

SNIEGUMA VĒRTĒŠANA DABASZINĀTŅU VALSTS LĪMEŅĀ DIAGNOSTICĒJOŠOS DARBOS

Performance Assessment in Science National Level Diagnostic Tests

Pāvels Pestovs

Dace Namsone

University of Latvia, Latvia

Abstract. National Centre of Education of the Republic of Latvia in 2016 launched national project of the renewal of the curriculum for education funded by the European Social Fund. One of the key priorities of successful implementation of the new education curriculum is transforming national level assessment system.

Assessment system measuring student performance must meet different requirements from the traditional measurement instrument assessing content knowledge.

Analysing 2017 national level science assessment diagnostic tests of 15-16 years old students, it is impossible to discriminate student different level of performance. Student, demonstrating singly stored pieces of knowledge, integrating pieces of knowledge into a coherent system, deriving general principle or transferring understanding to new situations, are assessed the same.

The research goal is to analyse 9th grade student performance in national level science diagnostic testing, which measures conceptual understanding by explaining natural phenomena scientifically. This paper describes developing and calibrating measuring instrument assessing student performance according to the cycles of cognitive growth and taxonomy of observed learning outcomes.

Keywords: explain natural phenomena scientifically, performance assessment, national level diagnostic testing.

Ievads

Introduction

Valsts izglītības satura centra projekta “Kompetenču pieeja mācību saturā” ietvaros 2016. gadā ir uzsākta mācību satura reforma visos vispārējās izglītības posmos sākot no pirmsskolas līdz 12. klasei. Mainoties atbilstošo izglītības posmu mērķiem, svarīgi paralēli nodrošināt arī vērtēšanas sistēmas izmaiņas, kas ļautu pēc iespējas precīzāk vērtēt kompleksu sniegumu jeb kompetenci. Skolēna izpratne jebkurā mācību jomā ir daudzdimensionāls rezultāts, kas var izpausties dažādos veidos, piemēram, spējā skaidrot, interpretēt, pielietot, ieraudzīt no dažāda veida perspektīvām, demonstrēt empātiju un

pašizziņu (McTighe & Wiggins, 2004). Kritiski svarīga kļūst testelementa jeb katra pārbaudāmā testa jautājuma atlase un vērtēšanas instrumenta derīgums. Šajā pētījumā ar vērtēšanas instrumentu tiek saprasts veids, kas ļauj pēc iespējas precīzāk saistīt skolēna snieguma novērojumus (manifestējošais mainīgais) ar to, ko mēs gribam vērtēt, kas ir daļa no teorētiskā mainīgā (latentais mainīgais) (Wilson, 2005).

Iepriekšējā pētījumā (Pestovs & Namsone, 2017) analizējot Valsts izglītības satura centra (VISC) 2017. gada 9. klases diagnosticējošo darbu dabaszinātnēs, bija atlasīti testelementi, kuri vērtēja skolēna prasmi skaidrot. Pētījumā secināts, ka skolēni demonstrē atšķirīgu snieguma kognitīvo dziļumu, bet atbilstoši vērtēšanas kritērijiem, sniegums tiek vērtēts dihotomajās kategorijās: pareizi vai nepareizi jeb 1 vai 0. Tas noved pie tā, ka informācija, kas ir pieejama, netiek mērķtiecīgi izmantota, lai tiešām diagnosticētu skolēnu izpratni un prasmes.

Šajā pētījumā autori piedāvā, izmantojot kognitīvās attīstības teorētisko modeli un pieejamos datus no 2017. gada 9. klases diagnosticējošā darba, veidot snieguma aprakstus līmeņos, atbilstoši skolēna snieguma kognitīvam līmenim un kalibrēt aprakstus līmeņos atbilstoši skolēna atbildēm.

Pētījuma mērķis ir izvērtēt skolēnu sniegtās atbildes 2017. gada 9. klases diagnosticējošajā darbā, atlasot testelementus, kuros skolēns demonstrē savu konceptuālo izpratni, skaidrojot parādības. Izveidot snieguma aprakstus līmeņos, atbilstoši diviem izpratnes cikliem konkrēti simboliskajā kognitīvās attīstības stadijā, izmantojot SOLO (*Structure of Observed Learning Outcomes*) teorētisko modeli.

