

A tanulói tévképzetektől a gondolkodási képességekig: A természettudományos gondolkodás szerepe a fogalmi váltásban

A tanulmány a természettudományos gondolkodás kutatásának két területét, a gyerekek tudományos fogalmakkal kapcsolatos tudásának vizsgálatát, valamint az ismeretszerzés folyamatát és az abban szerepet játszó gondolkodási képességeket feltáró kutatásokat tekinti át. A legfontosabb eredmények bemutatása mellett rámutat a kapcsolódási pontokra, a fogalmi fejlődésben és a fogalmi váltásban szerepet játszó kognitív és nemkognitív tényezőkre, és megfogalmaz néhány következtetést az oktatási gyakorlat számára.

Bevezetés

A természettudományos neveléssel foglalkozó kutatók alapvető célja, hogy olyan oktatási módszereket, eljárásokat dolgozzanak ki, amelyekkel segíthető a tudományos fogalmak megértése, a tanulók kezdeti, naiv fogalmi rendszerének változása, és fejleszthetők a tudományos ismeretszerzéshez, valamint a társadalomban való boldoguláshoz szükséges készségek. A mindennapi tanítási gyakorlat számára is hasznosítható, rendkívül gazdag és szerteágazó kutatási eredményekkel szolgál a természettudományos gondolkodásként (*scientific thinking*) körülhatárolt (Dunbar és Klahr, 2012; Kuhn, 2011; Zimmerman, 2000), több mint fél évszázados múlttal rendelkező terület. Az ide sorolható, gyakran eltérő elméleti háttérű kutatások célja, hogy feltárják a tudomány tartalmáról való gondolkodást, a gyerekek fogalmi fejlődésének és gondolkodásának alakulását, illetve, hogy azonosítsák a tudományos tudás létrejöttében szerepet játszó gondolkodási folyamatokat, a tudományos gondolkodás gyermekkorban már meglévő előfutárait. A tanulmány keretében néhány fontosabb kutatási eredményt mutatunk be. Alapul véve Zimmerman és Klahr (2018) felosztását, először a gyerekek természettudományos ismereteire, fogalmi gondolkodására (*conceptual thinking in science*) irányuló tudásterület-specifikus irányzatot, majd a tudásterület-általános gondolkodási folyamatokra (*procedural thinking in science*) fókuszáló kutatásokat tekintjük át.

A természettudományos fogalmak elsajátítása

Mi jellemzi a gyerekek tudását a körülöttük lévő világról? Milyen fogalmaik, mentális modelljeik vannak, és azok hogyan változnak, fejlődnek az évek során? Miben különböznek a gyerekek, a felnőttek, illetve a tudósok fogalmai egy adott témát illetően? Ezeket a kérdéseket Piaget kutatásait – például hogyan gondolkodnak a gyerekek az időről, a mozgásról, a gyorsulásról vagy arról, hogy mi él (Piaget, 1970) – követően számos kognitív és fejlődépszichológus, illetve természettudományos neveléssel foglalkozó kutató igyekezett megválaszolni.

Tévképzetek feltárása és a fogalmi fejlődés kutatása

Az 1970-es években, a „szputnyiksokkot” követő tantervi reformok hatását vizsgálva indultak el az USA-ban azok a kutatások, amelyek az értelmes tanulást, az iskolában elsajátított tudás minőségét és alkalmazását vizsgálták. Az eredmények felhívták a figyelmet arra, hogy számos, a tantervekben szereplő téma (pl. anyagszerkezet, newtoni mechanika, fotoszintézis, öröklődés, a Föld belső felépítése) elsajátítása nehézséget okoz a diákoknak, és a fogalmaik, nézeteik gyakran eltérnek a tudományosan elfogadott ismeretektől. Ezeket a tanulói elképzeléseket tévképzeteknek (*misconceptions*) nevezték el, és kialakulásukat kezdetben a tanulói erőfeszítések hiányával, a túl nehéz, absztrakt tananyaggal vagy a nem megfelelő oktatási módszerekkel magyarázták. Az 1980-as, '90-es években robbanásszerűen növekedett a tévképzetek feltárása. Több ezer vizsgálatot végeztek a fizika, a kémia, a biológia, a földrajz és a matematika területén (ld. pl. Confrey, 1990; Kádár és Farsang, 2019; Korom, 1997, 2002, 2005; Neidorf és mtsai, 2020; Pfundt és Duit, 1988; Tóth, 2000). Kiderült, hogy tévképzetek nemcsak a gyerekek körében, hanem felnőttkorban is előfordulhatnak. Tartósak, gyakran az oktatás sem képes megváltoztatni azokat, és számos esetben hasonlítanak a tudománytörténetből ismert korábbi elképzelésekhez (Carey, 1999; Wiser, 1997). A kutatási eredményeket összegezve a tévképzetek öt típusát különböztették meg (NRC, 1997. 28.): (1) az előítéletek (*preconceived notions*) a mindennapi tapasztalatokon alapuló koncepciók (pl. sokan úgy gondolják, hogy a föld alatti víznek patakokban kell folynia, mert a földfelszínen látott víz patakokban folyik); (2) a nem tudományos meggyőződések (*nonscientific beliefs*) azok a nézetek, amelyeket a diákok a tudományos oktatástól eltérő, például vallási vagy mitikus forrásokból tanulnak meg; (3) a fogalmi félreértelmezések (*conceptual misunderstandings*) akkor keletkeznek, ha úgy tanítják a tudományos ismereteket, hogy nem készítik a diákokat a saját előítéleteikből és nem tudományos meggyőződéseikből eredő paradoxonokkal és konfliktusokkal való szembesülésre, ezért a zavar kezelésére hibás modelleket építenek; (4) a köznyelvi tévképzetek (*vernacular misconceptions*) olyan szavak használatából erednek, amelyek a mindennapi életben mást jelentenek, mint a tudományos kontextusban (pl. munka, erő, energia, sűrűség, virág); (5) a tényszerű tévképzetek (*factual misconceptions*) olyan tévhitek, amelyeket gyakran már fiatal korban megtanulunk, és felnőttkorban is megmaradnak (pl. úgy gondoljuk, hogy „a villám sosem csap kétszer ugyanoda”, ami nyilvánvalóan nem igaz, de ez a gondolat létezik a hiedelemrendszerünkben).

A tévképzeteket feltáró vizsgálatok gyakran megmaradtak a jelenség leírásának szintjén, hasznuk mégis jelentős, hiszen a felhalmozott ismeretanyag arra készítette a kutatókat, hogy magyarázatokat keressenek a tévképzetek kialakulására és arra, hogy bizonyos ismereteket miért nehéz elsajátítani, és hogyan könnyíthetné meg ezt az oktatás. Az 1980-as évektől bontakozott ki a fogalmi fejlődés (*conceptual development*) és a fogalmi váltás (*conceptual change*) kutatása, ami nemcsak az oktatás, hanem a fejlődépszichológia,

az ismeretelmélet, a tudománytörténet és -filozófia szempontjából is fontos területté vált. Számos diszciplínában – például biológia (Hatano és Inagaki, 2002), kémia (Calik és Ayas, 2005), fizika (McCloskey, 1983), csillagászat (Vosniadou és mtsai, 2004) – azonosították a gyerekek tévképzeteit, illetve naiv vagy alternatív fogalmait, mentális modelljeit, területspecifikus elméleteit, és vizsgálták azok változását az életkorral vagy különböző oktatási beavatkozások hatására. A sokféle elnevezés, ami a szakirodalomban a „tévképzet” kifejezés mellett elterjedt, arra utal, hogy a kutatók között vita van arról, hogy pontosan mi és hogyan változik meg a gyerekek előzetes tudásában annak érdekében, hogy az megfeleljen a tudományos ismereteknek, és az oktatás előtti, gyermeki tudás milyen mértékben tekinthető megfelelő kiindulási alapnak a tudományos fogalmak elsajátításához. A fogalmi váltás elméletei is sokfélék, de közös bennük, hogy az információk mentális tárolását és szervezését, valamint a szerveződésben a tanulás során bekövetkező változásokat írják le (van der Graaf, 2020). A sokféle nézőpontot nehéz összeegyeztetni. Ez az oka annak, hogy nincsen széles körben elfogadott elmélet a fogalmi váltásra (diSessa, 2014).

