

Možnosti využitia poznania neurovied v teórii fyzikálneho vzdelávania

Opportunities for the use of neuroscience knowledge in the theory of physics education

Daša Červeňová¹,  Peter Demkanin^{1,*}

¹Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina F1, 842 48 Bratislava, Slovensko; peter.demkanin@uniba.sk

V 20. storočí teóriu vyučovania fyziky, podobne ako iné odborové didaktiky, významným spôsobom ovplyvnili výsledky práce empirických psychológov. Takmer určite každý učiteľ pozná mená ako Piaget, Bruner, Maslow a každý učiteľ pozná Bloomovu taxonómiu. V súčasnosti začína byť celkom zrejmé, že časť teoretického pozadia procesov dejúcich sa v rámci učenia sa fyziky sa presúva do novej oblasti nazývanej neurovedy, vedy o učení sa, vedy nazývanej aj veda o myslení, mozgu a učení sa. Tímy neurovedcov vybavené kvalitnými medicínskymi zobrazovacími metódami pátrajú po tom, v ktorých častiach mozgu prebiehajú ktoré operácie, ako tieto časti navzájom spolupracujú a ako možno vysvetliť, spresniť a doplniť zistenia psychológov 20. storočia. Prípadne upozorňujú na závery, ktoré sa javia ako nepodložené. Príspevok podrobne rozpracúva jednu z teórií súvisiacu s fungovaním našej mysle. Teória klasifikuje spôsoby uvažovania do piatich kategórií, symboly, vzory, usporiadania, kategórie a vzťahy. Pilotné vedomé používanie týchto kategórií vo fyzikálnom vzdelávaní sa javí ako sľubné a zdá sa, že má potenciál ho skvalitniť prostredníctvom zapracovania do učebníc, ako aj do práce učiteľa.

Klíčovú slova:
neurovedy vo vzdelávaní, myslenie, fyzikálne vzdelávanie, vedy o učení sa.

Zasláno 4/2023
Revidováno 10/2023
Přijato 11/2023

In the 20th century, the theory of physics education, like other subject didactics, was significantly influenced by results of the empirical work of psychologists. Certainly, almost every teacher knows names like Piaget, Bruner, Maslow, and every teacher knows Bloom's taxonomy. Nowadays, it is becoming quite obvious that the theoretical background of the processes taking place while learning physics is moving into the new field called neuroscience, the science of learning, sometimes called the science of mind, brain and education. Teams of neuroscientists equipped with high-quality medical imaging methods seek for the parts of the brain that are undergoing certain operations, how these parts cooperate with each other, and how the findings of psychologists of the 20th century can be explained and refined, or they draw attention to conclusions that appear to be unfounded. This paper elaborates on one of the hypotheses about how our mind works. The hypothesis classifies ways of thinking into five categories, symbols, patterns, ordering, categories, and relationships. Piloting the conscious use of these categories in physics education appears promising and seems to have the potential to improve it through incorporation into textbooks as well as teachers daily work.

Key words:
neurosciences in education, mind, physics education, the learning sciences.

Received 4/2023
Revised 10/2023
Accepted 11/2023

1 Úvod

Teória vyučovania fyziky sa venuje okrem iného aj procesom súvisiacim s fyzikálnym poznávaním, procesom, ktoré prebiehajú keď sa žiak učí, napríklad keď sa učí druhý Newtonov zákon. Žiak ako súčasť rovesníckej skupiny – skupiny žiakov v rámci školskej triedy, vo vhodne dizajnovanom prostredí pre vzdelávanie, je neustále obklopený nespočetným množstvom podnetov, ktoré sa jeho mozog snaží priebežne spracovávať. Informácie získavané zmyslami sú procesmi v mozgu (procesmi mysle) selektované, prechádzajú filtrom predchádzajúcich vedomostí a skúseností a niektoré z nich sú ďalej spracovávané. V rámci vyučovania zámerne vytvárame určité situácie slúžiace ako zdroje podnetov, ktoré majú potenciál rezonovať v súbore vedomostí jednotlivých žiakov. Fyzikálne vzdelávanie na základných a stredných školách na Slovensku sa najčastejšie opiera o individuálny kognitívny konštruktivizmus J. Piageta, sociálny konštruktivizmus J. Deweyho a L. S. Vygotského, prípadne o ich kombináciu. V školskej praxi sa však uplatňujú aj ďalšie prístupy. Ako uvádza Petty (2014), v druhej polovici 20. storočia sa vyprofilovalo niekoľko hlavných prúdov nazerania na procesy učenia sa. Prístup nazývaný kognitívny konštruktivizmus je založený na myšlienke, že učiaci sa konštruujú svoje vnímanie sveta, pričom nové poznanie je konštruované z predchádzajúceho. Pravdepodobne najznámejšou súčasťou tohto prístupu je Bloomova taxonómia, pojmy povrchné a hĺbkové učenie sa a pojem miskoncepce. Druhým prístupom, ktorý uvádza Petty (2014), je prístup behavioristický, založený na myšlienke odmienu, motivácie a posilnenia požadovaného správania učiaceho sa. Dôležitou myšlienkou tohto prístupu je, že učenie sa nastáva postupne

a je posilňované opakovaným úspechom. Podľa tohto prístupu si pamätáme najmä to, čo zažívame často a tiež to, čo sme zažili nedávno. Tretím prístupom je prístup humanistický, založený na myšlienke, že učiteľ má plniť emocionálne potreby učiacich sa. Dôležitou myšlienkou tohto prístupu je, že vyučujúci majú v učiacich sa posilňovať ich vlastné sebariadenie, že učiaci sa majú brať zodpovednosť za vlastné učenie sa. Petty samostatne uvádza aj učenie sa, ktoré nie je vyvolané vyučovaním a toto nazýva sociálne učenie sa. Podrobnejší prehľad psychológov 20. storočia, ktorí ovplyvnili teóriu vyučovania fyziky, možno nájsť napríklad v učebnici Didaktika fyziky (Demkanin, 2018, s. 9).

Vzdelávanie si spravidla dáva za cieľ naučiť čo najviac, čo najvhodnejšie vybraných poznatkov, rozvinúť žiaka čo najlepšie, rozvinúť hlboké a použiteľné vedomosti, rozvinúť postoje, zručnosti, spôsobilosti súvisiace s tímovou prácou, spôsobilosti vnímať aj širšie súvislosti svojej činnosti. V tomto článku sa nejdeme prioritne venovať výberu obsahu pre fyzikálne vzdelávanie, teda tomu, čo v rámci fyzikálneho vzdelávania učíť. Venujeme sa činnostiam, procesom, ktoré vedú k učeniu sa, procesom súvisiacim s učením sa a aplikovaním poznania na optimalizáciu fyzikálneho vzdelávania. Článok predstavuje časť teoretického pozadia pre dizajn pripravovanej série učebníc fyziky.

1.1 Zameranie príspevku

Príspevok si kladie za cieľ priblížiť niektoré spôsoby využitia nedávnych výsledkov neurovied do teórie fyzikálneho vzdelávania. Je všeobecne známe, že učenie sa niečoho nového prechádza filtrom predchádzajúcich skúseností. Menej známym je však fakt, že toto platí aj v prípade, ak sa žiak učí niečo celkom vzdialené jeho predchádzajúcim skúsenostiam. Aj v tomto prípade jeho mozog hľadá referenčný bod, niečo, o čo sa môže oprieť, bez čoho by sa dostal do zacykľenej slučky. Jeho mozog prirodzene hľadá niečo, čo by ho mohlo navigovať učením sa niečoho nového. Vytvára základnú sieť predchádzajúcich vedomostí, na ktorých môže postaviť nové poznanie. Táto sieť môže viesť k skvelému vhľadu do riešenej problému, alebo tiež k alternatívnemu konceptu hlboko sa líšiacemu sa od normatívneho. Čo vieme o tom, ako mozog žiaka pri učení pracuje? Čo z toho, čo o fungovaní mozgu vedia odborníci zameraní na túto oblasť, môže prehĺbiť poznanie didaktikov fyziky? Väčšia časť tohto príspevku rozpracováva jednu z teórií, teóriu piatich pilierov mysle, pričom ju rozpracováva pre použitie v didaktike fyziky.