Pētījumā izvirzītie jautājumi:

1. Kas raksturīgs atlasītiem testelementiem, kuros skolēniem ir iespēja demonstrēt konceptuālo izpratni skaidrojot?
2. Vai ir iespējams skolēnu sniegtās atbildes kategorizēt atbilstoši diviem izpratnes cikliem konkrēti simboliskajā kognitīvās attīstības stadijā, izmantojot SOLO teorētisko modeli?

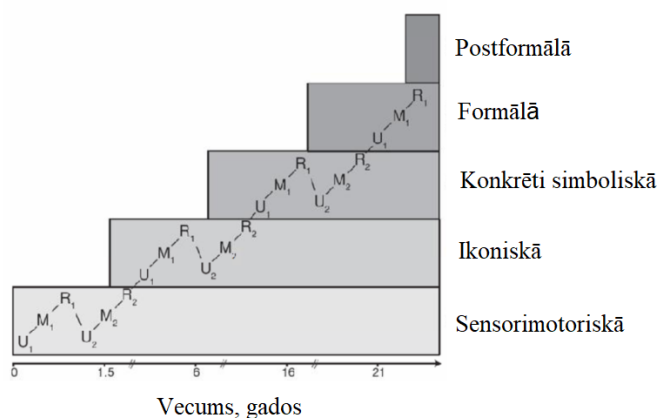
Pētījuma teorētiskais pamatojums ***Research theoretical background***

Pārsvārā literatūrā kognitīvās attīstības teorijas tiek klasificētas divos veidos (Pegg, 2003). Teorētiskie modeļi, kuri apraksta ilgtermiņa kognitīvo attīstību un lokālie izaugsmes teorētiskie modeļi, kuri apraksta konceptuālo kognitīvo izaugsmi konkrētajā jomā. Pastāv teorētiskie modeļi, kuri apvieno abus veidus, piemēram, paplašinātais SOLO teorētiskais modelis. Ilgtermiņa SOLO kognitīvās attīstības modelis, tiek apkopots 1. tabulā (Pegg, 2003).

1. tab. Ilgtermiņa SOLO kognitīvās attīstības modeļa stadiju raksturojums (Pegg, 2003)
 Table 1 Description of Modes in SOLO Model (Pegg, 2003)

Stadijas nosaukums	Stadijas raksturojums
Sensorimotoriskā (<i>Sensori motor</i>) (drīz pēc piedzimšanas)	Reaģē uz fizisko vidi. Mazi bērni, tieši šajā stadijā iegūst motorās prasmes. Tās ietekmē nākotnes prasmes, piemēram, dažādos sporta veidos.
Ikoniskā (<i>Ikonic</i>) (no 2 gadiem)	Internalizē darbības vizuālajos tēlos. Šādā veidā mazs bērns attīsta vārdus un tēlus, kuri atspoguļo noteiktus notikumus un objektus. Pieaugušam šī stadija palīdz, piemēram, vērtēt mūziku un veidot pieredzes bāzi, kas tiek definēta kā intuīcija.
Konkrēti simboliskā (<i>Concrete symbolic</i>) (no 6 vai 7 gadiem)	Domā, izmantojot simboliskas sistēmas - rakstveida valodu, skaitļu sistēmas. Šī ir viszināmākā stadija, kas tiek izmantota/lietota mācību laikā.
Formālā (<i>Formal</i>) (no 15 vai 16 gadiem)	Spēj izmantot vairākus abstraktus konceptus. Tie tiek aprakstīti kā "principi" un "teorijas". Domāšanu vairs neierobežo konkrēti gadījumi, situācijas. Formālās stadijas augstākajā līmenī tiek attīstītas zināšanu sistēmas (disciplīnas jeb zinātņu lauki).
Postformālā (<i>Post formal</i>) (iespējami ap 22 gadiem)	Spēj kritiski spriest par zinātnes nozaru fundamentālām struktūrām.

