

1. fejezet

TERMÉSZETTUDOMÁNYOS NEVELÉS ÉS GONDOLKODÁSFEJLESZTÉS A KÉMIATANÍTÁSBAN

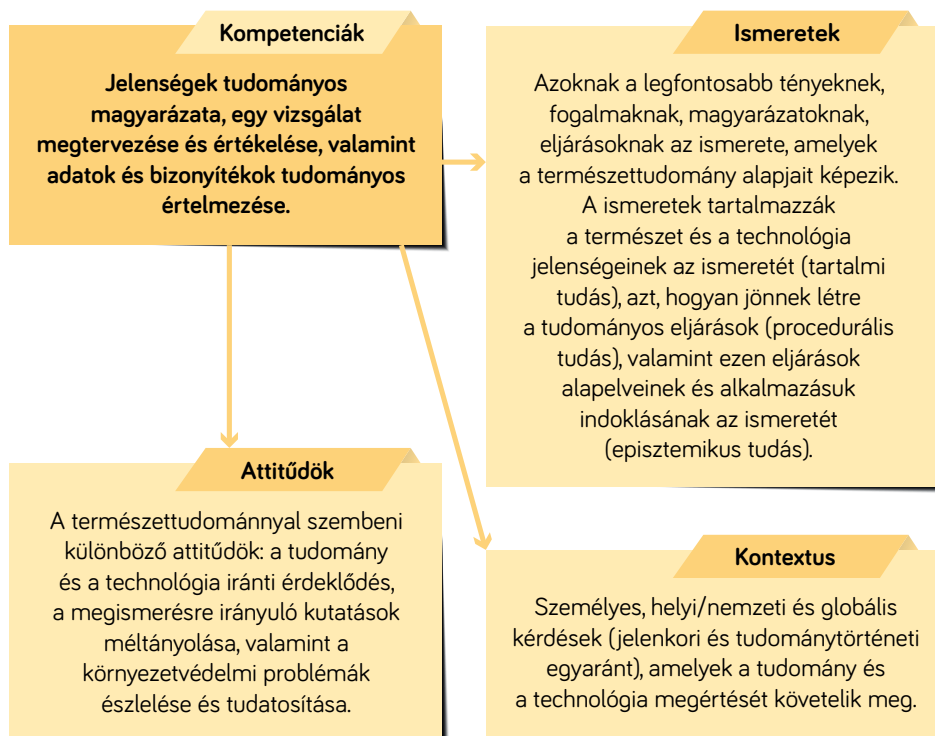
Z. Orosz Gábor
Korom Erzsébet

Az utóbbi évtizedekben átalakultak a természettudományos nevelés céljai. Egyre inkább előtérbe kerültek a társadalmi szempontok, mint például a modern, változó világban releváns tudás kialakítása, az iskolában szerzett tudás alkalmazhatósága, használhatósága a mindennapi életben. Míg korábban a természettudományos tantárgyak tanítását elsősorban a diszciplináris szemléletmód határozta meg, ami a természettudományok által felhalmozott tudás közvetítését helyezte a középpontba, addig napjainkban a természettudományos pályára készülőkhöz számára hasznos szakértői tudás mellett a minden állampolgár számára fontos műveltség kialakítása a feladat (Korom & Z. Orosz, 2020). Ezek a törekvések jelennek meg a nemzetközi vizsgálatok (pl. OECD PISA) koncepcióiban, de tükröződnek a hazai tantervekben, érettségi követelményrendszerekben is.

A PISA 2018-as vizsgálat elméleti kerete a **természettudományos műveltséget** úgy határozza meg, hogy „az egyénnek az a képessége, amelynek révén gondolkodó/megfontolt állampolgárként képes foglalkozni tudományos kérdésekkel és elképzelésekkel. [...] A természettudományban művelt egyén készséggel vesz részt a tudományról és a technológiáról folytatott értelmes párbeszédokban. Mindez olyan **kompetenciákat** követel meg tőle, amelyekkel képessé válik jelenségeket tudományosan megmagyarázni, vizsgálatokat megtervezni és értékelni, valamint adatokat és bizonyítékokat tudományosan értelmezni.” (OECD, 2016, idézi Oktatási Hivatal, 2019, p. 28). Ezt a műveltségfogalmat nemcsak a természettudományi tudásra, hanem a technológiai tudásra is kiterjesztették.