A fogalmi váltás értelmezései

A tévképzetek kialakulásának okait kutatva egyre inkább világossá vált, hogy azokat nem a tanulók motivációjában vagy az oktatás minőségében érdemes keresni, hanem abban, hogy a gyerekek másként gondolkodnak és másként szerzik a tudásukat, mint az adott tudományterület szakértői. Piaget (1970) kutatásai alapozták meg a tanulás konstruktivistá megközelítését, amely szerint a gyerekek a diszciplináris ismeretek tanulását nem „tisztá lappal” kezdik meg az iskolában, hanem már születésüktől fogva tapasztalják a világot, és az előzetes ismereteik kontextusában értelmezik az új információkat, konstruálják meg saját, személyes tudásukat. Az előzetes elképzeléseik ezért számos területen és módon korlátozhatják a tanulást. Míg Piaget a fogalmak elsajátítását a kognitív fejlődést leíró stádiumelméletének keretében területáltalános folyamatnak tekintette, a későbbi kutatások egyértelműen rámutattak annak területspecifikus jellegére (Carey, 1985). Ez azt jelenti, hogy a különböző tudományos fogalmak megismerése és értelmezése nemcsak az egyén gondolkodásától, kognitív készségeinek fejlettségétől függ, hanem az adott témával kapcsolatos tapasztalataitól, meggyőződéseitől is, ezért az egyes területeken a fogalmi rendszer kiépülése sajátos jellemzőkkel bírhat (pl. a gyerekek számára az élet fogalmának értelmezése, az életkritériumok azonosítása sokkal könnyebb az állatok esetében, mint a növényeknél).

A fogalmi váltás megközelítéseit diSessa (2014) alapvetően kétféle tudományfilozófiai hatás mentén különítette el. Az egyik irányzat Thomas Kuhn (1962) paradigmaváltás-elméletére vezethető vissza, amely szerint a tudomány nem folyamatosan fejlődik, hanem a normál szakaszokat forradalmi szakaszok törnek meg. A forradalmi szakaszban megkérdőjeleződik a régi paradigma, és egy új, a korábbival nem összeegyeztethető paradigma körvonalazódik. A fogalmiváltás-kutatás kontextusában mindez úgy jelent meg, hogy a tanulók átfogó, hierarchikus fogalmi struktúrával rendelkeznek, amely elméletszerű tulajdonságokkal bír, és korlátozza, meghatározza a jelenségek értelmezését. A fogalmi váltás során az elméletszerű tudás változása radikális, azaz az új elmélet állításai nem fogalmazhatók meg a régi elmélet feltételeivel. Ha megakadás történik a fogalmi váltásban, annak oka a meglévő elmélet koherenciája. A másik irányzat Toulmin (1972) megközelítéséhez kötődik, aki Kuhn paradigmaváltás-elméletét kritizálva azt hangsúlyozta, hogy nincs globális értelmezési keret a tudomány számára, az egyes elméletek sem feltétlenül koherensek, ezért a változásuk sem lehet teljeskörű. Az egyes tudományterületek tartalmára nem szoros és koherens logikai rendszerként, hanem egyfajta, helyi logikai kapcsolatokat rejtő fogalmi összességként tekint. A fogalmi váltás kutatásában mindez

a darabokban szétszórt tudás (*Knowledge in Pieces*, KiP) episztemológiai megközelítést (diSessa, 1993; diSessa és mtsai, 2016) alapozta meg, amely a tudás létrejöttében és a tanulásban az előzetes koncepciók (*prior conceptions*) szerepét hangsúlyozó értelmezési keret.

Kuhn (1962) paradigmaváltás-elmélete leginkább a fogalmi váltás kutatásának kezdeti szakaszában, az ún. elméletváltás (*theory change*) megközelítésre hatott, amely szerint a gyerekek fogalmai a világról intuitív vagy naiv elméletekbe ágyazottak, és e naiv elméletek radikális átalakítása (*radical restructuring*) szükséges a tudományos ismeretek elsajátításához (Carey, 1991; Smith, 2007). Ez azonban nem könnyű, hiszen, ha a tanuló képes megoldani a problémákat a meglévő sémáival, nem érzi szükségét annak, hogy megváltoztassa aktuális elképzeléseit. A radikális fogalmi váltáshoz el kell érni, hogy a tanuló elégedetlen legyen a meglévő koncepciójával, feladja azt, és elfogadja a tudományos megközelítést (Posner és mtsai, 1982).

Az elmélet-elmélet (*theory theory*) követői később módosították ezt a megközelítést, és azt hangsúlyozták, hogy a gyerekek naiv elméletei nem hirtelen és teljeskörűen változnak meg, hanem fokozatosan és az egyes tartalmi területeken eltérő módon, ütemben (pl. Carey, 1999; Inagaki és Hatano, 2006; Vosniadou, 1994). Ugyanakkor elfogadták a Posner és munkatársai (1982) által javasolt fogalmi ökológia (*conceptual ecology*) koncepciót, amely szerint a tanulók fogalmai, elképzelései az episztemológiai meggyőződéseikben gyökereznek, és a kognitív fejlődés értelmezéséhez alapvető annak megértése, hogy az egyén fogalmi ökológiájának összetevői hogyan változnak, milyen kölcsönhatásban vannak egymással és a tapasztalatokkal. Kutatásai alapját képezte, hogy az elméletszerű naiv tudás tartós ontológiai és episztemológiai elköteleződéseken alapuló, koherens struktúrákat foglal magában, amelyeket a hétköznapi tapasztalatok hoznak létre. E nagyobb rendszerek, intuitív elméleti keretek – amelyekbe beágyazódnak a fogalmak – lehetővé teszik, hogy a tanulók konzisztens előrejelzéseket tegyenek a világ jelenségeivel kapcsolatban, ugyanakkor jelentősen korlátozzák a tanulást, a tudományos fogalmak megértését (Özdemir és Clark, 2007). Arra a kérdésre, hogy mi és hogyan változik meg az elméletszerű tudásban a fogalmi váltás során, többféle magyarázat született. Carey (1999) szerint a meggyőződések (*beliefs*) teremtenek kapcsolatot a fogalmak között, melyek könnyebben változnak, mint maguk a fogalmak. Chi (1992, 2005) a naiv fogalmak helytelen ontológiai kategóriákba való besorolásának megváltoztatását tartotta a fogalmi váltás lényegének. Három fő ontológiai kategóriát különített el: anyagok, folyamatok, mentális állapotok. Szerinte a fogalmakat korlátozza a feltételezett ontológiájuk, az alapvető kategóriájuk, ahova az egyén besorolja azokat. Például a gyerekek intuitív fizikai fogalmai az „anyag” ontológiai kategóriába ágyazottak (pl. a gyerekek a hőt, az elektromosságot, az erőt anyagnak tekintik; a gravitációról azt gondolják, hogy a „földben van”), a newtoni fogalmak viszont a „folyamatok” ontológiai kategóriában értelmezhetők, ami ontológiai váltást igényel a gyerekektől a fizika tanulása során. A keretelmélet (*framework theory*) kidolgozói szerint az egyén mentális modelljei nagyobb rendszerekbe, a keretelméletekbe ágyazódnak, amelyek korlátozzák azokat. Ezzel magyarázható például az átmeneti vagy ún. szintetikus modellek létrejötte a tudományos ismeretek tanulása során. Vosniadou és Brewer (1992) például a Föld alakjáról alkotott elképzeléseket vizsgálták 6–11 éves gyerekek körében, és többféle szintetikus modellt feltártak. Ezek közül az egyik a megkettőzött Föld modellje: a gyerekek a mindennapi szituációkban úgy gondolkodnak, hogy „a Föld lapos”, ugyanakkor az iskolai feladatokban a megtanult ismeretet használják, miszerint „a Föld egy gömb alakú bolygó a világűrben”. A szintetikus modellek olyan téves elképzelések, amelyek átmenetet képeznek a gyerekek iniciális mentális modellje („a Föld, amelyen élünk, lapos”) és a tudományosan elfogadott modell között. A szintetikus modell a kezdeti, naiv és a tudományos modell szempontjait kombinálja, összhangban van az értelmezési keret ontológiai megkötöttségeivel és az

iskolában tanult tudományos nézet aspektusaival is. Az egyén természeti jelenségekről alkotott mentális modelljei tehát egy tágabb rendszerbe, a keretelméletbe ágyazottak, ami meghatározza azok jellegét. Ha a tanuló új elképzelésekkel találkozik, a keretelméletének alapvető ontológiai kötöttségei befolyásolják, hogyan kezeli azokat: figyelmen kívül hagyja, beépíti vagy átalakítja. E megközelítés szerint a sikeres fogalmi váltás a keretelmélet előfeltételeinek felülvizsgálatát, a zavaró ontológiai kötöttségek megváltoztatását igényli. Míg a modellek, koncepciók viszonylag könnyen változnak (gazdagodnak vagy átstrukturálódnak), a keretelméletek változása hosszú időt vesz igénybe.