2 Vedy o učení sa, rozhranie minulého a tohto storočia

Začiatkom 90. rokov minulého storočia vznikla veda v angličtine nazývaná „The Learning Sciences“, za jej počiatok možno pokladať vznik časopisu *Journal of the Learning Sciences* vo vydavateľstve Routledge. Časopis má pevné miesto v prvom kvartile Scimago v kategóriách vzdelávanie aj edukačná psychológia. V období vzniku tohto časopisu sa začali organizovať tiež konferencie zamerané na vedy o vzdelávaní a postupne vznikli vysokoškolské učebnice. Pravdepodobne najznámejšou je učebnica R. K. Sawyera, *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (Sawyer, 2014). Inšpirovaní touto učebnicou sme v teórii vyučovania fyziky zrealizovali niekoľko výskumov a vytvorili sme učebnicu Didaktika fyziky (Demkanin, 2018). Podstatne viac, než bolo v literatúre predtým zvyčajné, sme sa venovali skefoldingu, a to v oboch významoch, skefolding interakcie učiteľ–žiak (Van de Pol et al., 2010), i skefolding rozložený v prostredí pre učenie sa (Puntambekar, 2021), napríklad štruktúrou textov pre žiaka a digitálnymi nástrojmi. Prístupy vied o učení sa spomenuté v tejto časti sme aplikovali v článkoch (Demkanin, 2019, 2021).

Posun vo vnímaní fyzikálneho vzdelávania aplikovaním poznatkov vied o učení sa sme ilustrovali na konferencii DIDFYZ 2019, v príspevku (Demkanin & Kováč, 2019). Hlavný prístup k fyzikálnemu vzdelávaniu v druhej polovici 20. storočia bol založený na všeobecne prijímanom predpoklade, že vedomosti sú množinou faktov a spôsobov práce, napríklad faktov súvisiacich s Lenzovým zákonom a spôsobov práce súvisiacich s meraním elektrického napätia voltmetrom, a že cieľom fyzikálneho vzdelávania je dostať tieto fakty a spôsoby práce do hláv žiakov. Učiteľia, podľa (Demkanin & Kováč, 2019), tieto fakty a spôsoby práce ovládajú a ich úlohou je preniesť ich k žiakom, napríklad inštruovaním žiakov pri experimentoch. Jednoduchšie fakty bolo, podľa vtedajších prístupov, vhodné učiť skôr ako fakty komplexnejšie. Úspešnosť vzdelávania bola posudzovaná na základe toho, koľko faktov a spôsobov práce žiaci zvládli. Inštrukcionizmus kvalitne pripravoval žiakov na život v industriálnej spoločnosti a v druhej polovici 20. storočia sa javil ako optimálny prístup k fyzikálnemu vzdelávaniu. Ako píše Sawyer (2014), v súčasnosti (teda pred 10 rokmi, keď vznikala citovaná kniha), absolventi povinného vzdelávania pracujú s komplexnými pojmami. Potrebujú byť schopní spolupracovať s inými, vyjadrovať sa smerom k iným jasne, a to hovoreným slovom i písomne, majú mať rozvinuté prírodovedné, matematické, inžinierske i podnikateľské myslenie. Vedomosti majú mať navzájom integrované a použiteľné, nestačí mať súbor faktov podporených inštrukciami učiteľa, nenaviazaných na kontexty. Potrebujú byť zodpovední za svoje vlastné učenie sa. V tomto období, v rámci vied o učení sa, sa zvýrazňovali dva prístupy k vyučovaniu fyziky, učenie

sa žiakov o fyzike a robenie fyziky žiakmi, pričom oba tieto prístupy sa mali navzájom dopĺňať, a to na každom stupni vzdelávania.

3 Začiatky využívania výsledkov neurovied v teórii učenia sa

Pokrok, či revolúcia, v možnostiach medicínskeho zobrazovania činnosti mozgu priam ponúka hľadanie činností mozgu súvisiacich s učením sa. Dekáda 1990 až 2000 bola, najmä v USA, nazývaná dekadou mozgu a masívne investície do výskumu priniesli významný pokrok najmä v možnostiach hľadať miesta v mozgu, v ktorých prebiehajú činnosti súvisiace s myslením. Poznanie neurovied dospelo do štádia, že viaceré výsledky tejto oblasti je možné uplatniť vo vedách o učení sa, najmä pri vysvetľovaní poznatkov vied o učení sa. Vedy o učení sa získavajú poznatky spravidla pozorovaním učiacich sa v rôznych situáciách, či už v situáciách reálnych, alebo v situáciách laboratórnych. Neurovedy pracujú s dátami získanými zobrazovaním činností mozgu. Experimenty s použitím týchto zobrazovacích metód viac pripomínajú výskum v prírodných, než v sociálnych či edukačných vedách.

3.1 Časopisy venujúce sa neurovedám v teóriách učenia sa

Významným medzníkom v hľadaní prepojení medzi neurovedami a vedami o učení sa bolo založenie časopisu *Mind, Brain, and Education*, vydavateľom Wiley, v roku 2007. V roku 2015 bol skupinou Springer Nature založený časopis *Npj science of learning*, ktorý sa v podstate okamžite etabloval v 1. kvartile rebríčka Scimago. Ako príklad prístupov využívajúcich zobrazovanie mozgu funkčnou magnetickou rezonanciou (fMRI) môžeme uviesť článok S. Fynes-Clintona a kol. (2022), v ktorom zobrazovali mozgy učiteľov v rámci emočnej regulácie v súvislosti s vyhorením učiteľa. Objavujú sa štúdie argumentujúce, že neurovedy nemôžu priamo ovplyvniť prax vo vzdelávaní (Bowers, 2016) a že mnohé staršie programy prezentujúce svoje prístupy ako programy založené na poznaní mozgu nepreukázali svoje opodstatnenie. Mnohé iné štúdie však jasne ukazujú, že poznanie mozgu je pre vzdelávanie dôležité, môže prehĺbiť poznanie vo vzdelávaní a tiež skvalitniť prax (Donoghue & Horvath, 2016). Clement a Lovat (2012) vo svojej štúdií idú ešte ďalej, riešia pojmový rámec pre aplikovanie informácií z neurovied do vzdelávania, včítane aplikovania do tvorby kurikula. Súčasný prehľad možností aplikovania neurovied do vzdelávania predstavili Gkintoni a Dimakos (2022). Upozorňujú, že napriek skutočnosti, že viaceré výskumy úspešne aplikujú neurovedy do vzdelávania žiakov s poruchami (napr. dyslexia, ADHD, sociálne a emočné poruchy), aplikovanie poznania neurovied je možné a potenciálne prínosné aj do vzdelávania všeobecne. Sirois a kol. (2008) na príkladoch ukazujú možnosti využitia poznatkov neurovied pri vysvetľovaní vybraných záležitostí týkajúcich sa učenia, pričom rozoberajú najmä učenie sa malých detí, napr. počiatky vizuálnej percepcie a súvis neurovied s vysvetľovaním vývojových porúch, napr. ADHD. Význam neurovied pri transformácii vzdelávania na školách podrobne opisujú Carew a Magsamen (2010). Vyzdvihujú možnosti aplikovania poznania neurovied do tvorby metód vyučovania a učenia sa ako aj do tvorby kurikula. Elouafi, Lotfi a Talbi (2021) aplikovali poznanie neurovied na štyri metódy vyučovania, hranie rolí, študent-expert, poskytnutie informácií viacerými spôsobmi a mapa mysle. Ukázali, že využitím neurovied tieto štyri metódy obohatili a na vzorke 239 žiakov získali nárast v meraných aspektoch pozornosti, angažovanosti, práca s chybou a zapamätanie si slov. Zaujímavý pohľad prinášajú Owens a Tanner (2017). Poznanie neurovied aplikujú na jednoduchý typ aktivity Premysli si – Prediskutuj – Podel sa s informáciami s celou triedou (Think-Pair-Share) a ukazujú význam tohto typu aktivít z pohľadu nazerania na procesy učenia sa dejúce sa v mozgu. Zároveň však upozorňujú, že niektoré pojmy vied o učení sa, ako napríklad metakognícia, alebo organizácia poznania, stále nevieme prepojiť s poznaním mozgu. Immordino-Yang (2011) sa v svojej práci venuje súvislostiam kognície a afektívnej a sociálnej stránky poznávania a upozorňuje, že neurovedy ponúkajú celkom nový pohľad na tieto oblasti. Navrhuje, aby neurovedci a pedagógovia navzájom spolupracovali a vytvorili nové spôsoby pochopenia rozvoja žiaka, také, ktoré sú prakticky použiteľné pri návrhu prostredia pre učenie sa.

