



LATVIJAS
UNIVERSITĀTE

Promocijas darba
kopsavilkums

Summary of
Doctoral Thesis

Ergi Bufasi

SKOLOTĀJU
PROFESIONĀLĀ PILNVEIDE
SKOLĒNU TELPISKO SPĒJU
ATTĪSTĪBAI SĀKUMSKOLAS
STEM IZGLĪTĪBĀ

TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT
TO ENHANCE STUDENTS' SPATIAL ABILITY
IN PRIMARY STEM EDUCATION

Rīga 2025



LATVIJAS
UNIVERSITĀTE

**IZGLĪTĪBAS ZINĀTŅU UN
PSIHOLOĢIJAS FAKULTĀTE**

Ergi Bufasi

**SKOLOTĀJU PROFESIONĀLĀ PILNVEIDE
SKOLĒNU TĒLPISKO SPĒJU ATTĪSTĪBAI
SĀKUMSKOLAS STEM IZGLĪTĪBĀ**

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS

Zinātnes doktora grāda (*Ph. D.*) iegūšanai
sociālajās zinātnēs

Rīga 2025

Promocijas darbs ir daļa no SellSTEM projekta un tika izstrādāts Starpdisciplinārajā izglītības inovāciju centrā (SIIC) Latvijas Universitātē laika posmā no 2021. līdz 2024. gadam.



Šis projekts ir saņēmis finansējumu no Eiropas Savienības programmas “Horizon 2020” pētniecības un inovāciju programmas saskaņā ar Marijas Sklodovskas-Kirī granta līgumu Nr. 956124.

Promocijas darba kopsavilkums ir strukturēts šādās nodaļās: ievads, pētniecības kategorijas, metodoloģija, rezultāti un secinājumi.

Darba forma: disertācija, kas sastāv no tematiskā ziņā vienotas zinātnisko publikāciju kopas izglītības zinātņu jomā.

Zinātniskie vadītāji:

- Dr. paed.* **Dace Namsone**, Starpdisciplinārā izglītības inovāciju centra (SIIC) direktore un vadošā pētniece, Latvijas Universitāte, Latvija;
Dr. phys. **Inese Dudareva**, Eksakto zinātņu un tehnoloģiju fakultātes Fizikas nodaļas docente un pētniece, Latvijas Universitāte, Latvija.

Recenzenti:

- 1) *Dr. paed.*, profesore **Indra Odiņa**, Latvijas Universitāte, Latvija;
- 2) *Dr. sc.ing.*, *Dr. paed.*, profesore **Alla Anohina Naumeca**, Rīgas Tehniskā Universitāte, Latvija;
- 3) *Dr. psych.*, profesore **Anita Pipere**, Daugavpils Universitāte, Latvija.

Promocijas darbs tiks aizstāvēts Latvijas Universitātes Promocijas padomes izglītības zinātnēs atklātā sēdē, kas notiks Latvijas Universitātē 2025. gada 7. martā Imantas 7. līnijā 1–100, Rīgā.

Promocijas darbs un tā kopsavilkums ir pieejami Latvijas Universitātes bibliotēkā Rīgā, Raiņa bulvāri 19.

Latvijas Universitātes Promocijas padomes
izglītības zinātnēs priekšsēdētāja _____

Dr. paed., profesore **Linda Daniela**

Latvijas Universitātes Promocijas padomes
izglītības zinātnēs sekretāre _____

Dr. paed., asociētā profesore **Gunta Siliņa-Jasjukeviča**

© Ergi Bufasi, 2025

© Latvijas Universitāte, 2025

ISBN 978-9934-36-348-1

ISBN 978-9934-36-349-8 (PDF)

ANOTĀCIJA

Daudzos pētījumos ir uzsvērtā telpisko spēju izšķirošā nozīme, lai gūtu panākumus dabaszinātņu, tehnoloģiju, inženierzinātņu un matemātikas (STEM) izglītībā. Neraugoties uz to, joprojām pastāv problēmas telpisko spēju efektīvā attīstīšanā mācību procesā, jo īpaši sākumskolas līmenī. Disertācijā aprakstīts pētījumā balstīts piedāvājums, kā risināt problēmas telpisko spēju attīstībai sākumskolas STEM izglītībā, izmantojot inovatīvu skolotāju profesionālās pilnveides (PP) ietvaru sākumskolas skolotājiem. Pētījums izmanto dizainā balstīta pētījuma (DBP) metodoloģiju, kas sastāv no trim iteratīviem cikliem un katrs no tiem veido nākamo.

Pirmajā ciklā tiek pētīti telpiskās mācīšanas sarežģījumi, identificējot galvenos šķēršļus un motivatorus. Šis pētījums, kas balstīts uz mācību programmu analīzi tādās valstīs kā Latvija, Īrija, Zviedrija un Nīderlande, atklāj, ka strukturālie, pedagoģiskie un institucionālie faktori bieži ierobežo telpisko komponentu integrēšanu sākumskolas STEM mācību programmās. Pētījuma laikā tiek izveidota šķēršļu un motivatoru kategorizācija, kas sniedz dziļāku izpratni par problēmām, kas saistītas ar telpisko izglītošanu, mācību programmu izstrādi un skolotāju izglītību.

Otrajā ciklā tiek izmantota darbības pētījuma (DarP) pieeja, lai īstenotu un novērtētu profesionālās pilnveides programmu, kas vērsta uz skolotāju telpisko zināšanu un mācīšanas stratēģiju uzlabošanu. Izmantojot Gaskija profesionālās attīstības novērtēšanas ietvaru, pētījums demonstrēja pozitīvus rezultātus vairākos posmos, tostarp uzlabotu skolotāju izpratni par telpiskajām spējām un ievērojamu uzlabojumu skolēnu sniegumā, demonstrējot telpiskās spējas. Īpaši skolēni, kuru skolotāji piedalījās profesionālajā pilnveidē, demonstrēja nozīmīgus uzlabojumus telpisko spēju vērtējumos, tostarp telpiskās vizualizācijas, figūru locīšanas prātā un mentālās pārvēršanas prasmēs.

Trešajā ciklā uzmanība tiek pievērsta mācību stundu izpētes (StI) programmai kā profesionālās attīstības veidam, kas veicina sadarbības refleksiju un kolēģu atbalstu. Šis cikls parāda, kā mācīšanās sadarbojoties, mērķu izvirzīšana un atgriezeniskās saites mehānismi būtiski uzlabo skolotāju pedagoģiskā satura zināšanu un mācīšanas prakses attīstību. Skolotāji veiksmīgi integrēja telpisko spēju attīstības uzdevumus savos stundu plānos, uzsverot praktisko pielietojumu un sadarbību kā svarīgu profesionālās pilnveides modeļa elementu.

Disertācija noslēdzas ar visaptveroša profesionālās pilnveides ietvara izstrādi, kas palīdz skolotājiem pārvarēt telpiskās izglītošanas šķēršļus un veicina telpisko spēju attīstības integrēšanu sākumskolas STEM izglītībā. Pētījuma rezultāti kopumā sniedz vērtīgas atziņas par telpisko spēju attīstību sākumskolas skolēniem, pilnveidojot teorētisko izpratni un praktiskās mācīšanas stratēģijas skolotājiem.

Atslēgvārdi: telpiskās spējas, profesionālā pilnveide, stundu izpēte, darbības pētījums, sākumskolas STEM izglītība

SATURA RĀDĪTĀJS

ANOTĀCIJA	3
PUBLIKĀCIJU SARAKSTS	5
Ar pētījumu saistītie pētījumi	5
1. IEVADS	7
Pētījuma konteksta pārskats	7
Zinātniskā novitāte	9
Praktiskā novitāte	9
Tēzes aizstāvēšanai	10
2. PĒTNIECĪBAS KATEGORIJAS	11
Pētījuma jautājumi	11
Uzdevumi	12
Teorētiskie pamati	13
3. METODOLOĢIJA	16
Pētījuma izlase	20
Instrumenti	21
Datu vākšana un analīze	22
Ētikas apsvērumi	23
4. REZULTĀTI	25
Telpisko prasmju mācīšanas sarežģītība: šķēršļi un atbalsta faktori	25
Efektīvas PP programmas, lai uzlabotu telpiskās spējas mācīšanu	28
Kritiskie faktori un stratēģijas PP programmu ieviešanai telpisko spēju attīstīšanai sākumskolā	29
5. SECINĀJUMI	32
Secinājumi	32
Ierobežojumi	32
Izstrādātās tēzes aizstāvēšanai	33
Nākotnes pētījumi	36
Ieteikumi	37
KOPSAVILKUMĀ IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS	74

PUBLIKĀCIJU SARAKSTS

Disertāciju balstās uz šādām oriģinālajām publikācijām

I. Bufasi, E., Lin, T. J., Benedicic, U., Westerhof, M., Mishra, R., Namsone, D., Dudareva, I., Sorby, S., Gumaelius, L., Klapwijk, R. M., Spandaw, J., Bowe, B., O'Kane, C., Duffy, G., Pagkratidou, M., & Buckley, J. (2024). Addressing the complexity of spatial teaching: A narrative review of barriers and enablers. *Frontiers in Education*, 9, 1306189. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1306189>, Scopus – Q2

II. Bufasi, E., Cakane, I., Dudareva, I., & Namsone, D. (2024). Professional development for primary school teachers intended to promote students' spatial ability. *International Journal of Engineering Pedagogy (ijEP)*, 14(2), 130–144. <https://doi.org/10.3991/ijep.v14i2.43673>, Scopus – Q2

III. Bufasi, E., Čakāne, I., Greitans, K., Dudareva, I., & Namsone, D. (2024). Lesson study as a professional development model for teaching spatial ability in primary STEM. *Education Sciences*, 14(5), 512. <https://doi.org/10.3390/educsci14050512>, Scopus – Q1

Autors sniedza ieguldījumu šādās publikācijās

Raksts I: konceptualizācija, datu apkopošana, formālā analīze, izpēte, validācija, vizualizācija, rakstīšana – sākotnējais melnraksts, rakstīšana – pārskatīšana un rediģēšana.

Raksts II: konceptualizācija, metodoloģija, datu apkopošana, formālā analīze, rakstīšana – sākotnējais melnraksts, rakstīšana – pārskatīšana un rediģēšana.

Raksts III: formālā analīze, datu apkopošana, izpēte, validācija, rakstīšana – sākotnējais melnraksts, rakstīšana – pārskatīšana un rediģēšana.

Ar pētījumu saistītie pētījumi

Recenzētie raksti

Bufasi, E., Hoxha, M., Cuka, K., & Vrtagic, S. (2022). Developing students' comprehensive knowledge of physics concepts by using computational thinking activities: Effects of a 6-week intervention. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (ijET)*, 17(18), 161–176. <https://doi.org/10.3991/ijet.v17i18.31743>

Grāmatas nodaļa

Klapwijk, R., Duffy, G., Lagoudaki, E., Segura Caballero, N., Mishra, R., Zhu, C., Westerhof, M., **Bufasi, E.,** Leung, C., Malkogeorgou, S., Jun Lin, T., Gamarra, E., & Nguyen, T. (2024). Making SPACE for spatial thinking in STEAM education: Teacher professional development modules. Books/Book Chapters, (23). [Dublin Institute of Technology]. <https://doi.org/10.21427/kgnt-zj24>

Ziņojumi

Bufasi, E., Namsone, D., Sorby, S., Duffy, G., Klapwijk, R. M., Benedicic, U., Mishra, R., & Dudareva, I. (2023, October). *Summary and analysis of teacher training to raise spatial ability in school*. Technological University Dublin (TU Dublin) <https://shorturl.at/gWDYf>

Konferences

Bufasi, E., Dudareva, I., & Namsone, D. (2024, June). From mind to motion: Spatial ability in physics cognition [Poster presentation]. In *Spatial Cognition 2024*, Dublin, Ireland. <https://sc24-poster.blogspot.com/>

Bufasi, E., Cakane, I., Dudareva, I., & Namsone, D. (2023, August). Transforming the teaching and learning of mathematics and science in primary schools through spatial thinking professional development. In *The 15th Conference of the European Science Education Research Association (ESERA)*. <https://www.esera2023.net/wp-content/uploads/2023/08/ESERA-27-08-2023-.pdf>

Bufasi, E., Cakane, I., Dudareva, I., & Namsone, D. (2022, July). A preliminary study on spatial ability for primary school teachers' professional development. In *EDULEARN22 Proceedings* (pp. 3230–3239). <https://doi.org/10.21125/edulearn.2022.0793>

Bufasi, E. (2022, January). The impact of spatial ability in science. In *80. Latvijas Universitātes starptautiskā zinātniskā konference 2022: Dabas-zinātņu didaktika*. https://conferences.lu.lv/event/93/attachments/35/68/Dabaszinatnu_didaktika_programma.pdf

Bufasi, E. (2021, December). The importance of spatial thinking in teaching physics. In IX International Physics Conference in Honor of F. Pianca. http://dragon.lv/F_Pianca/Abstracts/F_Pianca_2021_book_of_abstracts.pdf

1. IEVADS

Pētījuma konteksta pārskats

Skolotāju profesionālā pilnveide (PP) spēlē nozīmīgu lomu sākumizglītības kvalitātes uzlabošanā, nodrošinot pedagogus ar prasmēm, kas nepieciešamas, lai attīstītu sarežģītas kognitīvās spējas, piemēram, telpiskās spējas. Telpiskās spējas tiek definētas kā spēja vizualizēt, manipulēt un pamatot telpiskās attiecības divās un trīs dimensijās, un tā ir būtiska prasme, kas nodrošina panākumus matemātikas, zinātnes un tehnoloģiju priekšmetos (Newcombe & Shipley, 2014). Papildus akadēmiskajiem sasniegumiem telpiskās spējas ir svarīgas arī ikdienas uzdevumiem un ir galvenais nākotnes panākumu rādītājs STEM karjerā (Uttal et al., 2013). Ņemot vērā šo nozīmīgumu, agrīna intervence telpisko prasmju¹ attīstībā ir nokļuvusi izglītības pētījumu uzmanības centrā, jo tā būtiski ietekmē kognitīvo attīstību sākumskolas gados.

Pētījumi liecina, ka telpisko spēju attīstības pamati tiek ielikti agrā bērnībā, kad jau zīdaiņa vecumā sāk attīstīties pamata telpiskās pārveidošanas prasmes, kas veicina plašāku kognitīvo izaugsmi. Garengriezuma un šķērsriezuma pētījumi konsekventi parāda, ka bērni ar labi attīstītām telpiskajām spējām mēdz gūt panākumus matemātikā un dabaszinātnēs agrāk nekā viņu vienaudžī ar mazāk attīstītām telpiskajām spējām (Mix et al., 2016; Gilligan et al., 2017; Hodgkiss et al., 2018; Gilligan et al., 2019; Bower et al., 2020). Turklāt šīs telpiskās spējas attīstās agrā bērnībā, norādot, ka mērķtiecīgas iejaukšanās noteiktos attīstības posmos var atstāt ilgstošu ietekmi uz bērnu kognitīvajām trajektorijām (Newcombe & Frick, 2010).

Neskatoties uz telpisko spēju atzīto nozīmīgumu, tās joprojām ir nepietiekami pārstāvētas sākumskolas mācību programmās un bieži tiek ignorētas skolotāju izglītības programmās. Šī nepilnība skolotāju sagatavošanā var radīt situāciju, kad pedagogiem trūkst pārliecības un pieredzes, lai efektīvi attīstītu telpiskās spējas sākumskolas vecuma bērniem, kas potenciāli var kavēt skolēnu kognitīvo attīstību un nākotnes iespējas akadēmiskajā un profesionālajā vidē (Verdine et al., 2017). Lai risinātu šo problēmu, ir nepieciešamas PP programmas², kas pielāgotas telpisko spēju apmācībai. Šīm programmām būtu jāietver

¹ *Telpiskās prasmes* attiecas uz specifiskiem telpiskās spējas komponentiem, piemēram, mentālo rotāciju, telpisko vizualizāciju vai telpiskiem orientēšanās uzdevumiem. Izglītības kontekstos spējas, piemēram, telpiskā spēja, netiek tieši mācītas; drīzāk, pedagogi izstrādā aktivitātes un intervences, lai attīstītu un uzlabotu pamatprasmes, kas veicina šīs spējas.

² *PP programmas* attiecas uz strukturētām un nepārtrauktām mācīšanās pieredzēm, kas paredzētas, lai uzlabotu skolotāju prasmes, zināšanas un efektivitāti viņu profesionālajā praksē. Šīs programmas var ietvert darbnīcas, seminārus, sadarbības projektus, mentoru vadību un kursus, kas bieži vērsti uz konkrētu mācību stratēģiju uzlabošanu, jaunu tehnoloģiju integrāciju vai priekšmetspecifiskām zināšanām.

gan telpisko spēju attīstības teorētiskie pamati, gan praktiskās stratēģijas darbam klasē. Nodrošinot skolotājus ar zināšanām un instrumentiem telpisko aktivitāšu³ integrēšanai ikdienas mācību stundās, šādas PP programmas varētu uzlabot skolotāju pārliecību un efektivitāti, veicinot skolēnu telpisko iemaņu attīstību.

Efektīvu skolotāju profesionālās pilnveides (PP) programmu izstrāde prasa stingru izglītības pētījumu pamatu un pielāgojamu pieeju skolotāju un skolēnu unikālajām vajadzībām. Dizainā balstīta pētījuma (DBP) ietvars piedāvā metodoloģiju PP iniciatīvu izstrādei, apvienojot empīriskus pētījumus ar sistemātiskām izglītības intervencēm. Šī iteratīvā pieeja ļauj PP programmām nepārtraukti attīstīties, izmantojot skolotāju sniegto atgriezenisko saiti (Anderson & Shattuck, 2012). DBP ietvaros divi papildinoši modeļi⁴ – darbības pētījums (DarP) un stundu izpēte (StI) – var vēl vairāk uzlabot PP efektivitāti. DarP iesaista skolotājus reflektīvās darbībās, kas ietver plānošanu, rīcību, novērošanu un refleksiju, veicinot skolotāju atbildību par savu profesionālo izaugsmi (Baumfield et al., 2008; Stringer, 2013). Savukārt StI akcentē stundu plānošanu un novērtēšanu sadarbojoties, veidojot profesionālu mācīšanās kopienu, kur skolotāji kopīgi izstrādā un pilnveido savas mācību metodes (Lewis, 2002). Integrējot DarP un StI, DBP ietvars nodrošina, ka PP paliek dinamisks un pielāgojas mainīgajiem izaicinājumiem, kas saistīti ar skolēnu telpisko iemaņu un izpratnes attīstīšanu, galu galā atbalstot ilgstošu profesionālo izaugsmi un mācīšanās uzlabojumus (Desimone, 2009).

Tomēr efektīvu PP programmu ieviešana telpisko spēju mācīšanās⁵ nav bez izaicinājumiem. Daudziem skolotājiem var trūkt pārliecības par savām telpiskajām prasmēm, kas apgrūtina šo konceptu efektīvu mācīšanu (Lowrie et al., 2019). Turklāt, tā kā telpiskās spējas bieži netiek skaidri uzsvērtas skolu mācību programmās, pedagogi varētu neapzināties to nozīmīgumu vai nezināt, kā tās iekļaut savā mācīšanas praksē (Verdine et al., 2017). Lai PP būtu veiksmīga, tai tieši jārisina šīs problēmas, sniedzot gan saturiskās zināšanas, gan pedagogisko atbalstu, kas nepieciešams, lai veidotu skolotāju pārliecību un kompetenci telpisko spēju attīstībā (Desimone & Garet, 2015).

Turklāt, koncentrējoties uz telpisko spēju attīstīšanu sākumizglītībā, izmantojot labi izstrādātas un noturīgas PP programmas, šis pētījums cenšas uzlabot

³ *Telpiskās aktivitātes* ir uzdevumi, kas attīsta telpiskās spējas un prasmes, iesaistot objektu vizualizāciju, manipulēšanu vai sakārtošanu telpā, piemēram, puzzles, modeļu būvēšanu un kartes lasīšanu.

⁴ Šī pētījuma kontekstā DarP un StI tiek attiecināti uz PP modeļiem, kas tiek apspriesti teorētiskajos pamatos. Tomēr praktiskās īstenošanas posmos pētījumā tie tiek operacionalizēti kā PP programmas DBP ietvarā.

⁵ *Telpiskās spējas mācīšana* attiecas uz izglītības praksēm un stratēģijām, kuru mērķis ir attīstīt studentu spēju vizualizēt, manipulēt un saprast telpiskās attiecības. Tas var ietvert aktivitātes, kas saistītas ar ģeometriju, karšu lasīšanu, mentālās rotācijas uzdevumiem un dizaina vingrinājumiem, kas uzlabo telpiskās prasmes.

gan mācīšanas praksi, gan skolēnu mācību rezultātus. Tas arī sekmē augstāka mērķa sasniegšanu – STEM izglītības veicināšanu, sagatavojot skolēnus nākotnes akadēmiskajiem un profesionālajiem panākumiem jomās, kur telpiskās prasmes ir būtiskas.

Zinātniskā novitāte

Šī pētījuma zinātniskā novitāte – inovatīvā esošo PP modeļu pielāgošanā un kontekstualizēšanā, izmantojot DBP ietvaru, lai risinātu specifiskus izaicinājumus, kas saistīti ar telpisko prasmju mācīšanu sākumskolas STEM izglītībā. Lai gan DBP ietvars nodrošina vispārējo struktūru, DarP un StI modeļu integrācija ir sistemātiski pielāgota, lai atbilstu DBP iteratīvajiem, sadarbības principiem un telpisko prasmju mācīšanas unikālajām vajadzībām.

