**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:**

doc. dr. Daniel Doz Bor Bregant

**Somentor**

prof. dr. Darjo Felda

Koper, 2024

# 1 Navedba znanstvenega področja

Doktorska disertacija združuje znanje iz pedagogike, didaktike matematike ter področij rudarjenja podatkov in strojnega učenja, s ciljem izboljšati izbiro učne metode v tandemu pri poučevanju matematike. Z uporabo metod umetne inteligence, zlasti klasifikacije in izbire ključnih značilk, raziskava proučuje kompleksne vzorce, ki določajo, ali obravnavana učna metoda ustreza posamezniku. Študija ponuja 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

Klasius - SRV 8202

Klasius - P – 16 3 – 0114, 2 – 0588, 2 – 0688, 2 – 0542

# 2 Izvleček

Eden od načinov za doseganje učinkovitega pouka je implementacija različnih učnih metod, med katere spada tudi tandemsko učenje, ki predstavlja nišo sodelovalnega učenja v majhnih skupinah. Ne odzovejo pa se vsi dijaki enako na novo učno okolje, zato je za vzgojno-izobraževalne institucije nujno razkrivanje vpogledov za izbiro napovednega modela, prilagojenega posameznim dijakom ali razredom. Znanje o tem lahko pridobimo v širokih podatkovnih bazah z uporabo tehnik rudarjenja podatkov. Glavni cilj študije je dvojen: (1) identificirati ključne spremenljivke, ki vplivajo na uspešnost dijakov pri tandemskem učenju z uporabo algoritmov strojnega učenja, in (2) oceniti uspešnost algoritmov strojnega učenja pri napovedovanju odziva dijaka na tandemsko učenje.

Uporabili bomo vzorec dijakov izbrane slovenske gimnazije in 13 napovednih spremenljivk. Dijaki bodo anketirani po enotedenski implementaciji tandemskega učenja v njihovo učno okolje z uporabo spletnega vprašalnika. Napovedne (odvisne) spremenljivke bodo spol, razred, učitelj, končna ocena iz matematike v predhodnem šolskem letu, spremenljivke modela Myers-Briggs (imenovan tudi model 16 osebnosti – MBTI; angl. *Myers-Briggs Type Indicator*), to so ekstravertiranost – introvertiranost, intuicija – zaznavanje, čutenje – mišljenje in presojanje – opazovanje, matematična anksioznost, motivacija za matematiko, kvalitativna in kvantitativna interakcija pri tandemskem delu ter ali je dijak prispeval v tandemu več kot njegov partner. Ciljna (neodvisna) spremenljivka bo označevala, ali dijak dobro reagira na izvedbo tandemskih učnih aktivnosti (tako z vidika napredka pri matematiki kot počutja) in bo merjena na treh stopnjah. V prvem delu študije bomo preizkusili, katere napovedne spremenljivke so najpomembnejše, z metodo vzajemnih informacij (angl. *mutual information*) in metodo rekurzivne eliminacije značilk (angl. *recursive feature elimination*) z uporabo logistične regresije. V drugem delu študije bomo implementirali deset klasifikacijskih algoritmov strojnega učenja za napovedovanje uspeha in te modele ocenili s 5 x 2 prepogibnim križnim preverjanjem (angl. *cross validation*).

**Ključne besede:**

Gimnazija, matematika, podatkovno rudarjenje, strojno učenje, tandemsko učenje, vzgoja in izobraževanje.

# 3 Teoretična izhodišča raziskave

Izobraževalne institucije težijo k stalnemu izboljševanju izobraževalnih standardov, ki se uveljavljajo z reformami vzgojno-izobraževalnih ustanov in sistemov (Kellaghan & Greaney, 2001). Reforme se uveljavljajo na ravni države, šole, pa tudi učitelja (kar se navezuje naprej na učne metode; glej pri nas Zakon o gimnazijah in Belo knjigo o vzgoji in izobraževanju).

V smeri zagotavljanja kakovostnega izobraževanja vzgojno-izobraževalne 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 idr., 2003). V luči novih praks so številni raziskovalci predlagali uporabo različnih oblik učenja v majhnih skupinah (Wang idr., 2023), saj naj bi bile učinkovitejše pri spodbujanju večjih akademskih dosežkov (Kalaian & Kasim, 2014; Moreno-Guerrero idr., 2020; Puklek, 2001; Rau & Heyl, 1990), pozitivnejših stališč do učenja (Gaudet idr., 2010; Hillyard idr., 2010) ter povečane vztrajnosti pri predmetih in programih STEM (znanost, tehnologija, inženirstvo in matematika; Kalaian idr., 2018; Micari idr., 2010; Wieselmann idr., 2020; 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 razrednim skupnostim.

Mnogo sodobnih pedagogov, psihologov, sociologov in teoretikov v edukacijskih vedah se strinja, da je posameznik v moderni družbi pripadnik mnogo skupin, zato je pomembno, da učenci že med vzgojno-izobraževalnim procesom razvijejo pomembne veščine socializiranja (Elliott idr., 2001; Johns idr., 2017; Selimović idr., 2018). Implementacija dela v skupini doseže pet pomembnih ciljev (Peklaj, 2001): (1) učenci se učijo drug o drugem, (2) razvijejo skupinsko identiteto, (3) podpirajo drug drugega, (4) učijo se razlik drug o drugem in (5) razvijejo karakteristike timskega dela. Ti pristopi h karakterizaciji ciljev se skladajo s tako imenovanimi fundamentalnimi elementi učenja v skupini (Johnson idr., 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 ter (5) stalna in periodična evalvacija skupinske dinamike in uspeha. Z upoštevanjem teh principov lahko učitelji v vzgoji in izobraževanju bolje razvijejo socialne in medosebne kompetence učencev. Slavin idr. (2003) identificirajo štiri teoretične poglede na vpliv uspešnosti dela v skupini: (1) motivacijski, (2) socialno-kohezijski, (3) kognitivno-razvojni in (4) kognitivno-razdelovalni vidik. Zadnja se nanašata predvsem na interakcijo med člani skupin. Te štiri perspektive se med sabo prepletajo in dopolnjujejo. Slovenski učni načrt za matematiko v gimnaziji izpostavlja skupinsko delo kot eno od procesnih znanj (Žakelj idr., 2008). Delo v skupini ima tako prednosti kot slabosti, ki so zbrane v Preglednici 1.