3.2 Konštruktivizmus vo vyučovaní a neurokonštruktivizmus

Pojem z vied o učení sa, ktorý sme v tomto článku spomenuli v úvode, konštruktivizmus, je silne prepojený s neurovedami. Westermann s kolektívom (2007) zaviedli pojem neurokonštruktivizmus, ktorý rozvíja predchádzajúce verzie konštruktivizmu a podstatné detaily tohto pojmu vysvetľuje na základe poznania činností mozgu. Zároveň upozorňujú na možnosti počítačového modelovania pri skúmaní procesov poznávania a pri prehlbovaní poznania zákonitostí neurokonštruktivizmu. Pomerne rozšíreným pojmom kognitívneho konštruktivizmu v prírodovednom vzdelávaní je pojem miskoncepcie. Desaťročia sme sa snažili nájsť spôsoby odstraňovania miskoncepcií, spôsoby, ako fyzikálnym vzdelávaním zabezpečiť, aby žiaci miskoncepcie nemali. Pochopili sme, že miskoncepcie sa odstrániť nedajú, aj keď by to často bolo žiadúce.

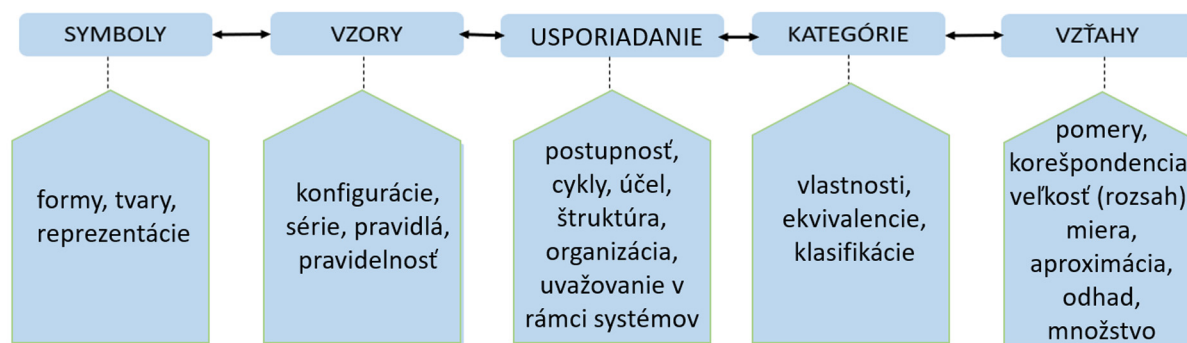
Ak žiak niečo vie, tak mu to nevieme zobrať, vieme iba navodiť situácie, v ktorých žiak získa nové skúsenosti, ktoré doplnia chýbajúce detaily. Renouard a Mazabraud (2018) navrhli používať namiesto pojmu miskoncepce pojem alternatívne koncepcie a na základe viacerých poznatkov neurovied navrhujú spôsoby, ako dizajnovať prostredie pre učenie sa podporujúce inhibíciu alternatívnych konceptov a podporujúce tvorbu normatívnych konceptov. Komplexný súčasný pohľad na neurokonštruktivizmus s odkazmi na čiastkové výsledky výskumu v oblasti učenia sa matematiky a jazyka čitateľ nájde v Tokuhama-Espinosa a Borja (2023).

3.3 Interakcia neurónov v mozgu a sociálne vzťahy žiaka v skupine

Jednou z príčin nesúladu názorov na miesto neurovied v edukačných vedách má nesúlad v hĺbke analýzy situácií. Je zrejme, že učenie sa človeka je principiálne založené na vzájomnej interakcii neurónov, a tiež je celkom zrejme, že učenie sa je socio-kultúrna záležitosť. Ďalej v článku sa venujeme teórii piatich pilierov mysle a článok stavíme do úrovne učenia sa jednotlivca. Aplikácie, samozrejme, predpokladajú učenie sa v sociálnom priestore, v priestore pre učenie sa. Pri aplikovaní súčasného poznania neurovied je tiež potrebné brať do úvahy silnú a dôležitú zotrvačnosť vo vnímaní vzdelávania učiteľmi (Lomba-Portela et al., 2022). Komplexná história názorov na využívanie poznania mozgu vo vzdelávaní, zahrňujúca obdobie 3 000 rokov pred našim letopočtom až po súčasnosť, je dostupná v monografii *Crossing Mind, Brain, and Education Boundaries* (Nouri et al., 2023).

4 Teória piatich pilierov mysle

Zobrazovanie mozgu počas jeho činnosti nám umožňuje skúmať miesta, ktoré sú aktivované počas rôznorodých činností, napríklad počas istých foriem rozmyšľania. Ako príklad môžeme uviesť výskum Masona, Schumachera a Justa (2021) v ktorom porovnávali oblasti mozgu aktivované pri iniciovaní fyzikálnych pojmov rôzneho typu. Tím okolo profesorky z Harvardovej univerzity T. Tokuhama-Espinosa preštudoval okolo tisíc štúdií neurovied zaoberajúcich sa procesmi v mozgu pri učení sa matematiky a jazyka a snažili sa nájsť kategorizáciu týchto procesov z hľadiska miest v mozgu, ktoré sú počas týchto činností aktivované. Výsledkom tohto snaženia je teória piatich základných kategórií, piatich základných typoch uvažovania súvisiacich s aktivovanými oblasťami mozgu. Týchto päť kategórií T. Tokuhama-Espinosa nazvala symboly (symbols), vzory (patterns), usporiadania (order), kategórie (categories) a vzťahy (relationships). Na obr. 1 sú predstavené aj ich podpiliere. Na Slovensku sme sa tejto teórii začali venovať v práci (Červeňová, 2022).



Obr. 1: Piliere mysle podľa T. Tokuhama-Espinosa (2019), upravené

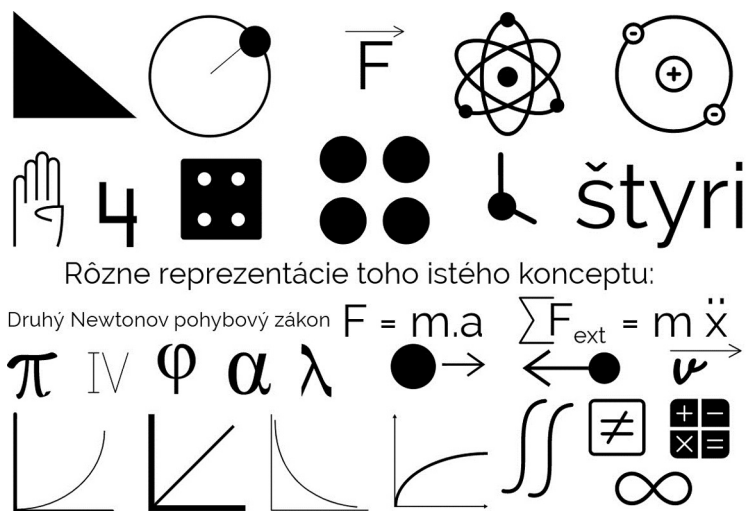
Piliere sú vzájomne závislé a nemusia byť nevyhnutne regulované hierarchiou. Napríklad kategórie závisia od vzorov, vzory sa naopak opierajú o symboly, usporiadanie závisí od vzťahov, a pod. Piliere nemusia byť vždy aktivované spolu, avšak keď áno, navzájom sa dopĺňajú. Následne tento tím skúmal ďalších vyše dvetisíc štúdií neurovied týkajúcich sa procesov učenia. Výsledkom bol záver, že všetko, čo sa ľudia učia, je buď symbol a/alebo, vzor, a/alebo usporiadanie, a/alebo kategória, a/alebo vzťah. Týchto päť pilierov nielenže ponúka organizujúci koncept pre už existujúce teórie o učení, ale tiež navrhuje spôsoby riešenia mnohých výziev týkajúcich vzdelávania, ktoré existujú mnoho desaťročí, počnúc riešením problémov pri navrhovaní inštrukcií pre kvalitné učenie sa až po zlepšenie diagnostiky porúch učenia (Tokuhama-Espinosa, 2019, s. 8–9). V ďalšej časti priblížime tieto piliere a predstavíme vybrané výsledky nášho teoretického výskumu zameraného na aplikovanie tejto teórie na fyzikálne vzdelávanie.

4.1 Symboly

Uvedme, ako autorka teórie piatich pilierov vníma symboly. Súčasťou piliera symboly sú podpiliere *formy, tvary a reprezentácie*.