- **Esošo PP modeļu integrācija:** Šis pētījums unikāli integrē DarP un StI modeļus DBP ietvarā, radot strukturētu, bet elastīgu metodoloģiju, kas atbalsta pedagogu profesionālo pilnveidi. Šo modeļu īpaša pielāgošana, koncentrējoties uz telpiskajām prasmēm, pārstāv jaunu pieeju PP pētījumos un uzlabo to atbilstību sarežģītu kognitīvo prasmju mācīšanai.
- **Kontekstualizācija telpisko prasmju apgūvei:** DarP un StI modeļi tika ne tikai pielāgoti, bet arī kontekstualizēti, lai risinātu specifiskus izaicinājumus un iespējas, kas saistītas ar telpisko prasmju mācīšanu. Tie ietver kļūdainus priekšstatus par telpiskajām prasmēm, saskaņotību ar mācību programmu un resursu ierobežojumus. Šī mērķtiecīgā pieeja telpisko prasmju apgūves PP ietvaros aizpilda robu sākumskolas izglītības pētījumos un praksē, kur šīs prasmes bieži tiek nepietiekami pārstāvētas.
- **Inovatīva metodoloģiskā pieeja:** DarP un StI kombinācija DBP ietvarā piedāvā jaunu metodoloģisku pieeju, kas uzsvēr sadarbību, iteratīvu pilnveidi un praktisku pielietojumu. Pielāgojot šos modeļus telpisko prasmju mācīšanai, pētījums sniedz jaunu skatījumu uz to, kā esošās PP struktūras var efektīvi pielāgot konkrētiem izglītības kontekstiem.

Praktiskā novitāte

Šī pētījuma praktiskā novitāte – strukturēta ietvara izstrāde⁶, lai uzlabotu pedagogu profesionālo pilnveidi, veicinot telpisko prasmju attīstību sākumskolas izglītībā. Ietvars uzsvēr pedagogu zināšanu uzlabošanu, aktīvas iesaistīšanās veicināšanu un sadarbības kultūras attīstīšanu starp skolotājiem, kas ir būtiski ilgtermiņa uzlabojumu nodrošināšanai mācību praksē.

⁶ *Strukturēta ietvara izstrāde* šajā pētījumā attiecas uz esošo PP modeļu – piemēram, DarP un StI – pielāgošanu, modificēšanu un integrēšanu DBP metodoloģijā. Tā vietā, lai izveidotu jaunu ietvaru no nulles, šī pieeja balstās uz jau izveidotiem modeļiem, tos pilnveidojot un pielāgojot, lai atbilstu konkrētajām vajadzībām telpiskās spējas attīstīšanai sākumskolas izglītībā.

Galvenais šī pētījuma ieguldījums ir tiešas, uz pierādījumiem balstītas saiknes izveidošana starp profesionālās pilnveides ieviešanas un izmērāmiem skolēnu sasniegumiem. Šī saikne sniedz praktiķiem, mācību programmu veidotājiem un politikas veidotājiem konkrētas atziņas par to, kā mērķtiecīga PP var uzlabot skolēnu telpiskās spējas – pamatprasmi, kas ietekmē STEM jomas un citas jomas.

Papildus tam, ietvara elastīgums nodrošina tā piemērojamību dažādos izglītības kontekstos, padarot to par atkārtojamu un ilgtspējīgu modeli mācību prakses un mācību rezultātu uzlabošanai⁷.

Tēzes aizstāvēšanai

- I. *Barjeru un atbalsta faktoru identificēšana telpisko prasmju mācīšanā*: Tiek identificētas galvenās barjeras un atbalsta faktori telpisko prasmju mācīšanā sākumskolas izglītībā, sniedzot praktiskas atziņas un stratēģijas, lai pārvarētu izaicinājumus reālās izglītības vidēs.
- II. *Inovatīva profesionālās pilnveides modeļu integrācija*: Tiek piedāvāta jauna pieeja, integrējot DarP un StI modeļus DBP ietvarā, kas nodrošina strukturētu, taču elastīgu metodoloģiju, lai uzlabotu pedagogu profesionālo pilnveidi telpisko prasmju attīstīšanai sākumskolas izglītībā.
- III. *Profesionālās pilnveides ietekme uz mācību praksēm un ieviešanu*: Pētījums izceļ galvenos faktorus un stratēģijas efektīvai profesionālās pilnveides modeļu ieviešanai, demonstrējot, kā iteratīvas un uz pierādījumiem balstītas profesionālās pilnveides programmas var uzlabot skolotāju mācību praksi un uzticēšanos telpisko prasmju mācīšanā.

⁷ *Mācību rezultātos* ir izmērāmas zināšanas, prasmes, attieksmes un kompetences, ko skolēni iegūst kā mācīšanas procesa rezultātu.

2. PĒTNIECĪBAS KATEGORIJAS

Pētniecības konteksts. Šī pētījuma pamatā ir sākumskolas STEM izglītības plašais konteksts, ar uzsvāru uz skolotāju PP nozīmīgo lomu telpisko spēju attīstībā skolēniem. Telpiskā spēja, kas tiek atzīta par galveno panākumu rādītāju STEM disciplīnās, ir nepietiekami iekļauta sākumskolas izglītības programmās. Neskatoties uz tās nozīmi, esošajiem PP pasākumiem bieži vien trūkst strukturētas, iteratīvas pieejas, kas nepieciešama, lai atbalstītu skolotājus šīs svarīgās kognitīvās prasmes attīstībā. Lai aizpildītu šo plaisu, pētījums izskata inovatīvas PP pieejas, izmantojot sadarbības un cikliskas metodoloģijas, kas dod skolotājiem iespēju pilnveidot mācību praksi un galu galā uzlabot skolēnu rezultātus.

Pētījuma mērķis ir izstrādāt, pielāgot un novērtēt strukturētu PP programmu⁸, kas balstās uz DBP ietvaru. Šis ietvars integrē un pilnveido esošos PP modeļus, piemēram, DarP un StI, pielāgojot tos telpisko spēju mācīšanas prasībām sākumskolas izglītībā. Caur iteratīviem cikliem šis ietvars ir paredzēts, lai uzlabotu skolotāju mācību stratēģijas, padziļinātu satura zināšanas un veicinātu sadarbību, galu galā atbalstot skolēnu telpisko prasmju attīstību.

Pētījuma objekts ir sākumskolas skolotāju profesionālā pilnveide, lai uzlabotu telpisko prasmju mācīšanu un integrāciju STEM izglītībā.

Pētījuma priekšmets ir DarP un StI modeļu pielāgošana un iteratīva piemērošana DBP ietvarā, kas ļauj skolotājiem efektīvi integrēt telpiskos uzdevumus sākumskolas STEM izglītībā. Šī pieeja ne tikai modificē esošos PP modeļus, bet arī pilnveido tos, lai tie atbilstu specifiskajām telpisko spēju attīstības vajadzībām.

Pētījuma jautājumi

PJ1: Kādi ir galvenie faktori, kas veicina vai kavē efektīvu telpisko prasmju attīstību sākumskolā STEM izglītībā?

Šis pētījuma jautājums ir vērsts uz galveno faktoru noteikšanu, kas atvieglo vai traucē efektīvu telpisko prasmju mācīšanu sākumskolā STEM izglītībā. Izpētot gan šķēršļus, gan atbalstošos faktoros, pētījums cenšas atklāt izaicinājumus, ar kuriem skolotāji sastopas, kā arī elementus, kas var stiprināt viņu mācību praksi. Gūtās atziņas palīdzēs izstrādāt stratēģijas telpisko prasmju mācīšanas uzlabošanai un to integrācijai STEM mācību programmā.

⁸ Programma attiecas uz šo modeļu praktisko īstenošanu, kas bieži ietver organizētas aktivitātes un intervences, kas paredzētas konkrētu rezultātu sasniegšanai. Šajā pētījumā DarP un StI sākotnēji tiek raksturoti kā modeļi, bet, piemērojot izglītības vidē kā daļu no PP, tos attiecina uz programmām.

PJ2: Kā var izveidot efektīvu PP ietvaru⁹, izmantojot pielāgotas PP programmas, lai ietekmētu telpisko spēju attīstību un praksi izglītības vidē?

Šī otrā pētījuma jautājuma mērķis ir izpētīt strukturēta un inovatīva skolotāju PP ietvara izstrādi, kas atbalsta skolotāju zināšanu, mācīšanas stratēģiju un sadarbības pilnveidi. Šajā ietvarā tiek īstenotas konkrētas PP programmas, piemēram, DarP un StI, lai risinātu telpisko spēju attīstīšanas praktiskos aspektus, galu galā veicinot skolēnu telpisko spēju uzlabošanu.

PJ3: Kādi ir galvenie faktori un efektīvas stratēģijas, lai ieviestu skolotāju PP programmas, kas veicina telpisko prasmju attīstīšanu sākumizglītībā strukturēta PP ietvarā?

Šis pētījuma jautājums ir vērst uz būtisko faktoru un efektīvu stratēģiju identificēšanu un analīzi, kas nepieciešami skolotāju PP programmu ieviešanai, lai veicinātu telpisko prasmju attīstīšanu sākumizglītībā. Galvenais uzsvars tiek likts uz izpratni par to, kā PP iniciatīvas, integrētas strukturētā ietvarā, var nodrošināt skolotājus ar nepieciešamajām zināšanām, prasmēm un resursiem, lai attīstītu telpiskās spējas sākumskolas skolēniem.

Uzdevumi

1. **Izpētīt un analizēt attiecīgo literatūru** par telpiskajām spējām un prasmēm, to lomu sākumizglītībā un teorētiskajām un praktiskajām pieejām skolotāju PP, īpaši DarP un StI modeļiem DBP ietvarā. (Atbalsta visus PJ)
2. **Apkopot un analizēt esošās skolotāju PP programmas un iniciatīvas**, kuru mērķis ir paaugstināt telpisko prasmju līmeni skolās, identificējot stiprās puses, trūkumus un iespējas uzlabojumiem. (Atbalsta PJ2 un PJ3)
3. **Salīdzināt sākumskolas STEM mācību programmas no dažādām valstīm**, lai novērtētu, kā telpiskās prasmes tiek iekļautas un īstenotas, identificējot labās prakses piemērus un trūkumus. (Atbalsta PJ1)
4. **Identificēt galvenos šķēršļus un atbalstošos faktorus** telpisko prasmju mācīšanā sākumizglītības STEM kontekstā, izmantojot empirisku izpēti. (Atbalsta PJ1)
5. **Izstrādāt pielāgotu PP ietvaru**, kas integrē DarP un StI modeļus DBP metodoloģijā, lai atbalstītu skolotājus telpisko prasmju attīstībā skolēniem. (Atbalsta PJ2 un PJ3)
6. **Novērtēt PP ietvara ietekmi** uz skolotāju zināšanām, praksēm un sadarbību, kā arī tā efektivitāti, uzlabojot skolēnu telpiskās prasmes. (Atbalsta PJ2 un PJ3)
7. **Identificēt galvenos faktorus un stratēģijas efektīvai PP ietvara ieviešanai** izglītības iestādēs, nodrošinot tā ilgtspējību un pielāgojamību plašakai pielietošanai. (Atbalsta visus PJ)

⁹ Šajā darbā DBP kalpo kā PP ietvars, jo tas strukturē un informē profesionālās pilnveides programmu izstrādi, īstenošanu un pilnveidi visos trīs pētījumu ciklos.

8. **Sniegt praktiskas rekomendācijas** skolotājiem, mācību programmu izstrādātājiem un politikas veidotājiem par to, kā uzlabot skolotāju PP un mācību praksi telpisko spēju attīstīšanai sākumizglītībā. (Atbalsta visus PJ)

Teorētiskie pamati

Šis pētījums ir balstīts divās teorētiskajās jomās: telpisko spēju loma STEM izglītībā un profesionālās pilnveides teorētiskajiem modeļiem, kas atbalsta skolotāju izaugsmi.

Telpiskās spējas loma STEM jomā

- Telpiskās spējas¹⁰ ir maināmas un tās var ievērojami uzlabot, izmantojot mērķtiecīgas iejaukšanās, pat salīdzinoši īsā laika posmā (Uttal et al., 2013).
- Telpiskās spējas ir atzītas par galveno veiksmes faktoru STEM jomās, un ilgtermiņa pētījumi rāda to ietekmi uz studentu karjeras trajektorijām zinātnē, tehnoloģijās, inženierzinātnēs un matemātikā (Wai et al., 2009).
- Uzlabotas telpiskās prasmes ir saistītas ar uzlabotu matemātikas sasniegumu un STEM gatavību (Mix & Cheng, 2012).
- Telpiskās spēju attīstīšana nodrošina pārnēsājamu ietekmi, uzlabojot ne tikai konkrētās jomas uzdevumus, bet arī vispārējos problēmu risināšanas un loģiskās domāšanas prasmes (Levine et al., 2012).
- Pierādījumi liecina, ka telpisko prasmju¹¹ agrīna attīstība uzlabo kognitīvo elastību un abstrakto domāšanu, kas ir būtiski, lai risinātu sarežģītas problēmas (Newcombe, 2010).

Telpisko prasmju attīstība sākas zīdaiņa vecumā un turpinās visu bērnību. No četru līdz septiņu gadu vecumam bērniem parādās arvien sarežģītākas telpiskās spējas, piemēram, perspektīvas uztveršana un mentālā rotācija, kas ir būtiskas problēmu risināšanai un panākumiem mācībās. Turklāt telpisko spēju attīstība¹² stiprina arī galvenos smadzeņu reģionus, piemēram, hipokampu un parietālās daivas, tādējādi uzlabojot orientēšanās spējas, atmiņu un kognitīvo elastību (Newcombe & Frick, 2010; Draganski et al., 2006). Neuroplasticitātes pētījumi liecina, ka agrīna saskarsme ar telpiskumu stimulējošām aktivitātēm optimizē neirālās saites, savukārt nepietiekama iesaistīšanās var kavēt telpisko attīstību (Hensch, 2005).

¹⁰ *Telpiskās spējas* termins attiecas uz plašāku kognitīvo spēju – domāt par telpiskajām attiecībām.

¹¹ *Telpiskās prasmes* attiecas uz specifiskiem telpiskās spējas komponentiem, piemēram, mentālo rotāciju, telpisko vizualizāciju vai telpisko orientēšanos.

¹² *Telpisko spēju* attīstība attiecas uz aktivitātēm vai vingrinājumiem, kas paredzēti, lai uzlabotu indivīda spēju mentāli vizualizēt, manipulēt un saprast telpiskās attiecības starp objektiem vai vidi. Tas var ietvert uzdevumus, kas saistīti ar kartēm, puzzles, modeļiem vai žestiem, kas uzlabo telpisko domāšanu un problēmu risināšanas prasmes.

Teorētiskais PP ietvars

Šī darba teorētiskais pamats balstās uz diviem galvenajiem ietvariem, kas ļauj saprast un novērtēt PP ietekmi izglītībā. Šie ietvari piedāvā papildinošus skatījumus uz efektīvas PP iniciatīvu dizainu, īstenošanu un novērtēšanu, nodrošinot holistisku pieeju skolotāju izaugsmes veicināšanai un skolēnu mācīšanās rezultātu uzlabošanai.

- “*Guskey’s Five Critical Levels of PD Evaluation (2002)*”: Gaskija ietvars kalpo par pamata modeli, lai novērtētu PP efektivitāti, uzsverot tās daudzslāņu ietekmi. Pieci līmeņi – dalībnieku reakcijas, dalībnieku mācīšanās, organizatoriskā atbalsta un pārmaiņas, dalībnieku jauno zināšanu un prasmju izmantošana, kā arī skolēnu rezultāti – izceļ PP ietekmes ķēdi no tūlītējam pieredzēm līdz ilgtermiņa skolēnu sasniegumiem. Šis ietvars sniedz strukturētu skatījumu uz PP ietekmi uz pedagogiem un viņu mācīšanas praksēm, nodrošinot saskaņotību ar plašākiem izglītības mērķiem.
- “*Sims et al.’s IMTP Framework of Effective PD (2023)*” IMTP¹³ ietvars izceļ četras savstarpēji saistītas sastāvdaļas, kas nosaka efektīvu PP, uzsverot procesus, kas nepieciešami nozīmīgām un ilgtermiņīgām pārmaiņām mācīšanas praksē. I nozīmē pedagogiem nepieciešamo izpratni par viņu pašreizējām praksēm, vēlamajām pārmaiņām un iesaistītajiem šīm pārmaiņām, veicinot kritisku refleksiju. M pievērš uzmanību emocionālajiem un kognitīvajiem faktoriem, kas veicina pedagogus pieņemt jaunas pieejas, tostarp pārliecības veidošanai un pārmaiņu vērtības demonstrēšanai. T piedāvā skolotājiem konkrētas stratēģijas, rīkus un prasmes, kas nepieciešamas veiksmīgai šo pārmaiņu īstenošanai. Visbeidzot, P nodrošina šo stratēģiju integrāciju ikdienas mācīšanas rutīnā, nodrošinot nepārtrauktu atbalstu, atsauksmes un sekojošu palīdzību, kas padara pārmaiņas ilgtermiņīgas un ietekmīgas. Kopā šie posmi sniedz strukturētu un praktisku pieeju PP programmu izstrādei un novērtēšanai.

Efektīvai PP jābūt kontekstuāli atbilstoši, saskaņotai ar pedagogu vajadzībām un pastiprinātai, izmantojot sadarbību un vadības atbalstu (Desimone & Garet, 2015; Vescio et al., 2008). Vadībai ir izšķiroša loma ilgtermiņīgās PD veicināšanā, nodrošinot resursus, atbalstu un mērķu saskaņošanu (Hallinger & Heck, 2010).

¹³ IMTP ietvarā 2023. gadā, piedāvā jaunu skatījumu uz efektīvu PP. Tā koncentrējas uz uzvedības izmaiņu stratēģijām un principiem, identificējot cēloņsakarīgus aktīvus komponentus, jeb “mehānismus”, kas paredzēti skolotāju izaugsmes veicināšanai, izmantojot (I) Ieskatus, (M) Motivāciju, (T) Tehniku, un (P) Lietošanu praksē, galu galā uzlabojot mācību efektivitāti.

PP modeļi: darbības pētījums un mācību stunda

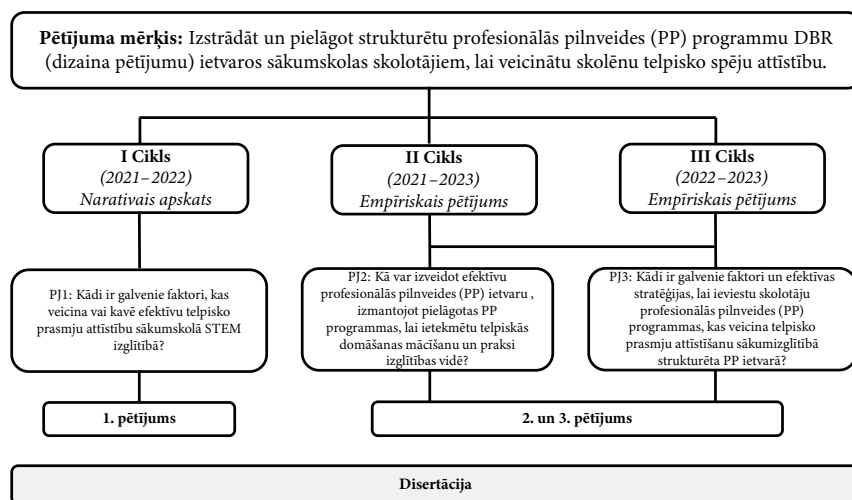
Pētījumā kā PP modeļi izmantoti DarP un StI pieeja, kas abi uzsver skolotāju sadarbību, atkārtotu refleksiju un uz pierādījumiem balstītus uzlabojumus praksē.

- StI: Radusies Japānā, ietver kopīgu stundu plānošanu, klases novērojumus un atkārtotu pilnveidi, lai uzlabotu mācīšanas efektivitāti (Dudley, 2013; Lewis & Tsuchida, 1998).
- DarP: Ciklisks process, kurā skolotāji sistemātiski pēta problēmas klasē, ievieš izmaiņas un analizē rezultātus, lai uzlabotu praksi. (Cochran-Smith & Lytle, 2015; Kemmis & McTaggart, 2005).

Abi modeļi atbilst Vigotska sadarbības mācīšanās teorijai, Šona reflektējošā praktiķa modelim un Džuija pieredzes mācīšanās teorijai, uzsverot aktīvu iesaistīšanos, kritisku refleksiju un nepārtrauktu profesionālo izaugsmi (Dewey, 1938; Vygotsky, 1978; Schön, 1992). Šīs pieejas veicina nozīmīgus un noturīgus mācīšanas un mācīšanās uzlabojumus.

3. METODOLOĢIJA

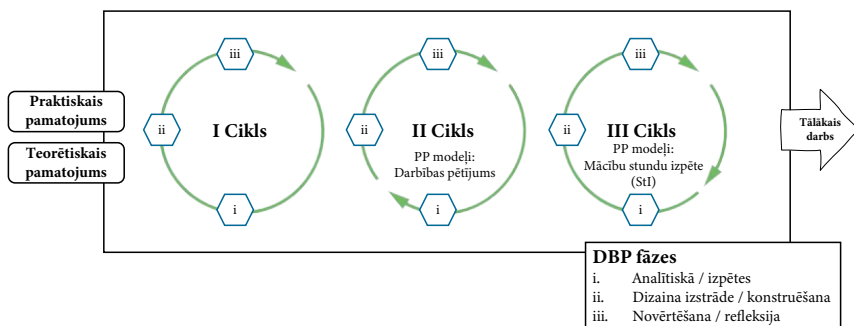
Šī disertācija balstās uz DBP¹⁴, kas ir iteratīva un uz sadarbību vērsta metodoloģija, kas paredzēta izglītības intervencu izstrādei un pilnveidošanai reālās pasaules kontekstā (Anderson & Shattuck, 2012). DBP ir šī pētījuma visaptverošais ietvars, kas strukturē pētījumu trīs savstarpēji saistītos ciklos, kuri aptver izstrādes, īstenošanas un refleksijas procesus. Šie cikli integrē DarP un StI kā PP programmas, kuru mērķis ir attīstīt skolēnu telpiskās spējas sākumskolas izglītībā. Pirmajā attēlā ir vizuāli attēlotas šo pētniecības ciklu savstarpējās saiknes.



1. attēls. Pārskats par pētījumu savstarpējām saiknēm

Visā disertācijā tiek lietoti termini, PP ietvars un DBP ietvars, lai atspoguļotu DBP dubultlomu gan kā pētījuma metodoloģiju, gan kā strukturētu pieeju profesionālajai pilnveidei. 2. attēls sniedz visaptverošu disertācijas struktūru, ilustrējot, kā pētījums ir balstīts trijos savstarpēji saistītos pētījumos, no kuriem katrs atbilst atsevišķam DBP ciklam. Katrs cikls ir izstrādāts, izmantojot iepriekšējo ciklu atziņas, lai iteratīvi pilnveidotu DBP ietvaru, kas ietver DarP un StI kā PP procesa pamatelementus.