Vairākos pētījumos tiek piedāvāts modelis, kurā jaunās kognitīvās attīstības stadijas spējas, aizvieto iepriekšējās stadijas spējas (Pegg, 2002). Atbilstoši SOLO teorētiskajam modelim dažādu attīstības stadiju spējas ir pieejamas izmantošanai vienlaicīgi (Pegg, 2002).

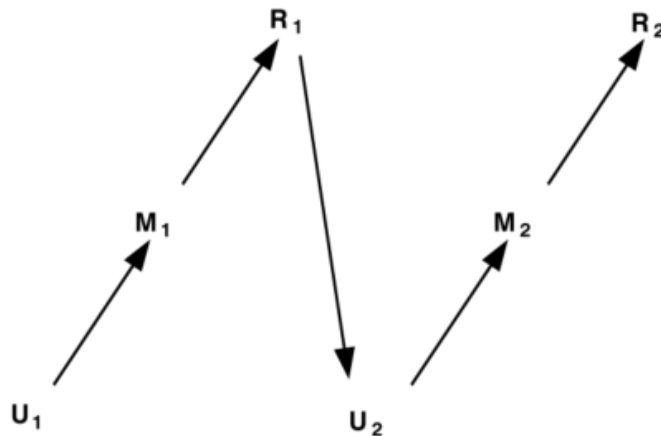


1. att. Ilgtermiņa SOLO kognitīvās attīstības stadijas (Pegg, 1992)
 Fig. 1. Diagrammatic representation of levels associated with SOLO thinking modes (Pegg, 1992)

Katrā no ilgtermiņa attīstības stadijām ir iespējami vairāki lokālie izpratnes cikli, kuri atšķiras ar elementu skaitu un elementu organizācijas līmeni. Elementi ir datu vienības, kuri ir nepieciešami, lai demonstrētu izpratni par konceptu. Arī lokālajos izpratnes ciklos snieguma aprakstiem līmeņos tiek izmantots SOLO

(Biggs & Collis, 1982) teorētiskais modelis: sniegtajā atbildē nav struktūras (P), ir viens struktūrelements (U), ir vairāki nesaistīti struktūrelementi (M), struktūrelementi ir saistīti savā starpā (R). Atsevišķi jāizdala SOLO līmenis, kas tiek saukts par paplašināto abstrakciju - atbildē struktūrelementi ir vispārināti vai saistīti ar vairākiem konceptiem. Paplašinātas abstrakcijas līmenis ir saistīts ar nākamo ilgtermiņa kognitīvās attīstības stadiju (Quinn, Pegg, & Panizzon, 2009).

Vairāki pētnieki norāda uz to, ka lai veidotu drošus snieguma aprakstus līmeņos, nepietiek ar vienu izpratnes līmeni ilgtermiņa kognitīvajā attīstības stadijā. Tiek piedāvāts izdalīt divu līmeņu (2. attēls) izpratnes ciklus (Pegg & Tall, 2005). Pirmajā izpratnes ciklā skolēni savās atbildēs parāda makroskopiskas idejas par koncepta izpratni. Atbildēs iekļautie struktūrelementi balstīti vizuālajos tēlos, skolēni ir pieredzējuši aprakstītus struktūrelementus, dominē piemēri no reālas pasaules, parādās arī maldīgi priekšstati, kurus skolēns laika gaitā ir sev uzkonstruējis (Pegg & Tall, 2005).



2. att. Divu līmeņu izpratnes cikli SOLO ilgtermiņa kognitīvās attīstības stadijā
(Panizzon, 2003)

Fig. 2. Two cycles of understanding within a SOLO long-term growth mode
(Panizzon, 2003)

Otrais izpratnes cikls būtiski atšķiras no iepriekšēja, ar to, ka atbildēs struktūrelementi ir fokusēti uz sakarību starp iespējamiem cēloņiem un sekām.

Metodoloģija ***Research Methodology***

Pētījums ir veikts, kā turpinājums jau iesāktam pētījuma virzienam, kurā ir konstatēta skolēnu atbilžu nekonsekventa vērtēšana, nepietiekams drošums un kā rezultāts - arī neprecīza informācija par skolēna izpratnes līmeni dabaszinātņu jomā.