Symboly sú znaky, ktoré nahrádzajú bežne používané reprezentácie a označujú významy, funkcie, procesy, pocity alebo objekty, vrátane slov. Symboly môžu byť znaky alebo písmená, ale tiež aj emodži alebo ideogramy, všetko, čo niečo reprezentuje, vrátane emblémov, dopravných značiek, lôg spoločností a ďalších značení. Symboly tiež môžu byť nehmotné, ako napríklad v literárnom symbolizme, zahrňujúc javy alebo jednoduché hovorené slová, ktoré môžu byť použité na úplne odlišné vyjadrenie špecifického kontextu (Tokuhamu-Espinosa, 2019, s. 28).

V našom teoretickom výskume sme analyzovali vybrané časti obsahu fyzikálneho vzdelávania na základnej a strednej škole a snažili sme sa identifikovať *symboly*, ktoré vo fyzike rozvíjame – ktorými zároveň rozvíjame schopnosti žiakov súvisiace s týmto pilierom mysle. Jedny z najdôležitejších symbolov sú písmená latinskej abecedy, aj fyzika je sprostredkovaná pomocou jazyka. Vo fyzike využívame niektoré písmená a skupiny písmen na symbolizovanie fyzikálnych veličín a ich jednotiek. Ak napíšeme F (N), v kontexte fyziky základnej školy si mnohí predstavia veličinu sila a jednotku Newton. Heuristika, skratka, vybudovaný zvyk, žiakovi umožní, bez vynaloženia väčšej námahy identifikovať veličinu silu uvedenú v texte, v matematickom vzťahu, na obrázku. Naš mozog, podobne ako iné systémy, sa snaží spracovávať podnety efektívne, snaží sa šetriť energiou všade, kde to je možné. Takto vybudované heuristiky môžu však tiež spôsobiť skreslenosť informácie, zaujatosť, môžu viesť k chybným reprezentáciám symbolu. Napríklad, ak rukou napíšeme 12 ms a niekde inde $2,2 \text{ ms}^{-1}$, pokojne môžeme prvú informáciu vnímať ako 12 milisekúnd, a druhú ako 2,2 metrov za sekundu, ale tiež ako $2,2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ čo je 2,2 mHz, alebo tiež, pri interpretácii $2,2 (\text{ms})^{-1}$ $2,2 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$ čo je 2,2 kHz. Heuristiky založené na symboloch nám v školskej fyzike iste pomáhajú, a pomáhajú tiež našim absolventom základnej školy, avšak žiaci i učitelia by si mali byť vedomí limitov spojených s vyžívaním symbolov. V našom príklade vnímame jednotky veličín ako symboly, ktoré môžu viesť k nejednoznačnej a často aj chybným interpretáciám a je preto dôležité rozvíjať prácu s jednotkami aj na úrovni piliera vzťahu. Ako píše Tokuhamu-Espinosa (2021, s. 20), náš mozog vytvára pri tvorbe rozhodnutí skratky založené na opakovanej skúsenosti. Zámerné rozvíjanie spôsobilostí pracovať so symbolmi (teda s formami, tvarmi a reprezentáciami) v školskej fyzike bežne realizujeme, aj bez poznania teórie piatich pilierov mysle. Na obr. 2 je uvedených niekoľko typických príkladov rôznych symbolov a rôznych reprezentácií napríklad počtu štyri, alebo Druhého Newtonovho zákona.



Obr. 2: Príklady symbolov v školskej fyzike (autori)

Na obrázku si môžeme všimnúť tiež riziká spojené s nevhodným používaním symbolov žiakmi. Jeden z grafov môže za istých predpokladov predstavovať graf priamej úmery. Ak si žiak vybuduje predstavu, že priamka prechádzajúca počiatkom súradnicového systému je grafom rovnomerne zrýchleného pohybu (a teda vidí tam závislosť rýchlosti od času napriek skutočnosti, že žiadne veličiny na osiach uvedené nie sú) môže to pre učiteľa znamenať, že si žiak dobre rozvíja pilier symboly, avšak graf je potrebné vnímať tiež ako vzťah medzi dvoma veličinami, ktoré by mali byť reprezentované na osiach grafu. Tiež by mal žiak hľadať informácie o tom, či v tvare grafu (vnímanom ako symbol) počiatok súradníc odpovedá nulovým hodnotám veličín zobrazených na osiach, teda napríklad či symbol grafu na prvý pohľad odpovedajúci

priamej úmery je naozaj grafom priamej úmery, alebo iba inej lineárnej závislosti. Pri Druhom Newtonovom zákone sme na obrázku dali reprezentácie, v ktorých nevystupuje čas. V školskej fyzike chceme dosiahnuť stav, kedy si žiak pri veličine zrýchlenie predstaví rýchlosť zmeny rýchlosti v čase, a tiež stav, keď si žiak predstaví výslednicu pôsobiacich síl ako rýchlosť zmeny hybnosti v čase.

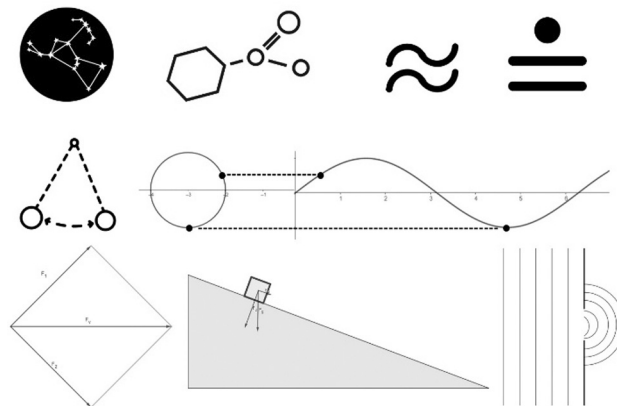
4.2 Vzory

Uvedme, ako autorka teórie piatich pilierov vníma *vzory*. Súčasťou piliera vzory sú podpiliere *konfigurácie, série, pravidlá a pravidelnosti*.

Vzory sú modely, opakujúce sa návrhy alebo organizačné postupy a iné rutiny. Vzory taktiež vytvárajú očakávania či predpovede. Vzory sa vyskytujú v prírode, v rastlinách, zvieratách, ale aj v neživej prírode, napr. piesok, vrchy, oblaky či oceán. Sociálne vzorce ponúkajú vysvetlenie, prečo niektorí ľudia robia nelogické rozhodnutia, ako napríklad čo jesť, kedy ísť spať, koľko cvičiť. Ich rozhodnutia sú založené na desaťročia sa opakujúcom vzorci správania v ich komunite a nie na vyhodnocovaní informácií. Tvorba a využívanie vzorov (patterning) je synonymom pre modelovanie, kopírovanie alebo napodobňovanie. Vo slovesnej forme má slovo vzor významy modelovať, napodobňovať, zdobiť. Štruktúry môžu byť vyjadrené pomocou konfigurácií, sérií, pravidiel, pravidelností alebo očakávaných myšlienkových vzorcov (Tokuhama-Espinosa, 2019, s. 46).

V obsahu fyzikálneho vzdelávania na základnej a strednej škole sme identifikovali vzory, ktoré vo fyzike rozvíjame – ktorými zároveň rozvíjame schopnosti žiakov súvisiace s týmto pilierom mysle. Príkladom konfigurácie je súhvezdie – nemenná relatívna poloha hviezd na nočnej oblohe. Inou zaužívanou konfiguráciou sú vlnplochy v okolí bodového zdroja vlnenia. Na gymnáziu použijeme aj dve rovnaké konfigurácie – vlnplochy z dvoch zdrojov – pre odvodenie zákonitostí interferencie svetla. Farby dúhy tvoria konfiguráciu – stále usporiadanie, a to aj pri rozklade svetla na spektrum iným spôsobom než je rozklad na kvapkách vody pri vzniku dúhy. Ku vzorom zaraďujeme aj série – série vytvárajú očakávania. Keď nastane prerušenie zvyčajnej série, vzniká nesúlad. Napríklad ak počujeme konkrétnu hudobnú stupnicu v sérii a zaznie neočakávaná nota, dochádza k aktivovaniu systému pozornosti. Vzory sú dôležité pre učenie, ktoré je založené na očakávaní – mozog vyhľadáva opakujúce sa vzory a je upozornený na špecifické situácie vymykajúce sa týmto vzorom. Séria je kľúčom k mnohým matematickým postupom, vrátane postupov matematickej analýzy a štatistiky. *Pravidlá* sú tiež príkladmi vzorov, napríklad pravidlá zaokrúhľovania desiatinných čísel alebo pravidlo zaokrúhľovať na platný počet číslic výsledku. Zámerné rozvíjanie spôsobilostí pracovať s vzormi (teda s konfiguráciami, sériami, pravidlami a pravidelnosťami) v školskej fyzike bežne realizujeme, aj bez poznania teórie piatich pilierov mysle.