Preglednica 1: Prednosti in slabosti dela v skupini

|  |  |
| --- | --- |
| **Prednosti** | **Slabosti** |
| Boljši dosežki učenca na podlagi ocen in doseganja učnih ciljev (Kalaian & Kasim, 2014; Moreno-Guerrero idr., 2020; Puklek, 2001; Rau & Heyl, 1990). | Skupinski cilj ima prednost pred individualnim (Mendo-Lázaro idr., 2022; Puklek, 2001). |
| Medosebna podpora in razvoj veščin, nujnih za nudenje pomoči (Flaherty, 2022; Puklek, 2001). | Pomanjkanje izkušenj pri implementaciji lahko vodi v zamero do učne metode (Puklek, 2001; Saito idr., 2021). |
| Razvoj različnih veščin (kognitivnih, čustvenih, motivacijskih, socialnih veščin in razumevanje samega sebe) (Pateşan idr., 2016; Puklek, 2001). | Člani skupine se osredotočijo le na nalogo, ki je vezana na njih (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 (Choi & Hur, 2023; Puklek, 2001). |
| Izboljšanje samopodobe in samospoštovanja (Pateşan idr., 2016). | Manjša učinkovitost, če so prisotne razlike med člani skupine (Puklek, 2001). |
| Manjša anksioznost in stres (Goreyshi idr., 2013). | Težka izvedba v razredih z velikim številom učencev (Jerez idr., 2021; Kubale, 2015). |
| Nekateri avtorji pravijo, da delo v skupini ovira učence, ki navadno dosegajo višje rezultate, saj so primorani razlagati snov drugim učencem (Setiana idr., 2020). Temu marsikdo nasprotuje in trdi celo, da odnesejo od takega pouka več kot tisti, ki inštrukcije pridobivajo. Raziskave kažejo, da ima delo v skupinah enake prednosti za vse učence vseh ravni znanja (Baer, 2003; Slavin idr., 2003; Wyman & Watson, 2020). | |

Mnogo študij, ki so raziskovale posledice dela v skupini na akademski uspeh (Ahmad, 2010; Gull & Shehzad, 2015; Hossain & Tarmizi, 2013), je ugotovilo pozitiven vpliv (Al Mulhim & Eldokhny, 2020; Bilgin idr., 2015; Johnson & Johnson, 2011; Kalaian idr., 2018; Kanter & Konstantopoulos, 2010; Mahasneh & Alwan, 2018; Slavin, 1996; Webb, 1991).

Med oblikami učenja v majhnih skupinah je treba 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 dvojici več možnosti za sodelovanje kot pri frontalnem učenju, a nista sama, kot bi bila pri individualnem pristopu (Blažič idr., 2003).

Za napovedovanje uspešnosti dela v tandemu moramo razumeti širok spekter spremenljivk, ki lahko vplivajo na uspešnost. Ozadje problema nakazuje vpogled v splošne dejavnike, kot so spol, razred, učeči profesor in ocena pri predmetu. Slednja morda nima znatnega vpliva (Slavin idr., 2003; Van Der Laan Smith & Spindle, 2007), medtem ko spol domnevno vpliva, toda rezultati so pomanjkljivi in pogosto nasprotujoči (Gnesdilow idr., 2013; Rodger idr., 2007) – težko je tudi ločiti, ali ima večji vpliv spol posameznika ali kompozicija skupine glede na spol; ženske se bolje odzovejo tako v sodelovalnem kot tekmovalnem okolju (Rodger idr., 2007). Raziskave o vplivu pripadajočega razreda in učečega profesorja so redke, razen splošnih navodil, kako delo v tandemu implementirati (McCaslin & Lowman, 1985; Van Diggele idr., 2020). Poleg splošnih demografskih vidikov lahko opazujemo psihološki profil učencev, kjer pridejo v poštev tip osebnosti (Akben-Selcuk, 2017; Kurniawati idr., 2023; Major idr., 2006; Peklaj idr., 2015; Wahyu Ariani, 2013), matematična anksioznost (Li idr., 2021; Wang idr., 2015) in motivacija za učenje matematike (Tella, 2007). Model Myers-Briggs (angl. *Myers-Briggs Type Indicator*; MBTI) meri osebnostni tip (v literaturi tudi kognitivni stil) v štirih dimenzijah: ekstravertiranost – introvertiranost (IE), zaznavanje – intuicija (SN), čutenje – mišljenje (FT) in presojanje – opazovanje (JP) (Ramsay idr., 2000). Največji vpliv na odziv do sodelovalnega učenja naj bi imela dimenzija IE (Farooqi, 2021; Ramsay idr., 2000; Smith & Irey, 1974), medtem ko so preostale razsežnosti bolj stvar špekulacije in še niso podkrepljene z empiričnimi raziskavami (Ramsay idr., 2000). Vprašalnik MBTI uporablja lestvico pomenskih razlik. Matematična anksioznost negativno vpliva na uspeh pri skupinskem delu, saj slabša delovni spomin, vpliva na reševanje problemov ter izbiro strategije za reševanje problema in je še posebej vplivna v kontekstu, kjer je rezultat uspeha pomemben (Klados idr., 2019). V okoljih skupinskega dela, kjer je interakcija kvantitativno višja, pa se vpliv matematične anksioznosti lahko zmanjša (Vallée-Tourangeau idr., 2013). Ti rezultati so v skladu tudi z raziskavami, ki kažejo, da skupinsko delo manjša matematično anksioznost (Batton, 2010; Rafiei Taba Zavareh idr., 2022). Matematična motivacija je dejavnik, ki je z matematično anksioznostjo v negativni korelaciji (Bregant, Doz, & Lepičnik Vodopivec, V recenziji) in ga lahko uspešno manjšamo s pomočjo skupinskega dela (Järvelä idr., 2010). Dejavnike lahko opazujemo tudi pri izvedbi učne ure, kjer imamo kvaliteto interakcije v dvojici (npr. vsebina debate), kvantiteto interakcije (npr. kolikokrat v dvojici pride do debate) in ali učenec v dvojici pripomore več kot dodeljen partner v tandem (Bregant idr., 2025). Na boljši učni uspeh vpliva tudi pozitivna plat tekmovalnosti med člani skupin (Puklek, 2001).