A Toulmin (1972) megközelítésére visszavezethető irányzat képviselői (pl. Clark, 2006; diSessa, 1993) azt hangsúlyozták, hogy a naiv tudás nem elméletszerű, hanem strukturálatlan tudásdarabkákból áll (*knowledge in pieces*). A tudáselemek sokfélék (pl. fenomenológiai primitívek, fogalmak, tények, narratívák, mentális modellek), eltérő fejlettségűek, kontextusfüggők, és a gyerekek az egyes szituációkban spontán módon kapcsolják össze azokat. A fenomenológiai primitívek (*phenomenological primitives, p-prims*) implicit előfeltévések, naiv axiómák a világról, amelyek a tapasztalatokból levont következtetések révén jönnek létre. E lazán szervezett gondolkodási sémák könnyen aktiválódnak és gyors, de gyakran hibás válaszokat eredményeznek egy-egy új szituációban (diSessa, 1983). Például a „több, az jobb” p-prim okozza azt a hibás elképzelést, hogy „Ha 15 percig forraljuk a vizet, akkor melegebb lesz, mint ha csak 5 percig forralnánk.” (Tóth, 2013). A p-primek koordinációs osztályokba, fogalmakba ágyazódnak be, és a koordinációs osztályok a mentális modellekkel és más entitásokkal együtt alkotják a tanuló konceptuális ökológiáját, ami különbözik az elmélettől. A koordinációs osztályok tehát olyan komplex rendszerek, amelyek sok koordinált részt tartalmaznak, és az elemek egymásba ágyazottak (diSessa, 2014). Ez a megközelítés a fogalmak belső darabjait írja le, és a működést a tudásdarabok különböző konfigurációjának tekinti. A fogalmi váltást olyan folyamatként írja le, amelynek során a tanulók a fogalmi hálózatuk elemeit és a közöttük lévő kapcsolatokat is felülvizsgálják, átszervezik, de ez nem átfogó elméletcserét jelent, hanem részletekben történő koncepcióváltást. Az újrászerveződés lényege a változatos tudáselemekből álló tudásrendszer alkalmazásai során a koherencia és a következetesség fokának fokozatos növekedése (Özdemir és Clark, 2007).

Míg a kezdeti kutatások a fogalmi váltás kognitív aspektusaira fókuszáltak, az ezredforduló tájékán egyre nagyobb figyelmet kaptak a tudományos ismeretek tanulását és a

Míg a kezdeti kutatások a fogalmi váltás kognitív aspektusaira fókuszáltak, az ezredforduló tájékán egyre nagyobb figyelmet kaptak a tudományos ismeretek tanulását és a fogalmi váltás létrejöttét befolyásoló affektív (pl. motiváció, önhatékonyság, érdeklődés, elköteleződés, hajlandóság a megismerésre, meggyőződés) (pl. Murphy és Alexander, 2008; Pintrich és mtsai, 1993; Sinatra és Pintrich, 2003) és szociális, kulturális (pl. Linn és Songer, 1991; Mason, 2007) tényezők. Mindez még bonyolultabbá tette a fogalmi váltás kutatását, hiszen egyre élénkebb lett a vita arról, hogy „hideg, racionális” (a kognitív folyamatok által irányított) vagy inkább „meleg, irracionális és homályos” (a tanuló motivációjától függő) folyamatról van-e szó, esetleg mindkettőről (Ruhf, 2003).

fogalmi váltás létrejöttét befolyásoló affektív (pl. motiváció, önhatékonyság, érdeklődés, elköteleződés, hajlandóság a megismerésre, meggyőződések) (pl. Murphy és Alexander, 2008; Pintrich és mtsai, 1993; Sinatra és Pintrich, 2003) és szociális, kulturális (pl. Linn és Songer, 1991; Mason, 2007) tényezők. Mindez még bonyolultabbá tette a fogalmi váltás kutatását, hiszen egyre élénkebb lett a vita arról, hogy „hideg, racionális” (a kognitív folyamatok által irányított) vagy inkább „meleg, irracionális és homályos” (a tanuló motivációjától függő) folyamatról van-e szó, esetleg mindkettőről (Ruhf, 2003). Például Jones és munkatársai (2015) egyetemisták körében végzett kutatása megmutatta, hogy a hallgatók figyelmének allokációját és a kognitív elkötelezettség szintjét nagymértékben befolyásolta, hogy mennyire tartották értékesnek, hasznosnak, érdekesnek az adott feladatot, mindez pedig előre jelezte a fogalmi váltás valószínűségét az adott témában.

A fogalmi váltás kutatásának irányait és azok elméleti, gyakorlati hatását összegezve Özdemir és Clark (2007) kiemeli, hogy a „tudás mint elmélet” elsősorban fiatalabb korban lehet alkalmas a naiv tudás leírására egyes tartalmi területeken (pl. naiv biológia, csillagászat, anyagszerkezet), de a konceptuális átrendeződéseket és azok folyamatát – különösen idősebb korban – kevésbé tudja megragadni. Az empirikus vizsgálatok a tanulók tudásának elmélet jellegét és annak különböző kontextusokban való következetes használatát gyakran nem, vagy csak fiatalabb korban igazolták. A „tudás mint elemek” koncepció hatékonyabbnak bizonyult az átmenetek értelmezésében, a szisztematikusság és a koherencia elérésének magyarázatában olyan területeken, ahol a tanulók sok hétköznapi tapasztalattal rendelkeznek (pl. mechanika). Ez utóbbi megközelítés az egyes állapotok, illetve a radikális elméletváltások helyett az átrendeződés, az újrászerveződés mechanizmusait keresi a tudásrendszer összetevőinek és szervezettségük változásának azonosításával.

Zimmerman (2005) a tudományos ismeretek megértésére, a fogalmi fejlődésre és a konceptuális változásokra fókuszáló kutatásokat is a tágabban értelmezett természettudományos gondolkodás (*scientific thinking*) feltárásának egyik módjaként tekinti, mivel ezekben a vizsgálatokban nem a megtanult ismeretek felidézését kérték a diákoktól, hanem azt, hogy számukra új szituációkban gondolkodjanak jelenségekről, használják tudásukat, magyarázzák el nézőpontjukat. Az alkalmazott kérdések, feladatok ugyanakkor nem készítették a gyerekeket arra, hogy válaszaik ellenőrzésére megfigyeléseket, vizsgálatokat végezzenek, és értékeljék elképzeléseiket a bizonyítékok tükrében. E kutatások tehát azt mutatták meg, hogy mit tudnak a gyerekek a természettudományos fogalmakkal kapcsolatban. Azt, hogy hogyan szerzik meg ezt a tudást, a természettudományos gondolkodásnak a kutatási készségeket és a gondolkodási képességeket, stratégiákat középpontba helyező területe (*scientific reasoning*) vizsgálja, amelyet a következő alfejezet tekint át röviden.

