

Természettudományos nevelés: híd a tudomány és a nevelés között

A természettudomány hagyományos tanítását a világ legtöbb országában különböző problémák terhelik. E tanulmányban bemutatom azokat a folyamatokat, a tudományos kutatás és az oktatás terén, valamint a társadalomban végbement változásokat, amelyek a válságtünetek kialakulásához vezettek. Felvázolva az ezekre a kihívásokra adott válaszokat, a természettudományos nevelés fontosabb újszerű területeit, annak lehetőségeit keresem, miképpen lehetne a nemzetközi eredményeket és tapasztalatokat a mi sajátos problémáink megoldásában hasznosítani.

A tudományos kutatás által felhalmozott tudás növekedése és a gyerekek lényegében változatlan tanulási képessége közötti ellentmondás felismerése és elemzése nem újkeletű. Csaknem egy évszázaddal ezelőtt nagy hatású könyvének bevezető sorai-ban *John Dewey* a következőképpen jellemezte az ellentmondás két oldalát: „Iskoláink a tudományterületek megtöbbszöröződésének problémájával küzdenek, ugyanakkor minden egyes tudománynak megsokszorozódnak a maga elméletei és ismeretei. Tanáraink feladatát megnehezíti az a tény, hogy egyedi tanulókkal kell foglalkozniuk, nem pedig egy tömeggel.” (1)

Az elmúlt században végbement fejlődés az ellentmondást nemcsak elmélyítette, hanem bonyolultabbá is tette: a tudományos kutatás és az oktatás közötti ellentmondás „sokdimenzióssá” vált. Paradox módon a tudomány fejlődése szinte felszámolta a tudás hagyományos módon való közvetítésének lehetőségét. Egyrészt az oktatás képtelen a tudás gyarapodásának ütemével lépést tartani, másrészt az új tudás specializáltsága és komplexitása miatt az eredmények közvetlenül csak a szakértők szűkebb köre számára hozzáférhetőek, és csak sokszoros transzformáció és átértelmezés révén válhatnak tananyaggá. A tudományos fejlődés ugyanakkor egyben sok területen felszámolta a tudás hagyományos értelemben vett szükségességét is. Azokat a kifinomult ipari termékeket, amelyek létrejöttét a tudomány eredményei tették lehetővé, egyre kevesebb tudással használjuk, és segítségükkel hatékonyan oldhatunk meg olyan feladatokat, amelyekkel korábban csak alapos tudományos felkészültség birtokában próbálkozhattunk volna.

Ez a fejlődés a világ legtöbb oktatási rendszerében a természettudományok tanításának váltságát idézte elő. A válság tünetei az egyes országok gazdasági fejlettségétől, oktatási hagyományaitól függően különböző időszakokban váltak érzékelhetővé és sokféle formában jelentkeztek. E válság-jelenségekre adott válasz azonban az ezredvég globalizálódó világában már nagyjából hasonló: a fejlett ipari országok, vagy pontosabban fogalmazva a poszt-indusztriális társadalmak oktatási rendszerei a természettudományi tudás közvetítésére új keretet alakítottak ki, amelyre magyarul legjobban talán a „természettudományos nevelés” kifejezés illik.

Az eredeti angol terminus, a „science education” azonban ma már sokkal többet jelent, mint a tudományos tudás közvetítése. Egyrészt jelenti azt a komplex pedagógiai praxist, a tanulók tágabb értelemben vett személyiségfejlesztését, amely az értékek közvetítésétől a világszemlélet formálásán, a képességek és készségek fejlesztésén keresztül az ismeretek közvetítéséig sok mindent magában foglal. Ez a gyakorlat nem egyszerűen az egyes

tudományágak, ismeretkörök tanításának összessége, hanem egészen más céloknak megfelelő tevékenység. Másrészt jelenti mindennek a szakmai ismeretrendszerét, tanári kompetenciáit, szak-pedagógiáját. Végül ez a szókapcsolat egyben egy új tudományos diszciplína, egy kutatási terület megnevezéséül is szolgál. A természettudományos nevelés mint tudományág rendelkezik a „nagy tudomány” összes attribútumával: markáns kutatási profillal, egyetemekhez kapcsolódó kutatócsoportokkal, tudományos szervezetekkel, folyóiratokkal és rendszeresen megtartott konferenciákkal.

Mélyülő szakadék a tudomány és az oktatás között

A tudományra egyre jobban jellemző specializálódás megbontotta a kutatás és oktatás egységét: mind a kutatás, mind pedig az oktatás saját törvényei szerint működő önálló „nagyiparrá” nőtte ki magát. Miközben a tudományos kutatással hivatásszerűen foglalkozók száma egyre nőtt, azok aránya, akik közülük egyben az eredmények tanításával, átadásával is foglalkoztak, szükségszerűen csökkent. Ezáltal egyben csökkent a szélesebb körű oktatathatóság kényszerével átgondolt, szintetizált tudás aránya is. A közoktatás, beleértve az akkor még csak a népesség kisebb része számára hozzáférhető középiskolát is, egészen a második világháborúig alig közvetített olyan természettudományos ismereteket, amelyek túlmentek volna a közvetlen környezet jelenségeinek tudományos magyarázatán, a meg tapasztalható világ egyszerű eszközökkel való tanulmányozásán. A vegytan, az élettan és a többi természettudományos tárgy csupa olyan kérdéssel foglalkozott, amely a környező világ tudományos igényű megértését segítette. A hatvanas-hetvenes években viszont szinte már mindenütt jelentőssé vált a „modern tudomány” aránya az iskolai tananyagokban. A kelet-európai országokban a túlfeszített iparosítás és a tudományos-műszaki kutatásnak abban játszott szerepe, Amerikában a „szputnyik-sokk” segítette a természettudomány-tantervek huszadik századi eredményekkel való feltöltését. A tananyag ily módon történő „korszerűsítését”, kiválasztását és elrendezését a tudományterületek szakértői felügyelték. Ezt a fajta tanagszervezést az egyszerűség kedvéért nevezzük diszciplináris szemléletűnek. Jellemző módon a tudomány értékeit és logikáját követi, melyek néhány jellegzetes vonását az 1. táblázat bal oldalán soroltam fel.