¹⁴ DBP (dizainā balstīti pētījumi) kalpo kā vispārējs ietvars, kas strukturē pētījumu un sniedz vadlīnijas dažādu skolotāju profesionālās pilnveides (PP) programmu izstrādei un īstenošanai. Tas ļauj veikt iteratīvu pārbaudi, pielāgošanu un pilnveidi reālos izglītības apstākļos.

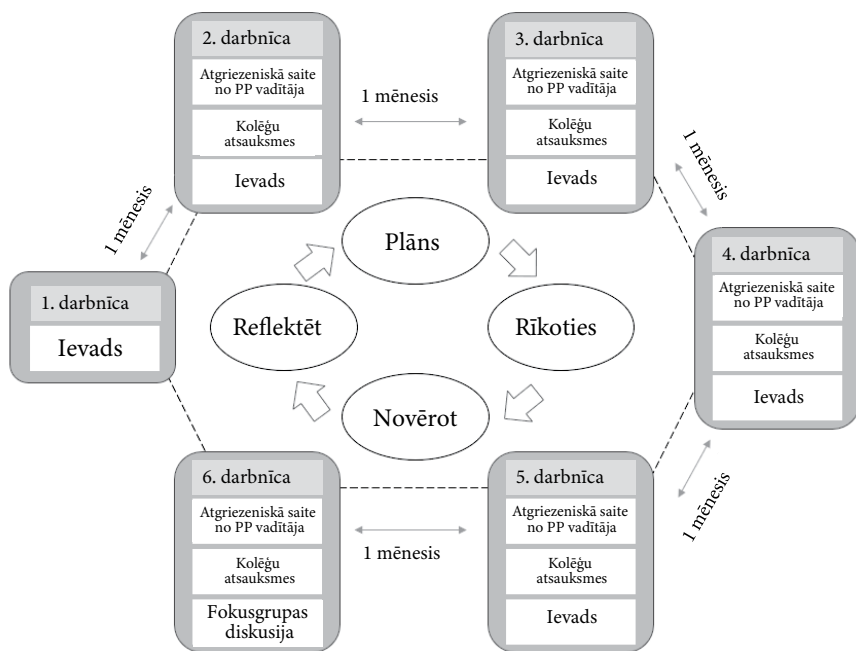


2. attēls. Iteratīvais DBP ietvars skolotāju profesionālajai pilnveidei

Cikls I: Ietvara izstrāde – Šajā posmā tika veikta visaptveroša literatūras analīze, lai identificētu efektīvas PP prakses, īpaši koncentrējoties uz teorētiskajām pamatnostādnēm par PP izglītībā. Paralēli tika veikts pārskats, lai izpētītu telpisko prasmju mācīšanas sarežģījumus pamatskolas izglītībā, izceļot galvenos izaicinājumus un iespējas izglītībā. Šīs fāzes galvenais rezultāts bija elastīga ietvara¹⁵ izstrāde telpisko spēju attīstīšanas sarežģījumu izpratnei. DBP iteratīvā daba veicināja šī ietvara nepārtrauktu pilnveidošanu, ļaujot to pielāgot, kad pētniecības procesa laikā parādījās jaunas atziņas.

Cikls II: Darbības pētījums – Otrajā ciklā tika izmantota DarP kā PP programma, kas atbilst DBP iteratīvajai dabai. Pirmā cikla atziņas palīdzēja realizēt šo posmu un pilnveidot to. Programmas centrā, kā redzams 4. attēlā, ir iteratīvs process “Plānot, Darināt, Novērot, Reflektēt”, kas veicina nepārtrauktu mācīšanos un pilnveidošanos. Process sākas ar sākotnējo ievada sesiju (1. darbnīca), kas ieliek pamatus turpmākajām darbnīcām. Katrs nākamais darbnīcas posms (no 2. līdz 6.) balstās uz iepriekšējo, iekļaujot atgriezenisko saiti no darbnīcu vadītājiem un kolēģiem, lai uzlabotu mācīšanās rezultātus. Modelis uzsver mēneša progresu, nodrošinot regulāru iesaisti un konsekventu attīstību. Pēc katras darbības un novērošanas fāzes dalībnieki piedalās strukturētā refleksijā, ļaujot viņiem pilnveidot savu praksi pirms nākamā cikla uzsākšanas. Pēc sestās darbnīcas modelis kulminē ar fokusgrupas diskusiju, kas sniedz iespēju kolektīvai refleksijai un plašākām atziņām. Šī iteratīvā pieeja veicina ilgtspējīgu izaugsmi, nostiprinot jaunas zināšanas, izmantojot atkārtotus plānošanas, darbības, novērošanas un refleksijas ciklus, veicinot sadarbības un dinamiskas mācīšanās vidi.

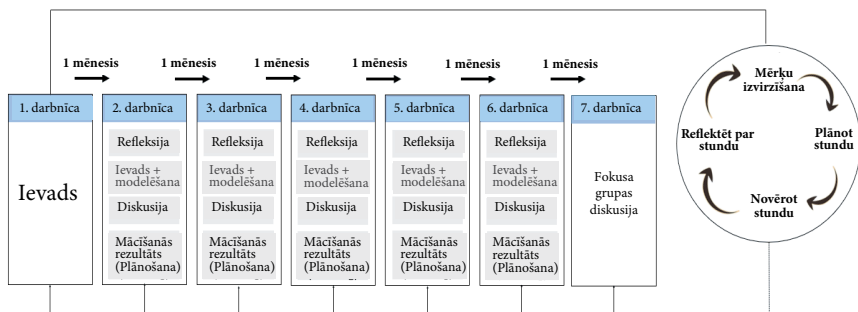
¹⁵ Šis pētījuma ietvars tiek tālāk apskatīts nodaļā, kur tiek detalizēti apspriests Pētījums I.



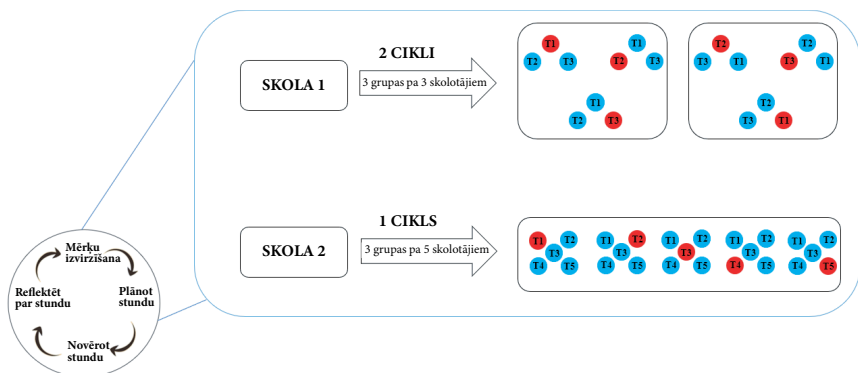
3. attēls. Ieteiktā iteratīvā PP programma, pielāgota no Greitāns & Namsone (2021)

Cikls III: Stundu izpēte (StI) – Balstoties uz I un II ciklu rezultātiem, PP ietvars tika papildināts un novērtēts, izmantojot StI programmu¹⁶, saskaņā ar dizainu, ko izstrādājuši Greitāns un Namsone (2021). Šešu mēnešu nodarbības ietvērā strukturētas PP darbnīcas, kam sekoja sadarbības stundu izpētes process. Darbnīcas tika īstenotas četros posmos: refleksija, ievads un modelēšana, diskusija un mācīšanās rezultātu formulēšana. Katrs posms bija vērsts uz noteiktām telpiskām spējām, piemēram, vizualizāciju un mentālo rotāciju, ar PP vadītāju, kas modelēja stundas un vadīja reflektīvas diskusijas (skatīt 4. attēlu).

¹⁶ Šajā kontekstā StI pāriet no teorētiskā modeļa uz praktisku PP programmu, kas izstrādāta un pārbaudīta DBP ietvarā.



4. attēls. Pielāgotā PP programma, balstoties uz Luiss u.c. (2009) un Greitāns & Namsone (2021)



5. attēls. Organizatoriskā struktūra stundu izpētes ciklā¹⁷

Pēc darbnīcām dalībnieki piedalījās SI procesā, veidojot triju vai piecu cilvēku grupas. Šīs grupas kopīgi izvirzīja mācīšanas mērķus, plānoja stundas, novēroja citu vadītās stundas un reflektēja par rezultātiem (skatīt 5. attēlu). Šis iteratīvais cikls nepārtraukti pilnveidoja mācīšanas stratēģijas, uzlaboja telpisko spēju uzdevumu integrāciju un veicināja ilgtspējīgu profesionālo izaugsmi un sadarbību.

Visaptverošs kopsavilkums par pētījumu cikliem DBP ietvarā ir sniegts 1. tabulā.

¹⁷ "Bulta" attēlo grupu skaitu un katrā skolas grupā iesaistīto skolotāju skaitu. Sarkanā krāsa norāda skolotāju, kurš ieņem līdera pozīciju, savukārt zilā krāsa apzīmē otru skolotāju, kurš darbojas kā novērotājs.

1. tabula. Pārskats par pētījumu cikliem dizainā balstīta pētījuma ietvarā

Cikls	Mērķis	Dalībnieki	Ilgums	Fokuss Metodoloģija
Cikls I	Izstrādāt pedagoģisko ietvaru telpisko spēju attīstīšanai sākumskolas izglītībā, analizējot mācīšanas un mācīšanās komponentus (piemēram, mācību programmu, metodes, skolotāju zināšanas) un identificējot galvenos šķēršļus un motivatorus. Tas ietvēra matemātikas un dabaszinātņu programmu analīzi Īrijā, Latvijā, Nīderlandē un Zviedrijā.	NA (Nav pieejami dalībnieki)	16 mēneši	Naratīvs pārskats un mācību programmu analīze
Cikls II	Ieviest un pilnveidot sākotnējo ietvaru, izmantojot DarP.	5 pamatskolas skolotāji (N = 5)	6 mēneši	Iteratīvie cikli: plānošana, darbība, novērošana un refleksija
Cikls III	Tālāka ietvara pilnveidošana un validācija, izmantojot StI.	24 pamatskolas dabaszinību skolotāji (N = 24) no divām skolām Latvijā	6 mēneši	Stundu plānošana sadarbojoties, mācīšana, novērošana un refleksija

Pētījuma izlase

Pētījuma dalībnieki tika brīvprātīgi izvēlēti no 1., 2. un 3. klases skolotājiem.

- **Pētījums I** ietvēra rūpīgu pamatizglītības dabaszinātņu un matemātikas mācību programmu analīzi Īrijā, Latvijā, Zviedrijā un Nīderlandē, kā arī starptautisko pētījumu pārskatu.
- **Pētījums II:** iekļāva piecas sākumskolas skolotājas no divām valsts un vienas privātās skolas Latvijā (piederze: 3–35 gadi, $M = 17,8$). Dalībnieki ar bakalaura vai maģistra grādu, mācot 1.–3. klasē, ar darba slodzi 12–27 stundas nedēļā ($M = 20,8$).
- **Pētījums III:** iekļāva 24 skolotājas no divām Latvijas skolām. Pirmajā skolā bija deviņas skolotājas – trīs katrā klasē, bet otrajā skolā bija 15 skolotāji (pieci katrā klasē). Skolotāja pieredze bija no 4 līdz 47 gadiem ($M = 28,13$).

Instrumenti

Pētījumā tika izmantoti vairāki pētniecības instrumenti, lai apkopotu un analizētu datus trīs pētījumos. Šie instrumenti ietvēra literatūras analīzi, novērojumus klasē, anketas, grupu diskusijas un skolēnu novērtējumus, nodrošinot visaptverošu PP programmas ietekmes novērtējumu.

- **Pētījumā I**¹⁸: literatūras tematiskā analīze
 - Identificēti šķēršļi un veicinošie faktori telpiskās mācīšanas jomā.
 - Izmantota atslēgvārdu meklēšanas stratēģija akadēmiskās datubāzēs, izmantojot Būla operatorus un iekļaušanas/izslēgšanas kritērijus, lai precizētu rezultātus.
- **Pētījumā II**¹⁹: Jauktās metodes datu vākšanai

Instrumenti	Mērķis
Klases novērojumi	Izsekot izmaiņas mācīšanas praksē pirms PP īstenošanas, tās laikā un pēc tās.
Sākotnējās anketas	Apkopot pamatzināšanas un perspektīvas par telpisko prasmju mācīšanu.
Grupu diskusijas	Sniegt kvalitatīvus iesakus par PP pieredzi un sadarbības refleksiju.
Pirms- un pēc izvērtēšanas	PP ietekmes novērtējums, izmantojot standartizētus telpisko spēju testus ²⁰ :
Mentālās locīšanas testu bērniem (BMST)	Telpiskās vizualizācijas un mentālās locīšanas prasmju novērtēšana (Harris et al., 2013).
Mentālās transformācijas uzdevumu bērniem (BMTU)	Izmērītas mentālās transformācijas spējas (Ehrlich et al., 2006; Levine et al., 1999).

¹⁸ Visi ar šo pētījumu saistītie datu kopumi, tostarp iekļaušanas/izslēgšanas kritēriji, atslēgvārdu vadīta meklēšanas stratēģija un terminu skaidrojošā vārdnīca, ir augšupielādēti Zenodo platformā, SellSTEM kopienā. Šie resursi ir pieejami, izmantojot šādu DOI: [<https://doi.org/10.5281/zenodo.14552838>].

¹⁹ Papildus tam visi datu kopumi, instrumenti un papildu materiāli, kas saistīti ar šo pētījumu, tostarp pirmspārbaudes anketas, novērošanas protokoli, grupu diskusiju vadlīnijas un standartizēto testu rezultāti (MFTC un CMTT), ir augšupielādēti Zenodo platformā, SellSTEM kopienā. Šie resursi ir pieejami, izmantojot šādu DOI: [<https://doi.org/10.5281/zenodo.14522238>].

²⁰ Mentālās locīšanas tests bērniem (BMST; Harris et al., 2013) un Mentālās transformācijas uzdevums bērniem (BMTU; Ehrlich et al., 2006; Levine et al., 1999) ir pieejami Ziemeļrietumu universitātes vietnē. Lai iegūtu sīkāku informāciju un piekļūtu testiem, apmeklējiet Ziemeļrietumu universitāte – SILC. (<https://www.spatiallearning.org/tools>)

- **Pētījumā III**²¹: Priekšaptauja un fokusgrupu diskusijas
 - *Priekšaptauja*: daļēji strukturēti un atvērti jautājumi, lai noskaidrotu skolotāju pamatzināšanas un gaidas.
 - *Fokusgrupu diskusijas*: Pārdomas par izaicinājumiem, atziņām un efektivitāti pēc PP, veicinot kopīgu mācīšanos un PP programmas pilnveidošanu.

Šī strukturētā pieeja nodrošināja rūpīgu datu vākšanu un PP sistēmas atkārtotu pilnveidošanu, pamatojoties uz empīriskiem secinājumiem.

Datu vākšana un analīze

Šajā darbā izmantota jaukta metožu pieeja, lai analizētu datus, kas iegūti trīs DBP ciklos, nodrošinot visaptverošu, atkārtotu un kopīgu secinājumu izpēti. Analītiskās metodes tika izvēlētas tā, lai nodrošinātu triangulāciju, aptverot vairākas perspektīvas, kas ļautu pārliecinoši interpretēt rezultātus. Trīs pētījumos izmantoto analīzes metožu kopsavilkums ir sniegts 2. tabulā.

2. tabula. Pārskats par datu vākšanas un analīzes metodēm

Pētījums	Datu avots	Analīzes metode	Mērķis
Pētījums I	Sākumskolas dabaszinātņu un matemātikas mācību programmas (Īrija, Latvija, Zviedrija, Nīderlande) Starptautiskā zinātniskā literatūra	Tematiskā analīze Iekļaušanas un izslēgšanas kritēriji Atslēgas vārdu meklēšanas stratēģija	<ul style="list-style-type: none"> • Identificēt kopīgas tēmas un tendences • Sintezēt datus no mācību programmām un literatūras
Pētījums II	Pirms- un pēc izvērtēšanas (BMST un BMTU) Klases novērojumi Sākotnējās anketas – grupu diskusijas	Saistītais t-tests kvantitatīviem datiem (R programmatūra) Tematiskā analīze kvalitatīviem datiem (NVivo ²²)	<ul style="list-style-type: none"> • Novērtēt PP ietekmi uz skolēnu telpisko spēju attīstību • Izpētīt mācīšanas praksi un PP efektivitāti
Pētījums III	Priekšaptaujas Fokusgrupas diskusijas	Tematiskā analīze (NVivo)	<ul style="list-style-type: none"> • Iegūt ieskatus par skolotāju pieredzi un PP efektivitāti

²¹ Visi instrumenti un atbalsta materiāli no III pētījuma, tostarp pirmspārbaudes anketa un fokusgrupas diskusiju vadlīnijas, ir augšupielādēti Zenodo platformā, SellSTEM kopienā. Šie materiāli ir pieejami, izmantojot šādu DOI: [<https://doi.org/10.5281/zenodo.14544216>].

²² NVivo ir kvalitatīvo datu analīzes programmatūra, ko izstrādājis QSR International. Tā tiek izmantota kvalitatīvo datu kodēšanai un organizēšanai.

Pētījums I: Tika veikts literatūras apskats un mācību programmas analīze, lai noteiktu šķēršļus un veicinošos faktoros telpisko prasmju mācīšanas jomā. Uz atslēgvārdiem balstīta meklēšanas stratēģija un iekļaušanas/izslēgšanas kritēriji nodrošināja atbilstošu pētījumu atlasīšanu, un tematiskā analīze tika izmantota, lai iegūtu modeļus un izdarītu secinājumus.

Pētījums II: lai novērtētu PP programmas efektivitāti, tika izmantotas gan kvantitatīvas, gan kvalitatīvas metodes:

- *Kvantitatīvā analīze:*
 - *Pirms- un pēc izvērtēšanā* (BMST & BMTU) novērtētas 96 skolēnu telpiskās spējas 1.-4. klašu skolēniem.
 - *Saistītais t-tests* novērtēja skolēnu snieguma atšķirības pirms un pēc PP.
- *Kvalitatīvā analīze*
 - *Klases novērojumi* dokumentēta mācību prakse un skolēnu iesaistīšanās telpisko uzdevumu veikšanā.
 - *Priekšaptaujas anketās* tika apkopotas skolotāju pamatzināšanas un perspektīvas.
 - *Grupā diskusijas* veicināja skolotāju refleksiju un pieredzes apmaiņu.
 - *Tematiskā analīze (NVivo)* apzinātas galvenās tēmas, piemēram, prakse, skolēnu rezultāti un uztvertā PP ietekme.

Pētījums III lai novērtētu PP programmas ietekmi, tika izmantots kvalitatīvs pētījuma dizains:

- *Priekšaptaujas anketās* tika noskaidroti skolotāju sākotnējie uzskati, sākotnējās zināšanas un gaidas pirms iesaistīšanās PP.
- *Fokusu grupu diskusijas* pētīja skolotāju pieredzi, izaicinājumus un telpiskās mācīšanas stratēģiju integrāciju pēc PP.
- *NVivo analīze* identificēja četras galvenās tēmas: dalībnieku atziņas, motivāciju, metodes un jauno prasmju integrāciju mācībās.
- *Priekšaptaujas atbilžu triangulācija* un fokusu grupu diskusijas sniedza dziļāku izpratni par PP efektivitāti, nostiprinot DBP ietvaru.

Ētikas apsvērumi

Šajā pētījumā tika ievēroti stingri ētikas principi, nodrošinot informētu piekrišanu, anonimitāti un konfidencialitāti visā pētījuma gaitā (Bordens, 2018). Dalībnieki tika pilnībā informēti par pētījuma mērķiem, un piekrišana tika iegūta saskaņā ar Helsinku deklarāciju. Ētisku apstiprinājumu piešķīra Latvijas Universitātes Ētikas komiteja (**II raksts** – Nr. 71-43/54; **III raksts** – Nr. 71-43/57).

- *Anonimitāte & Pseudonīmi:* **II un III pētījumā** dalībnieku vārdi tika aizstāti ar kodētiem pseudonīmiem (piemēram, T1, T2), lai aizsargātu viņu identitāti. Tas tika skaidri norādīts piekrišanas veidlapā.
- *Datu drošība un glabāšana:* Visi faili, tostarp videoieraksti un transkripcijas, bija aizsargāti ar paroli, un šifrētas dublējumkopijas tika glabātas drošā vietā. Pseudonīmu saraksti tika glabāti atsevišķi, lai saglabātu konfidencialitāti.

- *Atvērtās piekļuves atbilstība:* Tā kā SellSTEM²³ ir ES finansēts pētījums, pētījuma dati tika augšupielādēti brīvpieejas repozitorijā Zenodo, tādējādi nodrošinot pārredzamību. Zenodo katram datu kopumam piešķir DOI, kas ļauj viegli tiem piekļūt un citēt.
- *Datu iznīcināšana:* Pēc pētījuma pabeigšanas ārējās atmiņas ierīces tika formatētas, un visi sensitīvie materiāli, tostarp videoieraksti, tika neatgriezeniski dzēsti. Zenodo joprojām ir ilgtermiņa repozitorijs, nodrošinot atbilstību brīvas piekļuves politikai.

²³ Šis doktorantūras pētījums tika veikts projekta SellSTEM (Spatially Enhanced Learning Linked to STEM) ietvaros, kas ir Eiropas Savienības finansēta iniciatīva Marijas Sklodovskas-Kīri aktivitāšu (MSCA) ietvarā. Pētnieks kā agrinās stadijas pētnieks (ESR 14) Latvijā, sniedza ieguldījumu SellSTEM misijā uzlabot STEM izglītību, izstrādājot skolotāju profesionālās pilnveides ietvarus, kuru mērķis ir uzlabot telpiskās spēju attīstību sākumskolā.

