ТЕНДЕНЦИИ В ОЦЕНЯВАНЕТО НА STEM КОМПЕТЕНТНОСТИ – МЕТОДИКА И ТЕХНОЛОГИИ

Надежда Ангелова Калоянова, Румяна Йорданова Папанчева
Университет „Проф. д-р Асен Златаров“, Бургас

TRENDS IN ASSESSMENT OF STEM COMPETENCES – METHODOLOGY AND TECHNOLOGIES

Nadezhda Angelova Kaloyanova, Rumyana Yordanova Papancheva
University ‘Prof. Dr Assen Zlatarov’, Burgas

** Авторите изказват благодарност към научен проект КП-06-Н65/2 „AMS-STEM-COMP – Адаптивна метрична система за оценка на STEM компетентности в общообразователната подготовка“.*

Abstract: This study provides a comprehensive analysis of scientific publications aimed at systematizing methodologies and technologies for assessing students’ STEM competencies. Through content analysis of 40 reference sources, two leading technologies and their significant variants are identified. The study outlines and explains the application of six assessment methods and details the specific tools used. Conclusions highlight deficiencies in current systems and frameworks for assessing students’ STEM competencies. The analyzed reference list is also presented in the study.

Keywords*: STEM competence, assessment, methodology, technology*

Въведение

Постоянното въздействие на съвременните технологии върху структурата и динамиката на обществените отношения. Епохата на 4-тата индустриална революция се характеризира с лавинообразно технологизиране на живота. Роботизират се цели сектори в производството и услугите, радикално се трансформират или изчезват професии. Модерният потребител – гражданин на технологично развито общество, следва да притежава знания и умения за работа с технологии на ниво кодиране, програмиране, управление и да ги използва в ежедневието. От личността се очаква да решава проблеми, да анализира информация, да взима решения, да е адаптивна към нови условия и предприемчива както в професионалната, така и в личностната сфера. От тази перспектива в образованието се налага тенденция за приоритизиране на компетентностите в областта на математиката, технологиите, природните науки, инженерните решения – области на познанието обозначени с абревиатурата STEM (Science, Technologies, Engineering and Mathematics). Същевременно се отчита значителен спад на броя на учениците, които искат да продължат образованието си в тази сфера. Причините за това от една страна могат да се търсят в по-високата трудност на учебното съдържание и подготовка, но от друга – в липсата на стабилна основа, формирана в рамките на средното образование.

Доколкото ST(R)E(A)M (STEM + Reading + Art) се е утвърдило с ясно разработени методически концепции за обучение в различни образователни реалности, основен проблем остава установяването на обективен и валиден методически инструментариум за оценка на придобитите в рамките на STEM обучението компетентности. Описаният проблем се детерминира от два взаимосвързани фактора.

Първият е различните и все по-разширяващи се варианти на приложение на STEM подхода, които зависят както от спецификата на съответната образователна система, така и от нуждите на конкретната образователна практика.

Вторият е необходимостта от прилагане на специфичен инструментариум, който – в контекста на съответната STEM образователна практика, да даде възможност за холистично измерване и оценка на STEM-компетентността, която се счита за единен конструкт с множество вариращи компоненти. Не съществува референтна рамка, която да определи точните съставни (области) на STEM компетентността. Ето защо е по-уместно да се измерват различни STEM компетентности, а методическият инструментариум да е вариативен и да дава възможност за създаване на адаптивни метрични системи в зависимост от изискванията на конкретната STEM практика.

В българската образователна система STEM обучението се реализира в различни варианти в отделни етапи и степени на образователната система. В унисон със световната теория и практика, като основен проблем се очертава липсата на утвърдена референтна рамка на STEM компетентността, респ. се наблю-

дава остър дефицит на методически инструменти за оценка на постигнатите от учениците компетентности в рамките на STEM обучението.

В съответствие на националните и световни политики за утвърждаване на STEM образованието се реализира проект „AMS-STEM-COMP – Адаптивна метрична система за оценка на STEM компетентности в общообразователната подготовка“, чийто фокус е разработване на адаптивна метрична система за оценяване на придобитите в рамките на STEM-обучение компетентности от ученици в средното училище (1. – 12. клас).