Ahhoz, hogy az említett **természettudományos kompetenciák** kialakuljanak, többféle tényező együttese szükséges: ismeretek, készségek, képességek elsajátítása, a tudományhoz és a tudományos kutatáshoz való viszony formálódása, valamint a tudás különböző kontextusokban való alkalmazása (1. ábra).

A **tartalmi** vagy diszciplináris **tudás** a természettudományok által leírt fogalmak, tények, összefüggések, modellek, elméletek, törvények ismeretét foglalja magában. A tananyag túlnyomó részét ez a fajta tudás képezi. De ahhoz, hogy a diákok értssék, hogyan jött létre az adott diszciplína ismeretanyaga, mi jellemzi a tudományos megismerést, a tudomány működését, és miért hasznos a személyes életünkben, valamint a társadalom szempontjából a tudomány, további ismeretek is szükségesek. A **procedurális tudás** a természettudományos tudás létrejöttéhez, a tudományos kutatásokhoz nélkülözhetetlen módszerek, eljárások ismeretét jelenti; az arra vonatkozó tudást, hogy milyen módszerekkel lehet megismerni a természeti környezetet. Ide tartozik például a változó fogalma, típusai (függő, független és kontrollált változó); a méréssel kapcsolatos ismeretek (pl. kvantitatív mérések, kvalitatív megfigyelések, skálák, kategorikus és folyamatos változók), a mérési hibák és kiküszöbölésük módszerei; a mérések megismételhetőségét biztosító eljárások;



1. ábra A természettudományos műveltség elemei a PISA 2015 és 2018 vizsgálatok tartalmi keretében (Ostorics, Szalay, Szepesi, & Vadász, 2016, p. 18 alapján)

az adatok rögzítésének, ábrázolásának módjai; a változók azonosítása és kontrollja a kísérletek tervezése során; a kísérletek típusai. Az ismeretek harmadik összetevője az **episztemikus tudás**, amely a tudomány természetének, működési alapelveinek ismeretére, megértésére vonatkozik. Ide sorolható például annak ismerete, hogy mi jellemzi a tudományos megfigyelést, mi a különbség a tény, a hipotézis, a modell vagy az elmélet között; mi a különbség a tudomány és a technológia céljai között; melyek a tudomány értékei, hogyan történik a tudományos eredmények elfogadtatása, melyek a tudományos gondolkodás formái (OECD, 2019).

Fontos kiemelni, hogy a természettudományos műveltségkonceptióban meghatározott három kompetencia nemcsak a különböző ismeretek, hanem számos készség, képesség elsajátítását is feltételezi. Kötetünk fókuszában ezek közül a **természettudományos gondolkodás** készségei, képességei állnak. Ide tartoznak azok a mentális műveletek, amelyeket a természettudományos tartalmakról való gondolkodás, a tudományos problémákkal való foglalkozás vagy valamilyen megismerőtevékenység, például vizsgálódás, kísérletezés során használunk (Kuhn, 2002; Dunbar & Fugelsang, 2005).

A természettudományos gondolkodás összetevői közé sorolhatók az általános gondolkodásra is jellemző alapvető gondolkodási képességek, mint a konzerváció, az összehasonlítás, a sorképzés, a csoportosítás, rendszerezés, az arányossági, kombinatív, korrelatív és valószínűségi gondolkodás, továbbá a komplexebb, magasabb rendű gondolkodási képességek, mint az induktív és a deduktív gondolkodás, az analógiás gondolkodás vagy a kritikai gondolkodás (Adey & Csapó, 2012). Emellett ide tartoznak azok a készségek is, amelyeket a természettudományos megismerés során alkalmazunk, ilyen pl. a kérdésfeltevés, a hipotézisalkotás, a kísérlettervezés és kivitelezés, a változók azonosítása és kontrollja, a megfigyelés, az adatok megjelenítése, illetve elemzése, a következtetések levonása és az eredmények kommunikálása. Ezeket összefoglaló néven kutatási készségeknek (*inquiry skills*) nevezzük. A természettudományos gondolkodás összetevőinek diagnosztikus értékeléséhez elkészült egy tartalmi keret (Korom et al., 2012), és kidolgozásra kerültek online feladatok (Nagy, Korom, Pásztor, Veres, & B. Németh, 2015), amelyek kiindulást jelentenek a fejlesztéshez is.