4. REZULTĀTI

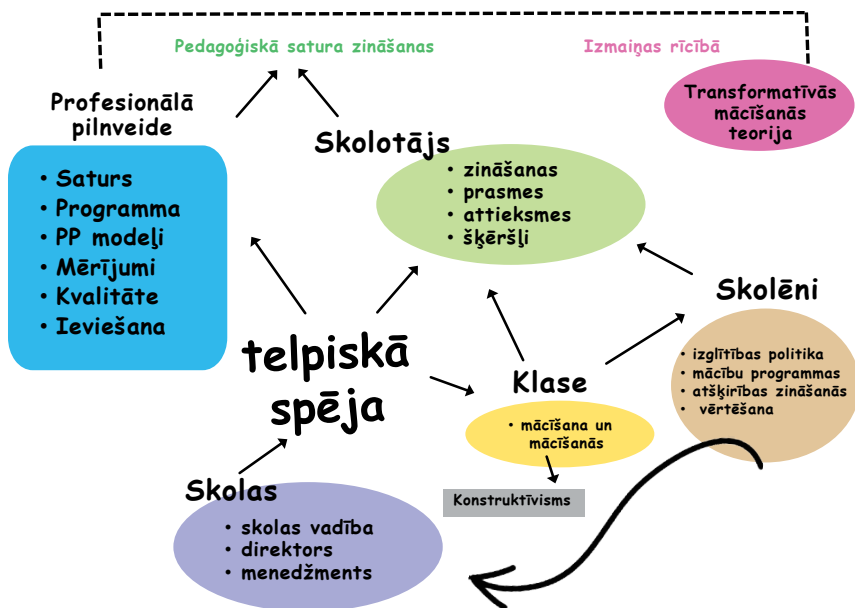
Rezultātu sadaļa atbild uz trim pētījuma jautājumiem, balstoties uz trīs publicētiem rakstiem, katrs no kuriem attēlo pētījuma ciklu DBP ietvarā. Kopumā šie raksti veicina PP ietvara pakāpenisku izstrādi un pilnveidošanu, lai attīstītu un pilnveidotu telpiskās spējas sākumizglītībā. 3. tabulā ir sniegtas detalizētas publicēto rakstu sasaistes ar pētījuma jautājumiem un disertācijas uzdevumiem, parādot, kā katrs pētījums atbilst un veicina kopējos pētījuma mērķus.

3. tabula. Publicēto rakstu sasaiste ar pētījuma jautājumiem un disertācijas uzdevumiem

Raksts	Pētījuma jautājums	Disertācijas uzdevums	Galvenais ieguldījums
Pētījumā I: Addressing the complexity of spatial teaching: a narrative review of barriers and enablers.	PJ1	Uzdevums 1 Uzdevums 3 Uzdevums 4 Uzdevums 7 Uzdevums 8	<ul style="list-style-type: none">Izglītības vides naratīva karteMācību programmu analīzeBarjeras un motivatori telpisko prasmju mācīšanā
Pētījumā II: Professional development for primary school teachers intended to promote students' spatial ability	PJ2, PJ3	Uzdevums 1 Uzdevums 2 Uzdevums 5 Uzdevums 6 Uzdevums 7 Uzdevums 8	<ul style="list-style-type: none">Profesionālās pilnveides (PP) ietvara izstrāde un novērtēšanaKritisko faktoru un stratēģiju identificēšanaIetekme uz mācību praksiSadarbības mācīšanās modeļiResursu izstrāde un pielietojums
Pētījumā III: Lesson Study as a professional development model for teaching spatial ability in primary STEM	PJ2, PJ3	Uzdevums 1 Uzdevums 5 Uzdevums 6 Uzdevums 7 Uzdevums 8	<ul style="list-style-type: none">Sadarbības un reflektīvā prakseIlgspējīgas ieviešanas stratēģijasStarppriekšmetu integrācijaDiferencēta instrukcija

Telpisko prasmju mācīšanas sarežģītība: šķēršļi un atbalsta faktori

I pētījumā tika izveidots telpisko prasmju mācīšanas ietvars, uzsverot dažādo izglītības elementu savstarpējo saistību, tostarp mācību programmu, izglītības iestādi, klasi, skolotāju un skolēnus. Šie komponenti veidoja sarežģītu attiecību tīklu, kas ietekmē telpisko prasmju attīstību. Lai vizuāli attēlotu šīs sakarības, tika izstrādāta naratīvā karte (6. attēls).



6. attēls. Izglītības vides komponenti, kas saistīti ar telpisko spēju attīstību

Pētījums I ietvēra arī padziļinātu sākumskolas dabaszinātņu un matemātikas mācību programmu analīzi Īrijā, Latvijā, Zviedrijā un Nīderlandē, lai labāk izprastu, kā telpisko spēju attīstība tika integrēta katras valsts mācību programmā. Analīze atklāja atšķirīgus piegājienu telpisko uzdevumu iekļaušanā:

- **Īrija:** Telpiskās spēju attīstība tika uzsvērtā matemātikas tematā “Forma un telpa” un praktiskajās aktivitātēs dabaszinātnēs.
- **Latvija:** Telpiskie uzdevumi tika integrēti visās klasēs, koncentrējoties uz konstruēšanas, sadalīšanas un novērošanas aktivitātēm.
- **Nīderlande:** Telpisko spēju mācīšana tika iekļauta ģeometrijas tematos un ar dizainu saistītos dabaszinātņu uzdevumos, taču tika novērots samazināts uzsvars dabaszinātnēs.
- **Zviedrija:** Telpiskie uzdevumi tika ieviesti, izmantojot ģeometriju un citus priekšmetus, iekļaujot vizuālos attēlojumus un fizisku mijiedarbību.

Latvijas mācību programmās, īpaši matemātikā, dabaszinībās un dizainā un tehnoloģijās, tika pārbaudīta arī telpisko komponentu starppriekšmetu integrācija 1.–3. klasē (4. tabula).

Turpmāk tika izveidota šķēršļu un atbalsta faktoru kategorizācija, pamatojoties uz plašu literatūras izpēti, kas veikta pirmajā rakstā, kā arī mācību programmu analīzi. Šie šķēršļi un atbalsta faktori tika klasificēti četros komponentos:

mācību programma, pedagoģija, pedagoģiskā satura zināšanas un telpiskā organizācija klasē²⁴, kā parādīts 5. tabulā.

4. tabula. Telpisko komponentu starppriekšmetu integrācija pirmajās trīs klasēs

Priekšmets	Telpiskās sastāvdaļas		
	1. klase	2. klase	3. klase
<i>Matemātika</i>	Formas, raksti, ģeometrija	Sarežģītas formas, simetrija, mērvienības	Tilpums, laukums, sarežģītas ģeometriskas formas, transformācijas
<i>Dabaszinātnes</i>	Novērošana un telpisko attiecību apraksts dabā	Telpisko attiecību izpēte fizikālajās un bioloģiskajās sistēmās	Telpisko attiecību detalizēta izpēte ekosistēmās un cilvēka ķermenī
<i>Dizains un tehnoloģijas</i>	Pamata dizaina koncepti, telpisko attiecību izpratne vienkāršās būvēs	Vidējā līmeņa dizaina koncepti, telpiskā plānošana projektos	Attīstīti dizaina un inženierijas koncepti, 3D modelēšana, telpiskā plānošana

5. tabula. Atbalsta faktoru un šķēršļu kopsavilkums telpisko uzdevumu integrācijai dabaszinību un matemātikas izglītībā

Komponents	Atbalsta faktori	Šķēršļi
<i>Mācību programma</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sistemātiska mācību programmas izstrāde telpisko spēju attīstībai Telpiskās tehnoloģijas iekļaušana Praktisku aktivitāšu iekļaušana Alternatīvi novērtēšanas paņēmieni 	<ul style="list-style-type: none"> Nepietiekams laiks Nepietiekama mācību programmas izstrāde, ņemot vērā skolēnu daudzveidību
<i>Pedagoģija</i>	<ul style="list-style-type: none"> Konstruēšanas metodoloģiju izmantošana, iesaistot fiziskos objektus Praktiski materiāli Mācību materiāli skolotājiem ar ierobežotu telpisko spēju attīstību Profesionālās pilnveides programmas 	<ul style="list-style-type: none"> Literatūras trūkums par izglītības un kognitīvās zinātnes pētniecības rezultātu integrāciju pedagoģijā Matemātika tiek uzsvēta vairāk nekā citi STEM priekšmeti Uztveres un stereotipiskā domāšana Negatīva vai zema skolotāju pārliecība par telpisko spēju un matemātikas mācīšanas metodoloģiju

²⁴ *Klases telpiskojums attiecas uz to, kā klases telpa, materiāli un resursi tiek izvietoti un izmantoti, lai palīdzētu skolēniem attīstīt telpiskās prasmes. Tas var ietvert 3D modeļu, manipulāciju un vizuālo palīgīdzekļu izmantošanu, lai padarītu telpiskos jēdzienus vieglāk saprotamus.*

Komponents	Atbalsta faktori	Šķēršļi
<i>Pedagoģiskā satura zināšanas (PSZ)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Vadības atbalsts • Profesionālās mācīšanās kopienas • Skolotāju koučings un mentordarbības programmas • Stundu izpēte • Pieejamība resursiem • Motivācija un atzinība 	<ul style="list-style-type: none"> • Laika ierobežojumi • Ierobežoti resursi • Pretestība pārmaiņām • Profesionālās pilnveides trūkums
<i>Klases telpiskā organizācija</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Telpisko jēdzienu biežāka izmantošana • Bloku un pužļu izmantošana • Dažādu piemēru izmantošana ar dažādiem attēlojumiem • Bērnu iesaistišana risinājumu diskusijās • Runāšana skaļi un modeļu demonstrēšana 	<ul style="list-style-type: none"> • Laika ierobežojumi • Telpisko aktivitāšu vērtēšana

Efektīvas PP programmas, lai uzlabotu telpiskās spējas mācīšanu

II pētījums izpētīja PP programmas efektivitāti, izmantojot darbības pētījumu

II pētījumā tika novērtēta PP programmas ietekme, izmantojot Gaskija (2002) piecu fāzu sistēmu, kas ietver dalībnieku reakcijas, mācīšanos, organizatorisko atbalstu, jauno zināšanu lietošanu un skolēnu rezultātus.

1. un 2. fāzes (reakcijas & mācīšanās): Skolotāji reagēja pozitīvi, norādot, ka viņiem ir uzlabojusies izpratne par telpiskajām spējām un viņi vairāk novērtē telpisko aktivitāšu integrēšanu mācību procesā.

- 3. fāze (Organizācijas atbalsts & pārmaiņas): Īstenošanas laikā radās izaicinājumi, kas sakrīta ar I pētījumā identificētajiem šķēršļiem. Tomēr institucionālais atbalsts veicināja programmas vispārējos panākumus.
- 4. fāze (Jaunu zināšanu lietošana): Skolotāji efektīvi izmantoja telpiskās stratēģijas, piemēram, pārejot no vizuālām reprezentācijām uz konkrētiem modeļiem, mācot 3D figūras.
- 5. fāze (Ietekme uz skolēnu mācību rezultātiem): Lielākajā daļā gadījumu skolēnu sniegums ievērojami uzlabojās, kā to atspoguļo BMST un BMTU pēctesta rezultāti.
 - T1 un T2 skolēni uzrādīja statistiski nozīmīgus uzlabojumus ($p < ,05$), kas liecina par programmas efektivitāti
 - T3 skolēnu (tikai BMST) un T4 skolēnu (tikai BMTU) rezultāti bija dažādi.
 - T5 skolēni neuzrādīja būtiskas atšķirības, iespējams, tāpēc, ka tests nebija piemērots viņu attīstības līmenim.

III pētījums: PP efektivitātes novērtēšana, izmantojot darbības pētījumu

III pētījums novērtēja efektivitāti, ieviešot Stundu izpēti (StI) kā profesionālās pilnveides veidu, izmantojot Sims et al. (2023) IMTP ietvaru. Šis ietvars savieno skolotāju mācīšanos ar klases praksi caur četriem mehānismiem: ieskatiem (I), motivāciju (M), tehniku (T) un iekļaušanu praksē (P).

- *Ieskati (I)*:
 - Koncentrēšanās uz konkrētām telpiskām prasmēm (piemēram, vizualizāciju, mentālo rotāciju).
 - Strukturēti semināri ar atbalstošu ievada sniegšanu, lai novērstu kognitīvo pārslodzi.
 - *Motivācija (M)*:
 - Skolotāji izvirzīja mērķus, kas bija saistīti ar telpisko spēju attīstību un mācību stundu plānos iekļāva vairāk telpiskos uzdevumus.
 - Galveno jēdzienu atkārtošana semināros, lai tos nostiprinātu.
 - *Tehnika (T)*:
 - Liela nozīme bija praktiskajam atbalstam un atgriezeniskajai saitei:
 - T7 atzina, ka detalizēta atgriezeniskā saite uzlaboja viņu stundu plānošanu.
 - T14 atzina, ka kolēģu atbalsts palīdzēja veiksmīgi ieviest jaunu klases vadības sistēmu.
 - *Iekļaušana praksē (P)*:
 - Skolotāji, veicot klases novērojumus, identificēja jomas, kurās nepieciešami uzlabojumi, un tā rezultātā tika plānota rīcība:
 - T6 ieviesa jaunas jautājumu uzdošanas metodes, lai veicinātu skolēnu iesaistīšanos.
 - T12 izmantoja tangramu puzzles, lai veicinātu reflektējošu problēmu risināšanu.
- ✓ PP programma (**II pētījums**) ievērojami uzlaboja skolotāju telpiskās mācīšanas stratēģijas un skolēnu rezultātus, lai gan joprojām pastāvēja īstenošanas problēmas.
- ✓ StI (**III pētījums**) efektīvi pārnesa PP atziņas klases praksē, pastiprinot sadarbību, atgriezenisko saiti un praktiskas metodes, lai uzturētu skolotāju attīstību.

Kritiskie faktori un stratēģijas PP programmu ieviešanai telpisko spēju attīstīšanai sākumskolā

I, II un III pētījumā iegūtie rezultāti identificēja galvenos faktoros un stratēģijas, kas nepieciešamas, lai veiksmīgi īstenotu PP programmas telpisko spēju mācīšanai. Šis atziņas uzsver telpisko spēju mācīšanas sarežģītību un sistemātiskas, sadarbībā balstītas un labi atbalstītas pieejas nozīmi.

Galvenie faktori efektīvai PP īstenošanai

- *Skolotāja ekspertīze un pieredze*: Sākotnēji skolotāji uztvēra telpiskās spējas kā atsevišķu prasmi, kurai nepieciešami papildu resursi. Tomēr, turpinot

mācības, viņi guva dziļāku izpratni par tās kognitīvo sarežģītību un nozīmi tādos mācību priekšmetos kā matemātika un dabaszinātnes. Skolotāji atzina tās nozīmi agrīnajā bērnībā un starppriekšmetu integrācijā, kas liecina par PP panākumiem gan konceptuālās izpratnes uzlabošanā, gan spēju pielietot telpiskās prasmes klasē.

- *Mācību programmas prasības*: Lai PP programmas būtu efektīvas, tām jābūt saskaņotām ar valsts mācību programmām un izglītības standartiem. I pētījumā izstrādātā starppriekšmetu saikņu sistēma ļāva skolotājiem analizēt un integrēt telpiskos komponentus savā mācību procesā klasē. Šī saskaņošana nodrošināja telpisko spēju mācīšanas atbilstību, piemērojamību un konsekventi starp disciplinām
- *Skolotāju motivācija un iesaiste*: *Neraugoties uz sākotnējo pretestību* pārmaiņām, skolotāju motivācija pieauga visā mācību procesa gaitā. **III pētījumā** pirmās skolas skolotāji izrādīja īpaši lielu iesaistīšanos, aktīvi piedaloties grupu diskusijās un kopīgā stundu plānošanā. Šo motivāciju veicināja atbalstoša un interaktīva PP vide kopā ar profesionāliem stimuliem (sertifikāti, profesionālās izaugsmes iespējas).
- *Ilgspējīgs atbalsts un papildu pasākumi*: Galvenais veiksmes faktors **II un III pētījumā** bija nepārtrauktas PP vadītāja norādes. Skolotāji novērtēja personalizētu atgriezenisko saiti, kas palīdzēja viņiem pilnveidot stundu plānus un mācību stratēģijas. Šī pastāvīgā atbalsta sistēma ļāva skolotājiem pārvarēt grūtības un uzturēt ilgtermiņa uzlabojumus telpiskās apmācības jomā.
- *Resursu pieejamība*: Būtisks izaicinājums **III pētījumā** bija ierobežotā piekļuve manipulatīviem un digitālajiem rīkiem. Lai to risinātu, PP ieviesa atvērtos izglītības resursus, piemēram:
 - PhET simulācijas (<https://phet.colorado.edu/>)
 - Mācīšanās trajektorijas (<https://www.learningtrajectories.org/>)

Galvenās stratēģijas PP programmu ieviešanai

- *Interaktīvie semināri un mācību sesijas*: **III pētījumā** praktiskie uzdevumi bija būtiski. skolotāji strādāja mazās grupās (trijātā un piecatā), lai izveidotu mācību plānus, izmantojot manipulatīvus materiālus. PP vadītāja demonstrācijas mācību stundās sniedza skolotājiem vērtīgas atziņas, nodrošinot, ka skolotāji efektīvi apgūst telpiskos jēdzienus.
- *Sadarbības mācīšanās modeļi* **II un III pētījumi** uzsvēra sadarbības nozīmi PP programmās. STI modelis veicināja dziļāku iesaistīšanos nekā DarP, jo tajā bija strukturēti vienaudžu novērošanas un atgriezeniskās saites cikli. Skolotāji kopīgi veidoja mācību stundas, novēroja cits cita mācīšanu un iteratīvi pilnveidoja savas mācīšanas stratēģijas, ievērojami uzlabojot telpiskās mācīšanas procesu.
- *Diferenciētas mācīšanas stratēģijas*: skolotāji atzina nepieciešamību pielāgot mācību aktivitātes dažādām skolēnu spējām. **II pētījumā** darbnīcu sesijas bija veltītas diferenciācijas stratēģijām, palīdzot skolotājiem pielāgot

telpiskās aktivitātes skolēniem ar atšķirīgu prasmju līmeni un mācīšanās stilu. **II un III pētījumā** skolotāji īstenoja pārejas stratēģiju, kas pārorientējās no vizualizēšanas pieejas uz praktiskiem modeļiem, uzlabojot skolēnu iesaisti un izpratni.

- *Integrācija klases praksē*: darbnīcu sesijas bija strukturētas četros posmos – refleksija, ievads, modelēšana un diskusija, lai nodrošinātu, ka PP stratēģijas tiek īstenotas reālā klasē:
 - Refleksija: Pašnovērtējums, atgriezeniskā saite un savstarpējs atbalsts.
 - Ievads: Nodrošināja ticamus resursus un pārskatīja iepriekš apgūtās zināšanas.
 - Modelēšana: Skolotāji darbojās kā skolēni, kamēr PP vadītāji demonstrēja efektīvas metodes, palīdzot viņiem klātienē iepazīt labāko praksi.
 - Diskusija: Veicināja stundu plānošanu un PD stratēģiju integrēšanu ikdienas mācību darbā.

5. SECINĀJUMI

Secinājumi

- Pētījumā tika identificēti vairāki būtiski atbalsta faktori un šķēršļi, kas ietekmē telpisko prasmju mācīšanu. Atbalsta faktori ietver labi izstrādātu mācību programmas saturu, kurā integrē telpisko spēju attīstības uzdevumus, efektīvas pedagoģiskās stratēģijas, kas aktīvi iesaista skolēnus, un atbilstošas pedagoģiskā satura zināšanas skolotāju vidū. Savukārt šķēršļi bieži izriet no specifiskas apmācības trūkuma telpisko prasmju jomā, ierobežotiem resursiem un nepietiekamas specializācijas klasēs. Šie atklājumi uzsver mērķtiecīgu iejaukšanās pasākumu nozīmi mācību programmu izstrādē un skolotāju apmācībā, lai pārvarētu šos šķēršļus un veicinātu skolēnu telpisko spēju attīstību.
- Pētījumā tika analizēti divi PP modeļi – DarP un StI, lai izvērtētu to efektivitāti skolotāju prasmju uzlabošanā, kas veicina skolēnu telpisko prasmju attīstību. DarP modelis bija īpaši efektīvs, jo veicināja iteratīvu sadarbības procesu, kas ievērojami pilnveidoja mācīšanas praksi un pozitīvi ietekmēja skolēnu mācību rezultātus. Savukārt StI modelis uzsvēra mācīšanas sadarbībā un refleksiju, ļaujot skolotājiem pilnveidot stratēģijas, kā efektīvāk integrēt telpiskos uzdevumus mācību procesā. Šie secinājumi liecina, ka efektīvā PP programmā, kas atbalsta skolēnu telpisko prasmju attīstību, jāiekļauj sadarbības un refleksijas prakse. Tas veicina nepārtrauktu profesionālo pilnveidi un uzlabo mācīšanas efektivitāti, nodrošinot ilgtspējīgu skolotāju kompetences pilnveidi.
- Pētījumā tika identificēti vairāki būtiski faktori un stratēģijas, kas nepieciešami PP programmu veiksmīgai īstenošanai telpisko spēju attīstīšanai. Galvenie faktori ietver spēcīgu institucionālo atbalstu, kas nodrošina pastāvīgas skolotāju sadarbības iespējas un kopīgu mācīšanu; strukturētu ietvaru, kas ļauj iteratīvi veikt mācību procesa pilnveidi, balstoties uz atgriezenisko saiti un pielāgojoties mainīgajām izglītības vajadzībām. Efektīvas stratēģijas ietver telpisko prasmju integrēšanu esošajos mācību priekšmetu jomas standartos, tūlītēju atgriezenisko saiti, kas ļauj pielāgot mācīšanas pieeju, kā arī kultūras veidošanu skolotāju vidū. Šīs stratēģijas un faktori ir ļoti svarīgi, lai nodrošinātu PP programmu atbilstību un efektivitāti dažādos izglītības kontekstos.