Na obr. 3 je uvedených niekoľko typických príkladov rôznych vzorov. Konfiguráciami môžu byť napríklad usporiadania atómov v molekule. Pravidlá zaokrúhľovania a používania vhodného počtu platných cifier (alebo desiatinných číslic), používania vedeckého zápisu čísla, patria tiež ku vzorom. Na základnej škole rozvíjame žiakov v schopnosti využívať vektorové reprezentácie síl na naklonenej rovine – žiaci sa učia pravidlá, ako nájsť výslednicu síl pôsobiacich na teleso. Pohyb matematického kyvadla môže pre žiaka predstavovať pravidelnosť a túto môže školská fyzika rozvinúť do schopnosti zakresliť napríklad graf závislosti vodorovnej polohy od času – teda konfiguráciu odpovedajúcu harmonickej funkcii. Na obrázku sme tiež naznačili sériu vlnoplôch na vodnej hladine, rozvíjanú v témach vlnenie a vlnová optika,



Obr. 3: Príklady vzorov v školskej fyzike (autori)

ktoré tradične majú svoje miesto v školskej fyzike. Tiež na tomto mieste chceme zvýrazniť rozdiel medzi fyzikálnym vzorcom a fyzikálnym vzťahom. Napríklad pravidlo pre výpočet elektrického prúdu prechádzajúceho rezistorom pripojeným na zdroj s istým elektrickým napätím pokladáme za vzorec (používanie má charakter piliera mysle vzory), ak ho žiak používa spôsobom: do vzorca dosadím hodnotu napätia v jednotkách volt a hodnotu odporu v jednotkách ohm, a po výpočte dostanem hodnotu prúdu v jednotkách ampér. Ak žiak vníma vzájomnú závislosť medzi prúdom a napätím na vodiči s konštantným odporom, potom žiak pracuje so vzťahom (pilier vzťahu).

4.3 Usporiadania

Uvedme, ako autorka teórie piatich pilierov vníma *usporiadania*. Súčasťou piliera sú podpiliere *postupnosti, cykly, štruktúry, organizácie, hierarchie, uvažovanie v rámci systémov*.

Usporiadanie predstavuje organizáciu alebo rozmiestnenie vecí alebo ľudí, ktorí sú vo vzájomnom vzťahu a to na základe špecifického usporiadania, metódy, smeru alebo štruktúry. Usporiadanie môže naznačovať polohu predmetov v priestore alebo čase a v postupnosti alebo sekvencii. Usporiadanie môže tiež predstavovať podstatu niečoho, alebo harmonické podmienky, podľa ktorých sú veci zoradené tak, aby dávali zmysel na základe vhodnosti ich umiestnenia. Ako sloveso slovo usporiadať (to order) môže znamenať usmerňovať, riadiť, regulovať, viesť alebo vhodne metodicky zaraďovať (Tokuhama-Espinosa, 2019, s. 60).

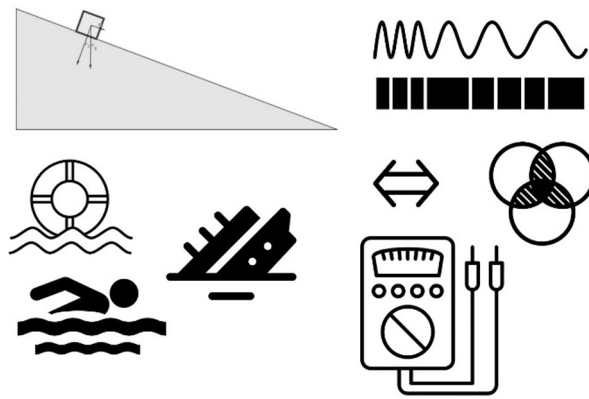
V obsahu fyzikálneho vzdelávania na základnej a strednej škole sme identifikovali usporiadania, ktoré vo fyzike rozvíjame – ktorými zároveň rozvíjame schopnosti žiakov súvisiace s týmto pilierom mysle. *Postupnosť* je konkrétne vyjadrenie poradia objektov, udalostí alebo krokov s určitým účelom. Typickou postupnosťou v učive fyziky je postupnosť stavov matematického kyvadla – kmitajúceho závažia zaveseného na niti. Pri každom periodickom deji vieme identifikovať cyklus, v ktorom sa dej periodicky opakuje. Usporiadanie je tiež poradie fáz pri zmene skupenstva – žiaci si vytvárajú predstavy, že kvapalné skupenstvo je vždy medzi pevným a plynným (aj keď, samozrejme, poznáme aj sublimáciu a desublimáciu). Ako postupnosť môžeme uviesť proces topenia ľadu, postupnosť od zohrievania ľadu, cez topenie pri teplote topenia, po zohrievanie vody, ktorá vznikla roztopením ľadu. Zámerné rozvíjanie spôsobilostí pracovať s usporiadaniami (teda s postupnosťami, cyklami, kauzalitami, štruktúrami a hierarchiami) v školskej fyzike bežne realizujeme, aj bez poznania teórie piatich pilierov mysle. Ako príklad môžeme uviesť usporiadanie planét v Slnčnej sústave, prípadne aj aplikovaním Keplerových zákonov.

4.4 Kategórie

Uvedme, ako autorka teórie piatich pilierov vníma *kategórie*. Súčasťou piliera sú podpiliere *vlastnosti, ekvivalencie a klasifikácie*.

Kategórie sú roztriedenia a klasifikácie vecí, ktoré zdieľajú určité kvality. Kategórie sa vytvárajú na základe kvalít a ekvivalencií predmetov, ľudí, miest, časov, žánrov, formátov, štýlov, typov, konceptov alebo schém, ktoré sú určené vlastnosťami alebo vzhľadom, vyjadrujúce podobnosť. Väčšina vecí na svete sa dá zoskupiť do viacerých kategórií. Veci, ktoré sú zaradené do rovnakej kategórie, zdieľajú aspoň jednu spoločnú charakteristiku. V slovesnom tvare kategorizovať znamená zaradiť veci alebo ľudí do skupín a roztriediť ich, alebo klasifikovať na základe podobnosti ich vlastností (Tokuhama-Espinosa, 2019, s. 72).

V obsahu fyzikálneho vzdelávania na základnej a strednej škole je pomerne jednoduché identifikovať kategórie. Kategorizovanie objektov a javov na základe ich vlastností vo fyzike používame často – a tým zároveň rozvíjame schopnosti žiakov súvisiace s týmto pilierom mysle. Jednou z prvých zručností, ktoré učíme deti v predškolskom veku, je identifikovať, ako sú si veci podobné a ako sa navzájom líšia. Keď sú deti o niečo staršie, môžeme ich povzbudiť, aby používali vizuálne diagramy podobností a rozdielov, ktoré im pomôžu „uvidieť“, ako môžu byť veci podobné a rozdielne zároveň. Telesá delíme na homogénne a nehomogénne, napríklad podľa hustoty v rôznych častiach telesa, alebo na izotropné a anizotropné, podľa rýchlosti svetla v rôznych smeroch v priehľadných materiáloch. V predchádzajúcej vete sme spomenuli viac pojmov, ktoré môžu viesť u čitateľa k predstave, že vo fyzike chceme zavádzať množstvo pojmov, možno až encyklopedickým spôsobom. Žiakov učíme klasifikovať veci a javy na základe ich vlastností, a aj vlastnosť, aj triedu klasifikácie je dobré pomenovať. Myslenie prebieha v pojmoch. Napríklad žiakovi je zrejme, aký je rozdiel medzi zvukom a svetlom – avšak tento rozdiel môže byť založený na rôznych vlastnostiach – podľa úrovne vzdelania žiaka, podľa toho, aké pojmy má žiak vybudované.



Obr. 4: Príklady kategórií v školskej fyzike (autori)

Zámerné rozvíjanie spôsobilostí pracovať s kategóriami (s vlastnosťami, ekvivalenciami a klasifikáciami) v školskej fyzike bežne realizujeme, aj bez poznania teórie piatich pilierov mysle. Na obr. 4 je uvedených niekoľko príkladov, na ktorých rozvíjame pilier kategórie.