Természettudomány	Nevelés
A diszciplína szempontjából lényeges tudás közvetítése.	Fejlődés-lélektani megfelelőség.
A legújabb eredmények elhelyezése a tantervben.	Az érdeklődés és a motiváció fejlesztése.
A rész-diszciplínák sajátos, egyedi értékeinek megjelenítése.	A megismerés és gondolkodás készségeinek és képességeinek fejlesztése.
Szakmai koherencia, szaktudományi pontosság.	A tudás és a környezet kapcsolatának megteremtése.
Diszciplináris megértés.	Új, hétköznapi helyzetekben való alkalmazás képessége.
A szakterületen belüli alkalmazás.	Jelentés-gazdag, személyes megértés.
Alacsony szintű, közeli transzfer.	Személyesen megkonstruált tudás.
A tudomány álláspontjának megfelelő tudás.	Magas szintű, távoli transzfer.
	Átfogó szemléletmód, világkép kialakítása.
	Társadalmilag releváns tudás.

1. táblázat

A tudomány és az oktatás szempontjainak összehasonlítása

A diszciplináris szemléletű tanagszervezés az adott tudományág „közvetítését” tekinti fő céljának. Vonatkoztatási rendszere a megfelelő szaktudomány. A tantárgy tanítása e szemléletmód szerint annál eredményesebb, minél többet elsajátítanak a tanulók az adott tudományág értékeiből, szemléletmódjából, ismereteiből, feladat-megoldási stratégiáiból. Kor-

szerűségének megítélése attól függ, mennyire képes a tudomány legújabb eredményeinek közvetítésére. A tananyag kiválasztásának és elrendezésének logikáját lényegében az határozza meg, hogy az alsóbb évfolyamok előkészítsék a későbbi, és végső soron az adott területen végzendő felsőfokú tanulmányokat. A tananyagnak belsőleg kell konzisztensnek, összefüggőnek, megérthetőnek lennie, és nem szükséges, hogy külső szempontokra, igényekre tekintettel legyen. Nem elvárás a tudás tantárgyon túlmutató alkalmazhatósága. A megértést, a kompetenciát, a teljesítményt, az alkalmazást egyaránt a szaktárgyi kereteken belül lehet értelmezni. A fizikában megtanult elveket és törvényeket például akkor tudja a tanuló alkalmazni, ha képes a fizikában megszokott szakszerűséggel kitűzött feladatokat megoldani. Ez a fajta tananyagszervezés és tanítás – természetéből következően – nagyon hatékony lehet a tudományos pályákra való felkészítésben. A hetvenes-nyolcvanas években azok az országok, amelyekben a természettudományok tanítása ezeket az alapelveket követte, kiemelkedő eredményeket értek el a különböző nemzetközi összehasonlító vizsgálatokban. A diszciplináris megközelítés jól működik, ha elegendő idő áll rendelkezésre a tananyag részletes feldolgozására, ha a tanulók eleve érdeklődők, vagy ha érdekeik, esetleg külső kényszerítő körülmények miatt törekednek a magas szintű elsajátításra, és a tanulók értékelése, az eredményesség végső megítélése is a diszciplináris értékrenden alapul.

A nevelés szempontjai egészen más megközelítést igényelnek. Ennek fontosabb vonásai az *1. táblázat* jobb oldali oszlopában találhatóak. A tanulók személyiségének optimális fejlesztése (pszichológiai, fejlődés-lélektani szempontok), a társadalomba való integrálódáshoz szükséges műveltség és képzettség kialakítása határozza meg a tananyagot és a tanítás módszereit. A társadalmi igény meghatározása, felmérése lehet szakszerűtlen, idealizált, esetleg ideológiákból levezetett. (Ez utóbbi jellemezte hosszú időn keresztül a magyar oktatási rendszert is, ami egyébként a tudományos képzés tekintetében jótékony hatással volt a tanulók teljesítményeire.) A demokratikus társadalmi berendezkedésű, fejlett oktatási kultúrájú országokban azonban a szakszerű elemzések, konkrét vizsgálatok és a tudással szembeni „kereslet” erőteljesebben befolyásolják a képzés tartalmait. A nevelés prioritásait szem előtt tartva az érdeklődés, a motiváció, a gondolkodás, a megismerés képességeinek fejlesztése, a világszemlélet formálása az elsőrendű cél. A tanítás tartalma közömbös, és ezeknek a céloknak alárendelhető. Ez a fajta alárendelés több országban meg is valósult, ami a tanulók személyiségének fejlesztésében vezetett bizonyos eredményekhez, de egyben az oktatás súlyos gondjaihoz, a természettudományi képzés csaknem teljes széteséséhez vezetett. A nyolcvanas években például az Egyesült Államok számos oktatási programja küzdött ezzel a problémával.

A természettudományok oktatásának kétféle megközelítése között természetszerűleg kialakult ellentmondást több szerencsétlen körülmény tovább élezte. Ezek közé tartozik például a humán–reál szemlélet szembeállítás, valamint a „kemény” természettudomány és a „lágy” pedagógia különbözőségeiből származó meg nem értés. Magyarországon – akárcsak a többi kelet-európai országban – az ellentétek további dimenziója nyílt meg az ideológiamentes, nyugati tudományossággal lépést tartó természettudományok értékrendje és az egyes területeken ideológiai befolyástól nem mentes pedagógia, pszichológia között. Abban a kontextusban a természettudományos értékrend dominanciája pozitív hatással volt a természettudományok tanítására. A pedagógiai–pszichológiai eredmények negligálása azonban átterjedt azokra a területekre is, amelyeken a pedagógiai kutatás lépést tartott a nemzetközi élvonallal és érdemi mondanivalója volt a természettudományok tanítása számára, továbbá áthúzódott arra az időszakra is, amikor a neveléstudományok fejlődését már nem akadályozták ideológiai korlátok.