Една от изследователските задачи, заложена в проекта, е да се проучат и систематизират съществуващи практики за измерване и оценка на STEM компетентностите, респ. да се създаде база от научни публикации по темата. В настоящата статия е направен обзор на съществуващите тенденции в измерването и оценяването на STEM компетентностите и опит за систематизация на прилаганите методики и технологии чрез преглед на научни публикации, отнасящи се до тематиката на проекта.

Предпоставки и ограничения на теоретичния обзор на практики за измерване и оценка на STEM компетентности

Преди да се изведат възможните постижения и ограничения в измерването на STEM компетентностите, е необходимо да се представи същността и измеренията на STEM компетентността. Поради липса на единно възприета дефиниция, в специализираната литература най-често се цитира интерпретацията на Soo Boon за UNISCO. Според тази интерпретация, STEM-компетентността е обобщен конструкт с множество вариращи компоненти, които могат да се диференцират в две основни групи: „know-what“ (знания, нагласи и ценности, свързани със STEM-дисциплините) и „know-how“ (умения за прилагане на придобитите знания в съответствие с етични нагласи и ценности, така че да се действа по подходящ, ефективен начин в даден контекст) [1].

Вижда се, че самата дефиниция на STEM-компетентността (или липсата на единна такава), създава предпоставки за множество тълкувания, респ. разнообразие от подходи за извеждане на критерии и установяване на инструменти за нейното измерване и оценяване.

Следващият теоретичен обзор, който се базира на преглед на 40 публикации, представени в авторитетни издания (приложен е референтен списък) дава възможност да се установят някои тенденции, ограничаващи възможността за пределно ефективно систематизиране на технологии и методики за оценка на STEM компетентности:

- Съществува голямо разнообразие от тълкувания на подходите за измерване и оценка на STEM компетентности.

Някои автори приемат, че един и същи тип STEM компетентности се отнасят както до ученика, така и до учителя. В този случай се предлагат критерии, респ. инструменти, които измерват предимно мненията и нагласите на учители и ученици към STEM образованието изобщо. В някои публикации се отбелязва, че измерването на учителския капацитет за преподаване в STEM е водещ, респ. неговото подобряване ще подобри и резултатите на учениците. Систематичното оценяване и мониторинг на STEM е от ключово значение с оглед гарантиране на качеството на STEM образованието. Същевременно това е и един от най-критичните проблеми поради ограниченото наличие на инструменти за измерване и методики за оценка [2].

- Липсват единни критерии за измерване на STEM компетентности.

По правило за всяка отделна практика, независимо от обхвата ѝ, се създава конкретна критериална рамка. Липсата на единни рамки и стандарти за оценяване на STEM компетентностите задълбочава тенденцията за оценяване на учениците предимно със стандартизирани методи и инструменти за оценяване, които не са пригодени към STEM концепцията [3].

- Съществуващите рамки и системи се отнасят до различни аспекти на оценяване на STEM компетентностите и рядко предлагат конкретни инструменти за оценка

Съществуват рамки и системи за цялостна оценка на STEM компетентностите на образователната организация, които включват критерии и индикатори за оценка на организацията, съдържанието и преподаването в STEM. В повечето рамки не се предлагат конкретни инструменти за оценка по отделните критерии и индикатори.

Друг тип рамки и системи предлагат конкретни критерии за оценка на STEM компетентностите, постигнати от учениците в STEM обучението. Тези рамки и системи обхващат различни аспекти на знания, умения и нагласи. Не може да се открои рамка, която целенасочено и структурирано да обхваща всички аспекти на STEM компетентността [4].

- Превес на формиращото оценяване за установяване на постиженията на учениците в STEM обучението.

Въпреки несъмнените си предимства, формиращото оценяване не е достатъчно, за да докаже ефективността на STEM образованието, защото при неговото прилагане е възможно да не бъдат обхванати ва-

жни ключови компетентности, които всяка STEM практика трябва да развива. Установено е, че проучвания, които се отнасят до оценката на такива аспекти на STEM компетентностите като сътрудничество, критично мислене и креативност, са редки или почти липсват [5].

За целите на проект „AMS-STEM-COMP – Адаптивна метрична система за оценка на STEM компетентности в общообразователната подготовка“ от интерес е проучването на технологиите и методиките за оценка на STEM компетентностите на ученици в контекста на общообразователната им подготовка.