Rozklad síl pôsobiacich na naklonenej rovine, alebo presnejšie, zložky síl, môžeme považovať za kategorizáciu síl na základe ich smeru, napríklad zložky vo vodorovnom smere a v zvislom smere. Pri vzoroch sme príklad s naklonenou rovinou uviedli v súvislosti s pravidlami použiteľnými pri skladaní síl, pri hľadaní výslednice pôsobiacich síl, pri rozklade síl na dve navzájom kolmé zložky. Na tomto mieste používame príklad s naklonenou rovinou na ilustráciu kategorizácie zložiek síl. V školskej fyzike pri naklonenej rovine spravidla používame zložky síl v smere naklonenej roviny a v smere kolmom na naklonenú rovinu, avšak v niektorých situáciách má zmysel používať inú kategorizáciu – v smere vodorovnom a v smere zvislom (napríklad pri pohybe telesa naklonenou zákrutou, kde výslednica síl predstavuje dostredivú silu smerujúcu do stredu kružnice, teda zvyčajne vodorovne). Telesá môžeme na základnej škole kategorizovať napríklad podľa toho, či sa vo vode ponárajú, vznášajú, alebo plávajú na vodnej hladine. Elektromagnetické vlnenia klasifikujeme do skupín podľa vlnovej dĺžky, napríklad rádiové vlny, svetlo, röntgenové žiarenie a ďalšie. Meracie prístroje kategorizujeme napríklad podľa veličiny, ktorú nimi meriame.

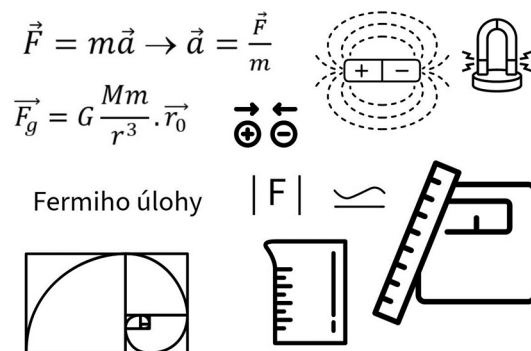
4.5 Vzťahy

Uvedme, ako autorka teórie piatich pilierov vníma pilier *vzťahy*. Súčasťou piliera sú podpiliere *pomery*, *korešpondencia*, *miera*, *aproximácia*, *odhad* a *množstvo*.

Vzťahy sú spôsoby, akým sú dva alebo viac predmetov, ľudí alebo konceptov prepojené, ako spolu súvisia, alebo je to tiež stav, ktorým sú dve alebo viac vecí prepojené. Vzťahy môžu zahŕňať aj závislosti, podobnosti a afinity medzi pojmami alebo ľuďmi, ktoré môžu byť často vzájomne závislé. Vzťahy medzi entitami často vysvetľujú hierarchické asociácie alebo pracovné usporiadanie. Vzťahy môžu byť prirodzené alebo vymyslené (Tokuhamu-Espinosa, 2019, s. 86).

Pomer je podiel alebo časť popísaná vzťahom k celku. Podiel hmotnosti telesa a jeho objemu predstavuje vo fyzike základnej školy hustotu telesa, respektíve hustotu materiálu, z ktorého je teleso vytvorené (ak hovoríme o homogénnom telese). Proporcie šošovky sú v optike dôležité a závisí od nich napríklad aj ohnisková vzdialenosť, respektíve skutočnosť, či sa teleso s danými proporciami správa ako šošovka. Fyzikálne vzťahy, vzťahy medzi vlastnosťami objektov alebo javov, vyjadrujú vzájomnú korešpondenciu medzi fyzikálnymi veličinami vyjadrujúcimi tieto vlastnosti. Spravidla nás na fyzike zaujímajú kauzálne vzťahy. Z hľadiska mysle sú dôležité tiež analógie. Napríklad svetlo a zvuk sú fyzikálne celkom rozdielne javy, avšak skutočnosť, že obe sú vlneniami, nám umožňuje používať analógiu, dokonca aj analógiu s vlnením na vodnej hladine (napríklad pri zavádzaní pojmu interferencia vlnení). Použitie analógií je jedným z najlepších spôsobov výučby, keď študent má malé alebo žiadne predchádzajúce skúsenosti súvisiace s vyučovaným pojmom. Vzťahy môžu byť vyjadrené z hľadiska *kontextu*, okolností alebo miesta. Kontext je formovaný sociálnymi a emocionálnymi konštruktmi a ovplyvňuje všetky ľudské interakcie. V procese vyučovania a učenia sa je kontext dôležitý.

Zámerné rozvíjanie spôsobilostí pracovať so vzťahmi (s pomermi, korešpondenciami, s veľkosťou, mierou, aproximáciou, odhadom) v školskej fyzike bežne realizujeme, aj bez poznania teórie piatich pilierov mysle. Na obr. 5 je uvedených niekoľko príkladov, ktorými rozvíjame pilier vzťahy.



Obr. 5: Príklady vzťahov v školskej fyzike (autori)

Ako príklad vzťahu medzi vzdialenosťou dvoch hmotných bodov veľkosťou gravitačnej sily, ktorou na seba tieto body pôsobia. Vzťahom je samotná kauzalita, ak vzdialenosť zväčším na dvojnásobok, veľkosť sily klesne na štvrtinu. Podobne, žiakov učíme, že zrýchlenie telesa je priamo úmerné výslednici síl ktoré pôsobia na teleso. Iným typom vzťahu je zlatý rez, pomer známy z matematiky.

5 Vybrané spôsoby implementácie čiastkových výsledkov neurovied do fyzikálneho vzdelávania

V toto článku sa venujeme najmä teoretickým možnostiam aplikácie poznania neurovied do fyzikálneho vzdelávania. Vráťme sa však na chvíľu o pár rokov späť, k teórii ktorá sa neodvoláva na výsledky neurovedcov, a snaží sa o niečo podobné ako teória piatich pilierov mysle.

5.1 Teória Knowledge-in-Pieces a jej súvis s teóriou piatich pilierov mysle

O modelovanie kognitívnych štruktúr a procesov súvisiacich s učením sa, najmä v oblasti učenia sa fyziky a matematiky, sa dlhodobo a systematicky pokúša A. di Sessa (2014, 2018). Svoju teóriu nazval Knowledge-in-Pieces, a pracuje v nej so zrnkami múdrosti (voľný preklad autora), ktoré nazýva primitive phenomenologies a označuje skratkou p-prims. Odhaduje, že počas rozmýšľania sú aktívované niektoré p-prims a že celkovo existuje okolo tisíc p-prims. Jeho teória vysvetľuje, že chybné úsudky sú spravidla tvorené tým, že pri rozmýšľaní sa u žiaka neaktivujú vhodné p-prims, prípadne vhodné p-prims nie sú u žiaka dobre rozvinuté. Teóriu spomíname aj v učebnici Didaktika fyziky (Demkanin, 2018). Autor predpokladá, že teória by mohla nájsť svoje uplatnenie pri použití digitálnych nástrojov spracovávajúcich veľké množstvá dát, pričom tieto dáta by obsahovali nielen stav predstáv žiaka, ale aj ich vývoj v čase. Tieto predstavy, ktoré sa v období vzniku tejto teórie, teda v pred viac než 40 rokmi (diSessa, 1983) mohli javiť ako nerealizovateľné, môžeme konfrontovať so snahami súčasnosti, napríklad s prípravou monotematického čísla časopisu *Npj science of learning* zameraného na využívanie umelej inteligencie pri výskume učenia sa. V tomto článku sa nám javí využívanie piatich skupín spôsobov myslenia ako lepší podklad pre praktické aplikácie, avšak teória Knowledge-in-Pieces sa javí ako teória, ktorá nie je v rozpore s teóriou piatich pilierov mysle.