A természettudományi tantárgyak hagyományos tanításának létjogosultságát megkérdőjelezte a természettudományos tudással szembeni igény megváltozása is. Az első ipari forradalom ugrásszerűen megnövelte az iparban foglalkoztatott, képzett munkaerő iránti igényt, és a képzettség többnyire a természettudományok, a műszaki–mérnöki tudomá-

nyok különböző szintű ismeretét jelentette. A termelés közvetlen résztvevőitől és irányítótól a technikusokon, a mérnökökön keresztül a kutatás-fejlesztésben foglalkoztatottakig szakmája gyakorlása vagy az arra való felkészülés során mindenki közvetlenül profitált az iskolai természettudományos oktatásból. A második ipari forradalom éppen ellenkező háttérrel járt: a termelést annyira hatékonytá tette, hogy fokozatosan csökken az abban közvetlenül vagy közvetve résztvevők száma. Az ipari termeléshez kapcsolódó munkahelyek viszont az elvárt képzettség szempontjából rendkívül differenciálódtak, polarizálódtak. Egyik oldalon vannak a kutató–fejlesztő, tervező szakemberek a maguk rendkívül ma-

Magyarországon – akárcsak a többi kelet-európai országban – az ellentétek további dimenziója nyílt meg az ideológiamentes, nyugati tudományossággal lépést tartó természettudományok értékrendje és az egyes területeken ideológiai befolyástól nem mentes pedagógia, pszichológia között.

Abban a kontextusban a természettudományos értékrend dominanciája pozitív hatással volt a természettudományok tanítására. A pedagógiai-pszichológiai eredmények negligálása azonban átterjedt azokra a területekre is, amelyeken a pedagógiai kutatás lépést tartott a nemzetközi élvonallal és érdemi mondanivalója volt a természettudományok tanítása számára, továbbá áthúzódott arra az időszakra is, amikor a neveléstudományok fejlődését már nem akadályozták ideológiai korlátok.

gas, specializált képzettségével. A másikon a lehető legnagyobb mértékben automatizált, rész munkafolyamatokra lebontott, képzettséget alig igénylő termelés résztvevői, akikkel szemben a legfontosabb elvárás a monotónia-tűrési képessége. Közben az ipari és a mezőgazdasági termelésben foglalkoztatottak aránya tíz százalék alá csökken, megnövekszik a harmadik szférában, a szolgáltatásban dolgozók száma. Olyan munkakörök alakulnak ki, amelyekhez egyre inkább a társadalmi, gazdasági folyamatok átlátása, a kommunikáció, a személyes kapcsolatok kezelésének képessége szükséges. A korábban csak elméleti kutatók szűk körét foglalkoztató társadalomtudományok lépnek át a gyakorlati felhasználhatóság szférájába. Az általuk közvetített tudás tömegek számára válik a munka világában hasznosítható szakképzettséggé. Ez a tendencia felveti az iskolai tantervekben az egyes tantárgyakra, tudományterületekre jutó arányok újraértékelését.

Általában is érvényes a modern társadalmak különböző rendszereire (a franchise rendszerben működő gyorsétterem-láncoktól a számítógépes irodai programcsomagokig), hogy azokat egy szűk, de rendkívül magasan képzett, kreatív elit tervezi úgy, hogy minimális képzettséggel rendelkező

tömegek legyenek képesek működtetni. Nagyjából hasonló eredményekkel jár a technikai fejlődés is. Az általánosabb érvényű természettudományos, technikai, műszaki tudás szükségességét egyre inkább kiváltja a speciális, helyzethez kapcsolódó konkrét ismeret. Például amíg korábban egy autó fenntartása, működtetése igényelt némi technikai tudást, egy mai autónál már a legegyszerűbb hibák elhárítása is szakembert igényel, a vezetésbeli ügyességet pedig különböző automatikák helyettesítik. Néhány évtizeddel ezelőtt az igényes fotózás még alapos kémiai és fizikai tudást feltételezett; távolságot, fényerőt, expozíciós időt kellett állítani, miközben a mélységélesség összefüggéseiről is érdemes volt gondolkodni. Ma a legtöbb fotós, miközben elkészíti a felvételt (becslések szerint a világon naponta 41 milliót), mindössze annyit tud a folyamatról, hogy a gépen melyik gombot kell megnyomni. A tömeghasználatra szánt eszközöket eleve a „technikai analfabéták” által működtethető módon tervezik. Az az érvelés, amely szerint egy technológiailag fejlett társa-

dalomban való mindennapi létezéshez magas szintű tudományos ismeretekre van szükség, nem bizonyult érvényesnek.

Végül az utóbbi évtizedben nem kedvezett a természettudományok tanításának a „korszellem” sem. Felerősödtek a tudomány eredményeinek gondatlan felhasználásáért, a néha valóban katasztrofális következményekért magukat a tudósokat, a tudományt felelősé tevő nézetek. A fejlett technika világát idegennek érzők szorongása, a misztikus utáni vágy elsősorban a társadalom kevésbé képzett rétegeiben erősítette a tudományellenességet, a posztmodern elbizonytalanodás, a tudományos gondolkodás szigorú fegyelme, értékrendje, és a posztmodern érték-pluralizmus, érték-relativizmus szembekerülése pedig intellektuális kihívást jelentett a természettudományok „magabiztosságával” szemben.

A természettudomány hagyományos oktatására is érvényes, sőt talán fokozottan érvényes az, amit *Neil Postman* a „The End of Education” című könyvében az iskolai oktatásról általában írt: „... egy önmagán túlmutató, tiszteletre méltó cél nélkül az iskoláztatásnak véget kell érnie...” (2) Ahhoz, hogy a természettudománynak az iskolai nevelésben és oktatásban betöltött szerepe tisztázódjék, rangja visszaálljon, megfelelő súlyt képviseljen, „küldetésének” újraértelmezésére van szükség. A természettudományos nevelés története lényegében megegyezik ezzel az újraértelmezési folyamattal.