1. Pētījumam par skolēnu snieguma analīzi izvēlēti valsts diagnosticējošie darbi dabaszinātnēs 9. klasei 2017. gadā. Diagnosticējošo darbu

- dabaszinātnēs 9. klasei 2017. gadā veido 15 strukturētie uzdevumi, kurus veido 35 testelementi. Darbā maksimāli ir iespējams iegūt 35 punktus. Darbs ir pieejams divās valodās latviešu valodā un mazākumtautību – krievu valodā. Darbs tiek piedāvāts divos variantos, kuros uzdevumi ir identiski, bet atšķiras ar izkārtojuma secību. Darbus labo skolotāji skolās, ievadot atbilstošos punktus Valsts pārbaudījumu informācijas sistēmā (VPIS).
2. Padziļināti analizēti 230 darbi no 8 vispārējās izglītības iestādēm. Darbu kopa nepārstāv reprezentatīvo darbu kopu attiecībā pret 9. klašu skolēniem. Tie tika atlasīti pēc izglītības iestādes piekrišanas piedalīties pētījumā. Darbam ir atlasīti testelementi, kuros skolēns demonstrē izpratni, skaidrojot. Testelementi bija atlasīti atbilstoši iespējai demonstrēt dabaszinātnisko izpratni, sniedzot paplašinātu atbildi. Atbilstoši aprakstītai metodoloģijai no 2017. gada diagnosticējošā darba dabaszinātnēs 9. klasei ir izvēlēti četri testelementi 1.2., 4.3., 12.1. un 12.2. (2. tab.). Testelementiem ir noteikta grūtības pakāpe un izšķirtspējas koeficients, izmantojot klasisko testa teoriju (*classical test theory*). Izmantojot testelementa-atbildes teoriju (*item-response theory*) ir noteikts testelementu grūtības parametrs ar 50 % varbūtību un attiecīgā parametra standartklūda.
 3. Izmantojot SOLO teorētisko modeli, ir izveidoti snieguma apraksti līmeņos, kuri tika kalibrēti, izmantojot skolēnu atbildes.

Rezultāti

Results

1. Atbilstoši klasiskajai testa teorijai, atlasītie testelementi (4. tab.) uzrāda pieņemamu grūtības pakāpi un izšķirtspējas koeficientu (Wu, Tam, & Jen, 2016). Atbilstoši testelementa-atbildes teorijai vidējā skolēnu varbūtība atbildēt uz testelementu 4.3., 1.2. un 12.2 ir lielāka par 50 %, bet varbūtība atbildēt uz uzdevumu 12.1. ir mazāka par 50 %.

2. tab. Diagnosticējošā darba atlasītie testelementi
Table 2 Diagnostic national level test testelements

Nr.	Testelementi
1.2.	Kāpēc Saules starojums, kas nokļūst līdz Zemes virsmai, samazinās pēc vulkāna izvirduma?
4.3.	Skolēns, veicot pētījumu, vienlaikus ievietoja tikpat lielu marmora gabaliņu arī destilētajā (dejonizētajā) ūdenī. Kāpēc skolēns iekļāva šo soli savā pētījumā?
12.1.	Istabā kļuvis karsti. Kāpēc, atverot ledusskapja durvis, nevar ilgstoši atdzesēt istabu?
12.2.	Uz atklātas liesmas papīra glāzītē var uzvārīt ūdeni. Kāpēc papīra glāzīte neaizdegas?

3. tab. Atlasīto testelementu vērtēšanas kritēriji 2017. gada diagnosticējošajam darbam dabaszinātnēs

Table 3 National level science test selected testelements with assessment criteria

