 2 možni izbiri |
| 53 | 51 | Učeči profesor | n možnih izbir |
| Vprašanja, ki se navezujejo na tandemsko delo | 54 | 52 | Oceni, koliko je bilo v povprečju v tandemu interakcije | 3 možne izbire:  0 (skoraj nič) – 2 (veliko) |
| 55 | 53 | Oceni, kako produktivna je bila interakcija | 3 možne izbire:  0 (več klepetanja kot produktivnega dela) – 2... |
| 56 | 54 | Si pripomogel več kot tvoj partner v tandemu | 3 možne izbire:  0 (pripomogel sem manj) – 2 (pripomogel sem več) |