Természettudományos gondolkodási képességek, kutatási készségek

A természettudományos gondolkodás (*scientific thinking*) procedurális elemeihez olyan mentális folyamatok sorolhatók, amelyeket a tudományos problémákkal való foglalkozás, a tudományos ismeretszerzés, a vizsgálódás, kutatás során, valamint a kutatásból származó tudásra és annak változására való reflektáláskor használunk (Dunbar és Fugelsang, 2005; Dunbar és Klahr, 2012; Kuhn, 2011). Ide tartoznak olyan területáltalános gondolkodási képességek, mint például az induktív, deduktív, analógiás, oksági, kombinatív, valószínűségi gondolkodás (Adey és Csapó, 2012), valamint a kutatási készségek (*inquiry skills*), melyeknek többféle elnevezése és csoportosítása ismert. Wenning (2007) például a kérdésfeltevést, hipotézisalkotást, a kísérlet tervezését, kivitelezését, a változók azonosítását és kontrollját, a tapasztalatok, adatok rögzítését, elemzését, a következtetések levonását

és az eredmények kommunikálását sorolja ide. Az amerikai természettudományos standardokban (NRC, 2013) a természettudományos gyakorlatok (*scientific practices*) megnevezéssel találkozhatunk, amely a tudományos ismeretek megszerzéséhez szükséges készségekre és tevékenységekre (modellek fejlesztése és használata, vizsgálatok tervezése és kivitelezése, adatok elemzése és értelmezése, matematikai és számítási gondolkodás alkalmazása, magyarázatok alkotása és megoldások tervezése) utal.

A gondolkodási képességek fejlődésének kutatása Piaget munkáiban (pl. Inhelder és Piaget, 1967) gyökerezik, aki különböző feladatokban (pl. inga, mérleg) vizsgálta a gyerekek gondolkodási műveleteinek szintjét és azt a folyamatot, ahogyan szisztematikusan felfedezik a világot: hipotéziseket alkotnak, előrejelzéseket tesznek, változókat manipulálnak, megfigyeléseket tesznek, következtetnek). Később a tudományos ismeretek megszerzését vizsgáló kutatásoknak két irányzata alakult ki. Az egyikben igyekeztek kiküszöbölni az előzetes tudás szerepét a feladatok megoldásában, és elsősorban a területáltalános gondolkodási stratégiákra fókuszáltak (pl. Siegler és Liebert, 1975, idézi Zimmerman és Klahr, 2018). A másik irányzat kutatói (pl. Schwichow és mtsai, 2016, idézi Zimmerman és Klahr, 2018) arra törekedtek, hogy megragadják a fogalmi és a procedurális tudás összefonódását, közelítve ezzel a tudományos kutatás valós folyamataihoz.

A kutatási készségek fejlődése

A korai kutatások (ld. pl. Inhelder és Piaget, 1967; Kuhn és mtsai, 1988) arra utaltak, hogy a kutatási készségek elsajátítása a serdülőkortól lehetséges. Napjainkra azonban számos bizonyíték gyűlt össze arról, hogy egyes készségek már hamarabb is fejleszthetők (Zimmerman, 2007). Óvodáskorú gyerekek is képesek például megérteni egy hipotézis egyszerű kísérleti tesztelését, el tudják dönteni egy kísérletről, hogy az megfelelő-e, meggyőző-e egy adott feltevés tesztelésére, értelmezni tudnak bizonyítékokat, és felhasználni azokat arra, hogy döntéseket hozzanak, általánosításokat vagy előrejelzéseket tegyenek jövőbeli esetekre vonatkozóan (Eshach és Fried, 2005). Az 5-6 éves gyerekek is használhatnak tesztelési stratégiákat (pl. szembeállító tesztelés, pozitív tesztelés) (Köksal-Tuncer és Sodian, 2018), és képesek explicit módon érvelni a különböző típusú bizonyítékokkal kapcsolatban. Nemcsak implicit módon érzékenyek a nem egyértelmű bizonyítékokra, hanem tudatában vannak az információhiánynak az ilyen esetekben (Köksal és mtsai, 2021). Bizonyos feladatokban óvodáskorúak is képesek használni a változók kontrollja stratégiát (*Control of Variables*, CVS) és helyesen megtervezni egyszerű kísérleteket (van der Graaf, Segers és Verhoeven, 2015).

A területáltalános tudományos gondolkodás három kognitív komponense (hipotézisek alkotása, kísérletezés és bizonyítékok értékelése) aszinkron fejlődik. A bizonyíték-értékelési készségek, különösen a nem egyértelmű adatokkal, előfutárai a kísérletezés megértésének és a hipotézisek generálásának (Piekny és Maehler, 2013). A bizonyíték-értékelési készségek fejlődésével, az általános iskolai tanulmányok vége felé értik meg a tanulók, hogy a kísérletezés különbözik a kívánt eredmény előállításától. Kwon és Lawson (2000) kutatásai bizonyították, hogy az agy prefrontális lebenyének korai serdülőkorban történő érése növeli a mentális kapacitást, és képessé teszi a tanulókat arra, hogy gátolják a feladat szempontjából irreleváns információkat és koordinálják a feladat szempontjából relevánsak mentális reprezentációját. Az érési folyamatok és a megfelelő tapasztalatok, amelyeket az oktatás és a szociális környezet biztosíthat, elősegítik a hipotetiko-deduktív gondolkodás fejlődését, ami támogatja a tudományos fogalmak megértését, a tévképzetek elutasítását és a tudományos koncepciók elfogadását.

A tudományos gondolkodás a mindennapi gondolkodásból ered, de annál sokkal összetettebb, jobban strukturált és kifinomultabb (Zimmerman és Klahr, 2018). Számos,

egymással összefüggő komponensből áll. A szándékos információkeresés egyik típusának tekinthető, amely ugyanazokat az alapvető gondolkodási mechanizmusokat és motivációs komponenseket használja, mint az információkeresés más formái (Kuhn, 2011, idézi Morris és mtsai, 2012). Abban különbözik az információkeresés más típusaitól, hogy működése további kognitív erőforrások és kulturális eszközök bevonását igényli (pl. a természettudományos gondolkodás esetében is az információkeresés egyik fontos hajtóereje a kíváncsiság, de az csak a szándékos, tudatos adatgyűjtés és a bizonyítékok értékelése révén csillapítható) (Morris és mtsai, 2012).

Bár a tudományos gondolkodás az intuitív információkeresésben gyökerezik, nem spontán fejlődik. Kialakulását, változását egyéni és kontextuális tényezők egyaránt befolyásolják (Morris és mtsai, 2012). A kognitív képességek szerepét bizonyította például Mayer és munkatársainak (2014) negyedik évfolyamos tanulókkal végzett kutatása, melyben megállapították, hogy az általános kognitív képességek (intelligencia, olvasási képességek) mellett a problémamegoldó gondolkodás és a térbeli képességek is előre jelzik a tudományos gondolkodási feladatokban nyújtott teljesítményt. Morris és munkatársai (2012) a tudományos gondolkodás fejlődésében a kódolást (az információ és annak kontextusának a memóriában történő reprezentálása) és a stratégiák (azok a lépések, amelyek elvezetik a gyereket egy kérdés, probléma kapcsán a kiindulástól a célig) elsajátítását és használatát tekintik kritikus tényezőknek. Ugyanakkor a kognitív képességek és metakognitív stratégiák mellett kiemelik a kulturális eszközök (pl. nyelvi, számolási készségek, szimbólumok és reprezentációs formák alkalmazása, technológiai tudás), a környezet (szülők, társak, oktatás, társadalmi és kulturális hatások) és további nemkognitív tényezők (pl. motiváció, érzelmek, személyiség, az egyén episztemológiai meggyőződései) szerepét is.