A természettudományos gondolkodás fejlesztése fontos feladatunk. Célként jelenik meg a Nemzeti alaptantervben (NAT, 2020), és szerepel a kémiaérettségi követelményrendszerében (2017) is. Mivel ezek a készségek, képességek nemcsak tudományos kontextusban, tanórai keretek között használhatók, hanem a hétköznapi életben felmerülő problémák megoldása során is, így fejlesztésükből egyaránt profitálhatnak a természettudományos pályákra készülő és azok is, akik nem ezen a területen tervezik folytatni tanulmányaikat. Nem szabad azonban elfelejtenünk, hogy a készségek és képességek fejlődése lassú folyamat, így munkánk akkor lesz sikeres, ha a fejlesztést minden életkorban rendszeresen végezzük, beépítve a kémiatanítás folyamatába. Kötetünkben ehhez kínálunk javaslatokat.

A fejezet további részében az alapvető és a magasabb rendű gondolkodási képességeket mutatjuk be. A természettudományos megismerésről és a kutatási készségekről a 2. fejezetben esik szó. A 3-6. fejezetekben életkorokra lebontva mutatunk példákat a készség- és képességfejlesztő feladatokra, foglalkozásokra. Bár a gondolkodásfejlesztés van a fókuszban, bízunk benne, hogy az újszerű, változatos, a tanulók aktivitására építő feladatokkal sikerül pozitívan befolyásolni a kémia iránti attitűdöt is.

ALAPVETŐ GONDOLKODÁSI KÉPESSÉGEK

Konzerváció (megmaradás)

Az egyik legalapvetőbb gondolkodási művelet. Annak felismerését jelenti, hogy ha egy mennyiséghez nem adunk hozzá vagy nem veszünk el belőle, akkor ugyanaz

marad (Adey & Csapó, 2012). Például nem változik a víz tömege vagy a térfogata, ha egy pohárból egy eltérő formájú edénybe átöntjük. Az ilyen egyszerűbb megmaradási problémák felsősök és középiskolások számára már triviálisnak tűnnek, azonban a kémiai változások értelmezése számukra is komoly feladat lehet. Az 5. fejezetben bemutatott „Hová tűnt a szalalkáli?” c. foglalkozás kipróbálása során 9. és 10. osztályos gyerekek körében is gyakran előfordult az a téves elképzelés, hogy a szalalkáli melegítés hatására egyszerűen eltűnik. Fontos tehát a tömegmegmaradás (és később a töltésmegmaradás) felismerésének, alkalmazásának gyakoroltatása a kémiai változások kapcsán.

Sorképzés

Azt a műveletet jelenti, amelynek segítségével bizonyos dolgokat egy adott tulajdonságuk csökkenő vagy növekvő értékei szerint sorba rendezünk. Feltétele a relációk kezelése (Adey & Csapó, 2012). Szempontként például mennyiségi tulajdonságok szolgálhatnak. Ezt a műveletet használjuk, amikor a részecskéket (pl. F^- , Ne , Na^+) sugaruk szerint növekvő sorrendbe rendezzük.

Csoportosítás

Az információszervezés egyik módszere. A vizsgált dolgokat (anyagfajták, kísérleti eszközök és jelenségek) hasonló tulajdonságaik (ez lesz a csoportosítás szempontja) alapján kategóriákba rendezzük. A kategóriákat a csoportosítás szempontja alapján magunk alkotjuk meg. Ugyanazt a dolgot többféle kategóriába is besorolhatjuk, ha változtatunk a csoportosítás szempontján. A kémiai reakciókat például sokféle módon csoportosíthatjuk. Szempont lehet többek között az energiváltozás, a reakcióban részt vevő anyagok száma vagy a reakciósebesség is.