A probléma újradefiniálása: a természettudományos nevelés

A természettudományos nevelés kifejezés (főleg angol megfelelője, a „science education”) használatos egy szűkebb és egy tágabb értelemben is. Tágabb értelmezése magában foglalja a természettudományok tanításával kapcsolatos összes problémát, beleértve a szaktárgyak tanításának részletkérdéseit, és a tudományos pályára való felkészítés módszereit is. Van azonban egy szűkebb értelmezése, amikor a „nevelés” kap hangsúlyt, utalva arra, hogy a szóban forgó kérdések túlmutatnak valamely konkrét tantárgy tanításának specifikus problémáin. Ez a szűkebb értelmű szóhasználat (amely egyébként a nevelés szélesebb kontextusát jelzi) az utóbbi évtizedekben egyre hangsúlyosabbá válik. (3)

A természettudományos nevelés mint kutatási terület magában foglalja az egyes diszciplínák tanításának kérdéseit is, azonban alapvetően sokkal tágabb kérdésekkel foglalkozik: a tanítás problémáit a nevelés társadalmi kontextusában helyezi el. Jellemző rá a két kultúra egyesítése. Többnyire olyan kutatók művelik, akik mindkét területen képzettek: rendelkeznek a megfelelő tudományos háttérrel és járatosak a pedagógiai-pszichológiai, vagy a tágabb társadalomtudományi kutatások módszereiben. A természettudomány tanítását nem öncélnak, vagy a későbbi hivatásra való felkészítés megalapozásának tekintik, hanem elsősorban az önmagán túlmutató célokkal foglalkozik. A megfelelő tudást a civilizáció, a kultúra, a műveltség komponensének tekintik. A természettudományos nevelés küldetésének a környező világban való közvetlen eligazodás segítésén túl a leendő állampolgárok felkészítését, a különböző döntésekben való felelős részvétel megalapozást tartja. Szemléletmódját, értékrendjét illetően mindkét szférában jelen van, így valóban alkalmas arra, hogy hidat verjen a tudomány és a nevelés között.

A természettudományos nevelésnek számos kutatási területe van, és egyre újabb és újabb témakörök önállósulnak. Itt részletesebben csak három markánsan megjelenő, de egymással is több szálon összefüggő kutatási területtel illusztrálom a természettudományos nevelés megközelítésmódjait.

A tudományos gondolkodás és a fogalmak fejlődése

A fejlődés-lélektani irány a természettudományos tudás elsajátításával kapcsolatban tanulmányozza a gyerekek megismerésének sajátosságait. Strukturáltsága, szervezettsége révén a tudományos tudás különösen alkalmas arra, hogy tanulása segítségével továbbí célkat is elérjünk. A tudományos megismerés folyamatainak iskolai reprodukálása alkalmas

terep a tanulók megismerési képességeinek fejlesztésére is. Nem véletlen, hogy ez a kutatási ág végső soron a tanulók értelmi képességeinek optimális kiművelésével, tudományos fogalmaik fejlődésével és fejlesztésével kapcsolatos kérdéseket helyezi a középpontba.

A fejlődépszichológiai megközelítés keretében végzett kutatások eredményei hangsúlyosan rámutattak a tudományos kutatás és az egyéni megismerés eltéréseire, megkülönböztetve a modern tudományos kutatást mint társadalmi vállalkozást, és az egyéni tanulást mint pszichológiai folyamatot. Az egyik leggyakoribb tévedés, amely a természettudomány tanításában előfordul, az éppen annak (többnyire nem tudatos) feltételezése, hogy az egyéni ismeretszerzés ugyanolyan szervezett és szigorúan racionális folyamat, mint a (néha idealizáltan leírt) tudományos kutatás. Részleteiben, finomszerkezetében a két megismerési folyamat különbözik, azonban segíti a „hídverést”, ha egyben felhívjuk a figyelmet arra is, hogy „stratégiáját” tekintve, főbb alapelveiben a két megismerési folyamat között alapvető hasonlóságok is vannak. Ilyenek például:

A „globális” stratégiákban tehát vannak párhuzamok a tanulás és a kutatás között, azonban a tanulók eltérő előzetes tudása, tapasztalatai, a rendelkezésükre álló gondolkodási-műveleti apparátus korlátozottsága miatt a keletkezett új tudás is minőségileg más, mint amire hasonló feltételek mellett a tudomány jut. A különbségek feltárása, a gyermekek gondolkodásának és a tudományos megismerésnek az összehasonlítása gyümölcsöző kutatási terület.

Több évtizedes múltra tekintenek vissza például a hipotetiko-deduktív gondolkodás fejlődésével és a változók szétválasztásának problémájával kapcsolatos vizsgálatok.

– hipotézisek alkotása és ellenőrzése;
– a megismerés alanyának az új tudás létrejöttében betöltött aktív szerepe;
– a tudás forrása a környezettel való interakció;
– a meglévő tudás folyamatos és kritikus felülvizsgálata;
– a meglévő tudás az új tudás megszerzésének eszköze;
– a megszerezhető új tudás függ az aktuálisan meglévő tudástól.

Ezekben és a hasonló „globális” stratégiákban tehát vannak párhuzamok a tanulás és a kutatás között, azonban a tanulók eltérő előzetes tudása, tapasztalatai, a rendelkezésükre álló gondolkodási-műveleti apparátus korlátozottsága miatt a keletkezett új tudás is minőségileg más, mint amire hasonló feltételek mellett a tudomány jut. A különbségek feltárása, a gyermekek gondolkodásának és a tudományos megismerésnek az összehasonlítása gyümölcsöző kutatási terület.

Több évtizedes múltra tekintenek vissza például a hipotetiko-deduktív gondolkodás fejlődésével és a változók szétválasztásának problémájával kapcsolatos vizsgálatok.