A gondolkodási képességek és a fogalmi váltás kapcsolata

Számos kutatás (pl. Oliva, 2003) talált kapcsolatot a tanulók alternatív fogalmai és gondolkodási képességei között. Azok a tanulók, akiknek fejlettebb a természettudományos gondolkodásuk, kevesebb alternatív fogalommal rendelkeznek a tudományos ismeretek kapcsán, és könnyebben megváltoztatják azokat. Ez a jelenség magyarázható a Klahr és

Bár a tudományos gondolkodás az intuitív információkeresésben gyökerezik, nem spontán fejlődik. Kialakulását, változását egyéni és kontextuális tényezők egyaránt befolyásolják (Morris és mtsai, 2012). A kognitív képességek szerepét bizonyította például Mayer és munkatársainak (2014) negyedik évfolyamos tanulókkal végzett kutatása, melyben megállapították, hogy az általános kognitív képességek (intelligencia, olvasási képességek) mellett a problémamegoldó gondolkodás és a térbeli képességek is előre jelzik a tudományos gondolkodási feladatokban nyújtott teljesítményt. Morris és munkatársai (2012) a tudományos gondolkodás fejlődésében a kódolást (az információ és annak kontextusának a memóriában történő reprezentálása) és a stratégiák (azok a lépések, amelyek elvezetik a gyereket egy kérdés, probléma kapcsán a kiindulástól a célig) elsajátítását és használatát tekintik kritikus tényezőknek.

Dunbar (1988) által kidolgozott, a tudományos felfedezés mint kettős keresés (*Scientific Discovery as Dual Search*, SDDS) modell alapján, amely a tudományos tevékenységben részt vevő kognitív folyamatok integrált megközelítése. Magában foglalja a területáltalános gondolkodási stratégiákat és a szakterület-specifikus ismereteket, összekapcsolva ezáltal a természettudományos tudás deklaratív és procedurális elemeit, a fogalmi rendszert és a gondolkodási képességeket.

Az SDDS-modell a természettudományos gondolkodást problémamegoldásként tekinti, koncepciója a problémamegoldás kutatásának kognitív pszichológiai hagyományaira, elsősorban a problémátér-elméletre épül. A tudományos ismeretek megszerzése kétféle problématerületen, a hipotézistérben és a kísérleti térben való keresést igényel (erre utal a modell neve), és háromféle kognitív folyamat révén valósul meg: (1) hipotézisalkotás (keresés a hipotézistérben), (2) a hipotézis kísérleti ellenőrzése, tesztelése, majd (3) döntés arról, hogy az összegyűjtött adatok elegendők-e ahhoz, hogy a hipotézist megerősítettnek lehessen tekinteni (bizonyítékok értékelése). A kutatási feladatban az egyén az előzetes ismeretei, intuitív elképzelései alapján alkot hipotéziseket arról, hogy a lehetséges független változók milyen hatást gyakorolhatnak a függő változóra. A lehetséges hipotézisek és kísérletek halmazában keres, kísérleteket végez a hipotézisek vizsgálatára, majd elemzi az általa generált adatokat és eldönti, hogy azok alátámasztják vagy nem támasztják alá a hipotézist, esetleg nem elegendők a döntéshez. A kutatási folyamat többször ismétlődhet, és olyan tényezők befolyásolják, mint például a feladat tartalma, az előzetes tudás mennyisége vagy a feladat észlelt célja. A kutatási feladatokban gyűjtött adatok segíthetnek a tanulónak felülvizsgálni hiedelmeiket, meggyőződéseiket, ez által előidézve, segítve a fogalmi váltás folyamatát.

Az SDDS-modell a tudományos vizsgálódás, felfedezés komplex és ciklikus folyamatait írja le, amelyek a gyerekek és a tudósok gondolkodására egyaránt jellemzők. A gyerekek és a tudósok gondolkodásának elemzése, összehasonlítása azért is lényeges, mivel a pszichológiai kutatások a természettudományos gondolkodás fejlődésében ezt a két végpontot emelik ki. Bár a tudományos gondolkodás alapjai a mindennapi, intuitív gondolkodásban rejlenek, és a gyerekek kíváncsisága, felfedezési vágya hasonlít a tudósokéra, a kétféle gondolkodásmód között jelentős különbségek vannak. Különösen fontos eltérés a metakognitív tudás és metakognitív stratégiák fejlettsége. A saját, meglévő fogalmak felismerése, értékelése, valamint az átstrukturálásukról való döntés metakognitív folyamatok, amelyek megfelelő metakognitív tudást, tudatosságot és kontrollt igényelnek (Gunstone és Mitchell, 2005). A gyerekek gyakran azért nem tudnak túllépni a meglévő meggyőzések helyességének bizonyításán, és azért nem tudják megváltoztatni a meggyőzéseiket, mert nem rendelkeznek azzal a képességgel, hogy reflektáljanak a tudásszerző folyamataikra, kutatási tevékenységeikre, és felismerjék, hogy a meggyőzések, nézeteik egy adott dologról, jelenségről nem feltétlenül biztosak, és a megfelelő bizonyítékok alapján megváltoztathatók (Zimmerman és Klahr, 2018).

A fogalmi váltást elősegítő tanítás

A fogalmi váltás elméleti megközelítései alapján számos fejlesztő kísérlet valósult meg. Jellemzőjük, hogy egy-egy szűkebb tartalmi terület (a tananyagban szereplő téma vagy néhány tudományos fogalom) tanítására fókuszáltak, és az eltérő elméleti háttér ellenére is hasonló oktatási módszereket, eljárásokat (pl. analógiák, metaforák, vizuális modellek alkalmazása; tudománytörténeti példákat, kutatási eredményeket bemutató szövegek feldolgozása; beszélgetés, vita a tanulók naív tudáslemeinek előhívására, újraservezésére, vagy a korábbi hibás elméleteik tudatosítására) alkalmaztak. Bár a fejlesztő kísérletek szinte minden esetben kedvező eredményeket hoztak, a fogalmi

váltás elméleteinek igazolásához további kutatások szükségesek, amelyek nemcsak a beavatkozás előtti és utáni állapotot hasonlítják egymáshoz, hanem a változás részleteit is képesek megmutatni (diSessa, 2014). Nincs tehát egyetlen elfogadott, minden diszciplináris területen alkalmazható oktatási módszer a fogalmi váltás elősegítésére. Sokféle, különböző elméleti háttérből (a naiv tudás elméletszerű vagy különböző darabokból áll; mekkora szerepet tulajdonítanak a gondolkodási képességeknek a tudományos ismeretek elsajátításában; csak a kognitív tényezőket veszik figyelembe a fogalmi váltás feltételeként, vagy a metakognitív stratégiákat és a motivációs és szociális hatásokat is) levezethető megközelítés létezik. Az egyetemes oktatási módszerek alkalmazása ellen szól az is, hogy a fogalmi rendszer változásai nagyrészt területspecifikusak, és jelentős egyéni különbségeket mutathatnak.

Az elméletszerű megközelítés hívei, közöttük Posner és munkatársai (1982) úgy vélték, ahhoz, hogy a tanulók lecseréljék alternatív fogalmaikat, radikálisan megváltoztassák, átstrukturálják naiv elméleteiket, elégedetlennek kell lenniük azokkal, míg az iskolában tanult tudományos megközelítést érthetőnek, plauzibilisnek és az aktuális problémák megoldása szempontjából potenciálisan produktívnak kell találniuk. Az elégedetlenséget a kognitív konfliktus kiváltásával igyekeztek elérni. Például a tanulókat olyan tapasztalatokkal, kutatási eredményekkel szembesítették, amelyeket a meglévő tudásuk alapján nem tudtak megmagyarázni. A fogalmi váltásnak ez a tanítási modellje számos kritikát kapott, de jelentős kiindulópontként is szolgált, további modellek kidolgozását inspirálta (ld. pl. Kural és Kocakulah, 2016 áttekintését). Leginkább a tanulók motivációjának figyelembevételét hiányolták a kutatók. Sok esetben ugyanis a diákok nem tudtak létrehozni értelmes kognitív konfliktust, és nem lettek elégedetlenek a meglévő elképzeléseikkel. Ha létre is jött a kognitív konfliktus, az nem feltétlenül vezetett el a nézeteik, fogalmaik felülbírálatához, mivel hiányzott a hajlandóságuk a fogalmi váltásra, nem voltak kellően motiváltak a tanulásra, a tudományos ismeretek megértésére. A kognitív konfliktus létrehozására alapozó új tanítási modellek ezért a kognitív és az affektív tényezőket egyaránt igyekeztek figyelembe venni. Ilyen például She (2004) multidimenzionális (a fogalmi váltás episztemológiai, ontológiai és motivációs aspektusait is magába foglaló) kettős szituatív tanulás modellje (*Dual Situated Learning Model*, DSLM), amelyben a „kettős” kifejezés a tanulási szituáció két funkciójára utal: kognitív disszonancia keltése a tanulók előzetes tudására alapozva,