Do sedaj smo razmišljali o kompoziciji dela v skupini, pred tem pa moramo vzeti v ozir, kako skupine (oziroma tandeme) formulirati. Predlaganih je več kriterijev razporejanja, ki lahko dinamično oblikujejo heterogene, homogene in mešane skupine. Zbrani so v Preglednici 2. Mnogo študij je obravnavalo slabosti in prednosti homogeniziranja oziroma heterogeniziranja skupin glede na različne metrike, kot so starost (Magnusson & Bäckman, 2022), tip osebnosti (Zhang idr., 2022), spol (Yu-Tzu Lin idr., 2020) in akademski uspeh (Wyman & Watson, 2020). Obravnavane prednosti in slabosti so se merile tako na podlagi uspeha metode z vidika pridobljenega znanja, pridobivanja socialnih veščin in drugih aktivnosti ter interakcij. Stvar debate so tudi različni algoritmi formuliranja skupin (Amara idr., 2021). V ozir je treba vzeti velikost skupin; nekatere študije zagovarjajo večje skupine, ki naj bi prinesle kvalitetnejše rezultate, druge zagovarjajo manjše skupine, ki naj bi spodbujale tekmovalno okolje in motivacijo (Ahmad idr., 2021). Različni rezultati izvirajo iz različnih eksperimentalnih okolij, študijskih področij in opazovanih metrik.

Preglednica 2: Kriteriji razvrščanja v skupine, povzeto po Amara idr. (2016)

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

Kot smo že predhodno zapisali, ima mnogo dejavnikov vpliv na uspeh obravnavane učne metode, torej se za razvoj holističnega modela nabori podatkov večajo in zavzemajo vse bolj zapletene vzorce. Odkrivanje teh nas sili v bolj zapletene statistične metode, v katerih se pogosto uporablja umetna inteligenca. Umetna inteligenca (angl. *artificial intelligence*; AI) je sposobnost digitalnega računalnika ali računalniško vodenega robota, da opravlja dela, pogosto asociirana z inteligentnimi bitji (Copeland, 2023).

Rudarjenje podatkov je proces odkrivanja skritih vzorcev, relacij in vpogledov v velike nabore podatkov s tehnikami statistike in podatkovnih baz (Baradwaj & Pal, 2012). Vključuje tako obdelavo podatkov, da preliminarno uredimo nabore za analizo, kot metode gručenja in modele z ročno vnešenimi pravili (angl. *association rule mining*) (Singhal & Jena, 2013). Kontrastno je strojno učenje (angl. *machine learning*; ML) – veja umetne inteligence, ki se osredotoča na modele napovedi s tem, da omogoči stroju (računalniku) lastno učenje iz podatkov z namenom ustvarjanja odločitve oziroma napovedi (Candanedo idr., 2018). Strojno učenje tako zavzema mnogo učnih paradigem in se uporablja predvsem v sistemih priporočanja. Fundamentalna naloga je klasifikacija, ki zajema kategorizacijo podatkov v že definirane razrede (lahko binarne ali večstopenjske) na podlagi že naučenih in klasificiranih podatkov. To je uporabno v mnogo domenah, vključno s tako imenovano *analizo razpoloženja* (Baradwaj & Pal, 2012), ki vključuje tudi edukacijske vede (Shaik idr., 2023).