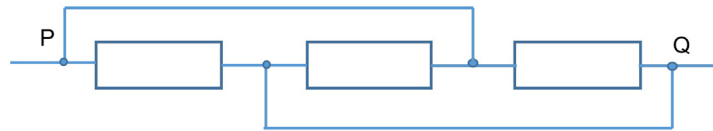
5.2 Aplikácie neurovied ako evolúcia alebo revolúcia pohľadov na vzdelávanie

Hlbšie poznanie procesov stojacich za učením sa môže evokovať viacero možných scenárov vývoja vzdelávania – obsahu, metód, i samotnej štruktúry kurikula. Za extrém považujeme myšlienky, že kurikulum by sa malo prispôbiť poznaniu neurovied a že vzdelávanie by bolo tréningom mysle, v ktorom by bol obsah vzdelávania celkom podriadený spôsobom rozmýšľania. Tento príspevok sa venuje fyzikálnemu vzdelávaniu a teórii piatich pilierov mysle. Teória piatich pilierov myslenia ponúka viacero možností aplikovania do fyzikálneho vzdelávania. Jednou z možností je použiť ju pri dizajne klasického fyzikálneho vzdelávania, prípadne klasického prírodovedného vzdelávania. Pri tomto použití je základom dizajnu rozvoj fyzikálnych (prírodovedných) pojmov, spôsobilostí a postojov. Teóriu pilierov mysle pri tomto prístupe použijeme pri dizajne detailov vyučovacieho procesu, rozvíjame tie spôsoby myslenia, ktoré odpovedajú obsahu (pojmom, spôsobilostiam a postojom) plánovaným na danú učebnú jednotku. Iným prístupom k využitiu tejto teórie je jej aplikovanie v rámci reagovania na aktuálnu situáciu učiacich sa. Fyzikálne (alebo prírodovedné) vzdelávanie máme naplánované na úrovni obsahu iba rámcovo (máme naplánované

rozvíjané pojmy, spôsobilosti a postoje iba rámcovo) a konkrétne aktivity vyučovacej jednotky prispôbujeme stavu učiacich sa tak, že vedome používame teóriu pilierov na plnenie rámcových cieľov. Niektoré prístupy celostného rozvoja žiaka môžu uvažovať aj o využití teórie pilierov mysle ako základu tvorby kurikula. Pri takomto sa môžu stierať rozdiely medzi vyučovacími predmetmi a učivo sa môže dizajnovať tak, aby rozvíjalo myslenie žiakov optimálne podľa tejto teórie, včítane rozvoja medzipredmetových a nadpredmetových cieľov. Autori tohto príspevku sa v súčasnosti prikláňajú k prvej zo spomenutých možností.

Pre ilustráciu prístupu uvádzame jednu úlohu s rezistorami, obr. 6.

Tri rezistory, každý s odporom $6\ \Omega$, sú zapojené podľa obrázka.



Určte odpor medzi bodmi P a Q.

Obr. 6: Príklad fyzikálnej úlohy pre ilustráciu analýzy myslenia žiaka (autori)

V diskusii so skúsenými učiteľmi fyziky sa väčšina zhodla, že úloha nie je štandardná, že je pre žiakov náročná a že iba málo žiakov gymnázia správne určí výsledný odpor $2\ \Omega$. V ďalšej diskusii s týmito učiteľmi sme identifikovali možné problémy. Žiaci si v téme jednosmerný elektrický prúd rozvíjajú najmä pilier symboly, čo je prirodzené, rôzne typy telies, ktorých význačnou vlastnosťou v danom kontexte je elektrický odpor, chceme reprezentovať rovnako – rovnakým symbolom. Avšak aktivovanie piliera symboly pri identifikácii vzájomného prepojenia rezistorov v schéme môže viesť k chybnému záveru. Rezistory sú nakreslené za sebou, koniec jedného je pripojený k začiatku druhého, koniec druhého k začiatku tretieho. Toto evokuje usporiadanie (postupnosť), ktorú žiaci poznajú ako sériové zapojenie rezistorov (kategória bežných zapojení rezistorov). Žiaci, ktorí neignorujú dva vodiče zapojené v porovnaní so sériovým zapojením naviac, identifikujú usporiadanie (organizáciu), v ktorej je jeden koniec každého z rezistorov spojený s bodom P a druhý koniec s bodom Q. Teda správne identifikujú paralelné zapojenie rezistorov (kategória bežných zapojení rezistorov), použijú im známy vzor (pravidlo, vzorec), a určia hodnotu $6/3\ \Omega = 2\ \Omega$.

V časti 3 tohto článku sme spomenuli, že snahou je pochopiť kauzalitu poznania procesov učenia sa na úrovni mozgu. Teda aplikovanie do praktického vzdelávania predstavuje skôr pochopenie procesov stojacich za bežnými metódami, ktoré boli vyvinuté v predchádzajúcich desaťročiach. Predpokladáme však, že na základe poznatkov z neurovied budú niektoré z metód spresnené, prípadne aj upravené. V časti 3 sme spomenuli výskumy snažiace sa hlbšie pochopiť metódy hranie rolí, študent–expert, poskytnutie informácií viacerými spôsobmi, práca s chybou, typ aktivity Think-Pair-Share a práca s alternatívnymi konceptami.

6 Záver

Teóriu piatich pilierov myslenia pokladáme v súčasnosti za najprepracovanejšie aplikovanie neurovied do vzdelávania. Pilotné vedomé používanie teórie piatich pilierov mysle vo fyzikálnom vzdelávaní sa javí ako sľubné a zdá sa, že má potenciál ho skvalitniť prostredníctvom zapracovania do učebníc, ako aj do práce učiteľa. Príprava série učebníc využívajúcej tento rozmer spracovania aktivít pre žiakov si vyžaduje tím skúsených didaktikov a niekoľkoročné overovanie v praxi na niekoľkých školách, teda v tomto článku neprinášame výsledky nášho empirického výskumu, ale skôr teoretický pohľad a argumenty podporujúce zahájenie dlhodobého výskumu, ktorého základom bude séria učebníc. Túto chceme tvoriť na základe súčasného poznania nielen učebníc fyziky (a spojenej prírodovedy), ale tiež poznania učebníc matematiky, včítane učebníc tvorených v súlade s Hejného metódou (Hejný et al., 2006; Kvasz, 2019). Zaujímavé porovnanie dvoch spôsobov matematizácie úlohy základnej školy, vizuálny model a analytický model, prináša spolu s dobrým prehľadom literatúry Shahbari (2020). Toto porovnanie pekne podporuje teóriu piatich pilierov a ukazuje, že žiaci môžu riešiť rovnakú matematickú úlohu rôznymi spôsobmi myslenia. Podobne, z pohľadu dizajnu učebníc matematiky, sa vizualizácii pojmov z kombinatoriky venuje Zenkl (2021) a prináša zaujímavé zistenie, že v analyzovaných učebniciach matematiky je veľmi málo výziev na to, aby žiaci vizualizovali zadania úloh a procesy riešenia týchto úloh.

Podobne, ako sme pred desaťročiami zvyrazňovali popri fyzikálnom obsahu rozvoj spôsobilostí vedeckej práce, teraz máme nástroj – teóriu na to, aby sme skvalitnili učenie sa fyzikálneho obsahu a spôsobov

vedeckej práce tým, že v rámci fyzikálneho vzdelávania vedome rozvíjame myseľ a zároveň vedome využívame rozvinuté myslenie žiakov na hĺbkové učenie sa fyzikálneho obsahu a spôsobov vedeckej práce. Uvedomujeme si, že niektoré štúdie sú k téme tréningu mysle pesimistické (Melby-Lervåg & Hulme, 2013), (Redick et. al., 2013), avšak viaceré štúdie jasne preukazujú opodstatnenosť výskumu v tejto oblasti a veľký potenciál pre zefektívnenie procesov ľudského učenia sa (Merzenich, 2013). Ako sme spomenuli v úvode článku, cieľom teórie fyzikálneho vzdelávania je, okrem iných cieľov, aj hľadanie spôsobov, ako naučiť žiaka viac a kvalitnejšie. Článok predstavil jednu z možností, ako štruktúrovať toto snaženie na základe súčasného poznania činnosti mozgu. V závere časti 3 tohto článku sme sa vymedzili na použitie neurovied pri skúmaní učenia sa jednotlivca, a zároveň sme povedali, že pokladáme za úplne samozrejmé, že učenie sa prebieha v sociálnom priestore. Komplexný prístup k aplikáciám neurovied do práce učiteľa, mentora, tútora, kouča, na úrovni praktických odporúčaní, prináša monografia autorov O'Connor a Leges (2019). Kapitoly venované mysleniu, myslí, sú spracované prístupnejším, jednoduchším spôsobom, než v teórii piatich pilierov mysle, avšak sú doplnené kapitolami venovanými procesom rozhodovania, úlohe odmienu, empatii a ďalším záležitostiam v medziľudských vzťahoch pri učení sa, identite učiaceho sa.