Az elméletszerű megközelítés hívei, közöttük Posner és munkatársai (1982) úgy vélték, ahhoz, hogy a tanulók lecseréljék alternatív fogalmaikat, radikálisan megváltoztassák, átstrukturálják naiv elméleteiket, elégedetlennek kell lenniük azokkal, míg az iskolában tanult tudományos megközelítést érthetőnek, plauzibilisnek és az aktuális problémák megoldása szempontjából potenciálisan produktívnak kell találniuk. Az elégedetlenséget a kognitív konfliktus kiváltásával igyekeztek elérni. Például a tanulókat olyan tapasztalatokkal, kutatási eredményekkel szembesítették, amelyeket a meglévő tudásuk alapján nem tudtak megmagyarázni. A fogalmi váltásnak ez a tanítási modellje számos kritikát kapott, de jelentős kiindulópontként is szolgált, további modellek kidolgozását inspirálta (ld. pl. Kural és Kocakulah, 2016 áttekintését).

illetve új mentális készlet biztosítása a tanulók számára, hogy az új fogalmat érthetőnek, hihetőnek és hasznosnak lássák. Kural és Kocakulah (2016) „forró” fogalmi váltást támogató tanítási modellje (*Teaching Model for Hot Conceptual Change*, TMHCC) a motivációs stratégiák mellett metakognitív stratégiák alkalmazását is javasolja a fogalmi váltás tanításának egyes lépéseiben.

A „tudás mint elemek” megközelítést hangsúlyozó kutatók elvetették a Posner és munkatársai (1982) által javasolt, a meglévő, de tudományos szempontból nem elfogadható fogalmak lecserélésére irányuló módszert, mert szerintük a tanulók bonyolult, a tapasztalatok és a meggyőződések által korlátozott konceptuális rendszere nem változtatható meg könnyen, nem ragadható ki és cserélhető le benne elemek, legfeljebb csak korlátozottan, egy adott kontextusban (diSessa, 2014). A tévképzetek cseréjére irányuló eljárások ellentmondanak a tanulás konstruktivista felfogásának, amely a tanulók előzetes, naiv elképzeléseit a tanulás elsődleges forrásának tekinti. A természettudományos oktatásnak ezért inkább a fogalmi rendszer finomítási folyamataira kellene összpontosítani, és lehetővé tenni, hogy a tanulók ugyanazokkal a jelenségekkel különböző kontextusokban találkozzanak, így segítve őket a tudásuk újjászervezésében, a fogalmaik és azok kapcsolatainak újrendezésében (Özdemir és Clark, 2007). Ezt a szemléletet tükrözi például a Linn és munkatársai (2004) által kidolgozott támogatott tudásintegráció (*scaffolded knowledge integration*) oktatási keretrendszer, amely az intuitív elképzelések sokféleségét hangsúlyozza, és a fogalmi fejlődés lényegének az integrációt, a fogalmi rendszer koherenciájának növelését tekinti.

A gondolkodás fogalmi fejlődésben és fogalmi váltásban játszott szerepét vizsgáló kutatások felhívták a figyelmet arra, hogy bár a kíváncsiság, a kérdésfeltevés és a felfedezés kora gyermekkortól spontán is fejlődik, a tudományos gondolkodás és vizsgálódás készségeinek fejlődésében a környezeti hatásoknak és a tudatos tanári munkának fontos szerepe van (Jirout és Zimmerman, 2015). A gyerekekre jellemző megismerési vágy és a kíváncsiság miatt gyakran hasonlítják őket a tudósokhoz („kis tudósok”, akik felfedezik a világot). A tapasztalati és a tudományos megismerés azonban lényegesen különbözik egymástól. Az intuitív információkereséstől hosszú út vezet az érett, tudományos gondolkodáshoz, melynek során elengedhetetlen a tudományos megismerésben szerepet játszó kognitív folyamatok fejlesztése. Ehhez alkalmasak a tanulás aktív formái, a különböző kontextusokban megjelenő problémák, kutatási tevékenységek (Morris és mtsai, 2012; Zimmerman és Klahr, 2018), de ahogyan Lazonder és Harmsen (2016) metaanalízise mutatja, a kutatásalapú tanulás csak megfelelő tanári támogatás mellett tudja elősegíteni a kutatási készségek fejlődését és a tudományos fogalmak hatékony elsajátítását.

Nagy József munkássága számos ponton kapcsolódik a tanulmányban tárgyalt témához, az ismeretsajátításhoz és a tudományos ismeretek tanításához. Kutatásai során ontológiai (mi és milyen a létező világ) és lételméleti (milyen a megismerés) kérdésekkel egyaránt foglalkozott (Nagy, 2000a). A kognitív tudomány eredményeit a pedagógia szemszögéből tárgyalva részletesen leírta a személyiség pszichikus komponenseit, a kompetenciákat és azok ismeret- és képességjellegű, valamint motivációs komponenseit. A kognitív kompetencia összetevői között foglalkozott a fogalmak ontogenezisével (létrejöttével, fejlődésével az egyes embereknél), a fogalomtanítással, valamint a tananyagban szereplő tudományos fogalmak oktatásra való előkészítésének tudástechnológiai kérdéseivel (Nagy, 1985). Kidolgozta az ismeretek megszerzésében és szervezésében, működtetésében szerepet játszó komplex kognitív képességek (gondolkodás, kommunikáció, tanulás, tudásszerzés) és kognitív motívumok rendszerét (Nagy, 2000b). Elindította a gondolkodási képességek (pl. rendszerezési, logikai, kombinatív) művelési rendszerének feltárását és fejlődésének empirikus vizsgálatát (Nagy, 1990). Az iskolai tanulás sikeressége szempontjából döntő jelentőségű, kritikus alapképességek közé sorolta a DIFER programcsomagban is szereplő tapasztalati következtést (a deduktív

következtetés alapvető sémáinak használatát) és a tapasztalati összefüggés-megértést (az elemi összefüggésszfajták megértését) (Nagy és mtsai, 2004).

A fogalmi fejlődésre és fogalmi váltásra vonatkozó kutatásokat elsősorban a tapasztalati (az aktuális konkrét dolgot, állapotot, viszonyt, folyamatot leképező) és az értelmező (a szabályszerűségeket leképező, prediktív) ismeret, azaz a fogalom és a szabály megkülönböztetéséhez tartotta fontosnak, továbbá annak megértéséhez, hogy a tanulás évekig tartó és segíthető fejlődési folyamat (Nagy, 2010). Ez utóbbi megállapítás érzékeltetésére a fogalmi fejlődés kutatásában is gyakran hivatkozott megközelítést, Karmiloff-Smith (1992) reprezentatív újrírás elméletét vette alapul. Eszerint az ember kognitív fejlődésének sajátossága, hogy a korai életkorban létrehozott reprezentációk a metakognitív folyamatok megjelenésével a gondolkodás tárgyává válnak, és ezáltal új formátumba íródnak át. Nagy József (2010) rendszerében a megismerés belső mentális állapotait fejlődési hierarchia jellemzi, amelyben az öröklött genetikus szintet a tapasztalati, az értelmező és az önértelmező követi.