V edukacijskih vedah se umetna inteligenca pojavlja na več nivojih (Zhai idr., 2021). Vidimo jo kot podporo pri učenju učencev, podpori učencev in podpori učiteljev (Holmes idr., 2019). Kar zajema specifične vidike, pa je najbolj izpostavljena napoved učenčeve uspešnosti (Ofori idr., 2020; Qazdar idr., 2019; Rastrollo-Guerrero idr., 2020; Yakubu & Abubakar, 2022). S pomočjo analitike podatkov in naprednih algoritmov so bili modeli strojnega učenja uporabljeni za napoved uspeha (Yakubu & Abubakar, 2022), identifikacijo učencev, ki kakorkoli nazadujejo (angl. *at risk learners*) (Adnan idr., 2021; Chui idr., 2020), in za prilagoditev intervencij v vzgoji in izobraževanju (Luan & Tsai, 2021; Stimpson & Cummings, 2014; Tsai idr., 2020; Yang, 2021). Uveden je bil tudi koncept učne analitike (Siemens & Gasevic, 2012), katerega uporaba nakazuje več študij (Abana, 2019; Bhusal, 2021; Cortez & Silva, 2008; Kotsiantis idr., 2004; Minaei-Bidgoli idr., 2003). Poleg napovedovanja nam strojno učenje nudi vpogled v pomembnosti značilk, ki vplivajo na uspeh napovedi (Lu idr., 2020; Luan & Tsai, 2021). Več študij je bilo narejenih s ciljem identificiranja ključnih značilk v učnem okolju, v katerem se uporabljajo različne učne metode (Hodges, 2018; Humphrey idr., 2009; Moradi idr., 2018; Scribner & Donaldson, 2001), toda sodobne tehnologije strojnega učenja, ki lahko nudijo dodaten vpogled v obravnavan problem, pogosto niso vključene.

Na Slovenskem je študij o skupinskem delu z izjemo nekaj zaključnih nalog malo. Omenimo le nekoliko zastarelo, a vseeno zgovorno raziskavo Razdevšek-Pučko (1993), ki opozarja na problem dominacije učitelja v komunikaciji na podlagi opazovanj dveh slovenskih šol. Podobna spoznanja z dodatkom, da je delež posrednega poučevanja pri nas razmeroma majhen, podaja Tomić (2003). Kot v tujini (*American Association for the Advancement of Science (AAAS)*, b. d.) je skupinsko delo priporočeno tudi pri nas, kot smo ponazorili z učnim načrtom gimnazijske matematike. Strojno učenje je vse bolj uporabljeno za raziskave tudi na naših tleh, je pa področje edukacije tisto, kjer je uporabo treba še spodbuditi. Se pa o tem že govori, na primer v konferenčnem prispevku Govekar-Okoliš idr. (2020).

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

Disertacija sloni na problemu dokaj neraziskanega področja uspešnosti učnih metod. Literatura kaže, da ima več dejavnikov nezanemarljiv učinek na odnos do tandemskega učenja, torej je vpliv teh dejavnikov treba raziskati. V nekaterih raziskavah (poglavje teoretična izhodišča) se srečamo z idejo, da nam vpogled v problem omogoča rudarjenje podatkov – in sicer metode strojnega učenja, ki so dobile zagon šele v zadnjih letih. Raziskave so pokazale, da imajo metode strojnega učenja večjo statistično moč kot klasične metode.

Cilj raziskave je razviti model, ki na podlagi določenih vhodnih informacij predvidi, ali se posameznik na delo v tandemu dobro odzove. Raziskati želimo, kateri uveljavljeni modeli se pri napovedi obnesejo bolje in katere značilke so pri napovedi 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 na tandemsko učenje.

Tudi če raziskave ne bodo nudile plodnih rezultatov, kar deloma pričakujemo glede na pomanjkanje literature, opravljene raziskave vseeno vplivajo na širše razumevanje konteksta tandemskega učenja. Poleg tega bodo lahko služile za zagon drugih raziskav, ki bi prišle do ugotovitev na podlagi novejših (AI/ML) statističnih metod, a zaradi pomanjkanja literature še niso. Pričakujemo, da bodo modeli vseeno dokaj natančno napovedali rezultat (vsaj natančneje od ugibanja) in da bodo spremenljivke, vezane na delo v tandemu, imele večjo napovedno moč kot spremenljivke, vezane na informacije splošnega značaja in psihološkega ozadja.

# 5 Prispevek k znanosti

Disertacija se osredotoča na integracijo in implementacijo tehnik strojnega učenja v kontekst vzgoje in izobraževanja. Ker je to področje razmeroma še neraziskano, prispevek k znanosti ni osredotočen na rezultate raziskav širšega pogleda na tandemsko delo, temveč teži k širjenju obzorij v edukaciji na podlagi sodobnih statističnih metod.

Širši diskurz obravnave uspešnosti tandemskega učenja je večkrat problematičen, saj je evalvacija pogosto subjektivna (Popović idr., 2020) in zato morda ne odraža dejanskega stanja. V disertaciji si torej prizadevamo raziskati metode, ki bi to evalvacijo 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 teh modelov se lahko izdela posebne programske opreme, ki bi učence avtomatično razvrstile glede na pričakovan odziv na tandemsko delo (ki ga z novimi podatki za treniranje modelov umetne inteligence lahko enostavno 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 na druge vhodne podatke.

# 6 Metode raziskovanja

Uporabljena bo kavzalna neeksperimentalna metoda pedagoške raziskave na kvantitativnih podatkih. Po pridobitvi ustreznih soglasij s strani šole in dijakov, v skladu z etičnimi standardi Helsinške deklaracije in evropske splošne uredbe o varstvu podatkov, bodo profesorji, vključeni v raziskavo v okviru manjšega števila ur (tega ne bomo specificirali, temveč bo implementacija mehkejše narave glede na odziv profesorja) matematike v drugem in tretjem letniku neke gimnazije na Slovenskem, pouk izvedli v obliki tandemskega učenja.

Po izvedenih urah bodo dijaki izpolnili vprašalnik v obliki spletne ankete v orodju *Google Forms* s 56 vprašanji, ki bodo določali 14 spremenljivk. Ena od teh bo ciljna spremenljivka na tristopenjski Likertovi lestvici, ki bo določala dijakov odziv na uporabljene metode dela v tandemu. Napovedne spremenljivke, skupaj s kratkimi kategorizacijami, so zbrane v Preglednici 3. Vzorec bo priložnosten (neslučajnostni) in za kandidate v raziskavi neobvezen po navodilih ravnatelja šole v raziskavi brez kriterijev vključenosti in izključenosti.