Piaget klasszikus fejlődés-lélektani kísérleteiben éppen bizonyos természettudományos jelenségeken keresztül tanulmányozta a gyermekek gondolkodását. A legismertebb Piaget-feladatok a fizika területéről származnak, például a kétkarú emelővel, az ingával, a fényugarak beesési szögével, a golyók ütközésével kapcsolatosak, de szerepeltek közöttük fizikai és biológiai jelenségekre épülő feladatok is. (4) Piaget hatása a természettudományos nevelésre azonban mégis inkább a rendkívül elegáns matematikai formalizmussal is megjelentetett és így a természettudományos kultúrán nevelkedett kutatók számára vonzó kognitív elméletének köszönhető. Piaget nyomán számos konkrét felmérést végeztek annak feltárására, hogy különböző életkorokban milyen mértékben rendelkeznek a tanulók bizonyos természettudományi ismeretek elsajátításához, megértéséhez szükséges gondolkodási műveletekkel. (5)

Az ilyen jellegű kutatások már minden egyes korosztály gondolkodási-tanulási sajátosságait feltárták, de különösen részletes elemzések születtek a fejlődési szempontból kiemelt jelentőségű serdülőkorról. (6) Ezek a vizsgálatok alapozták meg azokat a képességfejlesztő programokat, amelyek a természettudomány tanítását a gondolkodás fejlesztésének szolgálatába állítják. (7) A fejlődés-lélektani szempontból érvényes, a gyermeki gondolkodás sajátosságaira építő, és egyben megismerési képességeiket hangsúlyozottan fejlesztő „tudomány gyermekek számára” jellegű oktatási programok gyakran az érdeklődést felkeltő, a motivációt erősítő, játékos módon vezetik be a gyerekeket a tudomány által vizsgált jelenségek világába. (8)

A természettudomány kiváló elemzési lehetőséget kínál a tudás másik nagy területe, a fogalmakból felépülő ismeretrendszer fejlődési sajátosságainak tanulmányozásához. Mivel a hétköznapi tapasztalatok alapján is megismerhető jelenségekkel kapcsolatos tudományos fogalomrendszerek egyértelműen leírhatóak, ezek kiváló viszonyításul szolgálnak a tanulók tapasztalatai alapján kialakult fogalomrendszerekhez. (9)

Különösen érdekes és gyümölcsöző kutatási területnek bizonyult azoknak a naiv modelleknek, téves elgondolásoknak a köre, amelyeket gyakran még több éves iskolai tanulás sem tud megváltoztatni, tudományosan helytálló modellekkel kicserélni. A szakirodalom több tucat ilyen tévképzetet ír le, közülük sokat (például a feldobott érmére ható erő, a szemünkbe jutó fénysugarak útja) több országban is megvizsgáltak, nagyjából hasonló eredménnyel. (10)

A gyermekek fogalmi fejlődésének értelmezésében, naiv elgondolásaik megértésében segítségünkre lehet a tudománytörténet tanulmányozása. A gyerekek tapasztalati modelljei ugyanis sok hasonlóságot mutatnak a tudomány történetének korai szakaszában megjelent modellekkel és elgondolásokkal.

A tudás két nagy területének kutatása, az ismeret-jellegű, fogalmi tudásnak és a képesség-jellegű tudásnak a tanulmányozása már átvezet egy másik kutatási területre, a kognitív tudomány által befolyásolt vizsgálatok körére, ugyanis mindkét probléma egyben a kognitív irányzatok legizgalmasabb kérdései közé tartozik.

A kognitív irányzatok: a tanítás–tanulás optimalizálása

A kognitív pszichológia – az emberi megismerést információfeldolgozásként leíró megközelítés – terminológiája nagyrészt a számítógép-tudományban gyökerezik, korai elgondolásai, első modelljei a számítógép-analógiát használták az emberi gondolkodás leírására. E természettudományokhoz közel álló szemléletmód és fogalomrendszer szintén hasznos közvetítőnek bizonyult a tudomány és az oktatás szakemberei között. Időközben a kognitív pszichológia sok egyéb, más kiindulású irányzatot magába olvasztott, és ma már a természettudományok tanításával kapcsolatos kognitív orientációjú kutatások köre is rendkívül tág. A kognitív megközelítés, bár kitágította a természettudományos nevelés horizontját, nem lép fel újabb célokkal és elvárásokkal, hanem inkább a meglévő célok pontosabb értelmezéséhez és hatékonyabb megvalósításához járul hozzá. (11)

A természettudományos nevelés legfontosabb alapkérdései – mint az iskolai oktatáséi általában is – azzal kapcsolatosak, hogy a tanulók milyen mértékben sajátítják el a tananyagot, mennyire értik meg a tanultakat, és amit megtanultak, azt milyen széles körben tudják felhasználni. Amíg a tantárgyak diszciplináris tanítása megelégszik az adott tárgy fogalomkörében való megértéssel és a tudás tantárgyon belüli alkalmazásával, a természettudományos nevelés szemléletéből a mélyen megértett, széles körben hasznosítható tudás közvetítése következik. A kognitív megközelítés a megértést mint reprezentációs problémát értelmezi: egy jelenség megértése a megfelelő mentális reprezentáció kialakítását, mentális modell megalkotását jelenti. (12)

A tudás széles körű felhasználhatósága, az új helyzetekben való alkalmazhatósága elsősorban a transzfer jelenségén keresztül ragadható meg. A magas szintű, távoli transzfer

ahhoz szükséges, hogy a megfelelően reprezentált tudáshoz kapcsolódóan kialakuljanak a tudás értelmezésével, interpretálásával szorosan összefüggő kognitív képességek, gondolkodási folyamatok is. Mind a megértést, mind a széles körű felhasználást segíti a többszörös kontextusba helyezés, vagyis ha ugyanazt a tudáselemet különböző helyzetekben is elsajátítjuk. Ez a többszörös reprezentáció a természettudomány tanulásokor gyakran előfordul, például a gázokról tanulnak a gyerekek a fizikában is és a kémiában is. A fémrács és a fémek elektromos vezetőképességének tárgyalása is előfordul mindkét tantárgyban. Ha azonban a két különböző kontextusban elsajátított tudás elszigetelődik egymástól, azaz nem alakul ki közöttük kapcsolat, az inkább nehezíti a megértést. (13) A megértést tehát valójában a „többszörös és összekapcsolt reprezentáció” segíti. (14)

A kognitív irányzatok által inspirált kutatási programok többsége a megértés és az alkalmazhatóság javításával foglalkozik. Számos témakör-megnevezésül szolgáló kifejezés közvetlenül is utal a többszörösre, a megértésre, a reprezentációra. Ilyenek például a „többszörös reprezentáció”, „többszörös megértés”, „többszörös kontextusba helyezés”, „tanítás többszörös kontextusban” stb. Mások a kontextus helyett a „környezet” kifejezést használják, megint másoknál a megnevezésben nem, csak a kutatás tartalmában jelennek meg ezek a témakörök.