Ierobežojumi

Šajā pētījumā ir vairāki ierobežojumi, kas var ietekmēt tā secinājumu vispārināmību un ilgtermiņa piemērojamību:

1. *Ilgtermiņa ietekmes mērīšana* – Pētījumā nav novērtēts, vai novērotie uzlabojumi telpisko prasmju mācīšanā un skolēnu mācību rezultātos ir

noturīgi laika gaitā. Turpmākajos pētījumos būtu jāiekļauj turpmāki novērtējumi, lai pārbaudītu ilgtermiņa ietekmi

2. *Skolotāju iesaistes mainība* – Iespējams, ka PP programmas efektivitāti ietekmēja skolotāju motivācijas un iesaistīšanās atšķirības, kā rezultātā dalībnieki guva atšķirīgus ieguvumus.
3. *Potenciālais subjektīvisms pašnovērtējuma datos* – Liela daļa datu tika iegūta, izmantojot skolotāju atgriezenisko saiti un fokusgrupu diskusijas, kuras, lai gan ir izglītojošas, var ietekmēt sociālās vēlamības tendence, kad dalībnieki sniedz sagaidāmas, nevis pilnībā autentiskas atbildes.
4. *Papildu faktoru ietekme*: – Lai gan pētījumā atzītas tādas problēmas kā ierobežots mācību laiks, organizatoriskais atbalsts un resursu pieejamība, tajā nav izpētīta to konkrētā ietekme uz PP efektivitāti, kas varētu būt ietekmējusi rezultātus.
5. *PP ietvara pielāgošana dažādām kultūrām* – Izglītības sistēmu, mācību programmu struktūru un mācību prakses dažādība dažādās valstīs rada izaicinājumus PP modeļa pielāgošanā. Kultūras un politikas atšķirības var ietekmēt to, kā PP programma tiek īstenota un integrēta vietējā mācību procesā.

Izstrādātās tēzes aizstāvēšanai

I. Barjeru un atbalsta faktoru identificēšana telpisko prasmju mācīšanās

Šis pētījums identificēja kritiskās barjeras un atbalsta faktorus, kas ietekmē telpisko prasmju mācīšanu sākumskolā, sniedzot vērtīgas atziņas par izglītības vides sarežģītību. Tika izstrādāts naratīva kartējums, lai atspoguļotu mācību programmu izstrādi, mācību metožu, skolotāju zināšanu un klases prakšu mijiedarbību, kas veido telpisko prasmju attīstību. Veicot sākumskolas matemātikas un dabaszinātņu mācību programmu analīzi četrās Eiropas valstīs – Īrijā, Latvijā, Nīderlandē un Zviedrijā –, pētījums izcēla dažādas pieejas telpiskās domāšanas integrēšanai izglītībā. Kamēr visas četras valstis atzina telpisko prasmju nozīmīgumu, to integrēšana atšķīrās gan apjomā, gan uzsvārā, sākot no ģeometrijas uzdevumiem līdz praktiskām dabaszinātņu aktivitātēm. Turklāt pētījums sistemātiski identificēja un kategorizēja barjeras un atbalsta faktorus četrās galvenajās komponentēs: mācību programma, pedagoģija, PSZ un klases telpiskā organizēšana. Barjeras ietvēra nepietiekamu mācību programmas ilgumu, ierobežotus resursus, negatīvus skolotāju uzskatus un profesionālās pilnveides iespēju trūkumu. Savukārt atbalsta faktori, piemēram, konstruēšanas metodoloģija, vadības atbalsts, profesionālās mācību kopienas, telpiskās valodas un praktisko materiālu izmantošana, veicināja efektīvas telpisko prasmju mācīšanas prakses. Šie rezultāti sniedz visaptverošu izpratni par izaicinājumiem un

iespējām telpisko prasmju mācīšanās, uzsverot nepieciešamību pēc sistemātiska mācību programmas dizaina, reflektējošām mācīšanās stratēģijām un profesionālās pilnveides programmām, kas pielāgotas telpisko prasmju izglītības specifiskajām prasībām.

II. Inovatīva profesionālās attīstības pieeju integrācija

Šis pētījums piedāvā jaunu DarP un StI integrāciju DBP ietvarā, radot strukturētu, bet pielāgojamu metodoloģiju skolotāju profesionālajai pilnveidei (PP). Izmantojot DBP iteratīvos ciklus (Anderson & Shattuck, 2012), DarP veicināja reāllaika atgriezenisko saiti un mācību prakses pilnveidošanu, kamēr StI veicināja sadarbības mācīšanos un reflektējošas mācīšanas stratēģijas (Lewis et al., 2009). Latvijas pieredze (Namsone & Čakane, 2019) un starptautiski pētījumi (Ewen et al., 2023; Hayes et al., 2021; Lee Bae et al., 2016) uzsvēruši StI un DarP integrācijas vērtību, iekļaujot efektīvas prakses modelēšanas darbnīcas. Šis pieejas atspoguļo globālu pāreju uz skolotāju PP, kas koncentrējas uz stundu plānošanu un analīzi. PP programma integrēja strukturētas ievaddarbnīcas, mērķu izvirzīšanu un atgriezeniskās saites praksi, uzlabojot skolotāju spējas efektīvi izstrādāt un īstenot telpiskos uzdevumus sākumskolas mācību procesā. Šis ietvars saskan un paplašina esošo literatūru, kas atbalsta PP pieejas, kas prioritizē sadarbību, iteratīvu pilnveidi un reaģēšanu uz konkrētajām skolotāju izglītības vajadzībām (Sims et al., 2021).

Turklāt pētījums identificēja vairākus svarīgus faktoros, kas ir būtiski PP programmas īstenošanai, piemēram, skolotājiem – ekspertiem, mācību programmu saskaņošanai, skolotāju motivācijai, ilgtspējīgam atbalstam un resursu pieejamībai. Sākotnēji skolotājiem bija ierobežota izpratne un nepareizi uzskati par telpiskajām prasmēm, tās uzskatot par atsevišķām no citiem priekšmetiem vai prasot papildu resursus. Tomēr, izmantojot DarP un StI iteratīvos ciklus, PP ietvars padziļināja skolotāju izpratni, ļaujot viņiem efektīvāk integrēt telpiskās spēju attīstības aktivitātes matemātikā un dabaszinātnēs. Piemēram, skolotāji pārgāja no pamata telpisko prasmju definīcijām uz to plašāku nozīmi problēmu risināšanā un agrīnajā bērnu attīstībā. Mācību programmu saskaņošana bija vēl viens būtisks faktors, nodrošinot, ka telpiskie uzdevumi tiek integrēti izglītības standartos un saistīti ar dažādiem priekšmetiem. Šī saskaņošana ne tikai palielināja PP satura nozīmi, bet arī ļāva skolotājiem vienkāršā veidā iekļaut telpisko domāšanu ikdienas mācībās. Ietvars arī uzsvēra skolotāju motivāciju un iesaisti, norādot uz attiecīga satura un uz sadarbību vērstas vides nozīmi, lai uzturētu apņēmību piedalīties PP programmās. Ilgtspējīgs atbalsts un turpmākā palīdzība spēlēja nozīmīgu lomu ietvara veiksmīgumā. Pastāvīga vadība un atgriezeniskā saite no PP vadītājiem nodrošināja skaidrību un rīcībai gatavas atsauksmes, kas ļāva skolotājiem pilnveidot mācību pieejas. Skolotāji izcēla konkrētu rīku un stratēģiju vērtību, ko piedāvāja darbnīcās, piemēram,

izmantojot atvērtos resursus, PhET simulācijas un stundu plānus no “Learning Trajectories”, lai risinātu izaicinājumus, kas saistīti ar ierobežotiem resursiem.

Pētījums arī identificēja galvenās stratēģijas, lai efektīvi īstenotu PP programmas. Interaktīvas darbnīcas ar praktiskām aktivitātēm un prakses modelēšanu no PP vadītājiem bija izšķirošas, lai piedāvātu skolotājus metodes telpisko prasmju mācīšanai. Šīs darbnīcas ļāva skolotājiem tieši piedalīties telpisko uzdevumu risināšanā, veicinot dziļāku izpratni par to, kā izstrādāt un īstenot efektīvas stundas. Sadarbības mācīšanās modeļi, īpaši caur StI, veicināja plānošanu grupās un kolēģu novērošanu, ļaujot skolotājiem pilnveidot savas stratēģijas un iteratīvi uzlabot mācīšanas praksi. Diferencētas instrukcijas stratēģijās izrādījās vēl viens svarīgs komponents, nodrošinot, ka telpiskās aktivitātes atbilst dažādām skolēnu vajadzībām. Skolotāji izstrādāja pielāgotas pieejas, lai attīstītu dažādas telpiskās prasmes, pārejot no tradicionālām metodēm uz inovatīvām stratēģijām, kas ietver manipulācijas un praktiskas aktivitātes. Šīs prakses integrācija klasē tika nostiprināta, izmantojot strukturētu četru fāžu PP procesu – refleksija, teorētiskais ievads, modelēšana un diskusija –, kas tieši saistīja PP ar praktisko lietojumu klasē. Inovatīvā DarP un StI integrācija DBP ietvarā uzsver sadarbības, reflektējošu un iteratīvu PP pieeju efektivitāti.

III. Pierādījumos balstīta saikne starp skolotāju pilnveidi un skolēnu sasniegumiem

Šis pētījums izveido tiešu, pierādījumos balstītu saikni starp skolotāju pilnveidi un izmērāmām izmaiņām skolēnu sniegunā, parādot piedāvātās PP programmas efektivitāti. Iesaistot skolotājus darbību, refleksijas un sadarbības iteratīvajos ciklos, PP programma veicināja nozīmīgu profesionālo izaugsmi. Sākotnēji skolotājiem bija ierobežota izpratne un nepareizi uzskati par telpiskajām spējām, taču, izmantojot mērķtiecīgi plānotas darbnīcas, stundas plānošanu sadarbībā un reflektējošas prakses, viņu pedagoģiskās stratēģijas un pārlicība par telpisko prasmju mācīšanu būtiski uzlabojās. Pētījums arī izcēla sadarbības mācīšanās lomu skolotāju pilnveidē, ko veicināja DarP un StI. Skolotāji guva labumu no strukturētām iespējām apspriest izaicinājumus, dalīties atziņās un pilnveidot mācību pieejas, kā rezultātā viņi palielināja spēju izstrādāt un īstenot telpiskos uzdevumus, kas saskan ar mācību programmas standartiem un atbilst dažādām skolēnu vajadzībām. Šī attīstība bija būtiska, lai veicinātu mācīšanas prakses transformāciju, veicinot dziļāku telpisko prasmju integrāciju matemātikas un dabaszinātnes izglītībā.

Empīriskie dati vēl vairāk parādīja šo uzlabojumu pozitīvo ietekmi uz skolēnu rezultātiem. Pirms un pēc novērtēšanas ar standartizētiem telpisko spēju testiem atklājās būtiski uzlabojumi skolēnu telpiskajā domāšanā, īpaši vizualizācijas un mentālās rotācijas uzdevumos. Šie rezultāti uzsver mērķtiecīgu PP programmu nozīmi, kas ne tikai atbalsta skolotāju izaugsmi, bet arī uzlabo skolēnu mācību pieredzes kvalitāti STEM jomās.

Nākotnes pētījumi

Turpmākajos pētījumos būtu jāizpēta PP ietvara mērogojamība un ilgtermiņa ietekme dažādos izglītības kontekstos, novērtējot tās pielāgojamību dažādās kultūrās un mācību programmās. Lai pārbaudītu noturīgumu uzlabojumos skolotāju praksē un skolēnu mācību rezultātos, ir nepieciešami ilgtermiņa pētījumi. Jaunu tehnoloģiju (piemēram, virtuālās realitātes, mākslīgā intelekta radītu platformu) turpmāka izpēte varētu nodrošināt inovatīvas stratēģijas telpisko spēju uzlabošanai un resursu ierobežojumu risināšanai. Turklāt pētījumi par telpisko spēju starpdisciplināro nozīmi lasītprasmei un kritiskajā domāšanā varētu sniegt plašāku perspektīvu par to ietekmi izglītībā.

Ieteikumi

Sekojošajā tabulā ir apkopoti ieteikumi un to adresāti.

6. tabula. Ieteikumi telpisko prasmju mācīšanas un PP programmu uzlabošanai

Kategorija	Ieteikums	Apskatāmais faktors
<i>Mācību saturs un instrukcija</i>	Palielināt mācību laiku, kas veltīts telpiskajiem elementiem.	Nepietiekams mācību laiks
	Ieviest diferencētu mācīšanu, lai apmierinātu dažādas mācīšanās vajadzības.	Diferencētas instrukcijas trūkums
<i>Profesionālā pilnveide</i>	Standardizēt un atbalstīt profesionālās pilnveides (PP) īstenošanu.	Mainīga profesionālās pilnveides programmu īstenošana
	Izpētīt un integrēt papildu PP ietvarus.	Šaurs fokuss uz specifiskiem ietvariem.
	Regulāra novērtēšana un atsauksmes.	Nepieciešamība pēc nepārtrauktas novērtēšanas un uzlabošanas.
<i>Organizatoriskais atbalsts</i>	Uzlabot organizatorisko atbalstu, veicinot nepārtrauktas uzlabošanas un sadarbības kultūru.	Organizatoriskā atbalsta mainība.
	Palielināt piekļuvi resursiem telpiskās mācīšanas nodrošināšanai.	Resursu ierobežojumi.
<i>Labāko prakšu īstenošana</i>	Veicināt pētījumus balstītu prakses pieņemšanu.	Pretestība pārmaiņām
	Paplašināt uzdevumiem specifiskas mācības vai kursus, lai tās būtu pielāgojamas dažādiem mācību priekšmetiem un kontekstiem.	Uzdevumiem specifisku mācību vispārīgums
<i>Sadarbība un atsauksmes</i>	Veicināt sadarbības mācīšanās vidi skolotājiem, lai dalītos ar labākajām praksēm.	Nepieciešamība pēc praktiska sociālā atbalsta un atsauksmēm
	Iekļaut skolēnu atsauksmes telpiskās mācīšanas stratēģiju novērtēšanā.	Skolēnu rezultātu mainīgums



UNIVERSITY OF
LATVIA

**FACULTY OF EDUCATION
SCIENCES AND PSYCHOLOGY**

Ergi Bufasi

**TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT
TO ENHANCE STUDENTS' SPATIAL
ABILITY IN PRIMARY STEM EDUCATION**

SUMMARY OF DOCTORAL THESIS

Submitted for
Doctoral Degree (Ph. D.) in Social Sciences

Riga 2025

The doctoral thesis is part of the SellSTEM project and was developed at the Interdisciplinary Centre for Educational Innovation (SIIC) at the University of Latvia between 2021 and 2024.



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No. 956124.

The structure of the thesis includes an introduction, research categories, methodology, findings, discussion, and conclusions.

Form of work: A thesis comprising a thematically unified set of scientific publications in the field of educational sciences.

Scientific supervisor:

Dr. paed. **Dace Namsons**, Director and Lead Researcher of the Interdisciplinary Centre for Educational Innovations (SIIC), University of Latvia, Latvia.

Dr. phys. **Inese Dudareva**, Assistant Professor and Researcher of the Faculty of Science and Technology, Department of Physics, University of Latvia, Latvia.

Reviewers:

- 1) Prof. Dr. paed., **Indra Odiņa**, University of Latvia, Latvia;
- 2) Prof. Dr. sc. ing., Dr. paed., **Alla Anohina Naumeca**, Riga Technical University, Latvia;
- 3) Prof. Dr. psych., **Anita Pipere**, Daugavpils University, Latvia.

The thesis will be defended at the public session of the Promotional Council of the Educational Sciences, University of Latvia, at 12:00 on March 07, 2025, Imantas 7. līnija 1, Rīga, room 100.

The thesis and its abstract are available at the Library of the University of Latvia, Rīga, 19 Raiņa Boulevard.

Chair of the Promotional Council
of the Educational Sciences,
University of Latvia _____

Professor Dr. paed., **Linda Daniela**

Secretary of the Promotional Council
of the Educational Sciences,
University of Latvia _____

Associate Professor Dr. paed., **Gunta Siliņa-Jasjukeviča**

© Ergi Bufasi, 2025

© University of Latvia, 2025

ISBN 978-9934-36-348-1

ISBN 978-9934-36-349-8 (PDF)

ABSTRACT

Extensive research has underscored the critical role of spatial ability in achieving success in science, technology, engineering and math (STEM) education. Despite its importance, challenges in effectively teaching spatial skills persist, particularly at the primary level. This dissertation sought to address these challenges by enhancing spatial ability in primary STEM education through the development and implementation of an innovative professional development (PD) framework tailored for primary school teachers. The study utilised a design-based research (DBR) methodology comprising three iterative cycles, each of which informed the next.

The first cycle established the theoretical foundation by exploring the complexities of spatial teaching and identifying key barriers and enablers. This analysis, based on a review of curricula from countries including Latvia, Ireland, Sweden, and the Netherlands, revealed that structural, pedagogical, and institutional factors often limit the integration of spatial components in primary STEM curricula. A categorisation of barriers and enablers provided further insights into the challenges faced in classroom spatialisation, curriculum design, and teacher training.

In the second cycle, an action research (AR) approach was employed to implement and assess a PD program aimed at enhancing teachers' spatial knowledge and instructional strategies. Using Guskey's framework for PD evaluation, the study demonstrated positive outcomes across multiple phases, including improved teacher understanding of spatial ability and notable gains in students' spatial performance. Notably, students of participating teachers demonstrated significant improvements in spatial ability assessments, specifically in spatial visualization, mental folding, and mental transformation skills.

The third cycle centered on the lesson study (LS) program as a form of PD, fostering collaborative reflection and peer support. This cycle highlighted how collaborative learning, goal-setting, and feedback mechanisms significantly enhanced teachers' pedagogical content knowledge and classroom practice. Teachers successfully integrated spatial activities into their lesson plans, reinforcing the value of PD models that emphasize practical application and collaboration.

The thesis concludes by presenting a comprehensive PD framework that empowers educators to overcome barriers in spatial teaching and promotes integrating spatial skills into primary STEM education. The findings collectively offer valuable insights into developing spatial ability in young learners by advancing a theoretical understanding and practical strategies for educators.

Keywords: spatial ability, professional development, lesson study, action research, primary STEM

TABLE OF CONTENTS

ABSTRACT	41
LIST OF PUBLICATIONS	43
Related studies to the research	43
1. INTRODUCTION	45
Overview of the research context	45
Practical novelty	47
Theses for defence	48
2. RESEARCH CATEGORIES	49
Research questions	49
Tasks	50
Theoretical foundations	51
3. METHODOLOGY	54
Research sample	58
Instrumentation	58
Data collection and analysis	60
Ethical consideration	61
4. FINDINGS	62
The complexity of spatial teaching: barriers and enablers	62
Effective PD programs for enhancing spatial ability teaching	65
Key factors and strategies for implementing PD programs to enhance spatial ability in primary education	66
5. CONCLUSIONS	69
Conclusion	69
Limitations	69
Elaborated theses for defence	70
Recommendations	73
REFERENCES	74

LIST OF PUBLICATIONS

The thesis is based on the following original publications

I. Bufasi, E., Lin, T. J., Benedicic, U., Westerhof, M., Mishra, R., Namsone, D., Dudareva, I., Sorby, S., Gumaelius, L., Klapwijk, R. M., Spandaw, J., Bowe, B., O’Kane, C., Duffy, G., Pagkratidou, M., & Buckley, J. (2024). Addressing the complexity of spatial teaching: A narrative review of barriers and enablers. *Frontiers in Education*, 9, 1306189. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1306189>, Scopus – Q2

II. Bufasi, E., Cakane, I., Dudareva, I., & Namsone, D. (2024). Professional development for primary school teachers intended to promote students’ spatial ability. *International Journal of Engineering Pedagogy (ijEP)*, 14(2), 130–144. <https://doi.org/10.3991/ijep.v14i2.43673>, Scopus – Q2

III. Bufasi, E., Čakāne, I., Greitans, K., Dudareva, I., & Namsone, D. (2024). Lesson study as a professional development model for teaching spatial ability in primary STEM. *Education Sciences*, 14(5), 512. <https://doi.org/10.3390/educsci14050512>, Scopus – Q1

The author contributed to the publications in the following way

Paper I: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Validation, Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing.

Paper II: Conceptualization, Methodology, Data curation, Formal analysis, Writing – original draft, Writing – review & editing.

Paper III: Formal analysis, Data curation, Investigation, Validation, Writing – original draft, Writing – review & editing.

Related studies to the research

Peer-reviewed articles

Bufasi, E., Hoxha, M., Cuka, K., & Vrtagic, S. (2022). Developing Student’s Comprehensive Knowledge of Physics Concepts by Using Computational Thinking Activities: Effects of a 6-Week Intervention. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 17(18), pp. 161–176. <https://doi.org/10.3991/ijet.v17i18.31743>

Book chapter

Klapwijk, R., Duffy, G., Lagoudaki, E., Segura Caballero, N., Mishra, R., Zhu, C., Westerhof, M., **Bufasi, E.,** Leung, C., Malkogeorgou, S., Jun Lin, T., Gamarra, E., & Nguyen, T. (2024). Making SPACE for spatial thinking in STEAM education: Teacher professional development modules. Books/Book Chapters, (23). [Dublin Institute of Technology]. <https://doi.org/10.21427/kgnt-zj24>

Report

Bufasi, E., Namsone, D., Sorby, S., Duffy, G., Klapwijk, R. M., Benedicic, U., Mishra, R., & Dudareva, I. (2023, October). *Summary and analysis of teacher training to raise spatial ability in school*. Technological University Dublin (TU Dublin) <https://shorturl.at/gWDYf>

Conferences

Bufasi, E., Dudareva, I., & Namsone, D. (2024, June). From mind to motion: Spatial ability in physics cognition [Poster presentation]. In *Spatial Cognition 2024*, Dublin, Ireland. <https://sc24-poster.blogspot.com/>

Bufasi, E., Cakane, I., Dudareva, I., & Namsone, D. (2023, August). Transforming the teaching and learning of mathematics and science in primary schools through spatial thinking professional development. In *The 15th Conference of the European Science Education Research Association (ESERA)*. <https://www.esera2023.net/wp-content/uploads/2023/08/ESERA-27-08-2023-.pdf>

Bufasi, E., Cakane, I., Dudareva, I., & Namsone, D. (2022, July). A preliminary study on spatial ability for primary school teachers' professional development. In *EDULEARN22 Proceedings* (pp. 3230–3239). <https://doi.org/10.21125/edulearn.2022.0793>

Bufasi, E. (2022, January). The impact of spatial ability in science. In *80. Latvijas Universitātes starptautiskā zinātniskā konference 2022: Dabas-zinātņu didaktika*. https://conferences.lu.lv/event/93/attachments/35/68/Dabaszinatnu_didaktika_programma.pdf

Bufasi, E. (2021, December). The importance of spatial thinking in teaching physics. In IX International Physics Conference in Honor of F. Pianca. http://dragon.lv/F_Pianca/Abstracts/F_Pianca_2021_book_of_abstracts.pdf

1. INTRODUCTION

Overview of the research context

Teacher professional development (PD) plays an important role in enhancing the quality of primary education, equipping educators with the skills necessary to teach complex cognitive abilities, such as spatial ability. Spatial ability, defined as the capacity to visualize, manipulate, and reason about spatial relationships in two and three dimensions, is a critical skill that underpins success in mathematics, science, and technology-related subjects (Newcombe & Shipley, 2014). Beyond academic performance, spatial ability is also essential for everyday tasks and is a key predictor of future success in STEM careers (Uttal et al., 2013). Given its importance, early intervention in developing spatial skills¹ has become a focus in educational research, as it significantly impacts cognitive development during primary school years.