Систематизация на прилаганите методики и технологии за оценка на STEM компетентности на ученици

На базата на очертаните предпоставки и обстоен контент анализ на 40 научни публикации е направен опит за систематизация на прилаганите методики и технологии за оценка на STEM компетентности на учениците. Могат да се открият две основни технологии и техни значими разновидности:

1. Технологии за формиращо оценяване:

- Непрекъснато оценяване – формиращо оценяване от стандартен тип, при което учениците са изпитвани непрекъснато [6].
- Персонализирано оценяване – вид формиращо оценяване, създадено за да покаже, дали учениците са постигнали конкретни образователни цели в съответствие с тяхното личностно развитие [6].
- Компетентностно базирано оценяване – формиращо оценяване, чрез което се разширяват знанията на учениците, осигурява се гъвкавост и приложимост на знанията, както и възможност ученикът да демонстрира учене според собствения си напредък, така че да се открои максималното му ниво на постижения [7].
- Автентично оценяване – модел на формиращо оценяване, при който се отчита социалната динамика в класа, дава се възможност на учениците да се самооценяват като определят напредъка си, да определят грешките си и да предприемат действия за подобряване. Оценките при този вид оценяване трябва да бъдат конкретни и целеви, да не предизвикват сравнение между учениците, а да ги мотивират [6, 8, 9, 10].

2. Технологии за крайно (сумативно) оценяване:

- Технологии, разработвани на ниво „училище“ – включват критерии и инструменти за оценка на постиженията на учениците по предметните области на STEM. Обикновено са обвързани с годишното оценяване по тези предмети [3].
- Технологии за външно оценяване – инструменти за национално външно оценяване, PISA (OECD’s Programme for International Student Assessment) и TIMSS (Trends in International Mathematics and Science Studies) [3].

Методиките за оценка на STEM компетентности варират като комбинация от два или няколко метода. Авторите на различни изследвания разработват оценъчния инструментариум целево, прилагат го в представителни извадки и търсят тенденциите в постиженията и/или личностното развитие на учениците в STEM.

Според направения контент анализ методите за оценка на STEM компетентностите включват:

3. Въпросници

Въпросникът е един от най-предпочитаните методи. В основната част от разгледаните методики, въпросниците се създават целенасочено за конкретна практика или се адаптират стандартизирани въпросници. В повечето случаи въпросникът съдържа оценъчна скала (предимно от Ликертов тип), която прави неговото валидиране удобно, а получените резултати – надеждни.

В анализираните научни публикации условно могат да се разграничат три основни вида въпросници, касаещи STEM компетентностите на учениците.

Най-разпространени са въпросниците за оценка на нагласи и готовност за обучение в STEM, вкл. за оценка на ефективността на STEM обучението. Тези въпросници измерват широк спектър нагласи като ангажираност, удовлетвореност, интерес, любопитство, мотивация, множествени интелигентности и др.п.

Предпочитани са и въпросници за оценка на STEM образователната среда. Чрез тях се оценява взаимодействието между учители и ученици, емоционалният климат в класната стая, преживяванията по време на обучението в STEM, възприятия за образователната среда в STEM, емоционалните фактори за учене на STEM-средата и др.п.

Въпросниците за оценка на STEM знания и умения се срещат най-рядко. По същество те са по-елементарен и не толкова трудоемък вариант на тестове. В анализираните научни материали въпросниците за STEM знания и умения обикновено са суб-инструмент на по-обширен въпросник, който включва още подвъпросници за измерване на нагласи и/или ключови компетентности. В случая също се прилага предимно оценяване с помощта на оценъчна скала и се правят комбинирани и сравнителни анализи между постигнатите нива на академични и ключови умения като съставна част от STEM компетентността. По-

добни опити са ценни, но като цяло недостатъчно ефективни, тъй като изкуствено разделят STEM компетентността на двете ѝ съставни части – академични знания и умения и трансверсални и личностни умения

4. Анкети и интервюта

Тези методи се използват за свободно събиране на мнения и впечатления от представянето на учениците по време на STEM обучението. Обикновено се прилагат след реализиране на конкретна форма на STEM обучение (урок, състезание, кръжок и др.п.). Понякога изследващите ги реализират във фокусни групи. С цел валидиране на получените резултати, и в този случай честа практика е като допълнителен метод да се използват оценъчни скали (отново от типа „Ликерт“).

5. Теренни наблюдения.