A természettudományi nevelés modelljeiben békésen egymás mellett élnek a Neo-Piaget-iánus és a Neo-Vigotszkij-ánus elméletek. Piaget a belsőleg meghatározott érése, Vigotszkij a tanulásra és a környezet hatásaira helyezte a hangsúlyt. Több természettudományi nevelési program kísérletet tesz e két koncepció szintézisére is. (15) Vigotszkij elméletéből azonban újabban inkább a szociál-konstruktivista vonulat kap nagyobb hangsúlyt, mindenekelőtt a tudás létrejöttében szerepet játszó társas környezet elemzésében. A megvitátott, „átbeszél”, kontextusba helyezett tudás kialakításában játszott szerepük miatt felértékelődtek a tanulók különböző csoportos tevékenységén alapuló tanulási módszerek. Megfigyelhető például a tanulók önálló kutatómunkáján alapuló csoportos természettudományi projektek reneszánsza. Hasonlóképpen felértékelődött a kooperatív tanulás jelentősége is.

A konstruktivizmus szinte minden irányzata megtalálható a természettudományos nevelés programjaiban, többségük kifejezetten valamely természettudományi nevelési program keretében jött létre. A konstruktivista beállítódás annyira sokféle kutatási programban jelen van, hogy ma már inkább tekinthető általános szemléletmódnak, mint önálló specifikus elméletnek vagy kutatási irányznak. Mindenesetre a konstruktivizmussal kapcsolódik össze leginkább annak határozott kimondása, hogy a tanulás nem a készen kapott tudás passzív befogadása, elsajátítása, így a tudás a környezettel való interakció révén jön létre, „konstruálódik” meg. (16) Azaz a tudás egyedi, személyes konstrukció, amelyet nagymértékben meghatároz az előzetesen meglévő tudás. Az utóbbi időben előtérbe került a „realisztikus konstruktivizmus”, amely egyszerre két dolgot is jelent, egyrészt a radikális konstruktivizmus alternatíváját vagy elutasítását, másrészt a tanuláshoz a valósághű, valóságnak megfelelő környezet megteremtését. Lényegében ehhez közel áll a realiztikus modellezés irányzata is, amely a matematika-tanításból került át a természettudományi nevelés területére.

A konstruktivista, vagy a konstruktivizmus által is befolyásolt koncepciókban a hangsúly egyre inkább áttevődik a környezet szerepére. Ennek alapgondolata az, hogy a megfelelő környezettel való interakció segíti csak a hatékony tanulást, az eredményt tehát legjobban a megfelelő környezet kialakításával lehet befolyásolni. Ezt a gondolatmenetet követve jelent meg a „tanulási környezet tervezése” mint kutatási-fejlesztési irány. A tanulási környezet ebben a kontextusban – némi leegyszerűsítéssel – a tanulás eszközeinek rendszerbe szervezett együttese. A természettudomány tanulása esetében hangsúlyozottan betartozik ebbe a környezetbe az önálló ismeretszerzéshez, kísérletezéshez szükséges eszközök összessége is.

Az utóbbi évtizedben a „tanulási környezet”-hez egyre gyakrabban kapcsolódnak újabb jelzők, mint például a „hatásos” (powerful), az „újszerű”, a „technológia által támogatott”. Ezek mindegyike hozzátétőlegesen ugyanazt jelenti: megjelenik a komputer, mégpedig többnyire a hálózatra kapcsolt, multimédiás eszközöket kezelni tudó, nagy teljesítményű személyi számítógép. (17)

A számítógépekkel, vagy általában az Új Információs és Kommunikációs Technikákkal (New Information and Communication Technology, NICT) kapcsolatban szinte megismételhető a korábban felsorolt kulcsszavak többsége, illetve azok „számítógépesített”, „multimédiásított”, „hálózatosított” változata. A számítógépek esetében természetesen adott az interaktivitás, a variálhatóság, a többszörös (de a „virtuális” környezet által korlátozott) kontextusba helyezés lehetősége is. (18) Egyes kutatási programokban „a hálózat mint természetes tanulási környezet” jelenik meg. A hálózati kommunikáció révén lehetővé válik egymástól távol levő tanulók közös munkája, feladatmegoldása, a „megosztott megismerés”. Megvalósítható a „kooperatív tanulás a hálózaton” és a „tanulás virtuális közösségekben”. A természettudományos nevelésben a számítógépet rendkívül széles körben lehet használni, de van néhány olyan természettudomány-specifikus alkalmazás is, amikor a NICT kiegészítő előnyökkel is jár. Ezek közé tartozik többek között a szimuláció, a modellezés, a problémamegoldás, a feladatmegoldás, a számításgényes feladatvégzés.

Bár a „hagyományos” és az „újszerű” közvetlen összehasonlítása számos módszertani nehézséggel jár, a NICT alkalmazásának hatékonyságát sokan és sokféleképpen értékelték. A számos pozitív jelzés ellenére több alapvető kérdés megválaszolásához még nincs elég tapasztalatunk. Fontos kérdéseket kellene például feltenni a megértéssel és a transzferrel kapcsolatban. Csak hosszabb távon fog kiderülni, mit ér a virtuális valóságban elsajátított tudás a „valós” valóságban.

Az elsajátított tudás végső próbája tehát általában is az, hogyan transzformálható az a mindennapi életbe, mennyire segíti az egyén érvényesülését és a társadalom demokratikus fejlődését. Ezekre a kérdésekre helyezik a hangsúlyt a természettudományi nevelés társadalom-centrikus megközelítései.