Research indicates that the foundation for spatial ability begins in early childhood, with basic spatial transformation skills emerging in infancy and contributing to broader cognitive growth. Longitudinal and cross-sectional studies have consistently shown that children with strong spatial skills tend to excel in mathematics and science earlier than their peers with less developed spatial abilities (Mix et al., 2016; Hodgkiss et al., 2018; Gilligan et al., 2019; Bower et al., 2020). Moreover, these spatial skills evolve throughout early childhood, suggesting that targeted interventions at specific developmental stages can have a lasting impact on children's cognitive trajectories (Newcombe & Frick, 2010).

Despite the recognized significance of spatial ability, it remains under-represented in standard primary school curricula and is often overlooked in traditional teacher education programs. This gap in teacher preparation can result in educators lacking the confidence and experience needed to effectively enhance spatial ability to young children, potentially hindering students' cognitive development and future opportunities in academic and professional settings (Verdine et al., 2017). To address this issue, PD programs² tailored to spatial ability instruction are needed. These programs should focus on both the theoretical

¹ *Spatial skills* refers to specific, trainable components of spatial ability, such as mental rotation, spatial visualization or spatial orientation. In educational contexts, abilities such as *spatial ability* are not directly taught; rather, educators design activities and interventions to develop and enhance the underlying skills that contribute to these abilities.

² *PD programs* refer to structured and continuous learning experiences designed to enhance teachers' skills, knowledge, and effectiveness in their professional practice. These programs can include workshops, seminars, collaborative projects, mentoring, and coursework, often aimed at improving specific instructional strategies, integrating new technologies, or fostering subject-specific expertise.

foundations of spatial ability and practical classroom strategies. By equipping teachers with the knowledge and tools to integrate spatial activities³ into their daily lessons, such PD can enhance teachers' confidence and effectiveness in fostering students' spatial skills.

Designing effective PD programs requires a foundation in rigorous educational research and an adaptable approach to the unique needs of teachers and students. The Design-Based Research (DBR) framework offers a powerful methodology for developing PD initiatives by merging empirical research with systematic educational interventions. This iterative approach allows PD programs to evolve continuously through ongoing feedback from educators (Anderson & Shattuck, 2012). Within the DBR framework, two complementary models⁴—Action Research (AR) and Lesson Study (LS)—can further enhance PD effectiveness. AR engages teachers in reflective cycles of planning, action, observation, and reflection, fostering a sense of ownership over their professional growth (Baumfield et al., 2008; Stringer, 2019). In contrast, LS emphasizes collaborative lesson planning and evaluation, cultivating a professional learning community where educators develop and refine their practices together (Lewis, 2002). By integrating AR and LS, the DBR framework ensures that PD remains dynamic and responsive to the evolving challenges of fostering students' spatial skills and understanding, ultimately supporting sustained professional growth and instructional improvement (Desimone, 2009).

However, implementing effective PD programs in spatial ability instruction⁵ is not without challenges. Many teachers may lack confidence in their spatial skills, making it difficult for them to teach these concepts effectively (Lowrie et al., 2019). Furthermore, because spatial ability is often not explicitly emphasized in school curricula, educators may struggle to recognize its importance or may be uncertain about how to incorporate it into their teaching (Verdine et al., 2017b). For PD to be successful, it must directly address these issues by providing both the content knowledge and the pedagogical support needed to build teachers' confidence and expertise in spatial ability instruction (Desimone & Garet, 2015).

Furthermore, by focusing on the development of spatial ability in primary education through well-designed and sustained PD programs, this research

³ *Spatial activities* are tasks that develop spatial skills by involving the visualization, manipulation, or arrangement of objects in space, such as puzzles, model building, and map reading.

⁴ In the context of this thesis, AR and LS are referred to as PD models when discussed in theoretical and literature-based sections. However, during the practical implementation phases of the research, they are operationalized as PD programs within the DBR framework.

⁵ *Spatial ability instruction* refers to educational practices and strategies aimed at developing students' capacity to visualize, manipulate, and understand spatial relationships. This may include activities involving geometry, map reading, mental rotation tasks, and design exercises that enhance spatial skills.

seeks to improve both teaching practices and student learning outcomes. It also contributes to the larger goal of promoting STEM education, preparing students for future academic and career success in fields where spatial skills are critical.

Scientific novelty

The scientific novelty of this research lies in the innovative adaptation and contextualization of established PD models within a DBR framework to address the specific challenges of teaching spatial skills in primary STEM education. While the DBR framework provided the overarching structure, the AR and LS models were systematically tailored to align with the iterative, collaborative principles of DBR and to meet the unique needs identified in the teaching of spatial skills.

- **Integration of Established PD Models:** This research uniquely integrates AR and LS models within a DBR framework, creating a structured yet flexible methodology that supports teacher PD. The adaptation of these models to focus on spatial ability represents a novel approach in PD research.
- **Contextualization for Spatial Ability:** The AR and LS models were not only adapted but also contextualized to address barriers and enablers specific to teaching spatial ability, including misconceptions about spatial skills, curriculum alignment, and resource limitations. This targeted focus on spatial skills in PD is a relatively underexplored area in primary education.
- **Innovative Methodological Approach:** The combination of AR and LS within the DBR framework offers a novel methodological approach that emphasizes collaboration, iterative refinement, and practical application. This research contributes a new perspective on how existing PD models can be tailored for specific educational contexts.

Practical novelty

The practical novelty of this research lies in the development of a structured, iterative framework⁶ to enhance teacher PD for fostering spatial ability in primary education. The framework emphasizes improving teacher knowledge, promoting active engagement, and fostering a collaborative culture among educators, which is critical for sustaining long-term improvements in teaching practice.

A key contribution of this research is the establishment of a direct, evidence-based link between PD interventions and measurable student outcomes.

⁶ The *development of a structured framework* in this research refers to the adaptation, modification, and integration of existing PD models—such as AR and LS—within the DBR methodology. Rather than creating a new framework from scratch, this approach builds upon established models, refining and aligning them to meet the specific needs of fostering spatial ability in primary education.

This connection provides practitioners, curriculum designers, and policymakers with concrete insights into how targeted PD can enhance students' spatial ability, a foundational skill with implications across STEM disciplines and beyond.

Additionally, the adaptable nature of the framework ensures its applicability across diverse educational contexts, making it a replicable and sustainable model for improving teaching practices and learning outcomes⁷.

Theses for defence

- I. *Identification of Barriers and Enablers in Teaching Spatial Skills*: Critical barriers and enablers for teaching spatial skills in primary education are identified, offering practical insights and strategies for overcoming challenges in real-world educational contexts.
- II. *Innovative Integration of PD Models*: A novel integration of AR and LS within a DBR framework is presented, providing a structured yet adaptable methodology for enhancing teacher PD in fostering spatial ability in primary education.
- III. *Impact of PD on Teaching Practices and Implementation*: The research highlights key factors and strategies for effectively implementing PD models, demonstrating how iterative, evidence-based PD programs can enhance teachers' instructional practices and confidence in teaching spatial skills.

⁷ *Learning outcomes* are the measurable knowledge, skills, attitudes, and competencies that students acquire as a result of the instructional process.

2. RESEARCH CATEGORIES

Research context: This research is grounded in the broader landscape of primary STEM education, with a focus on the pivotal role of teacher PD in fostering spatial ability among students. Spatial ability, recognized as a key predictor of success in STEM disciplines, remains inconsistently addressed within primary education curricula. Despite its significance, existing PD efforts often lack the structured, iterative focus needed to support teachers in developing this critical cognitive skill. To bridge this gap, the study investigates innovative PD approaches, leveraging collaborative, cyclical methodologies that empower teachers to refine instructional practices and ultimately enhance student outcomes.

The aim of this study is to develop, adapt, and evaluate a structured PD program⁸ within a DBR framework. This framework integrates and refines existing PD models, such as AR and LS, tailoring them to meet the demands of spatial ability instruction in primary education. Through iterative cycles, the framework is designed to enhance teachers' instructional strategies, deepen content knowledge, and foster collaboration, ultimately supporting the development of students' spatial skills.

The object of the study is the professional development of primary school teachers to enhance the teaching and integration of spatial skills within STEM education.

The subject of the study focuses on the adaptation and iterative application of AR and LS models within the DBR framework, enabling teachers to effectively integrate spatial activities into primary STEM education. This approach not only modifies existing PD models but refines them to align with the specific needs of spatial ability development.

Research questions

RQ1: What are the key enablers and barriers to effectively fostering the development of spatial skills in primary school STEM education?

This research question aims to identify the primary factors that facilitate or hinder the effective teaching of spatial skills in primary school STEM education. By exploring both barriers and enablers, the study aims to uncover the challenges teachers encounter and the supportive elements that can strengthen their instructional practices. The insights gained will help inform strategies to

⁸ *Program* refers to the practical implementation of these models, often involving organized activities, interventions, and structured sequences designed to achieve specific outcomes. In this study, AR and LS are initially described as models, but when applied within educational settings as part of PD, they are referred to as programs.

enhance spatial ability instruction and improve its integration within the STEM curriculum.

RQ2: How can an effective PD framework⁹, through tailored PD programs, be designed to impact the teaching and practice of spatial ability in educational settings?

The aim of this second research question is to explore the development of a structured and innovative PD framework that supports the enhancement of teachers' knowledge, instructional strategies, and collaboration. Within this framework, specific PD programs, such as AR and LS, are implemented to address the practical aspects of teaching spatial ability, ultimately contributing to improved spatial ability outcomes for students.

RQ3: What are the key factors and effective strategies for implementing PD programs that enhance spatial skills in primary education within a structured PD framework?

This research question seeks to identify and analyze the essential factors and effective strategies required to implement PD programs aimed at enhancing spatial skills in primary education. The focus is on understanding how PD programs, when integrated into a structured framework, can equip teachers with the necessary knowledge, skills, and resources to foster spatial ability in young learners.

Tasks

1. **To review and analyze relevant literature** on spatial ability and spatial skills, their role in primary education, and the theoretical and practical foundations of PD approaches, particularly AR and LS, within a DBR framework. (Supports all RQs)
2. **To summarize and analyze existing teacher PD programs and initiatives** aimed at raising spatial ability in schools, identifying strengths, gaps, and opportunities for improvement. (Supports RQ2 and RQ3)
3. **To analyze and compare primary education STEM curricula from different countries** to assess how spatial skills are incorporated and implemented, identifying best practices and gaps. (Supports RQ1)
4. **To identify the key barriers and enablers** in teaching spatial skills in primary education STEM contexts through empirical investigation. (Supports RQ1)
5. **To develop a tailored PD framework** that integrates AR and LS within a DBR methodology to support teachers in fostering spatial skills. (Supports RQ2 and RQ3)

⁹ In this thesis, DBR serves as the PD framework because it structures and informs the development, implementation, and refinement of professional development programs across all three research cycles.

6. **To evaluate the PD framework** by assessing its impact on teacher knowledge, practices, and collaboration, as well as its effectiveness in improving students' spatial skills. (Supports RQ2 and RQ3)
7. **To identify key factors and strategies for implementing the PD framework** effectively in educational settings, ensuring sustainability and adaptability for broader application. (Supports all RQs)
8. **To provide actionable recommendations** for educators, curriculum developers, and policymakers on how to enhance teacher PD and teaching practices for fostering spatial skills in primary education. (Supports all RQs)

Theoretical foundations

This research is framed by two key theoretical domains: the role of spatial ability in STEM education and the theoretical models of PD supporting teacher growth.

The role of spatial ability within STEM

- Spatial ability¹⁰ is malleable and can be significantly improved through targeted interventions, even over relatively short periods of time (Uttal et al., 2013).
- Research identifies spatial ability as a key predictor of success in STEM fields, with longitudinal studies showing its influence on students' career trajectories in science, technology, engineering, and mathematics (Wai et al., 2009).
- Enhanced spatial skills are linked to improved mathematics achievement and STEM readiness (Mix & Cheng, 2012).
- Developing spatial ability has a transferable impact, enhancing not only domain-specific tasks but also general problem-solving and reasoning skills (Levine et al., 2012).
- Evidence suggests that early development of spatial skills¹¹ enhances cognitive flexibility and abstract thinking, both of which are essential for tackling complex problems (Newcombe, 2010).

The development of spatial skills begins in infancy and continues throughout childhood. By the ages of four to seven, children exhibit increasingly sophisticated spatial abilities, such as perspective-taking and mental rotation, which are essential for problem-solving and academic success. In addition, spatial

¹⁰ The term *spatial ability* refers to the broader cognitive capacity to reason about spatial relationships.

¹¹ *Spatial skills* refers to specific, trainable components of spatial ability, such as mental rotation, spatial visualization or spatial orientation.

training¹² also strengthens key brain regions, such as the hippocampus and parietal lobes, thereby improving navigation, memory, and cognitive flexibility (Newcombe & Frick, 2010; Draganski et al., 2006). Studies on neuroplasticity suggest that early exposure to spatially stimulating activities optimizes neural connectivity, whereas insufficient engagement may impede spatial development (Hensch, 2005).

Theoretical framework of PD

The theoretical foundation of this thesis draws upon two key frameworks for understanding and evaluating PD in education. These frameworks provide complementary perspectives on the design, implementation, and assessment of effective PD initiatives, ensuring a holistic approach to fostering teacher growth and improving student learning outcomes.

- *Guskey's Five Critical Levels of PD Evaluation (2002)*: Guskey's framework serves as a foundational model for evaluating PD effectiveness by emphasizing its multi-layered impact. The five levels—participants' reactions, participants' learning, organizational support and change, participants' use of new knowledge and skills, and student outcomes—highlight the cascading effects of PD from immediate experiences to long-term student achievement. This framework provides a structured lens to assess the impact of PD on educators and their teaching practices, ensuring alignment with broader educational goals.
- *Sims et al.'s IMTP Framework of Effective PD (2023)*: The IMTP¹³ framework outlines four interrelated components that define effective PD by emphasizing the processes necessary for meaningful and sustained change in teaching practices. First, (I) focuses on fostering educators' understanding of their current practices, the desired changes, and the reasons for those changes, promoting critical reflection. Second, (M) addresses the emotional and cognitive factors that encourage educators to embrace new approaches, including building confidence and demonstrating the value of change. Third, (T) provides teachers with specific strategies, tools, and skills necessary to implement the changes effectively. Finally, (P) ensures the integration of these strategies into daily teaching routines through

¹² *Spatial training* refers to activities or exercises designed to improve an individual's ability to mentally visualize, manipulate, and understand spatial relationships between objects or within environments. This can include tasks involving maps, puzzles, models, or gestures that enhance spatial reasoning and problem-solving skills.

¹³ The I/M/T/P theory, introduced by Sims et al. (2021) and further developed into the IMTP framework in 2023, offers a new perspective on effective PD. It focuses on behavior change strategies and principles, identifying causally active components, or "mechanisms," designed to enhance teacher growth by (I) Instilling Insight, (M) Motivating Change, (T) Developing Techniques, and (P) Embedding in Practice, ultimately improving instructional effectiveness.

ongoing support, feedback, and follow-up, making the changes durable and impactful. Together, these stages provide a structured and practical approach to designing and evaluating PD programs.

Effective PD must be contextually relevant, aligned with educators' needs, and reinforced through collaboration and leadership support (Desimone & Garet, 2015; Vescio et al., 2008). Leadership plays a critical role in fostering sustainable PD by ensuring resources, support, and goal alignment (Hallinger & Heck, 2010).

Models of PD: action research and lesson study

The study employs AR and LS as PD models, both of which emphasize teacher collaboration, iterative reflection, and evidence-based improvements.

- LS: Originating in Japan, LS involves collaborative lesson planning, classroom observations, and iterative refinement to improve teaching effectiveness (Dudley, 2013; Lewis & Tsuchida, 1998).
- AR: A cyclical process where teachers systematically investigate classroom challenges, implement changes, and analyze outcomes to inform practice (Cochran-Smith & Lytle, 2015; Kemmis & McTaggart, 2005).

Both models align with Vygotsky's collaborative learning theory, Schön's reflective practitioner model, and Dewey's experiential learning theory, emphasizing active engagement, critical reflection, and continuous professional growth (Dewey, 1938; Vygotsky, 1978; Schön, 1992). These approaches facilitate meaningful and sustained improvements in teaching and learning.

3. METHODOLOGY

This thesis employs DBR¹⁴, an iterative and collaborative methodology aimed at developing and refining educational interventions in real-world contexts (Anderson & Shattuck, 2012). DBR provides the overarching framework for this study, structuring the research into three interconnected cycles that guide the design, implementation, and reflection processes. These cycles integrate AR and LS to facilitate teacher PD focused on enhancing spatial ability in primary education. Figure 1 visually represents the interconnections between these research cycles.

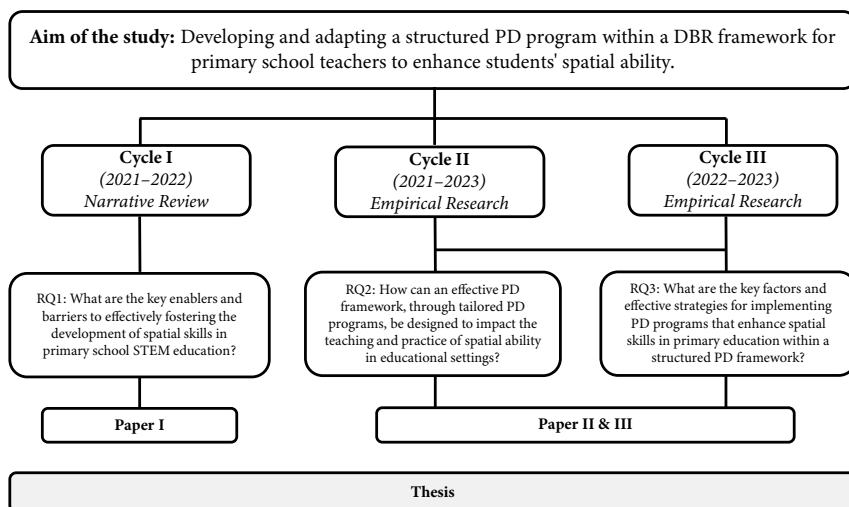


Figure 1. Overview of the interconnections between the studies

Throughout this thesis, the terms “PD framework” and “DBR framework” are used interchangeably, reflecting DBR’s dual role as both a research methodology and a structured approach to PD. Figure 2 outlines the overall structure of the thesis, illustrating how the research is anchored in three interrelated studies, each corresponding to a distinct DBR cycle. Each cycle builds on the insights of previous iterations, ensuring a continuous refinement of the DBR framework, with AR and LS as core components of the PD process.

¹⁴ DBR serves as the overarching framework, structuring the study and informing the design and application of various PD programs. It allows for iterative testing, adaptation, and refinement in real educational settings.

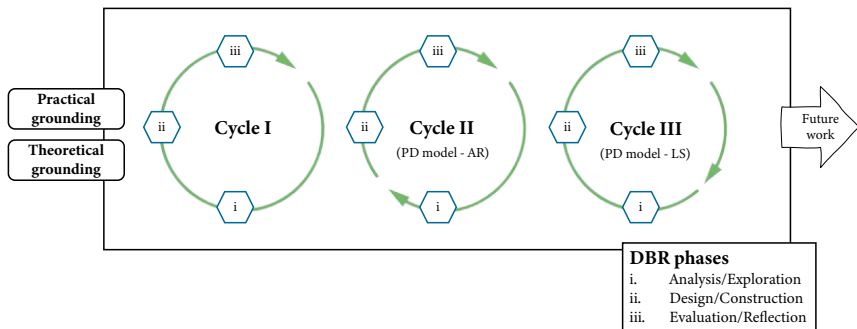


Figure 2. Iterative DBR framework for teacher PD

Cycle I: Framework Development – A comprehensive literature analysis was undertaken to identify effective PD practices, with a particular focus on the theoretical foundations of PD in education. In parallel, a narrative review was conducted to explore the complexities of teaching spatial skills in primary education, highlighting the key challenges and opportunities within the educational landscape. A primary outcome of this phase was the development of a flexible framework¹⁵ to understand the complexity of spatial teaching. The iterative nature of DBR facilitated the continuous refinement of this framework, allowing for its adaptation as new insights emerged throughout the research process.

Cycle II: Action Research – The second cycle employed AR as the PD program, aligning with the iterative nature of DBR. Insights from the first cycle informed and refined this phase. At the core of the program, as shown in Figure 3, lies an iterative process of Plan, Act, Observe, and Reflect, which drives continuous learning and refinement. The process begins with an initial input session (1st workshop), laying the foundation for subsequent workshops. Each following workshop (2nd to 6th) builds on the previous one, incorporating feedback from workshop leaders and peers to enhance learning outcomes. The model emphasizes a monthly progression, ensuring regular engagement and consistent development. After each phase of action and observation, participants engage in structured reflection, allowing them to refine their practices before entering the next cycle. By the sixth workshop, the model culminates in a focus group discussion, providing an opportunity for collective reflection and broader insights. This iterative approach fosters sustained growth by reinforcing new knowledge through repeated cycles of planning, acting, observing, and reflecting, promoting a collaborative and dynamic learning environment.

¹⁵ This *research framework* is further elaborated in the findings chapter, where Study I is discussed in detail.