Методи, които дават възможност на оценяващия да събере преки впечатления от изявата на учениците в реална STEM практика. При теренните наблюдения, подобно на комбинираните въпросници, се прави опит за обхващане на различни аспекти на STEM компетентността, но отново чрез нейното разчленяване на различни знания и умения. Наблюденията по правило са доста субективни и изследващите често се опитват да им придадат надеждност и обективност чрез различни диагностични и статистически процедури.

6. Стандартизирани тестове.

Както беше отбелязано, тестовете запазват своето влияние като валиден, надежден и обективен метод за оценка. В съвременността те са надхвърлили ограничения си потенциал за измерване единствено на академични знания и умения и разширяват своите възможности до измерване на трансверсални и личностни качества и умения.

Разбира се, валидирането на такъв тест е както труден, така и дълговременен процес, често изоставащ в сравнение с бързото и динамично развитие на образователните технологии. Вероятно това е причината в направения анализ да се наблюдава прилагането на стандартизирани тестове, разработени или от конкретна образователна институция, или на национално, европейско и международно ниво. В случая на вътрешноинституционални тестове, разработени специално за измерване на определена STEM практика, отново се наблюдава измерване, респ. оценяване, на академични знания и умения от предметните области на STEM. Що се отнася до международно признатите тестове, в национален мащаб се потвърди тенденцията, за ефективността на STEM образованието да се съди от представянето на учениците на PISA и TIMSS.

7. Задачи и задания.

В допълнение към традиционните учебни задачи, които изискват знания и умения в конкретна предметна област, за оценка на STEM компетентностите на учениците все по-често се прилагат колаборативни (екипни) задачи и проблемни задачи, центрирани в една или няколко STEM области.

Работата по проект и неговите разновидности (напр. дизайн мислене) е сред най- предпочитаните методически подходи за реализиране на STEM обучение. Спецификата проектните задания, и особено тези за дизайн мислене, ги прави удобни инструменти едновременно за развиване и оценка на STEM компетентности.

Практически задания се използват и за прилагане на компетентностно базирано оценяване. В този случай заданията се конструират така, че да се измерват нивата на определена компетентност чрез проследяване на последователността и спецификата на уменията, които изявява ученика. Създава се матрица (стандарт) на действията, които ученикът трябва да изпълни, респ. уменията, които трябва да прояви и които ще бъдат оценявани. Потенциалът на този подход е във възможността да се оцени практическото реализиране на знанието от ученика, като едновременно с това се персонализира неговото представяне като се „усили“ сложността.

8. Проективни методи.

Макар че не са обозначени с този термин, същността на тези методи е да се даде незабавна и ефективна обратна връзка за напредъка на ученика в STEM. При правилно конструиране, проактивните методи осигуряват възможност за проследяване на нивата и спецификата на формираните STEM компетентности чрез „проекция“ на собствения напредък.

Към тези методи се отнасят портфолио на ученика, дневник на ученика (напр. научен дневник, технологичен дневник, дневник за дизайн и др.п.), работни листи, рубрики и др. Чрез тях се стимулира самостоятелната изява на ученика, неговата креативност, нестандартност и самооценка.

Заключение

Представеният обзор недвусмислено показва разнообразието и разнопосочността на технологиите и методиките за оценка на STEM компетентностите на учениците. Може да се направи извод, че инструментите, прилагани за оценка на STEM компетентностите на учениците следват конкретна образователна практика и преследват точно определена цел, която в повечето случаи, касае един от двата основни ас-

пекта на STEM компетентността: академичните знания и умения или трансверсалните и личностните умения. Опитите да се измерват едновременно и двата аспекта са спорадични и често неефективни, защото по същество се прилагат спрямо едни и същи ученици, но не мерят STEM компетентността като сложно интегрално личностно свойство.

В голяма част от случаите резултатите от оценяването се анализират с помощта на количествен и качествен контент анализ. Правят се опити за валидация на приложения методически инструментариум чрез статистически процедури, но в редки случаи се наблюдават практики за неговата стандартизация. Това означава, че разработените инструменти не могат да се прилагат всеобхватно и си остават повече област на научен, отколкото на практико-приложен интерес.