Preglednica 3: Predvidene spremenljivke, ki jih bomo zajeli v raziskavi

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Spremenljivka** | **Možne vrednosti** | **Tip spremenljivke in pripadajoč instrument** | **Število vprašanj, ki določa spremenljivko (instrument)** |
| Spol | 0–1 (Moški, ženska) | Splošna | 1 |
| Razred | 0–6 (7 razredov v raziskavi) | Splošna | 1 |
| Profesor | 0–3 (4 profesorji) | Splošna | 1 |
| Ocena pri matematiki predhodnega šolskega leta | 1–5 | Splošna | 1 |
| IE | 8–40 | Psihološka  (test MBTI) | 8 |
| SN | 8–40 | Psihološka  (test MBTI) | 8 |
| FT | 8–40 | Psihološka  (test MBTI) | 8 |
| JP | 8–40 | Psihološka  (test MBTI) | 8 |
| Matematična anksioznost | 7–45 | Psihološka  (test AMAS1) | 9 |
| Matematična motivacija | 9–35 | Psihološka  (del testa ATMI1) | 7 |
| Kvalitativna interakcija | 1–3 (delo ni bilo produktivno – delo je bilo produktivno) | Vezano na tandemsko učenje | 1 |
| Kvantitativna interakcija | 1–3 (malo interakcije – veliko interakcije) | Vezano na tandemsko učenje | 1 |
| Prekašanje partnerja v tandemu | 1–3 (pripomogel manj– pripomogel več) | Vezano na tandemsko učenje | 1 |

1Testa AMAS in ATMI sta obrazložena spodaj

Za zgoraj navedene spremenljivke, ki določajo psihološki profil dijaka, bomo izbrali kombinacijo uveljavljenih instrumentov, ki jih bomo prilagodili družbenemu, kulturnemu in socialnemu okolju šole. Za določanje spremenljivk tipa osebnosti bomo uporabili *Open extended Jungian Type Scale test* (OEJTS), ki velja za odprtokodno različico testa MBTI. Matematično anksioznost bomo določili s pomočjo testa *Abbreviated Math Anxiety Scale* (AMAS), matematično motivacijo pa kot del instrumenta *Attitudes Toward Math Instruction* (ATMI). Zadnja testa sta že potrjeno veljavna (Cho, 2022; Fiorella idr., 2021; Hopko idr., 2003; Primi idr., 2020; Sundre idr., 2012; Yavuz idr., 2012), test OEJTS pa ima tako argumente za (Carlson, 1985; Carlyn, 1977; Randall idr., 2017) kot proti (cf. Boyle, 1995; Druckman & Bjork, 1991). Celoten vprašalnik najdemo v Prilogi A.

Statistika bo izvedena s pomočjo programskega jezika *Python*, primarno z uporabo knjižnic *pandas* in *scikit-learn*. Statistična koda, tako kot tudi anonimiziran nabor podatkov, bosta odprto dostopna. Zanesljivost vprašalnika glede razmernostnih spremenljivk bomo testirali z uporabo Cronbachovega α-koeficienta. Za hipotezo glede pomembnosti značilk bomo uporabili metodi vzajemne informacije (angl. *Mutual Information*; MI) in rekurzivno eliminacijo značilk (angl. *Recursive feature elimination*; RFE) z ozirom na logistično regresijo. Za klasifikacijo uspešnosti algoritmov bomo uporabili deset metod, specifično naivni Baesov klasifikator, k-najbližjih sosedov, odločitveno drevo, model Gaussove mešanice, logistično regresijo, linearno diskriminantno analizo, ADAboost, gradient krepitev, metodo podpornih vektorjev in naključne gozdove. Uspešnosti izbranih modelov bomo vizualizirali z matriko zmede (angl. *confusion matrix*) in validirali s pomočjo križnega preverjanja (angl. *cross validation*). Vizualizacijo podatkov napovedi bomo poskusili dobiti s pomočjo metode *t-SNE*, ki velja za metodo nižanja dimenzije problema.

# 7 Kazalo predvidene vsebine disertacije

1. Uvod
2. Teoretični del
   1. Pouk in učne oblike
      1. Kratko o pouku
      2. Neposredna in posredna učna oblika
      3. Pouk matematike in učne oblike pri njem
   2. Psihološki oris osebnosti
      1. Matematična anksioznost
      2. Motivacija za matematiko
      3. Tip osebnosti
   3. Delo v skupini oziroma tandemu
      1. Začetki, razvoj in možnosti dela v tandemu
      2. Potek in struktura dela v tandemu
      3. Prednosti in slabosti dela v tandemu
      4. Od skupinskega do sodelovalnega in tandemskega učenja
      5. Spremenljivke, ki vplivajo na delo v tandemu
      6. Formiranje skupin
      7. Delo v skupini pri pouku matematike
   4. Strojno učenje in klasifikacija
      1. Uvod v umetno inteligenco
      2. Strojno učenje
      3. Naloga klasifikacije in izbire napovednih spremenljivk
      4. Naloga reduciranja dimenzije prostora
   5. Strojno učenje v edukacijskih vedah
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. Deskriptivna statistika
      2. Test zanesljivosti
      3. Test normalnosti
      4. Test povezanosti značilk
      5. Test pomembnosti značilk
      6. Test napovedi
      7. Test manjšanja dimenzije prostora oziroma vizualizacija podatkov
4. Diskusija
5. Sklepne ugotovitve, nadaljnje usmeritve in omejitve
6. Literatura in viri
7. Priloge
   1. Vprašalnik
   2. Koda strojnega učenja
   3. Test statistične signifikantnosti napovednih spremenljivk
   4. Data management plan