Összegzés

A gyerekek világról való ismereteiben a tévképzetek vagy más megközelítésekben a naiv, alternatív fogalmak előfordulása természetes jelenség. A tudományos ismeretek megértéséhez azonban gyakran van szükség fogalmi váltásra, az előzetes tudás átrendeződésére, ami hosszú és bonyolult folyamat. Míg sokáig a fogalmi váltás tartalmi vonatkozásait és kognitív folyamatait vizsgálták a kutatók, az utóbbi két-három évtizedben egyre több bizonyíték jelzi a természettudományos gondolkodás elemeinek, a gondolkodási képességeknek, metakognitív stratégiáknak és kutatási készségeknek a szerepét a természettudományok tanulásában. A fogalmi váltást elősegítő tanítási módszerek a tanulók aktív részvételére építenek a saját tudásuk formálásában. Arra készítik őket, hogy tudatosítsák elképzeléseiket, teszteljék hipotéziseiket és reflektáljanak az általuk gyűjtött bizonyítékokra. Mindezek azonban csak akkor lehetnek eredményesek, ha a tanulási motiváció támogatása is kellő figyelmet kap. Fontos, hogy lássák a diákok az erőfeszítéseik értelmét, érdekeltek és partnerek legyenek a világról való tudásuk alakításában.

Irodalom

- Adey, P. & Csapó, B. (2012). A természettudományos gondolkodás fejlesztése és értékelése. In Csapó, B. & Szabó, G. (szerk.), *Tartalmi keretek a természettudomány diagnosztikus értékeléséhez*. Nemzeti Tankönyvkiadó. 17–58.
- Calik, M. & Ayas, A. (2005). A comparison of level of understanding of eighth-grade students and science student teachers related to selected chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 638–667. DOI: 10.1002/tea.20076
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. MIT Press.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In Carey, S. & Gelman, R. (szerk.), *The epigenesis of mind*. Lawrence Erlbaum Associates. 257–291. DOI: 10.4324/9781315807805
- Carey, S. (1999). Sources of conceptual change. In Scholnick, E. K., Nelson, K. & Miller, P. (szerk.), *Conceptual development: Piaget's legacy*. Lawrence Erlbaum Associates. 293–326.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change in and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In Giere, R. (szerk.), *Cognitive models of science*. University of Minnesota Press. 129–160.
- Chi, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *The Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161–199. DOI: 10.1207/s15327809jls1402_1
- Clark, D. B. (2006). Longitudinal conceptual change in students' understanding of thermal equilibrium: An examination of the process of conceptual restructuring. *Cognition and Instruction*, 24(4), 467–563. DOI: 10.1207/s1532690xci2404_3

- Confrey, J. (1990). A Review of the research on student conceptions in mathematics, Science and programming. *Review of Research in Education*, 16, 3–56. DOI: 10.3102/0091732X016001003
- diSessa, A. A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. In Gentner, D. & Stevens, A. (szerk.), *Mental models*. Lawrence Erlbaum Associates. 15–33. DOI: 10.4324/9781315802725-6
- diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2 & 3), 105–225. DOI: 10.1080/07370008.1985.9649008
- diSessa, A. A. (2014). A history of conceptual change research: Threads and fault lines. In Sawyer, K. (szerk.), *Cambridge handbook of the learning sciences*. Cambridge University Press. 88–108. DOI: 10.1017/CBO9781139519526.007
- diSessa, A. A., Sherin, B. & Levin, M. (2016). Knowledge analysis: An introduction. In diSessa, A., Levin, M. & Brown, N. (szerk.), *Knowledge and interaction: A synthetic agenda for the learning sciences*. Routledge. 30–71.
- Dunbar, K. & Fugelsang, J. (2005). Scientific thinking and reasoning. In Holyoak, K. J. & Morrison, R. G. (szerk.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning*. University of California. 705–725.
- Dunbar, K. N. & Klahr, D. (2012). Scientific thinking and reasoning. In Holyoak, K. J. & Morrison, R. G. (szerk.), *The Oxford handbook of thinking and reasoning*. Oxford Handbooks Online. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199734689.013.0035
- Eshach, H. & Fried, M. N. (2005). Should science be taught in early childhood? *Journal of Science Education and Technology*, 14(3), 315–336. DOI: 10.1007/s10956-005-7198-9
- Gunstone, R. F. & Mitchell, I. J. (2005). Metacognition and conceptual change. In Mintzes, J. J. J., Wandersee, H. & Novak, J. D. (szerk.), *Educational psychology, Teaching science for understanding*. Academic Press. 133–163. DOI: 10.1016/B978-012498360-1/50006-4
- Hatano, G. & Inagaki, K. (2002). *Young children's naive thinking about the biological world*. Psychology Press. DOI: 10.4324/9780203759844
- Inagaki, K. & Hatano, G. (2006). Young children's conception of the biological world. *Current Directions in Psychological Science*, 15(4), 177–181. DOI: 10.1111/j.1467-8721.2006.00431.x
- Inhelder, B. & Piaget, J. (1967). *A gyermek logikájától az ifjú logikájáig*. Akadémiai Kiadó.
- Jirout, J. & Zimmerman, C. (2015). Development of science process skills in the early childhood years. In Trundle, K. C. & Sackes, M. (szerk.), *Research in early childhood science education*. Springer. 143–165. DOI: 10.1007/978-94-017-9505-0_7
- Jones, S. H., Johnson, M. L. & Campbell, B. D. (2015). Hot factors for a cold topic: Examining the role of task-value, attention allocation, and engagement on conceptual change. *Contemporary Educational Psychology*, 42, 62–70. DOI: 10.1016/j.cedpsych.2015.04.004
- Kádár, A. & Farsang, A. (2019). Általános iskolai és középiskolás diákok lemeztectonikai tévképzetei egy kvalitatív, keresztmetszeti vizsgálat tükrében. *Magyar Pedagógia*, 119(1), 19–52. DOI: 10.17670/MPed.2019.1.19
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity. A developmental perspective on cognitive Science*. MIT Press.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual search space during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1–48. DOI: 10.1207/s15516709cog1201_1
- Köksal, Ö., Sodian, B. & Legare, C. H. (2021). Young children's metacognitive awareness of confounded evidence. *Journal of Experimental Child Psychology*, 205(May), 105080. DOI: 10.1016/j.jecp.2020.105080
- Köksal-Tuncer, Ö. & Sodian, B. (2018). The development of scientific reasoning: Hypothesis testing and argumentation from evidence in young children. *Cognitive Development*, 48, 135–145. DOI: 10.1016/j.cogdev.2018.06.011
- Korom, E. (1997). Naiv elméletek és tévképzetek a természettudományos fogalmak tanulásakor. *Magyar Pedagógia*, 97(1), 9–40.
- Korom, E. (2002). Az iskolai tudás és a hétköznapi tapasztalat ellentmondásai: természettudományos tévképzetek. In Csapó, B. (szerk.), *Az iskolai tudás*. Osiris Kiadó. 149–176.
- Korom, E. (2005). *Fogalmi fejlődés és fogalmi váltás*. Műszaki Kiadó.
- Kuhn, T. (1962). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press.
- Kuhn, D. (2011). What is scientific thinking and how does it develop? In Goswami, U. (szerk.), *Handbook of childhood cognitive development*. Wiley-Blackwell. 497–523. DOI: 10.1002/9781444325485.ch19
- Kuhn, D., Amsel, E. & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. Academic Press.
- Kural, M. & Kocakulah, M. S. (2016). Teaching for hot conceptual change: Towards a new model, beyond the cold and warm ones. *European Journal of Education Studies*, 2(8), 1–40. DOI: 10.5281/zenodo.163535
- Kwon, Y.-J. & Lawson, A. E. (2000). Linking brain growth with the development of scientific reasoning ability and conceptual change during adolescence. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(1), 44–62. DOI: 10.1002/(sici)1098-2736(200001)37:1<44::aid-tea4>3.0.co;2-j
- Lazonder, A. W. & Harmsen, R. (2016). Meta-analysis of inquiry-based learning: Effects of guidance.