Osztályozás

Az információszervezés másik módszere. A vizsgált dolgokat egy meglévő hierarchikus rendszerbe, szigorú szabályok figyelembevételével, szisztematikusan soroljuk be. Ebben az esetben egy dolog csak egyetlen kategóriába kerülhet (1. táblázat).

Mindkét módszer előnye, hogy a rendelkezésre álló információ tömbösítésével könnyebbé válik annak kezelése, megtanulása és felidézése. Feltétele, hogy a vizsgált dolgok közötti hasonlóságokat és különbségeket azonosítsuk.

Arányossági gondolkodás

Két mennyiség viszonyának, hányadosának értelmezését és a hányadossal végzett műveleteket foglalja magában. Leggyakoribb esete a lineáris együtt változás (egyenes vagy fordított arányosság) (Adey & Csapó, 2012). A kémia tanulás során

1. táblázat A csoportosítás és az osztályozás műveletének összehasonlítása (Jacob, 2004 alapján)

Szempont	Csoportosítás	Osztályozás
Folyamat	A dolgok kreatív elrendezése észlelt hasonlóságaik alapján	A dolgok szisztematikus besorolása az előírt szabályok, ismertetőjegyek alapján
Határok	Változhatnak, a kategóriák átrendezhetők	Állandóak
Tagság	Rugalmas, egy dolog több kategóriába is tartozhat	Egy dolog csak és kizárólag egyetlen kategóriába tartozhat
Besorolási kritérium	Kontextustól függően változhat	Szigorú alapelvek, szabályok határozzák meg
Tipikusság	Előfordulhat, hogy a tagok nem azonos mértékben jelenítik meg kategóriájuk jellemzőit	Minden tag egyformán reprezentatív, azaz rendelkezik kategóriájának minden ismertetőjegyével
Szerkezet	A kategóriák nem feltétlenül rendezhetők hierarchikus rendszerbe	A kategóriák egy jól meghatározott alá-fölé rendeltségű, hierarchikus rendszer részei

ez az egyik leggyakrabban előkerülő gondolkodási forma. Használjuk az egyenlet-rendezés és a számítási feladatok megoldása során. Tekinthejük az analógiás gondolkodás mennyiségi formájának is, hiszen abban az esetben is tényezők kapcsolatának viszonyát vizsgáljuk, azonban ez a viszony mindig mennyiségi jellegű.

Kombinatív gondolkodás

Egy készlet elemeinek valamely megadott szabály szerinti kiválasztását és elrendezését jelenti (English, 2005). Elősegíti a számolási készségek, a valószínűségi gondolkodás és a rendszerszintű gondolkodás fejlődését. Ez a gondolkodás szükséges ahhoz, hogy a megadott kationok és anionok felhasználásával az összes lehetséges ionvegyület képletét felírjuk. Szintén kombinatív gondolkodást igényel egy kísérlet lehetséges elrendezéseinek (pl. két oldószer, három oldandó anyag) vagy kimeneteleinek számbavétele. A kombinatív problémák megoldása során érdemes megtanítani az odométer stratégiát, amelynek lényege, hogy a megadott készletből egy elemet rögzítünk, és ezekhez illesztjük a többi, majd miután az összes esetet felírtuk, egy újabb elemet rögzítünk (Gál-Szabó, 2019).

Valószínűségi gondolkodás

A gondolkodás azon formája, amely lehetővé teszi különböző kimenetek vizsgálatát, kiértékelését bizonytalan, nem determinisztikus helyzetekben, és amelynek segítségével képesek vagyunk döntéshozásra és ítéletalkotásra is (Batanero, Chernoff, Engel, Lee & Sánchez, 2016). A kémiai problémák megoldása során valószínűségi gondolkodást alkalmazunk többek között akkor, amikor egy esemény bekövetkezésének esélyét becsüljük, a mérési hibák előfordulásának csökkentésére teszünk javaslatokat, vagy a következtetéseink megbízhatóságát, általánosíthatóságát értékeljük.