Nr.	Standarta prasība	Prasme	Kritērijs	Tēma	Izziņas līmenis (Blūma taksonomija)
1.2.	Ģ. 8.11. Raksturo dabas parādību (vulkāni, zemestrīces) izraisītos postījumus un vērtē to ietekmi uz dabas procesiem un cilvēku dzīvi	1.1. Saskata un skaidro dabas likumsakarības un vielas pārvērtības, lieto atbilstošus modeļus	Zinātniski izskaidro parādību, izmantojot dabas likumsakarības	Zemes dabas sistēmas	II
4.3.	Ķ. 9.16. Izprot “skābā lietus” veidošanos un apzinās tā ietekmi uz vidi; OECD, 2000	1.2. Apraksta parādības un procesus, pareizi lietojot atbilstošus dabaszinātņu pamatjēdzienus, formulas, vienādojumus, terminus un apzīmējumus, un paredz iespējamās pārmaiņas	Pēc eksperimenta gaitas prognozē eksperimenta rezultātus, lietojot dabaszinātņu atziņas	Vielas un pārvērtības	III
12.1.	F. 7.9. Izskaidro enerģijas veidu maiņu mehāniskajos, siltuma un elektriskajos procesos	1.2. Apraksta parādības un procesus, pareizi lietojot atbilstošus dabaszinātņu pamatjēdzienus, formulas, vienādojumus, terminus un apzīmējumus, un paredz iespējamās pārmaiņas	Analizē uzdevumā doto situāciju, izprot saldētavas darbības principu	Fizikālās parādības un procesi	II
12.2.	F. 7.2. Izprot un pareizi lieto skaņu, gaismu, siltumu; raksturojošos jēdzienus – ... siltuma vadīšana, konvekcija, ...	1.2. Apraksta parādības un procesus, pareizi lietojot atbilstošus dabaszinātņu pamatjēdzienus, formulas, vienādojumus, terminus un apzīmējumus, un paredz iespējamās pārmaiņas	Analizē doto situāciju, izdara secinājumu par siltuma līdzsvaru	Fizikālās parādības un procesi	III

4. tab. Izvēlēto testelementu raksturojošie parametri, atbilstoši klasiskās testa un testelementa-atbildes teorijai

Table 4 Characterisation of selected testelements according to classic-test and item-response theory

Nr.	Grūtība, %	Izšķirtspējas indekss	Skolēnu procenti, ar zemām spējām	Skolēnu procenti, ar augstām spējām	Grūtības parametra atbildes-testelementa teorijā	Grūtības parametra atbildes-testelementa teorijā standartklūda	Uzdevuma numurs
1.	63	0,37	43	80	-1,046	0,017	4.3.
2.	57	0,52	30	82	-0,773	0,017	1.2.
3.	36	0,29	21	50	0,193	0,017	12.1.
4.	46	0,31	29	60	-0,264	0,017	12.2.

Padziļināti vērtējot skolēna sniegtās atbildes, tikai viens testelements 12.1. ir derīgs snieguma aprakstu kalibrēšanai, pārējos testelementos skolēni demonstrē līdzīgas atbildes, un atbildes nav iespējams izmantot snieguma aprakstu kalibrēšanai.

Izveidotie snieguma apraksti līmeņos, atbilstoši SOLO teorētiskajam modelim apkopoti 5. tabulā un skolēnu atbilžu piemēri ir iekļauti 6. tabulā.

5. tab. Snieguma apraksti līmeņos, atbilstoši diviem SOLO izpratnes cikliem

Table 5 Performance rubrics according to SOLO two cycles of understanding

	SOLO	Apzīmējums	Atbildes apraksts
	-	9	Nemēģina risināt uzdevumu.
	P	0	Pārraksta testelementa nosacījumus vai sniedz ar jautājumu nesaistītu informāciju.
Pirmais cikls	U1	1	Apraksta vienu faktu, ideju, pieredzi sadzīviskā valodā par to, kāpēc, atverot ledusskapja durvis, nevar ilgstoši atdzēsēt istabu.
	M1	2	Apraksta vairākus faktus, idejas, pieredzi sadzīviskā valodā par to, kāpēc, atverot ledusskapja durvis, nevar ilgstoši atdzēsēt istabu.
	R1	3	Savstarpēji sasaista vairākus faktus, idejas, pieredzi sadzīviskā valodā , par to, kāpēc, atverot ledusskapja durvis, nevar ilgstoši atdzēsēt istabu.
Otrais cikls	U2	4	Apraksta vienu faktu, ideju, izmantojot zinātniskus jēdzienus par to, kāpēc, atverot ledusskapja durvis, nevar ilgstoši atdzēsēt istabu.
	M2	5	Sniedz vairākus zinātniskus faktus vai izmanto zinātnisku modeli , kas ir saistīts ar to kāpēc, atverot ledusskapja durvis, nevar ilgstoši atdzēsēt istabu
	R2	6	Skaidro neiespējamību atdzēsēt istabu ilgtermiņā, ja atver ledusskapja durvis, saistot vairākus zinātniskus faktus, pamatojumus par ledusskapja darbības principu, siltuma procesiem.