- Review of educational research*, 86(3), 681–718. DOI: 10.3102/0034654315627366
- Linn, M. C. & Songer, N. B. (1991). Cognitive and conceptual change in adolescence. *American Journal of Education*, 99(4), 379–417. DOI: 10.1086/443991
- Linn, M. C., Davis, E. A. & Eylon, B.-S. (2004). The scaffolded knowledge integration framework for instruction. In Linn, M. C., Davis, E. A. & Bell, P. (szerk.), *Internet environments for science education*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers. 47–72. DOI: 10.4324/9781410610393-10
- Mason, L. (2007). Introduction: Bridging the cognitive and sociocultural approaches to research on conceptual change: Is it feasible? *Educational Psychologist*, 42(1), 1–7. DOI: 10.1080/00461520709336914
- Mayer, D., Sodian, B., Koerber, S. & Schwippert, K. (2014). Scientific reasoning in elementary school children: Assessment and relations with cognitive abilities. *Learning and Instruction*, 29, 43–55. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2013.07.005
- McCloskey, M. (1983). Naïve theories of motion. In Gentner, D. & Stevens, A. L. (szerk.), *Mental models*. Lawrence Erlbaum Associates. 299–324.
- Morris, B. J., Croker, S., Masnick, A. M. & Zimmerman, C. (2012). The emergence of scientific reasoning. In Kloos, H., Morris, B. J. & Amaral, J. (szerk.), *Current topics in children's learning and cognition*. InTech. 61–82. DOI: 10.5772/53885
- Murphy, P. K. & Alexander, P. A. (2008). The role of knowledge, beliefs, and interest in the conceptual change process: A synthesis and meta-analysis of the research. In Vosniadou, S. (szerk.), *International handbook of research on conceptual change*. Routledge. 583–616.
- Nagy, J. (1985). *A tudástechnológia elméleti alapjai*. OOK.
- Nagy, J. (1987/1990). *A rendszerezési képesség kialakulása. A gondolkodási műveletek elsajátítása*. Akadémiai Kiadó.
- Nagy, J. (2000a). Összefüggés-megértés. *Magyar Pedagógia*, 100(2), 14–185.
- Nagy, J. (2000b). *XXI. század és nevelés*. Osiris Kiadó.
- Nagy, J., Józsa, K., Vidákovich, T. & Fazekasné Fenyvesi, M. (2004). *Az elemi alapkészségek fejlődése 4–8 éves életkorban*. Mozaik Kiadó.
- Nagy, J. (2010). *Új pedagógiai kultúra*. Mozaik Kiadó.
- National Research Council (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. The National Academies Press. DOI: 10.17226/18290
- National Research Council (1997). *Science teaching reconsidered: A handbook*. The National Academies Press.
- Neidorf, T., Arora, A., Erberber, E., Tsokodayi, Y. & Mai, T. (2020). *Student misconceptions and errors in physics and mathematics. Exploring data from TIMSS and TIMSS Advanced*. IEA Research for Education 9. Springer. DOI: 10.1007/978-3-030-30188-0
- Oliva, J. M. (2003). The structural coherence of students' conceptions in mechanics and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 25(5), 539–561. DOI: 10.1080/09500690210163242
- Özdemir, G. & Clark, D. B. (2007). An overview of conceptual change theories. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(4), 351–361. DOI: 10.12973/ejmste/75414
- Pfundt, H. & Duit, R. (1988). Bibliography: Students' alternative frameworks and science education. IPN.
- Piaget, J. (1970). *Válogatott tanulmányok*. Gondolat Kiadó.
- Piekny, J. & Maehler, C. (2013). Scientific reasoning in early and middle childhood: The development of domain-general evidence evaluation, experimentation, and hypothesis generation skills. *British Journal of Developmental Psychology*, 31, 153–179. DOI: 10.1111/j.2044-835x.2012.02082.x
- Pintrich, P. R., Marx, R. W. & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167–200. DOI: 10.3102/00346543063002167
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227. DOI: 10.1002/sce.3730660207
- Ruhf, R. J. (2003). *A general overview of conceptual change research*. https://www.x98ruh.net/conceptual_change.pdf Utolsó letöltés: 2020. 08. 03.
- She, H. C. (2004). Fostering radical conceptual change through dual-situated learning model. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(2), 142–164. DOI: 10.1002/tea.10130
- Sinatra, G. & Pintrich, P. R. (2003, szerk.). *Intentional conceptual change*. Erlbaum. DOI: 10.4324/9781410606716
- Smith, C. (2007). Bootstrapping processes in the development of students' commonsense matter theories: Using analogical mappings, thought experiments, and learning to measure to promote conceptual restructuring. *Cognition and Instruction*, 25(4), 337–398. DOI: 10.1080/07370000701632363
- Tóth, Z. (2000). „Bermuda-háromszögek” a kémiában. *Iskolakultúra*, 10(10), 71–76.
- Tóth Z. (2013). Janus-arcú axiómáink: a p-primek. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 40(4), 297–304.

- Toulmin, S. (1972). *Human understanding*. Clarendon Press.
- Van der Graaf, J. (2020). Inquiry-based learning and conceptual change in balance beam understanding. *Frontiers in Psychology, 11*, 1621. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.01621
- Van der Graaf, J., Segers, E. & Verhoeven, L. (2015). Scientific reasoning abilities in kindergarten: dynamic assessment of the control of variables strategy. *Instructional Science: An international journal of the learning sciences, 43*(3), 381–400. DOI: 10.1007/s11251-015-9344-y
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction, 4*, 45–69. DOI: 10.1016/0959-4752(94)90018-3
- Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth. A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology, 24*, 535–585. DOI: 10.1016/0010-0285(92)90018-W
- Vosniadou, S., Skopeliti, I. & Ikospentaki, K. (2004). Modes of knowing and ways of reasoning in elementary astronomy. *Cognitive Development, 19*, 203–222. DOI: 10.1016/j.cogdev.2003.12.002
- Wenning, C. J. (2007). Assessing inquiry skills as a component of scientific literacy. *Journal of Physics Teacher Education, Online, 4*(2), 21–24.
- Wiser, M. (1997). Use of history of science to understand and remedy students' misconceptions about heat and temperature. In Perkins, D. N., Schwartz, J. L., West, M. M. & Wiske, M. S. (szerk.), *Software goes to school*. Oxford University Press. 23–38. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780195115772.003.0002
- Zimmerman, C. (2000). The development of scientific reasoning skills. *Developmental Review, 20*, 99–149. DOI: 10.1006/drev.1999.0497
- Zimmerman, C. (2005). *The development of scientific reasoning skills: What psychologists contribute to an understanding of elementary science learning*. Final draft of a report to the National Research Council Committee on science learning kindergarten through eight grade. https://www.researchgate.net/publication/253485694_The_Development_of_Scientific_Reasoning_Skills_What_Psychologists_Contribute_to_an_Understanding_of_Elementary_Science_Learning Utolsó letöltés: 2022. 09. 13.
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review, 27*(2), 172–223. DOI: 10.1016/j.dr.2006.12.001
- Zimmerman, C. & Klahr, D. (2018). Development of scientific thinking. In Wixted, J. T. (szerk.), *Stevens' handbook of experimental psychology and cognitive neuroscience*. Wiley & Sons, Inc. 223–248. DOI: 10.1002/9781119170174.epcn407

Absztrakt

A világról való tudás elsajátítása, a tudományos ismeretek tanulása régóta foglalkoztatja a kutatókat. Ahogyan a „tudomány” kifejezés egyszerre jelenti a tudományos tudást és a megszerzéséhez vezető módszereket, eljárásokat, úgy a gyerekek tudományos ismereteinek fejlődését vizsgáló kutatásokban is kétféle irány különíthető el. Egy részük a „termékre”, az egyénnek a tudományos fogalmakkal kapcsolatos tudására, azaz a területspecifikus ismeretekre fókuszál, más részük azokra a folyamatokra, tevékenységekre, területáltalános stratégiákra, amelyek elősegítik ennek az ismeretrendszernek a formálódását (Zimmermann, 2005). A területspecifikus megközelítés a fogalmi fejlődésre és a fogalmi váltásra vonatkozó kutatásokat, míg a másik irányzat a területáltalános gondolkodási készségek szerepének feltárását foglalja magában. A tanulmány e két kutatási terület legfontosabb eredményeinek bemutatása mellett rámutat a kapcsolódási pontokra, és megfogalmaz néhány fontos következtetést az oktatási gyakorlat számára.

Kulcsszavak: természettudományos nevelés, tévképzetek, fogalmi fejlődés, fogalmi váltás, természettudományos gondolkodás, kutatási készségek