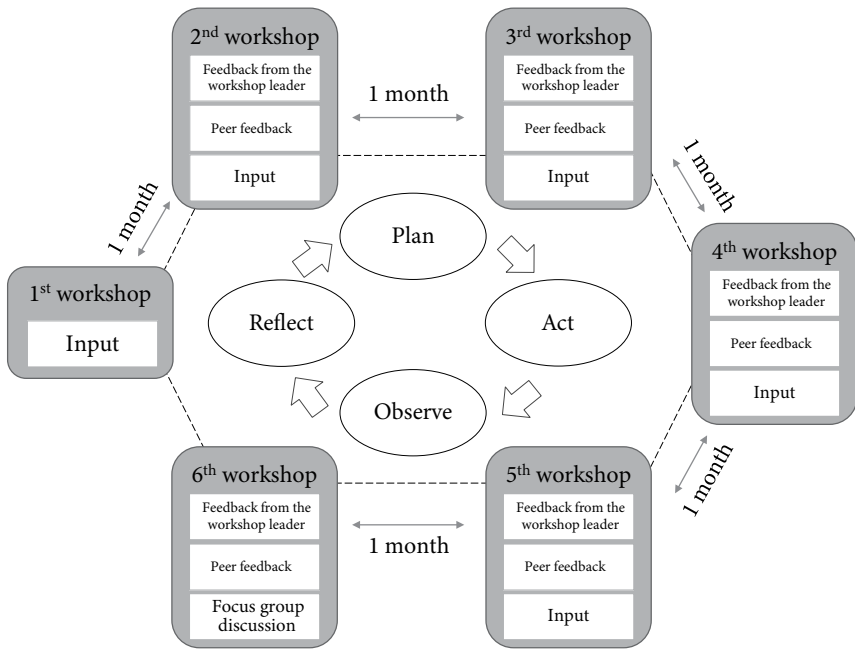


Figure 3. Proposed iterative PD program adapted from Greitāns & Namsone (2021)

Cycle III: Lesson Study – Building on the outcomes of Cycles I and II, the PD framework was further refined and evaluated through the LS program¹⁶, following the design outlined by Greitāns and Namsone (2021). The six-month intervention included structured PD workshops followed by a collaborative LS process. Workshops unfolded in four phases: reflection, input and modeling, discussion, and formulation of learning outcomes. Each phase targeted spatial skills, such as visualization and mental rotation, with the PD leader modeling lessons and facilitating reflective discussions (see Figure 4).

¹⁶ In this context, LS moves from being a theoretical model to a practical PD program designed and tested within the DBR framework.

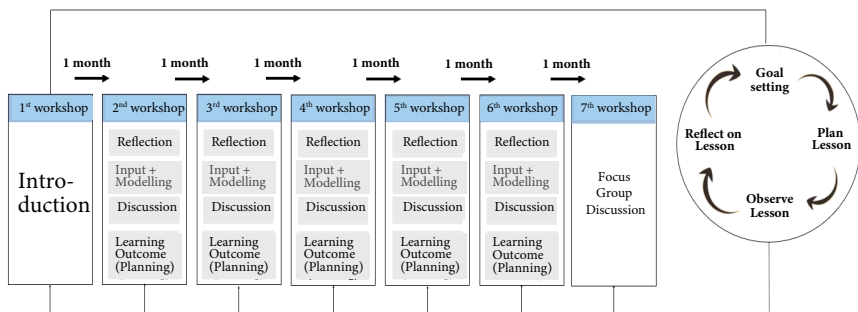


Figure 4. Adapted PD program based on Lewis et al. (2009) and Greitans & Namsone (2021)

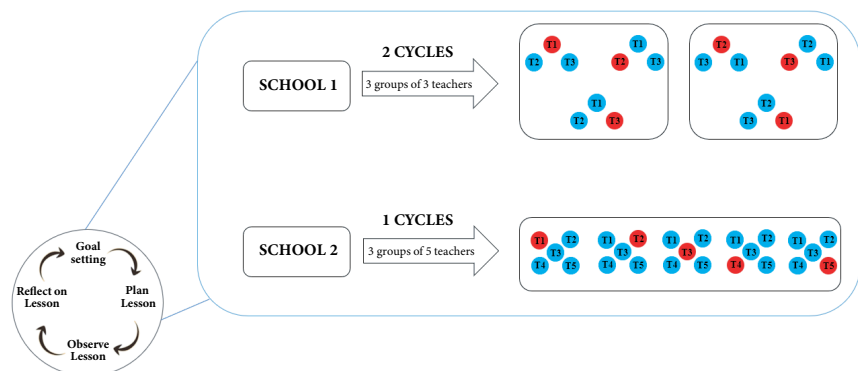


Figure 5. Organisational structure within the LS program¹⁷

After the workshops, participants engaged in the LS process, forming triads or groups of five. These groups collaboratively set instructional goals, planned lessons, observed each other's teaching, and reflected on outcomes (see Figure 5). This iterative cycle continuously refined teaching strategies, enhanced spatial skill integration, and promoted sustained professional growth and collaboration.

A comprehensive summary of the research cycles within the DBR framework is provided in Table 1.

¹⁷ The "arrow" represents the number of groups and enrolled teachers in each school's group. The color red indicates the teacher's assuming the position of leader, while the color blue represents the other teacher being observant.

Table 1. Overview of research cycles in the DBR framework

Cycle	Objective	Participants	Duration	Focus / Methodology
Cycle I	Develop a pedagogical framework for spatial ability in primary education by examining curriculum, pedagogy, and teacher knowledge while identifying key barriers and facilitators. This included analyzing mathematics and science curricula from Ireland, Latvia, the Netherlands, and Sweden.	NA	16 months	Narrative review and curriculum analysis
Cycle II	Implement and refine the initial framework using AR.	5 primary school teachers ($N = 5$)	6 months	Iterative cycles of planning, acting, observing, and reflecting.
Cycle III	To further refine and validate the framework through LS.	24 primary school science teachers ($N = 24$) from two schools in Latvia	6 months	Collaborative lesson planning, teaching, observing, and reflecting.

Research sample

Participants were voluntarily selected from 1st, 2nd, and 3rd-grade teachers across different studies.

- **Study I:** Examined the primary Science and Mathematics curricula in Ireland, Latvia, Sweden, and the Netherlands, alongside an international literature review.
- **Study II:** Involved five female teachers from two public and one private school in Latvia (experience: 3–35 years, $M = 17.8$). Participants held B.Ed. or M.Ed. degrees, teaching grades 1–3 with workloads of 12–27 hours per week ($M = 20.8$).
- **Study III:** Included 24 female teachers from two schools in Latvia. The first school had nine teachers evenly distributed across grades 1–3, while the second had 15 teachers (five per grade). Teaching experience ranged from 4 to 47 years ($M = 28.13$).

Instrumentation

The study employed multiple research instruments to collect and analyze data across three studies. These instruments included literature analysis, classroom observations, questionnaires, group discussions, and student assessments, ensuring a comprehensive evaluation of the PD program’s impact.

- **Study I¹⁸**: Thematics analysis of literature
 - Identified barriers and enablers of spatial teaching.
 - Used keyword-driven searches across academic databases with Boolean operators and inclusion/exclusion criteria to refine results.
- **Study II¹⁹**: Mixed-method data collection

Instrument	Purpose
<i>Classroom Observations</i>	Tracked changes in teaching practices before, during, and after PD implementation.
<i>Pre-Questionnaire</i>	Captured baseline knowledge and perspectives on spatial teaching.
<i>Group Discussions</i>	Provided qualitative insights on PD experiences and collaborative reflections.
<i>Student Pre- and Post-Tests</i>	Assessed PD impact using standardized spatial ability tests ²⁰ :
• <i>Mental Folding Test for Children (MFTC)</i>	Evaluated spatial visualization and mental folding skills (Harris et al., 2013).
• <i>Children’s Mental Transformation Task (CMTT)</i>	Measured mental transformation abilities (Ehrlich et al., 2006; Levine et al., 1999).

- **Study III²¹**: Questionnaire & focus group discussions
 - *Pre-Questionnaire*: Semi-structured and open-ended, capturing teachers’ baseline knowledge and expectations.
 - *Focus group discussion*: Post-PD reflection on challenges, insights, and effectiveness, fostering collaborative learning and refinement of the PD program.

This structured approach ensured rigorous data collection and iterative refinement of the PD framework based on empirical findings.

¹⁸ All datasets associated with this study, including the inclusion/exclusion criteria, keyword-driven search strategy, and glossary of terms, have been uploaded to the Zenodo platform under the SellSTEM community. These resources can be accessed via the following DOI: [https://doi.org/10.5281/zenodo.14552838].

¹⁹ All datasets, instruments, and supplementary materials associated with this study, including the pre-questionnaires, observation protocols, group discussion guides, and standardized tests results (MFTC and CMTT), have been uploaded to the Zenodo platform under the SellSTEM community. These resources can be accessed at the following DOI: [https://doi.org/10.5281/zenodo.14522238].

²⁰ The Mental Folding Test for Children (MFTC; Harris et al., 2013) and the Children’s Mental Transformation Task (CMTT; Ehrlich et al., 2006; Levine et al., 1999) are available on the Northwestern University website. For further details and access to the tests, visit [Northwestern University – SILC] (https://www.spatiallearning.org/tools)

²¹ All instruments and supporting materials from Study III, including the pre-questionnaire and focus group discussion guide, have been uploaded to the Zenodo platform under the SellSTEM community. These materials are accessible at the following DOI: [https://doi.org/10.5281/zenodo.14544216].

Data collection and analysis

This thesis employs a mixed-methods approach to analyze data collected across three DBR cycles, ensuring a comprehensive, iterative, and collaborative exploration of findings. The analytical methods were selected to enable triangulation, capturing multiple perspectives for a robust interpretation of the results. A summary of the analysis methods used across the three studies is presented in Table 2.

Table 2. Overview of data collection and analysis methods

Study	Data source	Analysis method	Purpose
Study I	Primary Science and Mathematics curricula (Ireland, Latvia, Sweden, Netherlands) International research literature	Thematic analysis Inclusion and exclusion criteria Keyword-driven search strategy	<ul style="list-style-type: none"> • Identify common themes and trends • Synthesize data from curricula and literature
Study II	Pre- and post-assessments (MFTC & CMTT) Classroom observations Pre-questionnaires Group discussions	Quantitative: Paired t-test data (R software) Qualitative: Thematic analysis (NVivo ²²)	<ul style="list-style-type: none"> • Assess PD impact on student spatial ability • Examine instructional practices and PD effectiveness
Study III	Pre-questionnaires Focus group discussions	Thematic analysis (NVivo)	<ul style="list-style-type: none"> • Gather insights on teacher experiences and PD effectiveness

Study I: A literature review and curriculum analysis were conducted to identify barriers and enablers in spatial teaching. A keyword-driven search strategy and inclusion/exclusion criteria ensured the selection of relevant studies, with thematic analysis used to extract patterns and synthesize findings.

Study II employed both quantitative and qualitative methods to assess the effectiveness of the PD program:

- *Quantitative analysis*
 - *Pre- and post-tests* (MFTC & CMTT) measured student spatial ability across 96 students in grades 1–4.
 - A *paired t-test* assessed differences in student performance before and after the PD.
- *Qualitative Analysis:*
 - *Classroom observations* documented teaching practices and student engagement in spatial tasks.

²² NVivo is a qualitative data analysis software developed by QSR International, used for coding and organizing qualitative data.

- *Pre-questionnaires* captured teachers' baseline knowledge and perspectives.
- *Group discussions* facilitated teacher reflections and shared experiences.
- *Thematic analysis (NVivo)* identified key themes such as instructional practices, student outcomes, and perceived PD impact.

Study III employed a qualitative research design to assess the impact of the PD program:

- *Pre-questionnaires* captured teachers' initial perspectives, baseline knowledge, and expectations before engaging in PD.
- *Focus group discussions* explored teachers' experiences, challenges, and the integration of spatial teaching strategies post-PD.
- *NVivo analysis* identified four key themes: insights, motivation, techniques, and integration of new skills into teaching.
- *Triangulation of pre-questionnaire* responses and focus group discussions provided a multi-layered understanding of PD effectiveness, reinforcing the collaborative ethos of the DBR framework.

Ethical consideration

This research adhered to strict ethical principles, ensuring informed consent, anonymity, and confidentiality throughout the research (Bordens, 2018). Participants were fully informed about the study's objectives, and consent was obtained in accordance with the Declaration of Helsinki. Ethical approval was granted by the University of Latvia's Ethics Committee (**II article** – Nr. 71-43/54; **III article** – Nr. 71-43/57).

- *Anonymity & Pseudonyms*: In **Study II** and **Study III**, participants' names were replaced with coded pseudonyms (e.g., T1, T2) to protect their identities. This was explicitly outlined in the consent form.
- *Data Security & Storage*: All files, including video recordings and transcripts, were password-protected, with encrypted backups stored securely. Pseudonym lists were kept separately to maintain confidentiality.
- *Open-Access Compliance*: Due to SellSTEM's²³ EU-funded status, research data were uploaded to Zenodo, an open-access repository, ensuring transparency. Zenodo assigns a DOI to each dataset, allowing easy access and citation.
- *Data Disposal*: Upon completion of the study, external storage devices were formatted, and all sensitive materials, including video transcripts, were permanently deleted. Zenodo remains the long-term repository, ensuring compliance with open-access policies.

²³ This doctoral research was conducted as part of the SellSTEM (Spatially Enhanced Learning Linked to STEM) project, a European Union-funded initiative under the Marie Skłodowska-Curie Actions (MSCA) framework. The researcher, as Early Stage Researcher (ESR 14) based in Latvia, contributed to SellSTEM's mission of enhancing STEM education through the development of teacher professional development frameworks aimed at improving spatial ability in primary education.

4. FINDINGS

The findings section addresses the three research questions by drawing on the results of three published papers, each representing a research cycle within the DBR framework. Collectively, these papers contribute to the iterative development and refinement of the PD framework aimed at enhancing spatial ability in primary education. Table 3 provides a detailed mapping of the published papers to the research questions and key thesis tasks, illustrating how each study aligns with and informs the overall research objectives.

Table 3. Mapping of published papers to research questions and thesis tasks

Paper	Research question addressed	Thesis task addressed	Key contribution
Paper I: Addressing the complexity of spatial teaching: a narrative review of barriers and enablers.	RQ1	Task 1 Task 3 Task 4 Task 7 Task 8	<ul style="list-style-type: none"> • Narrative map of educational environments • Curriculum analysis • Barriers and enablers in spatial teaching
Paper II: Professional development for primary school teachers intended to promote students' spatial ability	RQ2, RQ3	Task 1 Task 2 Task 5 Task 6 Task 7 Task 8	<ul style="list-style-type: none"> • Design and Evaluation of the PD Framework • Identification of Critical Factors and Strategies • Impact on Teaching Practice • Collaborative Learning Models • Resource Development and Application
Paper III: Lesson Study as a professional development model for teaching spatial ability in primary STEM	RQ2, RQ3	Task 1 Task 5 Task 6 Task 7 Task 8	<ul style="list-style-type: none"> • Collaborative and Reflective Practice • Sustainable Implementation Strategies • Cross-Curricular Integration • Differentiated Instruction

The complexity of spatial teaching: barriers and enablers

Study I established a framework for spatial teaching, highlighting the interconnected nature of educational elements—curriculum, institution, classroom, teacher, and students. These components formed a complex network influencing spatial skill development. A narrative map (Figure 6) was developed to visually represent these relationships.

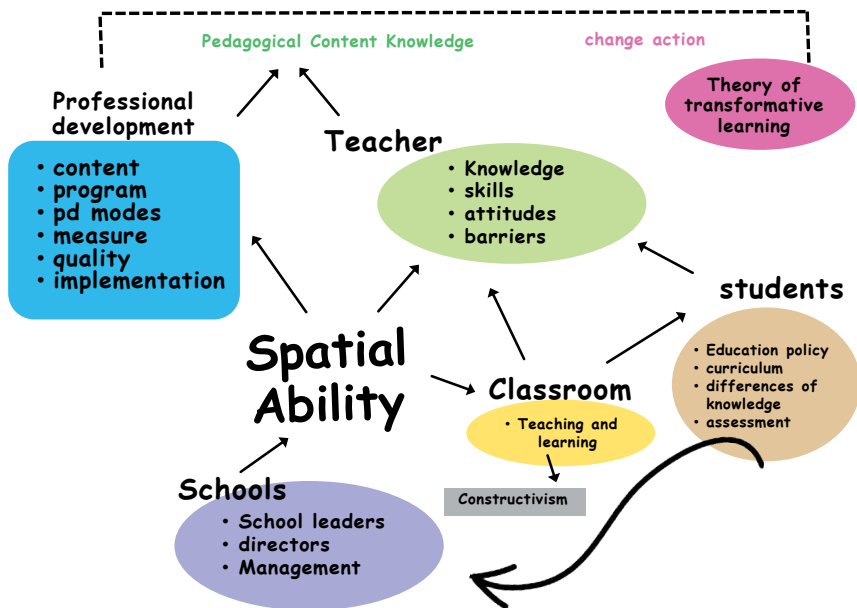


Figure 6. Components of educational environments relating to the development of spatial ability

Study I also included an in-depth analysis of the primary science and mathematics curricula in Ireland, Latvia, Sweden, and the Netherlands to better understand how spatial components were integrated within each curriculum. The analysis revealed varied approaches to integrating spatial tasks:

- **Ireland:** Spatial ability emphasized in the “Shape and Space” strand of mathematics and practical science activities.
- **Latvia:** Spatial tasks embedded across all subjects, focusing on construction, deconstruction, and observation.
- **Netherlands:** Spatial learning included in geometry and design-related science tasks, but less emphasis on science.
- **Sweden:** Spatial tasks were introduced through geometry and other subjects, involving visual representations and physical interactions.

Latvia's curriculum, particularly in mathematics, natural science, and design & technology, was further examined for its cross-curricular integration of spatial components in grades 1–3 (Table 4).

Furthermore, a categorisation of barriers and enablers was established based on extensive literature research conducted in the first article, along with the examination of the curricula. These barriers and enablers were classified

into four components: *curriculum, pedagogy, pedagogical content knowledge, and classroom spatialisation*²⁴, as illustrated in Table 5.

Table 4. Cross-curricular integration of spatial components in first, second, and third grades

Subject	Spatial Components		
	Grade 1	Grade 2	Grade 3
<i>Mathematics</i>	Shapes, patterns, and geometry	Advanced shapes, symmetry, measurement, spatial ability	Volume, area, complex geometric shapes, transformations, spatial ability
<i>Natural Science</i>	Observation and description of spatial relationships in nature	Exploration of spatial relationships in physical and biological systems	Detailed study of spatial relationships in ecosystems and the human body
<i>Design & Technology</i>	Basic design concepts, understanding spatial relationships in simple constructions	Intermediate design concepts, spatial planning in projects	Advanced design and engineering concepts, 3D modelling, spatial planning

Table 5. Summary of enablers and barriers to the integration of spatial activities in primary science and mathematics education

Components	Enablers	Barriers
<i>Curriculum</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Systematic curricular design for spatial ability development • The incorporation of spatial technology • The incorporation of hands-on activities • Alternative assessment 	<ul style="list-style-type: none"> • Insufficient duration • Inadequate consideration of learner diversity in curriculum design
<i>Pedagogy</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilization of constructivist methodologies involving physical objects • Hands-on materials • Instructional materials for limited teachers with spatial aptitude • PD programs 	<ul style="list-style-type: none"> • Literature gap regarding the integration of educational and cognitive science research findings into pedagogy • Mathematics is more focused than other STEM subjects • Perceptions and stereotypical thinking • Negative or low teacher beliefs about spatial ability and mathematics instruction methodology

²⁴ *Classroom spatialisation* refers to how classroom space, materials, and resources are arranged and used to help students develop spatial skills. This can include using 3D models, manipulatives, and visual aids to make spatial concepts easier to understand.

Components	Enablers	Barriers
<i>Pedagogical Content Knowledge (PCK)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Leadership support • Professional Learning Communities • Coaching and Mentoring • Lesson study • Access to resources • Incentives and recognition 	<ul style="list-style-type: none"> • Time constraints • Limited resources • Resistance to change • Lack of PD
<i>Classroom Spatialization</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Using more spatial language. • Using blocks and puzzles • Using multiple examples with diverse representations • Engaging children in solution discussions • Talking aloud and modeling 	<ul style="list-style-type: none"> • Time constraints • Grading spatial activities

Effective PD programs for enhancing spatial ability teaching

Study II: Evaluating PD Effectiveness through Action Research

Study II assessed the impact of the PD program using Guskey’s (2002) five-phase framework, covering participants’ reactions, learning, organizational support, application of new knowledge, and student outcomes.

- *Phases 1 & 2 (Reactions & Learning)*: Teachers responded positively, reporting an increased awareness of spatial ability and a greater appreciation for integrating spatial activities into their teaching.
- *Phase 3 (Organizational Support & Change)*: Challenges emerged during implementation, aligning with barriers identified in Study I. However, institutional support contributed to the program's overall success.
- *Phase 4 (Application of New Knowledge)*: Teachers effectively applied spatial strategies, such as transitioning from pictorial representations to concrete models when teaching 3D figures.
- *Phase 5 (Impact on Student Learning Outcomes)*: Student performance improved significantly in most cases, as reflected in MFTC and CMTT post-test scores:
 - T1 & T2’s students showed statistically significant gains ($p < .05$), demonstrating the program’s effectiveness.
 - T3’s students (CMTT only) and T4’s students (MFTC only) showed mixed results.
 - T5’s students exhibited no significant differences, likely due to the test's inappropriateness for their developmental level.

Study III: Evaluating PD Effectiveness through Action Research

Study III assessed the effectiveness of LS as a PD model, using the IMTP framework by Sims et al. (2023). This framework connects teacher learning

to classroom practice through four mechanisms: Insights (I), Motivation (M), Techniques (T), and Embedded Practice (P).

- *Insights (I)*:
 - Focused on specific spatial skills (e.g., visualization, mental rotation).
 - Structured workshops with supportive inputs to prevent cognitive overload.
 - *Motivation (M)*:
 - Teachers set spatial ability-focused goals and incorporated more spatial content into lesson plans
 - Revisited key concepts across workshops for reinforcement.
 - *Techniques (T)*:
 - Practical support & feedback played a crucial role:
 - T7 reported that detailed feedback improved their lesson planning.
 - T14 credited peer support with successfully implementing a new classroom management system.
 - *Embedded Practice (P)*:
 - Teachers identified areas for improvement through classroom observations, leading to action planning:
 - T6 introduced new questioning techniques to boost student engagement.
 - T12 used tangram puzzles to promote reflective problem-solving.
- ✓ The PD program (**Study II**) significantly improved teachers' spatial teaching strategies and student outcomes, though implementation challenges remained.
- ✓ LS (**Study III**) effectively translated PD insights into classroom practice, reinforcing collaboration, feedback, and hands-on techniques to sustain teacher development.