Állampolgári felkészülés: a társadalmi irány

Az a felismerés, hogy a tudomány aktív művelésére viszonylag kevesen készülnek, de bizonyos tudományos felkészültségre mindenkinek szüksége van, újszerű tantervek és oktatási programok kidolgozásához vezetett. A „tudomány mindenkinek” (science for all students) program még csak a feldolgozandó témakörök megválasztásával tér el a korábbi természettudomány tanításától. A tudomány átkerül az elsősorban általános műveltséget nyújtó tantárgyak körébe, megjelenik a „természettudományos műveltség” (science literacy) koncepciója, amely különbözik a természettudományok hagyományos tanításától. (19) A Harmadik Nemzetközi Matematika és Természettudomány Felmérés (Third International Mathematics and Science Study, TIMSS) például már külön kezeli, más jellegű kérdésekből összeállított teszttel vizsgálja a természettudományos műveltséget mint az egyes tantárgyak tudását.

A releváns tudás közvetítésére, a természettudományos műveltség kialakítására törekvő programok különböző módon közelítenek a hasznosság kérdéséhez. Vannak, amelyek egyszerűen csak érvényes, „autentikus” tudást kívánnak közvetíteni. (20) Mások egészen gyakorlat-közeli, a közvetlen környezet jelenségeit feldolgozó természettudományt ajánlanak. Így született meg a „hétköznapi tudomány”, az „otthoni tudomány” vagy éppen a „konyhai tudomány” koncepciója. (21)

Még mindig a természettudományos kérdések tárgyalásán belül maradnak, de jelentősen elmozdulnak az egyéni felelősségtudat kialakításának irányába az ökológiai jellegű programok. Elsősorban a civilizációs ártalmak megelőzésével vagy csökkentésével foglalkoz-

nak, a környezet megóvására nevelnek. Tárgyalják a környezeti katasztrófák kialakulásának lehetőségeit, a legtöbb program középpontba helyezi a globális felmelegedés okainak és következményeinek bemutatását. Általában annak megmutatására törekednek, mit jelent az ökológiailag tudatos egyéni magatartás. Segítik a „Gondolkodj globálisan, cselekedj lokálisan!” alapelv gyakorlatba való átültetését.

Tovább megy a természettudományos nevelés „társadalmisításában” a „Tudomány–Technika–Társadalom” (Science–Technology–Society, STS) szösszettel jellemezhető integrált természet- és társadalomtudományi tárgy. Ez a gondolatkör már beemeli a természettudományi nevelésbe a tudomány alkalmazásával, a tudományos eredmények használatával, társadalmi, környezeti, természeti hatásával kapcsolatos problémák széles körét. Tárgyalja a tudománynak a társadalmi–gazdasági fejlődésre gyakorolt hatását, felveti a társadalmi felelősség kérdését. A tudomány társadalmi kontextusa már nem csak az apró betűs szövegekben, lábjegyzetekben jelenik meg, nem csupán figyelemfelkeltő illusztráció,

amely színesíti a tankönyvet, hanem itt a tudomány eredményeinek felelős használatára való nevelés már az első számú célok között szerepel.

Egyes programok kifejezetten „természettudományos állampolgári nevelést” (Citizenship Science) hirdetnek meg. A természettudományi tudás közvetítése révén felelős állampolgárokat, felkészült döntéshozókat (Decision-making Citizenship) kívánnak nevelni. A modern társadalmak számos – tágabb értelemben vett – politikai kérdésében való állásfoglalása elmélyült természettudományi tudást igényel. Ilyenek például a nagyobb építkezésekkel (vízerőmű, atomerőmű, autópálya, szeméttégető-mű stb.) és a természeti környezet jelentős átalakításával (például völgyzáró gát építése, mocsarak lecsapolása, folyamszabályozás) kapcsolatos döntések. A demokratikus társadalmi berendezkedés csupán a döntéshozatal demokratikus mechanizmusát garantálja, de nem jelent biztosítékot arra, hogy a döntés bármilyen értelemben megfeleljen

*Tovább megy
a természettudományos nevelés
„társadalmisításában”
a „Tudomány-Technika-Társadalom”
(Science-Technology-Society, STS)
szösszettel jellemezhető integrált
természet-
és társadalomtudományi tárgy.
Ez a gondolatkör már beemeli
a természettudományi nevelésbe
a tudomány alkalmazásával,
a tudományos eredmények
használatával, társadalmi, környezeti,
természeti hatásával kapcsolatos
problémák széles körét. Tárgyalja a
tudománynak
a társadalmi-gazdasági fejlődésre
gyakorolt hatását, felveti
a társadalmi felelősség kérdését.*

a közösség hosszú távú érdekeinek. Felkészületlen állampolgárok a legjobb szándék mellett is hozhatnak rossz többségi döntést. A döntések sokszor súlyos morális dilemmát vetnek fel, különböző csoportérdekeket sértenek. Az egyes csoportok saját érdeküket gyakran próbálják tudományosnak tűnő érvek mögé rejteni, a megtévesztés, a manipuláció reális veszély. Az állampolgári tudatosságot a tudományos képzés révén növelő programok az ilyen jellegű befolyásolás elleni védekezés képességét kívánják fokozni.

Az oktatás történetében volt már arra példa, hogy a gondolkodás, a képességek fejlesztését az ideológiai–politikai befolyásolás ellenszereként javasolták. A harmincas években Amerikában a kritikus gondolkodás fejlesztésére szolgáló programok elterjedését az segítette, hogy ezáltal kívánták az állampolgárokat megvédeni az ideológiai „agymosással”, a politikai befolyásolással szemben (22). A demokrácia jövőjéért aggódó társadalomkritikusok ma többek között a természettudományos műveltség terjesztését javasolják a „konzumerizmus”, az élet minden szegmését átható, fogyasztásra, vásárlásra készítő hatások elleni védekezésül. Becslések szerint egy átlagos amerikai fiatal mintegy 500 000

televízió-reklámot lát tizennyolc éves koráig. (23) A reklámok által közölt vagy sokszor inkább csak sugallt tudás gyakran minden tudományos alapot nélkülöz, vagy éppen tudománytalan, hamis elgondolásokon alapszik. Az iskolai természettudományos nevelésnek ma már nem egyszerűen csak a „tanulatlan” diákjait kell tanítani, hanem a tanulók meglevő tudását kell átformálnia, meg kell küzdenie a külső forrásokból származó hamis, áltudományos nézetekkel is. A természettudományos nevelésnek ezzel a megváltozott helyzettel is számolnia kell.