Korrelatív gondolkodás

Olyan változók közötti kapcsolatok erősségének megítélésére szolgál, amelyeket az adott vizsgálatban közvetlenül nem tudunk befolyásolni (Ross & Cousins, 1993). Ehhez arra van szükség, hogy a kapcsolatot erősítő és gyengítő hatásokat összegyűjtsük és arányaikat megbecsüljük. A korrelatív gondolkodás azért különösen nehéz, mert valószínűségi gondolkodást igényel. Nem meglepő tehát, hogy a gyerekek korrelatív gondolkodása a többi gondolkodási műveletnél alacsonyabb szintű (Eckstein & Shemesh, 1992; Bán, 2002).

A korrelatív problémák legegyszerűbb esete az, amikor két változót vizsgálunk, amelyek kizárólag kétféle értéket vehetnek fel (kétváltozós dichotóm problémák). Ilyen esetekben a vizsgálat eredményeit egy 2x2-es táblázatban tüntetjük fel (2. táblázat).

2. táblázat Adalékanyag hatásának vizsgálata a motor működésére

		A motor működése	
		jó	rossz
Adalékanyag	van	12	4
	nincs	6	2

Ezután a sorokat összeadjuk, majd kiszámítjuk a sorátlagokat. Példánkban összesen 16 esetben vizsgálták az adalékanyag hatását. Tizenkétszer, azaz az esetek 75%-ában megfelelően működött a motor. Összesen 8 olyan esetet vizsgáltak, amikor nem használtak adalékanyagot. Hatszor, azaz az esetek 75%-ában megfelelően működött a motor. Mivel a motor ugyanolyan valószínűséggel működik megfelelően adalékanyag jelenlétében, mint hiányában, így feltételezhetően az adalékanyag és a motor működése között nincs kapcsolat, azaz az adalékanyag nem hatékony.

Ezt biztosan azért nem jelenthetjük ki, mert vizsgálatunkba kevés esetet vontunk be, azaz a mintánk kicsi. A minta bővítésével növelhetjük eredményeink megbízhatóságát.

Azt is fontos hangsúlyoznunk, hogy ha beigazolódik a kapcsolat a vizsgált tényezők között, az még nem jelent automatikusan ok-okozati összefüggést. Például bizonyított, hogy a dohányzás tüdőrákot okozhat (ok-okozati viszony) és azt is tudjuk, hogy a dohányzás együtt jár az ujjak elszíneződésével, így a sárga ujjak és a tüdőrák kialakulása között korreláció áll fenn. Könnyű belátni azonban, hogy nem az ujjak elszíneződése okozza a tüdőrákot.

MAGASABB RENDŰ GONDOLKODÁSI KÉPESSÉGEK

Induktív következtetés

Lényege, hogy a tényekből, megfigyelésekből, mintázatokból kiindulva jutunk el egy általános konklúzióig, szabályig, modellig. Így járunk el, amikor egy elem (pl. a klór) bizonyos tulajdonságait az egész csoportra (pl. halogének) kiterjesztjük, általánosítjuk. Az általánosítás annál könnyebb, minél tipikusabban jeleníti meg a vizsgált dolog az egész csoport jellemzőit, ezért fontos, hogy jó példákat válasszunk. Az ionvegyületek jellemzőinek megismeréséhez például a nátrium-klorid tökéletes prototípus, azonban a mészkő vagy a bárium-szulfát már nem. Tovább könnyíti az általánosítást, ha több dolgot is megvizsgálunk az adott csoportból. Az indukció előnye, hogy új tudást hoz létre, hátránya azonban, hogy akárhány esetet is veszünk alapul, nem jelenthetjük ki biztosan, hogy a megállapításaink a csoport minden tagjára, kivétel nélkül igazak. Az induktív gondolkodás részét képezi a valószínűségi gondolkodásnak, az analógiás gondolkodásnak, a következtetések alkotásának, illetve a döntéshozatalnak is (Hayes & Heit, 2017).