С направения обзор се потвърждава мнението, че образователните системи в различни страни, поради своята специфика – от една страна, и поради разнообразието от възможности, които предлага STEM – от друга, следва да разработват собствена единна система за оценка на STEM образованието. По този начин ще се преодолее наложилата се недобра практика резултатите от STEM обучението да се оценяват според резултатите от стандартните изпити, както и ще се създадат сериозни предпоставки за подобряване на STEM обучението като цяло.

Разработването на концептуална рамка на адаптивна метрична за измерване и оценка на STEM компетентности и съпътстващ инструментариум ще отговори на нуждите на образователната теория и практика за въвеждане на надежден инструментариум за установяване на степента на усвоени STEM компетентности от учениците в общообразователната им подготовка в българското средно училище.

References:

1. Ng, Soo Boon. (2019). Exploring STEM Competences for the 21st Century, ser. Current and Critical Issues in Curriculum, Learning and Assessment, February, 2019, No.30. UNESCO,International Bureau of Education
2. Saxton, E. et al. (2013). A common measurement system for K-12 STEM education: Adopting an educational evaluation methodology that elevates theoretical foundations and systems thinking. Studies in Educational Evaluation, 40, 18 – 35. https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2013.11.005
3. Arikan, S., E. Erktin, M. Pesen. 2020. Development and Validation of a STEM Competencies Assessment Framework. International Journal of Science and Mathematics Education, Received: 13 December 2019 /Accepted: 28 September 2020/# Ministry of Science and Technology, Taiwan 2020, https://doi.org/10.1007/s10763-020-10132-3
4. Kaloyanova, N. 2023. Assessment of STEM Competences – Systematic Overview of Model Solution and Practices, The Paris Conference on Education 2023 Official Conference Proceedings, ISSN: 2758-0962, pp. 777 – 790
5. Haesen, St., E. Van de Put. (2018). STEAM Education in Europe: A Comparative Analysis Report, EuroSTEAM, ISBN 9789090311968
6. Jimenez Iglesias, M. at all. (2018). European STEM Schools Report: Key Elements and Criteria. European Schoolnet, Brussels.
7. Kreamer, K. B., & Zimmermann, A. (2015). Building a strong relationship between competency-base pathways and career technical education. National Association of State Directors of Career Technical Education Consortium.
8. McNair, S. at all. (2003). Teachers speak out on assessment practices. Early Childhood Education Journal, 31(1), 23 – 31. doi:10.1023/A:1025180617689
9. Peterson, B., & Hipple, B. T. (2020). Formative assessment in hands-on STEM education. In C. Martin, D. Polly & R. Lambert (Eds.), Handbook of Research on Formative Assessment in Pre-K Through Elementary Classrooms (pp. 165 – 193). IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0323-2-ch009
10. Reynolds, K. at all. (2020). Digital Formative Assessment of Transversal Skills in STEM: A Review of Underlying Principles and Best Practice. ATS STEM Report #3. Dublin: Dublin City University. http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3673365

Референтен списък:

1. Afriyani, D. at all. 2018. Characteristics of Students' Mathematical Understanding in Solving Multiple Representation Task based on Solo Taxonomy. International Electronic Journal Of Mathematics Education, e-ISSN: 1306-3030. 2018, Vol. 13, No. 3, 281-287 https://doi.org/10.12973/iejme/3920
2. Ahmad, J. & Nyet Moi Siew. 2021. Curiosity towards stem education: a questionnaire for primary school students. Journal of Baltic Science Education, 20(2):289-304, DOI: 10.33225/jbse/21.20.289
3. Alifa, I. at all. 2018. Learning Electricity using Arduino-Android based Game to Improve STEM Literacy, J.Sci. Learn.2018.1(3). Pp. 77-94.
4. Álvarez-Castillo, Estefanía at all. 2023. Assessment of a pedagogical model for STEM education: combining technology and collaborative tasks. Universidad de Sevilla. Departamento de Ingeniería Química
5. Anwari, I., Yamada, S., Unno, M., Saito, T., Suwarma, I., Mutakinati, L. & Kumano, Y. 2015. Implementation of Authentic Learning and Assessment through STEM Education Approach to Improve Students' Metacognitive Skills. K-12 STEM Education, 1(3), 123-136. The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). Assessment Test – https://www.thescienceacademystemmagnet.org/assessment-test/
6. Avgerinos, E. & A. Karageorgiadis. 2017. On an adaptive formative assessment platform for STEM Education.

IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Athens, Greece, 2017, pp. 1216-1224, doi: 10.1109/EDUCON.2017.7943003.
7. Capraro, R.M., Corlu, M.S. 2013. Changing views on Assessment for STEM Project-Based Learning. Capraro, R.M., Capraro, M.M., Morgan, J.R. (eds) STEM Project-Based Learning. SensePublishers, Rotterdam. https://doi.org/10.1007/978-94-6209-143-6_12
8. Castleberry, C., Hanner, A., Burks, G., & Amos, J. 2023. Instructor perspectives on the use of tag-organised assessment to facilitate formative assessment strategies in STEM courses. European Journal of Engineering Education, 48(4), 629–652. https://doi.org/10.1080/03043797.2023.2173559
9. Chachashvili-Bolotin, S., Milner-Bolotin, M., & Lissitsa, S. 2016. Examination of factors predicting secondary students' interest in tertiary STEM education. International Journal of Science Education, 38(3), 366–390. https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1143137
10. Chamrat, S., M. Manokarn; J. Thammaprateep. 2019. STEM literacy questionnaire as an instrument for STEM education research field: Development, implementation and utility. AIP Conference Proceedings, 2081, 030013 (2019) https://doi.org/10.1063/1.5094011
11. Christoforou E. at all. 2021. Robotics Competitions as an Integral Part of STEM Education. Advances in Intelligent Systems and Computing book series (AISC, volume 1316)
12. DOI: 10.4018/978-1-7998-0249-5.ch013
13. Eguchi, E. 2016. RoboCupJunior for promoting STEM education, 21st century skills, and technological advancement through robotics competition. Publication: Robotics and Autonomous Systems; Publisher: Elsevier
14. Ergün, A. & M. D. Balçın. 2017. Turkish adaptation of questionnaire on attitudes towards engineers and scientists. International Elektronic Journal of Elementary education, Vol. 10, Issue 1, DOI: 10.26822/iejee.2017131891
15. Fairhurst, N., Koul, R. & Sheffield, R. Students' perceptions of their STEM learning environment. Learning Environ Res 26, 977–998 (2023). https://doi.org/10.1007/s10984-023-09463-z
16. Fraser, B.J., McLure, F.I. & Koul, R.B. 2021. Assessing Classroom Emotional Climate in STEM classrooms: developing and validating a questionnaire. Learning Environ Res 24, 1–21 (2021). https://doi.org/10.1007/s10984-020-09316-z
17. Hipple, B. T. 2020. Formative assessment in hands-on STEM education. In C. Martin, D. Polly & R. Lambert (Eds.). Handbook of Research on Formative Assessment in Pre-K Through Elementary Classrooms (pp. 165–193). IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0323-2-ch009
18. Kanadli, S. 2019. A Meta-Summary of Qualitative Findings about STEM Education. International Journal of Instruction, V.12, N1 pp. 959-976, Jan 2019
19. Kaya-Capocci, S. & E. Peters-Burton. 2023. The Use of Digital Formative Assessment for Integrated Entrepreneurial STEM Education, Chapter, Part of the Integrated Science book series (IS, Volume 15)
20. Kayan-Fadlelmula et al. 2022. A systematic review of STEM education research in the GCC countries: trends, gaps and barriers International Journal of STEM Education (2022) 9:2. https://doi.org/10.1186/s40594-021-00319-7.
21. Kelley, T. and J. Knowles. 2016. A conceptual framework for integrated STEM education. International Journal of STEM Education (2016) 3:11. DOI 10.1186/s40594-016-0046-z,
22. León, J. at all. 2015. Self-determination and STEM education: Effects of autonomy, motivation, and self-regulated learning on high school math achievement. Learning and Individual Differences, Publisher: Elsevier, https://doi.org/10.1016/j.lindif.2015.08.017
23. Lin, KY., Yu, KC., Hsiao, HS. et al. Design of an assessment system for collaborative problem solving in STEM education. J. Comput. Educ. 2, 301–322 (2015). https://doi.org/10.1007/s40692-015-0038-x
24. Long, N. T. at all. 2020. The Role of Experiential Learning and Engineering Design Process in K-12 STEM Education. International Journal of Education and Practice, V.8, N.4, pp. 720-732
25. Lyons, I. at all. 2018. Spatial Anxiety: A Novel Questionnaire With Subscales for Measuring Three Aspects of Spatial Anxiety, Journal of Numerical Cognition, Vol 4, №3, https://doi.org/10.5964/jnc.v4i3.154
26. McAuliffe, M. 2016. The Potential Benefits of Divergent Thinking and Metacognitive Skills in STEAM Learning: A discussion paper International. Journal of Innovation, Creativity and Change. www.ijicc.net Volume 2, Issue 3, May 2016
27. Nurzakiyah, E. at all. 2021. Development of Questionnaire on Students' Perceptions of STEM and Problem-solving (SPSP): a Rasch Modelling Approach. Radiasi Jurnal Berkala Pendidikan Fisika 14(1):34-43, DOI: 10.37729/radiasi.v14i1.1078
28. Parno, D. at all. 2021. Impact of The STEM approach with formative assessment in PjBL on students' critical thinking skills. Journal of Physics: Conference Series, Volume 2165, The 1st International Conference Science Physics and Education 2021 (ICSPE 2021) 10-11 September 2021, Mataram City, DOI: 10.1088/1742-6596/2165/1/012044
29. Parno, D. at all. 2021. The increase of problem solving skills of students through STEM integrated experiental learning with formative assessment, AIP Conf. Proc. 2331, 030021 (2021), https://doi.org/10.1063/5.0041681
30. Rached, E., & M. Grangeat. 2020. French teachers' informal formative assessment in the context of inquiry-based learning. International Journal of Science Education, 43(3), 385–406. https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1740818
31. Rosiña, E. at all. 2020. Multiple Intelligences Analysis and Emotional Implications in STEM Education for Students up to K-12. Examining Multiple Intelligences and Digital Technologies for Enhanced Learning Opportunities, Pages: 20