# 8 Navedba osnovne literature in virov

Abana, E. C. (2019). A Decision Tree Approach for Predicting Student Grades in Research Project using Weka. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, *10*(7). https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100739

Adnan, M., Habib, A., Ashraf, J., Mussadiq, S., Raza, A. A., Abid, M., Bashir, M., & Khan, S. U. (2021). Predicting at-Risk Students at Different Percentages of Course Length for Early Intervention Using Machine Learning Models. *IEEE Access*, *9*, 7519–7539. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3049446

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.

*American Association for the Advancement of Science (AAAS)*. (b. d.). [Web page]. Library of Congress, Washington, D.C. 20540 USA. Pridobljeno 11. januar 2024, s https://www.loc.gov/item/lcwaN0002953/

Arias, R., & Peralta, H. (2011). La enseñanza, una puerta para la complejidad y la crítica. *Estudios Pedagógicos (Valdivia)*, *37*(1), 293–302. https://doi.org/10.4067/S0718-07052011000100017

Baer, J. (2003). Grouping and Achievement in Cooperative Learning. *College Teaching*, *51*(4), 169–175. https://doi.org/10.1080/87567550309596434

Baradwaj, B. K., & Pal, S. (2012). *Mining Educational Data to Analyze Students’ Performance* (arXiv:1201.3417). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1201.3417

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

Bhusal, A. (2021). *Predicting Student’s Performance Through Data Mining*. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2112.01247

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. (with Tancer, M.). (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., Doz, D., & Felda, D. (V delu). Leveraging AI for Effective Teaching: A Machine Learning Approach to Tandem Learning in Mathematics.

Bregant, B., Doz, D., & Hudovernik, S. (2025). Factors influencing tandem learning in mathematics. *International journal of instruction*, *18*(1), 437–463. http://dx.doi.org/10.29333/iji.2025.18124a

Bregant, B., Doz, D., & Lepičnik Vodopivec, J. (V recenziji). Korelacija matematične anksioznosti in matematične motivacije pri pouku matematike v gimnaziji. *Revija za elementarno izobraževanje*.

Candanedo, I. S., Nieves, E. H., González, S. R., Martín, M. T. S., & Briones, A. G. (2018). Machine Learning Predictive Model for Industry 4.0. V L. Uden, B. Hadzima, & I.-H. Ting (Ur.), *Knowledge Management in Organizations* (Let. 877, str. 501–510). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95204-8\_42

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

Cho, K. W. (2022). Measuring Math Anxiety Among Predominantly Underrepresented Minority Undergraduates Using the Abbreviated Math Anxiety Scale. *Journal of Psychoeducational Assessment*, *40*(3), 416–429. https://doi.org/10.1177/07342829211063286

Choi, H., & Hur, J. (2023). Passive Participation in Collaborative Online Learning Activities: A Scoping Review of Research in Formal School Learning Settings. *Online Learning*, *27*(1). https://doi.org/10.24059/olj.v27i1.3414

Chui, K. T., Fung, D. C. L., Lytras, M. D., & Lam, T. M. (2020). Predicting at-risk university students in a virtual learning environment via a machine learning algorithm. *Computers in Human Behavior*, *107*, 105584. https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.06.032

Copeland, J. (2023). Artificial intelligence. V *Encyclopedia Britannica*. https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence

Cortez, P., & Silva, A. (2008). *Using data mining to predict secondary school student performance*.

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* (str. 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

Farooqi, S. (2021). *Social Support in the Classroom: Being Sensitive to Introversion and Shyness*. *11*, 109–119.

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

Flaherty, H. B. (2022). Using Collaborative Group Learning Principles to Foster Community in Online Classrooms. *Journal of Teaching in Social Work*, *42*(1), 31–44. https://doi.org/10.1080/08841233.2021.2013390

Gaudet, A. D., Ramer, L. M., Nakonechny, J., Cragg, J. J., & Ramer, M. S. (2010). Small-Group Learning in an Upper-Level University Biology Class Enhances Academic Performance and Student Attitudes Toward Group Work. *PLoS ONE*, *5*(12), e15821. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015821

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

Govekar-Okoliš, M., Jeznik, K., Breznikar, N., & Skubic Ermenc, K. (2020). Pedagoško-andragoški dnevi 2020. *Andragoška spoznanja*, *26*(2), 125–131. https://doi.org/10.4312/as.26.2.125-131

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

Hillyard, C., Gillespie, D., & Littig, P. (2010). University students’ attitudes about learning in small groups after frequent participation. *Active Learning in Higher Education*, *11*(1), 9–20. https://doi.org/10.1177/1469787409355867

Hodges, L. C. (2018). Contemporary Issues in Group Learning in Undergraduate Science Classrooms: A Perspective from Student Engagement. *CBE—Life Sciences Education*, *17*(2), es3. https://doi.org/10.1187/cbe.17-11-0239

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education. Promise and Implications for Teaching and Learning.*

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

Humphrey, N., Lendrum, A., Wigelsworth, M., & Kalambouka, A. (2009). Implementation of primary Social and Emotional Aspects of Learning small group work: A qualitative study. *Pastoral Care in Education*, *27*(3), 219–239. https://doi.org/10.1080/02643940903136808