Poďakovanie

Práca bola podporená Ministerstvom školstva, projekt KEGA, 013UK-4/2021, Metodické materiály zamerané na systematický rozvoj kritického myslenia. Ďakujeme recenzentom za ich trpezlivú prácu, ktorá významným spôsobom skvalitnila tento príspevok.

Literatúra

- Bowers, J. S. (2016). The practical and principled problems with educational neuroscience. *Psychological Review*, 123(5), 600–612. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26938449/>
- Carew, T., & Magsamen, S. (2010). Neuroscience and education: An ideal partnership for producing evidence-based solutions to guide 21st century learning. *Neuron*, 67(5), 685–688. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.08.028>
- Clement, N., & Lovat, T. (2012). Neuroscience and education: Issues and challenges for curriculum. *Curriculum Inquiry*, 42(4), 534–557. <https://doi.org/10.1111/j.1467-873X.2012.00602.x>
- Červeňová, D. (2022). *Aplikácia teórie piatich pilierov mysle v kontexte naklonenej roviny* [Bakalárska práca, Univerzita Komenského] <https://opac.czup.sk/?fn=detailBiblioForm&sid=CCC58BA4FA4903AAF32D52375785>
- Demkanin, P. (2021). Žiacke bádanie vo vyučovaní fyziky a paródia na bádanie – hľadanie hraníc. In M. Kireš (Ed.), *Tvorivý učiteľ fyziky XII* (s. 25–30). Slovenská fyzikálna spoločnosť. <https://conf.ccvapp.upjs.sk/tuf/pages/archiv/tvorivy-ucitel-fyziky-xii/prispevky/>
- Demkanin, P. (2019). Skefolding budúceho učiteľa fyziky v rámci predmetu Didaktika fyziky. In B. Jaslovská & E. Tóblová (Eds.), *Súčasnosť a perspektívy pregraduálnej prípravy učiteľov* (s. 6–12). Univerzita Komenského. <https://www.researchgate.net/publication/339022767>
- Demkanin, P. (2018). *Didaktika fyziky pre študentov magisterského štúdia a učiteľov v praxi*. Univerzita Komenského. <https://www.researchgate.net/publication/328614725>
- Demkanin, P., & Kováč, M. (2019). Effective individual work of pupils within physics education in the light of the learning sciences. *AIP Conference Proceedings* 2152, 020002. <https://doi.org/10.1063/1.5124742>
- Donoghue, G. M., & Horvath, J. C. (2016). Translating neuroscience, psychology and education: An abstracted conceptual framework for the learning sciences. *Cogent Education*, 3(1), 1267422. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2016.1267422>
- diSessa, A. (2014). The construction of causal schemes: Learning mechanisms at the knowledge level. *Cognitive Science*, 28, 795–850. <https://doi.org/10.1111/cogs.12131>
- diSessa, A. (2018). A friendly introduction to “knowledge in pieces”: Modeling types of knowledge and their roles in learning. In G. Kaiser, H. Forgasz, M. Graven, A. Kuzniak, E. Simmt, & B. Xu (Eds.), *Invited Lectures from the 13th International Congress on Mathematical Education* (pp. 65–84). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72170-5_5
- diSessa (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 15–33). Erlbaum Associates. <https://doi.org/10.4324/9781315802725>
- Elouafi, L., Lotfi, S., & Talbi, M. (2021). Progress report in neuroscience and education: Experiment of four neuropsychological methods. *Education Sciences*, 11(8), 373. <https://doi.org/10.3390/educsci11080373>

- Fynes-Clinton, S., Sherwell, C., Ziaei, M., York, S., O'Connor, E. S., Forrest, K., Flynn, L., Bower, J., Reutens, D., & Carroll, A. (2022). Neural activation during emotional interference corresponds to emotion dysregulation in stressed teachers. *Npj Science of Learning*, 7(5). <https://doi.org/10.1038/s41539-022-00123-0>
- Gkintoni, E., & Dimakos, I. (2022). An overview of cognitive neuroscience in education. In *14th International Conference on Education and New Learning Technologies*, 5698–5707. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2022.1343>
- Hejny, M., Jirotkova, D., & Kratochvilova, J. (2006). Early conceptual thinking. In *PME 30: Proceedings of the 30th conference of the international group for the psychology of mathematics education* (pp. 289–296). Charles University in Prague, Faculty of Education. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED496933.pdf>
- Immordino-Yang, M. (2011). Implication of affective and social neuroscience for educational theory. *Educational Philosophy and Theory*, 43(1), 98–103. <https://doi.org/10.1111/j.1469-5812.2010.00713.x>
- Kvasz, L. (2019). How can abstract objects of mathematics be known? *Philosophia Mathematica*, 27(3), 316–334. <https://doi.org/10.1093/phimat/nkz011>
- Lomba-Portela, L., Domínguez-Lloria, S., & Pino-Juste, M. R. (2022). Resistances to educational change: Teachers' perceptions. *Education Sciences*, 12(5), 359. <https://doi.org/10.3390/educsci12050359>
- Mason, R. A., Schumacher, R. A., & Just, M. A. (2021). The neuroscience of advanced scientific concepts. *Npj Science of Learning*, 6(29). <https://doi.org/10.1038/s41539-021-00107-6>
- Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, 49(2), 270–291. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22612437/>
- Merzanich, M. (2013). *Soft-wired: How the new science of brain plasticity can change your life*. Parnassus Publishing.
- Nouri, A., Tokuhama-Espinosa, T., & Borja, C. (2023). *Crossing mind, brain, and education boundaries*. Cambridge scholars publishing.
- O'Connor, J. & Lages, A. (2019). *Coaching the brain*. Routledge.
- Owens, M., & Tanner, K. (2017). Teaching as brain changing: Exploring connections between neuroscience and innovative teaching. *CBE-Life Sciences Education*, 16(2). <https://doi.org/10.1187/cbe.17-01-0005>
- Petty, G. (2014). *Teaching today* (5th ed.). Oxford University Press.
- Puntambekar, S. (2021). Distributed scaffolding: Scaffolding students in classroom environments. *Educational Psychology Review*, 34, 451–472. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09636-3>
- Redick, T. S., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Kenny, L., Hicks, K. L., Fried, D. E., David, Z., Hambrick, D. Z., Michael, J., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2013). No evidence of intelligence improvement after working memory training: A randomized, placebo-controlled study. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(2), 359–379. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22708717>
- Renouard, A., & Mazabraud, Y. (2018). Context-based learning for inhibition of alternative conceptions: The next step forward in science education. *Npj Science of Learning*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/s41539-018-0026-9>
- Sawyer, R. K. (2014). *The Cambridge handbook of the learning sciences* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139519526>
- Shahbari, J. A. (2020). Mathematical thinking styles and the features of modeling process. *Scientia in educatione*, 11(1), 59–68. <https://doi.org/10.14712/18047106.1579>
- Sirois, S., Spratling, M., Thomas, M. S., Westermann, G., Mareschal, D., & Johnson, M. H. (2008). Precis of neuroconstructivism: How the brain constructs cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 31(03), 321–331. <https://doi.org/10.1017/S0140525X0800407X>
- Tokuhama-Espinosa, T. (2019). *Five pillars of the mind*. W. W. Norton. <https://wwnorton.com/books/9780393713213>
- Tokuhama-Espinosa, T., & Borja, C. (2023). Radical neuroconstructivism: A framework to combine the how and what of teaching and learning? *Frontiers in Education*, 8:1215510. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1215510>
- Tokuhama-Espinosa, T. (2021). *Bringing the neuroscience of learning to online teaching*. Teachers College Press. <https://www.tcpres.com/bringing-the-neuroscience-of-learning-to-online-teaching-9780807765524>
- Van de Pol, J., Voman, M., & Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in teacher-student interaction: A decade of research. *Educational Psychology Review*, 22, 271–296. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9127-6>
- Westermann, G., Mareschal, D., Johnson, M. H., Sirois, S., Michael, W., Spratling, M. W., & Thomas, M. S. C. (2007). Neuroconstructivism. *Developmental Science*, 10(1), 71–83. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00567.x>
- Zenkl, D. (2021). Presentation of combinatorial concepts in mathematics textbooks and its compliance with a concept development theory. *Scientia in educatione*, 12(1), 37–52. <https://doi.org/10.14712/18047106.1938>