32. Ruliyanti, T. at all. 2021. The Development of Questionnaire Instruments Assisted by Google Form Application to Measure Students' Cep Characters on The Stem Integrated Chemistry Module. Proceedings of the 6th International Conference on Science, Education and Technology (ISET 2020), 26 November 2021, ISBN 10.2991/assehr.k.211125.002, ISSN 2352-5398, DOI: 10.2991/assehr.k.211125.002
33. Said Saad Al-Said Alshamy at all. 2017. The experience of STEM education in the Republic of Egypt Arabic: an evaluation study. Faculty of Education Journal Alexandria University, Volume 27, Issue 3, Page: 163-255, DOI: 10.21608/JEALEX.2017.192125
34. Shojaee1, M. at all. Validation of the Questionnaire of Students' Attitudes toward STEM-PBL: Can Students' Attitude toward STEM-PBL Predict their Academic Achievement? Psychology, Vol.10 No.02(2019), Article ID:90456, 22 pages, 10.4236/psych.2019.102017
35. Tuong, H. A. 2023. Utilizing STEM-based practices to enhance mathematics teaching in Vietnam: developing students' real-world problem solving and 21st century skills, Journal of Technology and Science Education, JOTSE, 2023 – 13(1): 73-91 – Online ISSN: 2013-6374 – Print ISSN: 2014-5349, https://doi.org/10.3926/jotse.1790
36. Vennix, J., den Brok, P. & Taconis, R. Perceptions of STEM-based outreach learning activities in secondary education. Learning Environ Res, 20, 21–46 (2017). https://doi.org/10.1007/s10984-016-9217-6
37. Wahono, B. at all. 2023. Development of integrated STEM education learning units to access students' systems thinking abilities, Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan, Vol 10, No 1 (2023), DOI: https://doi.org/10.21831/jitp.v10i1.52886
38. Xiaoyi Gao, Peishan Li, Ji Shen and Huifang Sun. 2020. Reviewing assessment of student learning in interdisciplinary STEM education. Gao et al. International Journal of STEM Education (2020) 7:24 https://doi.org/10.1186/s40594-020-00225-4)
39. Yakob, M. at all. 2021. Implementation of performance assessment in STEM-based science learning to improve students' habits of mind. International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE) Vol. 10, No. 2, June 2021, pp. 624~631 ISSN: 2252-8822, DOI: 10.11591/ijere.v10i2.21084 624
40. Yang, W., Du, Y., Wu, R. et al. Development and Validation of the Children's STEM Habits of Mind Questionnaire. Early Childhood Educ J 52, 493–501 (2024). https://doi.org/10.1007/s10643-023-01451-5