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

Jerez, O., Orsini, C., Ortiz, C., & Hasbun, B. (2021). Which conditions facilitate the effectiveness of large-group learning activities? A systematic review of research in higher education. *Learning: Research and Practice*, *7*(2), Article 2. https://doi.org/10.1080/23735082.2020.1871062

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. A., & Kasim, R. M. (2014). A Meta-Analytic Review of Studies of the Effectiveness of Small-Group Learning Methods on Statistics Achievement. *Journal of Statistics Education*, *22*(1), 2. https://doi.org/10.1080/10691898.2014.11889691

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. (with International Institute for Educational Planning, & International Institute for Educational Planning). (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

Kotsiantis, S., Pierrakeas, C., & Pintelas, P. (2004). Predicting students’ performance in distance learning using machine learning techniques. *Applied Artificial Intelligence*, *18*(5), 411–426. https://doi.org/10.1080/08839510490442058

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

Lu, D.-N., Le, H.-Q., & Vu, T.-H. (2020). The Factors Affecting Acceptance of E-Learning: A Machine Learning Algorithm Approach. *Education Sciences*, *10*(10), 270. https://doi.org/10.3390/educsci10100270

Luan, H., & Tsai, C.-C. (2021). A Review of Using Machine Learning Approaches for Precision Education. *Educational Technology & Society*, *24*(1), 250–266.

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

Mendo-Lázaro, S., León-del-Barco, B., Polo-del-Río, M.-I., & López-Ramos, V. M. (2022). The Impact of Cooperative Learning on University Students’ Academic Goals. *Frontiers in Psychology*, *12*, 787210. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.787210

Micari, M., Pazos, P., Streitwieser, B., & Light, G. (2010). Small-group learning in undergraduate STEM disciplines: Effect of group type on student achievement. *Educational Research and Evaluation*, *16*(3), 269–286. https://doi.org/10.1080/13803611.2010.520860

Minaei-Bidgoli, B., Kashy, D. A., Kortemeyer, G., & Punch, W. F. (2003). Predicting student performance: An application of data mining methods with an educational web-based system. *33rd Annual Frontiers in Education, 2003. FIE 2003.*, *1*, T2A\_13-T2A\_18. https://doi.org/10.1109/FIE.2003.1263284

Moradi, S., Faghiharam, B., & Ghasempour, K. (2018). Relationship Between Group Learning and Interpersonal Skills With Emphasis on the Role of Mediating Emotional Intelligence Among High School Students. *SAGE Open*, *8*(2), 215824401878273. https://doi.org/10.1177/2158244018782734

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

Ofori, F., Maina, E., & Gitonga, R. (2020). Using Machine Learning Algorithms to Predict Students’ Performance and Improve Learning Outcome: A Literature Based Review. *Journal of Information and Technology*, *4*(1), Article 1.

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

Primi, C., Donati, M. A., Izzo, V. A., Guardabassi, V., O’Connor, P. A., Tomasetto, C., & Morsanyi, K. (2020). The Early Elementary School Abbreviated Math Anxiety Scale (the EES-AMAS): A New Adapted Version of the AMAS to Measure Math Anxiety in Young Children. *Frontiers in Psychology*, *11*, 1014. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01014

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

Qazdar, A., Er-Raha, B., Cherkaoui, C., & Mammass, D. (2019). A machine learning algorithm framework for predicting students performance: A case study of baccalaureate students in Morocco. *Education and Information Technologies*, *24*(6), 3577–3589. https://doi.org/10.1007/s10639-019-09946-8

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.

Rastrollo-Guerrero, J. L., Gómez-Pulido, J. A., & Durán-Domínguez, A. (2020). Analyzing and Predicting Students’ Performance by Means of Machine Learning: A Review. *Applied Sciences*, *10*(3), 1042. https://doi.org/10.3390/app10031042

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

Razdevšek-Pučko, C. (1993). *Razredna interakcija: Študijsko gradivo za pedagoško psihologijo*.

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

Saito, E., Takahashi, R., Wintachai, J., & Anunthavorasakul, A. (2021). Issues in introducing collaborative learning in South East Asia: A critical discussion. *Management in Education*, *35*(4), 167–173. https://doi.org/10.1177/0892020620932367

Scribner, J. P., & Donaldson, J. F. (2001). The Dynamics of Group Learning in a Cohort: From Nonlearning to Transformative Learning. *Educational Administration Quarterly*, *37*(5), 605–636. https://doi.org/10.1177/00131610121969442

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

Setiana, D. S., Ili, L., Rumasoreng, M. I., & Prabowo, A. (2020). Relationship between Cooperative learning method and Students’ Mathematics Learning Achievement: A Meta-Analysis Correlation. *Al-Jabar : Jurnal Pendidikan Matematika*, *11*(1), Article 1. https://doi.org/10.24042/ajpm.v11i1.6620

Shaik, T., Tao, X., Dann, C., Xie, H., Li, Y., & Galligan, L. (2023). Sentiment analysis and opinion mining on educational data: A survey. *Natural Language Processing Journal*, *2*, 100003. https://doi.org/10.1016/j.nlp.2022.100003

Siemens, G., & Gasevic, D. (2012). Guest Editorial—Learning and Knowledge Analytics. *Educational Technology and Society*, *15*(1–2).

Singhal, S., & Jena, M. (2013). A study on WEKA tool for data preprocessing, classification and clustering. *International Journal of Innovative technology and exploring engineering*, *2*(6), 250–253.