6. tab. **Skolēna atbilžu piemēri, atbilstoši snieguma aprakstiem līmeņos**
Table 6 Student response examples according to rubric

	SOLO	Apzīmējums	Atbildes apraksts
	P	0	<i>Nav iespējams atdzēsēt</i>
Pirmais cikls	U1	1	<i>Jo ledusskapis pats ātri sasilst, jo tas nav paredzēts istabas atdzēsēšanai Jo istaba ir lielāka nekā ledusskapis un siltais gaiss drīzāk sasildīs ledusskapi Tāpēc ka to tilpums ir lielāks, nekā ledusskapja tilpums.</i>
	M1	2	<i>Ledusskapja funkcija to neparedz, un produkti kuri tur atradīsies sabojāsies, ledusskapis vienkārši sabojāsies Ledusskapī temperatūra palielināsies, tāpēc var sabojāties produkti. Jo ledusskapja tilpums ir mazāks par istabas tilpumu, tāpēc siltā gaisa ir vairāk un ledusskapis piepildīsies ar siltu gaisu</i>
	R1	3	<i>Lai atdzēsētu gaisu, nepieciešams lai silts gaiss pilnībā nomainītos ar aukstu gaisu, šajā gadījumā aukstā gaisa ir par maz un ledusskapis sasildīsies.</i>
Otrais cikls	U2	4	<i>Ledusskapja motors nav tik jaudīgs, lai pazeminātu temperatūru lielam gaisa tilpumam Ledusskapim ir maza jauda, viņš nav tam paredzēts.</i>
	M2	5	<i>Tāpēc, ka ledusskapis dzesē gaisu, bet pats uzsildās, jo motoram vairāk jāstrādā</i>
	R2	6	<i>Tāpēc, ka atdzišanās pamatā ir gaisa saspiešanās un izplešanās, dzesējot ledusskapja iekšpusi, siltums tiek novadīts ārpus ledusskapja iekšpusēs, respektīvi istabā. Atverot durvis, notiek siltā un aukstā gaisa apmaiņa. Ledusskapja motors vairāk strādā, vairāk siltuma istabā.</i>

Diskusija *Discussion*

Stenforda universitātes pētnieki, analizējot testelementu atlasīto dabaszinātņu vērtēšanas darbos kā **kritērijus** izvirza: skolēnu atbilžu veidus; dabaszinātņu Lielās idejas; prasmes dabaszinātnēs un inženierzinātnēs; starpdisciplināritāti; izziņas līmeni (Wertheim, Holthuis, & Schultz, 2016). Diagnosticējot skolēnu konceptuālo izpratni dabaszinātnēs, noteikti, jāpievērš uzmanība šiem kritērijiem.

Pētījumā svarīgi apzināties **ierobežojumus**, izmantojot datus, attiecībā uz skolotāju vērtētiem darbiem un piešķirtiem punktiem testelementos. Ir vairāki pierādījumi tam, ka secinājumi ir iespējami tikai par tendenci (Kools & Organisation for Economic Co-operation and Development, 2016).