Deduktív következtetés

Lényege, hogy az általános megállapításoktól haladunk a specifikus felé. A folyamat során a meglévő ismereteinket használjuk, és amennyiben azok helytállóak, akkor biztos következtetésekhez juthatunk. Ehhez azonban szükség van arra is, hogy mérlegelni tudjuk az ismeret megbízhatóságát, amivel dolgozunk, amire a következtetéseinket majd alapozzuk. Legegyszerűbb formája az ún. implikáció, amely a „ha P, akkor Q” szerkezetet követi. Ha egy anyagot poláris molekulák építenek fel (P), akkor oldódik vízben (Q). A metil-alkohol poláris molekulákból áll (P), tehát oldódik vízben (Q). Ki kell hangsúlyoznunk, hogy fordítva már nem feltétlenül igaz a logikai kapcsolat (de Chantal & Markovits, 2017). A konyhasó is oldódik vízben, de nem azért, mert poláris molekulákból áll, hanem azért, mert

ionrácsos. Deduktív gondolkodás szükséges ahhoz is, hogy a rendelkezésre álló információkból helytálló következtetéseket vonjunk le, vagy állítások igazságtartalmát vizsgáljuk.

Analógiás gondolkodás

Lényege, hogy egy helyzetben/elrendezésben felismert kapcsolatokat, szabályszerűségeket egy új, de hasonló helyzet értelmezéséhez használjuk. Ehhez fel kell ismernünk, hogy az új helyzet hasonló az előzőhöz, ami a tényezők közötti relációk kezelését igényli (Nagy, 2006). Az analógiás gondolkodás a gyerekek mindennapi tanulásának központi eleme. Fejlődésének mozgatói a növekvő tárgyi tudás, a szempontváltás a tárgyi hasonlóságokról a relációs hasonlóságokra, valamint a növekvő munkamemória. Megfigyelhető, hogy a gyerekek kezdetben a külső hasonlóságokra figyelnek és ezek alapján választanak, függetlenül a dolgok közötti kapcsolattól. Ahogy fejlődik az analógiás gondolkodásuk, szempontot váltanak és döntésüket a dolgok közötti kapcsolatra alapozzák (Gentner & Rattermann, 1991). Ehhez az is szükséges, hogy a feltűnő, de a probléma szempontjából lényegtelen elemeket ki tudják szűrni (inhibitoros kontroll) (Morrison et al., 2004). Az analógiás problémák megoldását nagymértékben befolyásolja a munkamemória kapacitása is. Minél összetettebb kapcsolatrendszereket kell észben tartani, annál nehezebb helyesen megoldani ezeket a feladatokat. Fejlesztését tehát célszerű egyszerű szó- vagy képanalógiákkal kezdeni, amelyeknél egyetlen összefüggést kell azonosítani. Ezekre részletesen a 4. és 5. fejezet kapcsolódó feladatainál térünk ki. Összetettebb analógiás gondolkodást igényel a különböző atommodellek értelmezése, a részecskemodellek készítése és elemzése, a modellkísérletek összeállítása, de a számítási feladatok megoldásához szükséges megfelelő séma kiválasztása is.

Analizáló és szintetizáló gondolkodás

Ez a két gondolkodástípus a probléma megközelítésének módjaira utal. Az analizáló gondolkodás során a jelenséget részleteire bontjuk és a részek közötti kapcsolatrendszerrel vizsgáljuk. A tanórákon arra keressük a választ, hogy az anyagok tulajdonságai hogyan magyarázhatók az azokat felépítő részecskék minőségével, a közöttük lévő kötések jellegével és erősségével. Összefüggéseket keresünk tehát a rész (egy részecske) és az egész (az anyag) tulajdonságai között. A szintetizáló gondolkodás során a különböző forrásból származó információkat vetjük össze és ezeket ötvözve fogalmazzuk meg álláspontunkat, alkotunk valami újat. Így járunk el például, amikor egy projektfeladat során összevetjük a szakirodalomban

olvasottakat a saját megfigyeléseinkkel, mérési eredményeinkkel, majd ezek alapján következtetéseket fogalmazunk meg.