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. V I. B. Weiner (Ur.), *Handbook of Psychology* (1. izd., str. 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. V P. Benson & H. Reinders (Ur.), *Beyond the Language Classroom* (str. 146–160). Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1057/9780230306790\_12

Stimpson, A. J., & Cummings, M. L. (2014). Assessing Intervention Timing in Computer-Based Education Using Machine Learning Algorithms. *IEEE Access*, *2*, 78–87. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2014.2303071

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.

Tomić, A. (2003). *Izbrana poglavja iz didaktike*.

Tsai, S.-C., Chen, C.-H., Shiao, Y.-T., Ciou, J.-S., & Wu, T.-N. (2020). Precision education with statistical learning and deep learning: A case study in Taiwan. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *17*(1), 12. https://doi.org/10.1186/s41239-020-00186-2

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, S., Christensen, C., Cui, W., Tong, R., Yarnall, L., Shear, L., & Feng, M. (2023). When adaptive learning is effective learning: Comparison of an adaptive learning system to teacher-led instruction. *Interactive Learning Environments*, *31*(2), 793–803. https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1808794

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

Wieselmann, J. R., Dare, E. A., Ring‐Whalen, E. A., & Roehrig, G. H. (2020). “I just do what the boys tell me”: Exploring small group student interactions in an integrated STEM unit. *Journal of Research in Science Teaching*, *57*(1), 112–144. https://doi.org/10.1002/tea.21587

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

Wilson, S. B., & Varma-Nelson, P. (2016). Small Groups, Significant Impact: A Review of Peer-Led Team Learning Research with Implications for STEM Education Researchers and Faculty. *Journal of Chemical Education*, *93*(10), 1686–1702. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00862

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

Yakubu, M. N., & Abubakar, A. M. (2022). Applying machine learning approach to predict students’ performance in higher educational institutions. *Kybernetes*, *51*(2), 916–934. https://doi.org/10.1108/K-12-2020-0865

Yang, S. (2021). Guest Editorial: Precision Education - A New Challenge for AI in Education. *Educational Technology and Society*, *24*(1), 105–108.

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

Zhai, X., Chu, X., Chai, C. S., Jong, M. S. Y., Istenic, A., Spector, M., Liu, J.-B., Yuan, J., & Li, Y. (2021). A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education from 2010 to 2020. *Complexity*, *2021*, 1–18. https://doi.org/10.1155/2021/8812542

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

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.

Priloga: Vprašalnik

Preglednica 4: Prvi del vprašalnika: Prvo vprašanje se kodira na 3-stopenjski Likertovi lestvici. Drugi sklop vprašanj (2-8; instrument ATMI) se kodira kot V2 - V3 + V4 + V5 + V6 + V7 - V8, kjer Vi predstavlja i-to vprašanje. Tretji sklop vprašanj (9-17; instrument AMAS se kodira kot V9 + V10 + V11 + V12 + V13 + V14 + V15 + V16 + V17.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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 nasploh uspešna? Upoštevaj tako vidik napredovanja pri matematiki kot popestritve pouka. |
| Kviz osebnosti (motivacija): Označi, koliko od 1 do 5 se strinjaš s trditvijo. | 2 | Na moji izobraževalni poti želim imeti čim več matematike |
| 3 | Na fakulteti bi se rad izognil matematiki |
| 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 |
| 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 |

Preglednica 5: Drugi del vprašalnika; instrument MBTI. Vprašanja so kodirajo po sledečem ključu. I**E:** 30 - V18 - V22 - V26 + V30 - V34 + V38 + V42 - V46, **SN:** 12 + V19 + V23 + V27 + V31 + V35 - V39 - V43 + V47, **FT:** 30 - V20 + V24 + V28 - V32 - V36 + V40 - V44 - V48, **JP:** 18 + V21 + V25 - V29 + V33 - V37 + V41 - V45 + V49, kjer Vi predstavlja i-to vprašanje.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 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 |
| 19 | Sem dvomljiv | 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 | Umirjen |
| 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 | Načrte delam zadnji hip |
| 31 | Želim spoštovanje drugih | Želim ljubezen drugih |
| 32 | Zabave me utrujajo | Na zabavah zaživim |
| 33 | Zlijem se z okolico | 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 razlagam dogodek, povem, kaj se je zgodilo | Ko razlagam dogodek, se osredotočim na njegov pomen |
| 38 | Dela se hitro lotim | Z delom odlašam |
| 39 | Sledim srcu | Sledim glavi |
| 40 | Ostanem doma | Grem ven |
| 41 | Želim širšo sliko zgodbe | Želim podrobnosti zgodbe |
| 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 | Uživam v prostem času |
| 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 |

Preglednica 6: Tretji del vprašalnika. V51, V52, V53 so nominalne vrednosti, V50, V54, V55 in V56 pa ordinalne.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Splošna vprašanja | 50 | Ocena pri matematiki predhodnega šolskega leta | Možne vrednosti 1 – 5 |
| 51 | Razred | 7 možnih izbir |
| 52 | Spol | 2 možni izbiri |
| 53 | Učeči profesor | 4 možnih izbir |
| Vprašanja, ki se navezujejo na tandemsko delo | 54 | Oceni, koliko je bilo v povprečju v tandemu interakcije | 3 možne izbire:  0 (skoraj nič) – 2 (veliko) |
| 55 | Oceni, kako produktivna je bila interakcija | 3 možne izbire:  0 (več klepetanja kot produktivnega dela) – 2 (več produktivnega dela) |
| 56 | Si pripomogel več kot tvoj partner v tandemu | 3 možne izbire:  0 (pripomogel sem manj) – 2 (pripomogel sem več) |