Būtu ieteicams ieviest **aprobācijas procedūru**, kurā diagnosticējošo darbu autoriem ir iespēja strukturētā intervijā analizēt skolēnu risinājuma gaitu, precīzāk

aprakstot, kas tiek vērtēts konkrētajā testelementā. Lai sasniegtu mērķi - vērtēt komplekso sniegumu daudz lielāku uzmanību nepieciešams veltīt tieši testelementu veidošanai un izvērtēšanai. Nepieciešams palielināt atvērta tipa jautājumus par nozīmīgiem dabaszinātnes konceptuāliem jautājumiem un piedāvāt sniegumu vērtēt līmeņos, nevis dihotomajās kategorijās. Snieguma aprakstu veidošana līmeņos ir sarežģīts un laika ietilpīgs process, kuru grūti realizēt, izmantojot tikai empīriskus datus. Pētījumā tiek aprobēts veids, kurā snieguma apraksti līmeņos tiek veidoti, izmantojot SOLO teorētisko modeli.

Secinājumi **Conclusions**

1. Lai skolotāji varētu vērtēt komplekso sniegumu un interpretēt iegūtos datus, kritiski svarīgi ir piedāvāt vērtēšanas instrumentu ar snieguma aprakstiem līmeņos, kalibrējot šos līmeņus ar skolēna atbildēm.
2. Valsts līmeņa diagnosticējošos darbos svarīgi iekļaut testelementus, kuri skolēnam ļauj demonstrēt savu izpratni par nozīmīgiem dabaszinātņu konceptiem.
3. Snieguma aprakstus līmeņos ir iespējams veidot, izmantojot SOLO divu līmeņu izpratnes ciklus konkrēti simboliskajā attīstības stadijā un aprakstus līmeņos kalibrēt, izmantojot skolēnu sniegtās atbildes.

Summary

The aim of study was to develop assessment rubric in order to assess student performance, using Structure of Observed Learning Outcomes (SOLO) theoretical model. Student responses were categorized according to two cycle development in concrete symbolic mode, using response element number and relations between elements. It is out of most importance to develop questions of conceptual student understanding in science national level tests and develop assessment rubric in order to teacher use this instrument in interpreting data.

Literatūra **References**

- Biggs, J. B., & Collis, K. F. (1982). *Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy (structure of the observed learning outcome)*. New York: Academic Press.
- Kools, M., Organisation for Economic Co-operation and Development (Red.). (2016). *Education in Latvia*. Paris: OECD.
- McTighe, J., & Wiggins, G. (2004). *Understanding by design: professional development workbook*. Alexandria, Va.: ASCD.
- Panizzon, D. (2003). Using a cognitive structural model to provide new insights into students' understandings of diffusion. *International Journal of Science Education*, 25(12), 1427–1450. <https://doi.org/10.1080/0950069032000052108>

- Pegg, J. (1992). Students' understanding of geometry: Theoretical perspectives. No O. Keeley (Red.), *Proceedings of the 15th Annual Conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia* (lpp. 18–35). Richmond: Merga.
- Pegg, J. (2002). Fundamental Cycles of Cognitive Growth. No *Proceedings of the Annual Meeting of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (lpp. 9). Norwich, England.
- Pegg, J. (2003). Assessment in Mathematics: a developmental approach. No J.M. Royer (Red.), *Advances in Cognition and Instruction* (lpp. 227–259). New York: Information Age Publishing Inc.
- Pegg, J., & Tall, D. (2005). The fundamental cycle of concept construction underlying various theoretical frameworks. *ZDM*, 37 (6), 468–475.
- Pestovs, P., & Namsone, D. (2017). National level test in science in Latvia for assessing how students explain phenomena scientifically. *2nd International Baltic Symposium on Science and Technology Education*.
- Quinn, F., Pegg, J., & Panizzon, D. (2009). First-year Biology Students' Understandings of Meiosis: An investigation using a structural theoretical framework. *International Journal of Science Education*, 31 (10), 1279–1305. <https://doi.org/10.1080/09500690801914965>
- Wertheim, J., Holthuis, N. C., & Schultz, S. E. (2016). *Evaluating Item Quality in Large-Scale Assessments, Phase I Report of the Study of State Assessment Systems*. Stanford, California: Understanding Language/Stanford Center for Assessment, Learning, & Equity.
- Wilson, M. (2005). *Constructing measures: an item response modeling approach*. Mahwah, N.J: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wu, M., Tam, H. P., & Jen, T.-H. (2016). *Educational Measurement for Applied Researchers*. Singapore: Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-3302-5>