Konvergens és divergens gondolkodás

Az analízáló és szintetizáló gondolkodáshoz hasonlóan ezek is a problémamegoldás során használt gondolkodás lehetséges útjait jelentik. A konvergens gondolkodás során az egyetlen helyes megoldás elérésére törekszünk, így figyelmünket egy meglévő séma, megoldási út alkalmazására fordítjuk. Így járunk el például, amikor a tanult képlet alapján kiszámítjuk az oldat tömegszázalékos összetételét. Divergens gondolkodást használunk akkor, amikor egy probléma megoldásához több lehetőséget is számba veszünk, és akár a megoldásra is több, különböző lehetőséget javasolunk. Fontos összetevője a kreativitás (Adey & Csapó, 2012). Jó példa erre, amikor egy környezeti kár megelőzésére keresünk módszereket.

Kritikai gondolkodás

Az eddigiekkel ellentétben a kritikai gondolkodás (amelyet a Nemzeti alaptanterv (NAT, 2020) többnyire mérlegelő gondolkodásként említ) nem tekinthető különálló gondolkodási képességnek. Sokkal inkább a minőségi gondolkodásra való igényt, kritikai szemléletet értjük ezalatt. Ehhez azonban meg kell értenünk a minőségi gondolkodás kritériumait és rendelkezniük kell minden olyan ismerettel, ami ennek megítéléséhez szükséges (Bailin, 2002). Egy kísérlet eredményeinek értékelése során – többek között – az alábbi kérdések merülhetnek fel bennünk: Megfelelőek-e a választott mérőeszközök? Megfelelően kontrollálták a változókat? Elegendő adat áll rendelkezésre? Mennyire pontosak az adatok? Megfelelőek-e a következtetések? Mennyire általánosíthatók a következtetések? Nagyon fontos szerepe van a kritikai szemléletnek az információk hitelességének megítélésében, a források megbízhatóságának mérlegelésében, a tudományos és áltudományos kijelentések megkülönböztetésében. Ehhez azonban az ismeretek megszerzésén túl attitűdformálásra is szükség van. Ki kell alakítani a minőségi gondolkodásra való igényt, elhivatottságot. A kritikai gondolkodás fejlesztése a természettudományos nevelés kiemelt célja. A különböző forrásokból származó információk hitelességének megítélése elengedhetetlen ahhoz, hogy tisztán lássunk és felelősségteljes döntéshozókká váljunk.