Key factors and strategies for implementing PD programs to enhance spatial ability in primary education

The findings from **Studies I, II, and III** identified key factors and strategies necessary for the successful implementation of PD programs for spatial ability instruction. These insights emphasize the complexity of spatial teaching and the importance of a systematic, collaborative, and well-supported approach.

Key Factors for Effective PD Implementation

- *Teacher Expertise and Experience*: Initially, teachers perceived spatial ability as a separate skill, requiring additional resources. However, as they progressed through the PD, they gained a deeper understanding of its cognitive complexity and relevance to subjects like mathematics and science. Teachers recognized its role in early childhood development and cross-curricular integration, demonstrating the PD's success in enhancing both conceptual understanding and classroom application.

- *Curriculum Requirements:* For PD programs to be effective, they must be closely aligned with national curricula and educational standards. The cross-curricular framework developed in Study I allowed teachers to analyze and integrate spatial components into their instruction. This alignment ensured relevance, applicability, and consistency in teaching spatial ability across disciplines.
- *Teacher Motivation and Engagement:* Despite initial resistance to change, teacher motivation increased throughout the PD process. In **Study III**, teachers at School 1 demonstrated particularly high engagement, actively participating in group discussions and collaborative lesson planning. The supportive and interactive PD environment, coupled with professional incentives (certificates, professional growth opportunities), contributed to this motivation.
- *Sustainable Support and Follow-Up:* Continuous guidance from the PD leader was a key success factor in **Studies II** and **III**. Teachers valued personalized feedback, which helped them refine lesson plans and teaching strategies. This ongoing support system enabled teachers to overcome challenges and sustain long-term improvements in spatial instruction.
- *Resource Availability:* A significant challenge in **Study III** was the limited access to manipulatives and digital tools. To address this, the PD introduced open educational resources such as:
 - PhET simulations (<https://phet.colorado.edu/>)
 - Learning Trajectories (<https://www.learningtrajectories.org/>)

Key Strategies for Implementing PD Programs

- *Interactive Workshops and Training Sessions:* Practical exercises played a central role in **Study III**. Teachers worked in small groups (triads and teams of five) to develop lesson plans using manipulatives. Lesson demonstrations by the PD leader provided valuable insights, ensuring teachers internalized spatial concepts effectively.
- *Collaborative Learning Models:* Both **Studies II** and **III** highlighted the importance of collaboration in PD. The LS model fostered deeper engagement than AR due to its structured peer observation and feedback cycles. Teachers co-designed lessons, observed each other's instruction, and iteratively refined their teaching strategies, significantly improving spatial instruction.
- *Differentiated Instruction Strategies:* Teachers recognized the need to adapt spatial activities for students with diverse learning needs. In **Study II**, workshop sessions focused on differentiation strategies, helping teachers adjust spatial tasks for students with varying skill levels and learning styles. In **Studies II** and **III**, teachers implemented a transition strategy that moved from pictorial representations to hands-on models, improving student engagement and understanding.

- *Integration with Classroom Practice:* Workshops were structured into four phases – Reflection, Input, Modelling, and Discussions – to ensure PD strategies translated into real classroom applications:
 - Reflection: Encouraged self-monitoring, feedback, and peer support.
 - Input: Provided credible resources and revisited prior learning.
 - Modelling: Teachers acted as students while PD leaders demonstrated effective techniques, helping them experience best practices firsthand.
 - Discussion: Facilitated lesson planning and integration of PD strategies into everyday teaching.

5. CONCLUSIONS

Conclusion

- The research identified several key enablers and barriers that influence the effective teaching of spatial ability. Enablers include well-designed curriculum content integrating spatial ability tasks, effective pedagogical strategies actively engaging students, and strong PCK among teachers. In contrast, barriers often stem from a lack of specific training in spatial skills, limited resources, and inadequate classroom specialisation. These findings underscore the importance of targeted interventions in curriculum design and teacher training to overcome these barriers and enhance spatial ability development.
- The thesis explored two models of PD – AR and LS – to determine their effectiveness in enhancing teachers' capacity to foster spatial skills in students. The AR model was particularly effective as it fostered a collaborative, iterative process that significantly improved teaching practices and positively influenced student outcomes. Meanwhile, the LS model emphasized collaborative learning and shared reflection among teachers, allowing them to refine instructional strategies for integrating spatial tasks into their teaching. These findings suggest that an effective PD program for supporting spatial skill development in students should incorporate collaborative and reflective practices that promote continuous professional growth and enhance instructional effectiveness.
- The research identified several fundamental factors and strategies for successfully implementing a PD program focused on enhancing spatial ability. Key factors included strong institutional support, ongoing opportunities for teacher collaboration, and a structured framework allowing for iterative refinement based on feedback and evolving educational needs. Effective strategies for implementation involve integrating spatial skills into existing curriculum standards, using real-time feedback to adjust teaching approaches, and fostering a culture of continuous improvement among educators. These strategies are crucial for ensuring the PD program's relevance and effectiveness in different educational settings.

Limitations

This research acknowledges several limitations that may affect the generalizability and long-term applicability of its findings:

1. *Measuring Long-Term Impact* – The study does not assess whether the observed improvements in spatial teaching and student outcomes are sustained over time. Future research should incorporate follow-up evaluations to examine long-term effects.

2. *Variability in Teacher Engagement* – Differences in teacher motivation and commitment may have influenced the effectiveness of the PD program, leading to inconsistent benefits among participants.
3. *Potential Bias in Self-Reported Data* – Much of the data was collected through teacher reflections and focus group discussions, which, while insightful, may be affected by social desirability bias, where participants provide expected rather than fully authentic responses.
4. *Unexamined External Factors* – Although the study acknowledges challenges such as classroom time constraints, organizational support, and resource availability, it does not isolate their specific impacts on PD effectiveness, which could have influenced the results.
5. *Cross-Cultural Adaptation of the PD Framework* – The diversity in educational systems, curriculum structures, and teaching practices across countries presents challenges in adapting the PD model. Cultural and policy differences may affect how PD strategies are implemented and integrated into local classrooms.

Elaborated theses for defence

I. Identification of barriers and enablers in teaching spatial skills

This research identified critical barriers and enablers influencing the teaching of spatial skills in primary education, providing valuable insights into the complexities of educational environments. A narrative map was developed to capture the interplay between curriculum design, pedagogy, teacher knowledge, and classroom practices that shape spatial skill development. Through an analysis of primary mathematics and science curricula across four European countries – Ireland, Latvia, the Netherlands, and Sweden – the study highlighted diverse approaches to integrating spatial reasoning into education. While all four countries recognized the importance of spatial skills, their integration varied in scope and emphasis, ranging from geometry-focused tasks to hands-on science activities. Additionally, the research systematically identified and categorized barriers and enablers into four key components: curriculum, pedagogy, PCK, and classroom spatialization. Barriers included insufficient curriculum duration, limited resources, negative teacher beliefs, and a lack of professional development opportunities. Conversely, enablers such as constructivist methodologies, leadership support, professional learning communities, and the use of spatial language and hands-on materials were found to foster effective spatial teaching practices. These findings offer a comprehensive understanding of the challenges and opportunities in teaching spatial skills, emphasizing the need for systematic curriculum design, reflective teaching strategies, and PD programs tailored to the unique demands of spatial education.

II. Innovative integration of PD approaches

This research presents a novel integration of AR and LS within a DBR framework, creating a structured yet adaptable methodology for teacher PD. By leveraging the iterative cycles of DBR (Anderson & Shattuck, 2012), AR facilitated real-time feedback and refinement of instructional practices, while LS promoted collaborative learning and reflective teaching strategies (Lewis et al., 2009). The value of integrating LS and AR with effective practice modeling workshops has been highlighted by experiences in Latvia (Namsone & Cakane, 2018) and internationally (Ewen et al., 2023; Bucher et al., 2024; Francisco et al., 2024). These approaches reflect a global shift towards teacher PD focused on lesson planning and analysis. The PD program integrated structured input workshops, goal-setting, and reflective practices, enhancing teachers' ability to effectively design and implement spatial tasks in primary education. This framework aligns with and extends existing literature advocating for PD approaches that prioritize collaboration, iterative refinement, and responsiveness to the specific needs of teachers' educational contexts (Sims et al., 2021).

Moreover, the study identified several key factors essential for the implementation of PD program, such as teacher expertise, curriculum alignment, teacher motivation, sustainable support, and resource availability. Initially, teachers had limited understanding and misconceptions about spatial skills, perceiving them as separate from other subjects or requiring additional resources. However, through iterative cycles of AR and LS, the PD framework deepened teachers' understanding, enabling them to integrate spatial skills into subjects like mathematics and science more effectively. For example, teachers transitioned from basic definitions of spatial skills to recognizing their broader implications for problem-solving and early childhood development. Curriculum alignment was another crucial factor, ensuring that spatial tasks were integrated into educational standards and linked to various subjects. This alignment not only increased the relevance of PD content but also enabled teachers to incorporate spatial reasoning into their everyday instruction seamlessly. The framework also emphasized teacher motivation and engagement, highlighting the role of practical, relevant content and collaborative environments in sustaining commitment to PD programs. Sustainable support and follow-up played a pivotal role in the success of the framework. Ongoing guidance from PD leaders provided clarity and actionable feedback, empowering teachers to refine their instructional approaches. Teachers highlighted the value of specific tools and strategies offered during workshops, such as using open resources like PhET simulations and lesson plans from Learning Trajectories, to address challenges related to limited resources.

The research also identified key strategies for implementing PD programs effectively. Interactive workshops with hands-on activities and modeling by PD leaders were instrumental in equipping teachers with actionable techniques for teaching spatial skills. These workshops allowed teachers to directly engage with

spatial tasks, fostering a deeper understanding of how to design and implement effective lessons. Collaborative learning models, particularly through LS, facilitated group-based lesson planning and peer observation, enabling teachers to refine their strategies and improve their instructional practices iteratively. Differentiated instruction strategies emerged as another vital component, ensuring that spatial activities accommodated diverse student needs. Teachers developed adaptive approaches for varying spatial skills, transitioning from traditional methods to innovative strategies involving manipulatives and concrete activities. The integration of these practices into classroom settings was reinforced by a structured four-phase PD process—reflection, input, modeling, and discussion—which linked PD directly to practical classroom applications. The innovative integration of AR and LS within the DBR framework highlights the effectiveness of collaborative, reflective, and iterative PD approaches.

III. Evidence-based link between teacher development and student outcomes

This research establishes a direct, evidence-based connection between teacher development and measurable improvements in students' spatial skills, demonstrating the effectiveness of the proposed PD program. By engaging teachers in iterative cycles of action, reflection, and collaboration, the PD program fostered significant professional growth. Teachers initially demonstrated limited understanding and misconceptions about spatial ability, but through targeted workshops, collaborative lesson planning, and reflective practices, their pedagogical strategies and confidence in teaching spatial skills were significantly enhanced. The study also highlighted the role of collaborative learning in teacher development, as facilitated by AR and LS. Teachers benefited from structured opportunities to discuss challenges, share insights, and refine their instructional approaches, leading to an increased ability to design and implement spatial tasks that align with curriculum standards and cater to diverse student needs. These developments were integral to the transformation of teaching practices, fostering a deeper integration of spatial skills into mathematics and science education.

Empirical data further demonstrated the positive impact of these teacher improvements on student outcomes. Pre- and post-assessments using standardized spatial ability tests revealed significant gains in students' spatial reasoning, particularly in visualization and mental rotation tasks. These results underscore the importance of targeted PD programs that not only support teacher growth but also enhance the quality of student learning experiences in STEM-related fields.

Future research

Future research should explore the scalability and long-term impact of the PD framework across diverse educational contexts, assessing its adaptability

in different cultural and curricular settings. Longitudinal studies are needed to examine sustained improvements in teacher practices and student outcomes. Further investigation into emerging technologies (e.g., virtual reality, AI-driven platforms) could provide innovative strategies for enhancing spatial ability and addressing resource constraints. Additionally, research on the interdisciplinary role of spatial ability in literacy and critical thinking could offer a broader perspective on its impact in education.

Recommendations

The following table summarises the recommendations and their addresses.

Table 6. Recommendations to enhance spatial teaching and PD programs

Category	Recommendation	Factor Addressed
<i>Curriculum and Instruction</i>	Increase classroom time allocation for spatial components.	Insufficient classroom time
	Implement differentiated instruction to cater to diverse learning needs.	Lack of differentiated instruction
<i>Professional Development</i>	Standardize and support PD implementation.	Variable implementation of PD programs
	Explore and integrate additional PD frameworks.	Narrow focus on specific frameworks
	Regular assessment and feedback.	Need for continuous evaluation and improvement
<i>Organizational Support</i>	Enhance organizational support by fostering a culture of continuous improvement and collaboration.	Organizational support variability
	Increase access to resources for spatial teaching.	Resource constraints
<i>Implementation of Best Practices</i>	Encourage adoption of research-based practices.	Resistance to change
	Broaden task-specific training to be adaptable across various subjects and contexts.	Generalizability of task-specific training
<i>Collaboration and Feedback</i>	Foster a collaborative learning environment for teachers to share best practices.	Need for practical social support and feedback
	Incorporate student feedback in evaluating spatial teaching strategies.	Variability in student outcomes

KOPSAVILKUMĀ IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS / REFERENCES

- [6] Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research?. *Educational researcher*, 41(1), 16–25. <https://doi.org/10.3102/0013189X11428813>
- [7] Baumfield, V., Hall, E., & Wall, K. (2008). *Action research in the classroom*. Sage. <https://doi.org/10.4135/9780857024305>
- [8] Bower, C., Odean, R., Verdine, B. N., Medford, J. R., Marzouk, M., Golinkoff, R. M., et al. (2020). Associations of 3-year-olds' block-building complexity with later spatial and mathematical skills. *J. Cogn. Dev.* 21, 383–405. <https://doi.org/10.1080/15248372.2020.1741363>
- [9] Bucher, J., Kager, K., & Vock, M. (2024). A systematic review of the literature on lesson study in Germany: a professional development approach under the radar of research?. *International Journal for Lesson & Learning Studies*, 13(5), 35–48. <https://doi.org/10.1108/IJLLS-10-2023-0138>
- [10] Cochran-Smith, M., & Lytle, S. L. (2015). *Inquiry as stance: Practitioner research for the next generation*. Teachers College Press.
- [11] Desimone, L. M. (2009). Improving impact studies of teachers' professional development: Toward better conceptualizations and measures. *Educational researcher*, 38(3), 181–199. <https://doi.org/10.3102/0013189X08331140>
- [12] Desimone, L. M., & Garet, M. S. (2015). Best practices in teacher's professional development in the United States. <https://doi.org/10.25115/psyse.v7i3.515>
- [13] Dewey, J. (1938). *Experience and Education*. Macmillan.
- [14] Draganski, B., Gaser, C., Kempermann, G., Kuhn, H. G., Winkler, J., Büchel, C., & May, A. (2006). Temporal and spatial dynamics of brain structure changes during extensive learning. *Journal of Neuroscience*, 26(23), 6314–6317. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4628-05.2006>
- [15] Dudley, P. (2013). Teacher learning in Lesson Study: What interaction-level discourse analysis revealed about how teachers utilised imagination, tacit knowledge of teaching and fresh evidence of pupils learning, to develop practice knowledge and so enhance their pupils' learning. *Teaching and teacher education*, 34, 107–121. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2013.04.006>
- [16] Ehrlich, S., Levine, S.C., & Goldin-Meadow, S. (2006). The importance of gesture in children's spatial reasoning. *Developmental Psychology*, 42, 1259–1268. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.42.6.1259>
- [17] Ewen, M., Ferreira, A., & Helder, M. G. (2023). Evaluation of an innovative model for teacher professional development on educational inclusion in the UAE. *Professional Development in Education*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/19415257.2023.2283421>
- [18] Francisco, S., Forssten Seiser, A., & Olin Almqvist, A. (2024). Action research as professional learning in and through practice. *Professional development in education*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/19415257.2024.2338445>

- [19] Gilligan, K. A., Hodgkiss, A., Thomas, M. S., and Farran, E. K. (2019). The developmental relations between spatial cognition and mathematics in primary school children. *Dev. Sci.* 22:e12786. <https://doi.org/10.1111/desc.12786>
- [20] Greitāns, K., & Namsone, D. (2021). In-service science teachers' professional development targeted to promote student understanding of core scientific concepts. *Education: Developing a Global Perspective*; Scientia Socialis, UAB: Siauliai, Lithuania.
- [21] Guskey, T. R. (2002). Does it make a difference? Evaluating professional development. *Educational leadership*, 59(6), 45–51.
- [22] Hallinger, P., & Heck, R. H. (2010). Leadership for learning: Does collaborative leadership make a difference in school improvement?. *Educational management administration & leadership*, 38(6), 654–678. <https://doi.org/10.1177/1741143210379060>
- [23] Harris, J., Newcombe, N. S., & Hirsh-Pasek, K. (2013). A new twist on studying the development of dynamic spatial transformations: Mental paper folding in young children. *Mind, Brain, and Education*, 7(1), 49–55. <https://doi.org/10.1111/mbe.12007>
- [24] Hensch, T. K. (2005). Critical period regulation. *Annu. Rev. Neurosci.*, 27(1), 549–579. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144327>
- [25] Hodgkiss, A., Gilligan, K. A., Tolmie, A. K., Thomas, M. S., & Farran, E. K. (2018). Spatial cognition and science achievement: The contribution of intrinsic and extrinsic spatial skills from 7 to 11 years. *British Journal of Educational Psychology*, 88(4), 675–697. <https://doi.org/10.1111/bjep.12211>
- [26] Kemmis, S. McTaggart, r.(2005). Participatory action research: Communicative action and the public sphere. *N. denzin, & y. Lincoln (eds.), Handbook of qualitative research*, 559–604.
- [27] Levine, S. C., Huttenlocher, J., Taylor, A., & Langrock, A. (1999). Early sex differences in spatial skill. *Developmental psychology*, 35(4), 940. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.35.4.940>
- [28] Levine, S. C., Ratliff, K. R., Huttenlocher, J., & Cannon, J. (2012). Early puzzle play: a predictor of preschoolers' spatial transformation skill. *Developmental psychology*, 48(2), 530. <https://doi.org/10.1037/a0025913>
- [29] Lewis, C. C. (2002). *Lesson study: A handbook of teacher-led instructional change*.
- [30] Lewis, C. C., & Tsuchida, I. (1998). A lesson is like a swiftly flowing river: How research lessons improve Japanese education. *American Educator*, 22(4).
- [31] Lewis, C. C., Perry, R. R., & Hurd, J. (2009). Improving mathematics instruction through lesson study: A theoretical model and North American case. *Journal of mathematics teacher education*, 12, 285–304. <https://doi.org/10.1007/s10857-009-9102-7>
- [32] Lowrie, T., Logan, T., and Hegarty, M. (2019). The influence of spatial visualization training on students' spatial reasoning and mathematics performance. *J. Cogn. Dev.* 20, 729–751. <https://doi.org/10.1080/15248372.2019.1653298>
- [33] Mix, K. S., & Cheng, Y. L. (2012). The relation between space and math: Developmental and educational implications. *Advances in child development and behavior*, 42, 197–243. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394388-0.00006-X>
- [34] Mix, K. S., Levine, S. C., Cheng, Y. L., Young, C., Hambrick, D. Z., Ping, R., et al. (2016). Separate but correlated: the latent structure of space and mathematics across development. *J. Exp. Psychol. Gen.* 145, 1206–1227. <https://doi.org/10.1037/xge0000182>

- [35] Namsone, D., & Cakane, L. (2018). A collaborative classroom-based teacher professional learning model. In Y. J. Lee (Ed.), *Science education research and practice in Asia-Pacific and beyond* (pp. 211–224). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5149-4_13
- [36] Newcombe, N. S. (2010). Picture this: Increasing math and science learning by improving spatial thinking. *American educator*, 34(2), 29.
- [37] Newcombe, N. S., & Frick, A. (2010). Early education for spatial intelligence: Why, what, and how. *Mind, Brain, and Education*, 4(3), 102–111. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2010.01089.x>
- [38] Newcombe, N. S., and Shipley, T. F. (2014). “Thinking about spatial thinking: new typology, new assessments” in Ed. Gero, J. *Studying visual and spatial reasoning for design creativity* (Dordrecht: Springer Netherlands), 179–192. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9297-4_10
- [39] Schön, D. A. (1983). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Basic Books.
- [40] Sims, S., Fletcher-Wood, H., O'Mara-Eves, A., Cottingham, S., Stansfield, C., Goodrich, J., ... & Anders, J. (2023). Effective teacher professional development: New theory and a meta-analytic test. *Review of Educational Research*, 00346543231217480. <https://doi.org/10.3102/00346543231217480>
- [41] Sims, S., Fletcher-Wood, H., O'Mara-Eves, A., Cottingham, S., Stansfield, C., Van Herwegen, J., & Anders, J. (2021). What are the characteristics of teacher professional development that increase pupil achievement? A systematic review and meta-analysis.
- [42] Stringer, E. (2019). Theory in educational action research. *The wiley handbook of action research in education*, 139–159. <https://doi.org/10.1002/9781119399490.ch7>
- [43] Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., et al. (2013). The malleability of spatial skills: a meta-analysis of training studies. *Psychol. Bull.* 139, 352–402. <https://doi.org/10.1037/a0028446>
- [44] Verdine, B. N., Golinkoff, R. M., Hirsh-Pasek, K., Newcombe, N. S., and Bailey, D. H. (2017b). Links between spatial and mathematical skills across the preschool years. *Monogr. Soc. Res. Child Dev.* 82, 71–80. <https://doi.org/10.1111/mono.12283>
- [45] Vescio, V., Ross, D., & Adams, A. (2008). A review of research on the impact of professional learning communities on teaching practice and student learning. *Teaching and teacher education*, 24(1), 80–91. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2007.01.004>
- [46] Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes* (Vol. 86). Harvard university press.
- [47] Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817. <https://doi.org/10.1037/a0016127>