IRODALOM

- Adey, P., & Csapó, B. (2012). A természettudományos gondolkodás fejlesztése és értékelése. In B. Csapó & G. Szabó (Eds.), *Tartalmi keretek a természettudomány diagnosztikus értékeléséhez* (pp. 17–58). Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.
- Bailin, S. (2002). Critical Thinking and Science Education. *Science and Education*, 11(4), 361–375. doi: 10.1023/a:1016042608621
- Bán, S. (2002). Gondolkodás a bizonytalanról: valószínűségi és korrelatív gondolkodás. In B. Csapó (Ed.), *Az iskolai tudás* (pp. 231–260). Budapest: Osiris Kiadó.
- Batanero, C., Chernoff, E. J., Engel, J., Lee, H. S., & Sánchez, E. (2016). *Research on teaching and learning probability* (pp. 1–33). Springer International Publishing.
- de Chantal, P. L., & Markovits, H. (2017). The capacity to generate alternative ideas is more important than inhibition for logical reasoning in preschool-age children. *Memory & Cognition*, 45(2), 208–220. doi: 10.3758/s13421016-0653-4
- Dunbar, K., & Fugelsang, J. (2005). Scientific thinking and reasoning. In K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 705–725). Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sao Paulo: Cambridge University Press.
- Eckstein, S., & Shemesh, M. (1992). The rate of acquisition of formal operations schemata in adolescence: A secondary analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(5), 441–451.
- English, L. D. (2005). Combinatorics and the development of childrens combinatorial reasoning. In A. J. Graham (Ed.), *Exploring probability in school: Challenges for teaching and learning* (pp. 121–141). The Netherlands, Kluwer Academic Publishers. doi: 10.1007/0-387-24530-8_6
- Érettségi vizsgakövetelmények., Kémia (2017). https://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktatas/erettsegi/vizsgakovetelmenyek2017/kemia_vk.pdf
- Gál-Szabó, Zs. (2019). Felsoroló kombinatív problémák megoldása során használt stratégiák mérésének előkészítése. *Neveléstudomány: Oktatás – Kutatás – Innováció*, 7(1), 31–46. doi: 10.21549/NTNY.25.2019.13
- Gentner, D., & Rattermann, M. J. (1991). Language and the career of similarity. In S. A. Gelman & J. P. Byrnes (Eds.), *Perspectives on thought and language: Interrelations in development* (pp. 225–277). London: Cambridge University Press.
- Hayes, B. K., & Heit, E. (2017). Inductive reasoning 2.0. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 9(3). doi: 10.1002/wcs.1459
- Jacob, E. K. (2004). Classification and categorization: A difference that makes a difference. *Library Trends*, 52(3), 515–540.
- Korom, E., & Z. Orosz, G. (2020). A természettudományos nevelés fő kutatási irányzatai. *Magyar Tudomány*, 181(1), 34–46. https://mersz.hu/dokumentum/matud__725
- Korom, E., Nagy, L., B. Németh, M., Radnóti, K., Makádi, M., Adorjánhé Farkas, M., et al. (2012). Részletes tartalmi keretek a természettudomány diagnosztikus értékeléséhez. In B. Csapó & G. Szabó (Eds.), *Tartalmi keretek a természettudomány diagnosztikus értékeléséhez* (pp. 179–309). Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó. http://pedagogus.edia.hu/sites/default/files/termeszettudomany_tartalmi_keretek.pdf
- Kuhn, D. (2002). What is scientific thinking and how does it develop? In U. Goswami (Ed.), *Handbook of childhood cognitive development* (pp. 371–393). Oxford: Blackwell.
- Morrison, R. G., Krawczyk, D., Holyoak, K. J., Hummel, J. E., Chow, T., Miller, B., et al. (2004). A neurocomputational model of analogical reasoning and its breakdown in frontotemporal dementia. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(2), 260–271.
- Nagy, L. (2006). *Az analógiás gondolkodás fejlesztése*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- Nagy, L., Korom, E., Pásztor, A., Veres, G., & B. Németh, M. (2015). A természettudományos gondolkodás online diagnosztikus értékelése. In B. Csapó, E. Korom, & Gy. Molnár (Eds.), *A természettudományi tudás online diagnosztikus értékelésének tartalmi keretei* (pp. 35–116). Budapest: Oktatókutató és Fejlesztő Intézet. <http://pedagogus.edia.hu/?q=konyvek>
- Nemzeti alaptanterv (NAT, 2020). – *Magyar Közlöny*, 17, 290–446.

OECD (2019), PISA 2018 Assessment and Analytical Framework, PISA, OECD Publishing, Paris. doi: 10.1787/b25efab8-en.

Oktatási Hivatal (2019). PISA 2018 Összefoglaló jelentés. https://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktatas/nemzetkozi_meresekek/pisa/PISA2018_v6.pdf

Ostorics, L., Szalay, B., Szepesi, I., & Vadász, Cs. (2016). *PISA 2015 Összefoglaló jelentés*. Budapest: Oktatási Hivatal. https://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktatas/nemzetkozi_meresekek/pisa/PISA2015_osszefoglalo_jelentes.pdf

Ross, J. A., & Cousins, J. B. (1993). Patterns of student growth in reasoning about correlational problems. *Journal of Educational Psychology*, 85(1), 49–65. doi: 10.1037/0022-0663.85.1.49