Következtetések: mit kezdjünk a természettudományos neveléssel?

Bár a természettudomány hagyományos tanítása a világ különböző régióiban egyaránt válsággal küzd, a problémák régióként más-más formában jelentkeznek. Ezért mindenekelőtt a saját oktatásunk hibáit és problémáit kell megértenünk és megoldanunk. Ebben a külföldi példák és tapasztalatok nagy segítségünkre lehetnek, de nem vagyunk abban a kényelmes helyzetben, hogy egyszerűen más modelleket lemásolhassunk.

A magyar természettudományi nevelés problémáinak indikátorai, megfigyelhető válságtünetei három nagy csoportba sorolhatók:

- mind az egymást követő hazai felmérések, mind a nemzetközi összehasonlító vizsgálatok azt jelzik, hogy tanulóink teljesítményei folyamatosan csökkennek; (24)
- a tanulók természettudományi tudása inkább elméleti jellegű, a tudásnak nagyon kicsi az alkalmazható komponense, és a természettudomány tanulása alig járul hozzá a gondolkodási képességek fejlesztéséhez; (25)
- a tanulók nem szeretik a természettudományi tárgyakat, még azok sem szívesen tanulják azokat, akik viszonylag jó iskolai eredményeket érnek el, különösen a kémia és a fizika elutasításának mértéke aggasztó. (26)

A problémák okairól sok mindent tudunk, de egyáltalán nem mondhatjuk, hogy a pedagógiai kutatás a jelentőségüknek megfelelő mértékben foglalkozott volna elemzésükkel. Mindenesetre az már most is látszik, hogy melyek a természettudományi nevelésnek azon nemzetközi fejleményei, amelyeket hasznosíthatnánk saját problémáink megoldásában. Ezek közül érdemes sorra venni néhányat.

Mindenekelőtt el kell érni, hogy a tanulók megkedveljék a természettudomány tanulását. Ha az első néhány évfolyamon mást nem érnének el, mint hogy megszerettessük a tanulókkal a tanulást, az is nagy előrelépés lenne. Ebben nagy segítségünkre lehet a gyermekek számára készített természettudományi nevelési programok sokasága. A gyermekek világához közel álló, számunkra releváns tartalmú, a tevékenységre, közvetlen tapasztalatszerzésre, játékosra építő, fejlődés-lélektanilag megalapozott tanítástól várhatunk eredményeket.

A természettudományi tárgyak tanítása, mindenekelőtt a kémia és a fizika sok témakörének közvetítése pszichológiailag teljesen megalapozatlan módon történik. Az oktatás egyszerűen nem vesz tudomást a tudás keletkezésének és felhasználásának ma már ismert törvényszerűségeiről. Ez azt jelenti, hogy az adott témakörök abban az életkorban, azzal az előzetes tudással, készség- és képességrendszerrel, mellyel a tanulók tipikusan rendelkeznek, többségük számára feldolgozhatatlanok, érthetetlenek. A tananyag és a tanítás módszere alapján nem keletkezhet megértett tudás, tudományosan hiteles belső reprezentáció. A tanulók megtanulják a tananyagot és szükség esetén reprodukálják a tanultakat, de képtelenek azt bármilyen értelmes módon felhasználni. A kognitív pszichológiai kutatások eredményeinek felhasználásával sokat lehetne ezen a helyzeten javítani. Elsősorban a megértéssel, transzferrel, képességfejlesztéssel kapcsolatos eredményeknek az alkalmazására lenne szükség.

Nálunk is tudatosabban meg kellene különböztetni a mindenki számára szükséges természettudományos műveltség közvetítését és a tudományos pályára készülők szakmai felkészítését. A tananyagban nagyobb teret kaphatnának a társadalmilag releváns téma-

körök. A felsőbb évfolyamokon kettéválhatna a társadalmi orientációjú (természettudományos) és a természettudományi orientációjú képzés.

A természettudományos nevelés azonban általában nem helyettesítője, hanem inkább előkészítője, megalapozója és kiegészítője, egyfajta „tágabb környezete”, befogadó közege lehet a szűkebb értelemben vett természettudomány-oktatásának. Vagy, maradva a címben bevezetett metaforánál, olyan híd, amelyik megteremtí a kapcsolatot a természettudományok rigorózus tanítása, és a nevelés általánosabb érvényű céljai között. Hiba lenne azonban akár a nálunk jelenleg tapasztalható válságtünetekből, akár a nemzetközi tendenciákból azt a következtetést levonni, hogy a természettudományos nevelésből a természettudományt ki lehetne küszöbölni. A természettudományos gondolkodás fegyelmeinek elsajátítása, a tudományos ismeretek szigorú szervezettségének megértése mással nem pótolható tanulási tapasztalatot jelent, amely jól szolgálja a nevelés legáltalánosabb céljainak megvalósítását is.

Jegyzet

- (1) J. DEWEY: *How we think*. D. C. Heath and Co. Boston, 1933. Az idézet az 1909-es első kiadás bevezetőjének első két mondata.
- (2) POSTMAN, N.: *The end of education*. Vintage Books, New York, 1996.
- (3) A természettudományos nevelés koncepciójának alakulásáról I.: DeBoer, G. E.: *A history of ideas in science education. Implications for practice*. Teachers College, Columbia University, New York, 1991.; CSAPÓ BENŐ: *Merre tartanak a természettudományok oktatásával kapcsolatos kutatások?* Iskolakultúra, 1994. 4. 2–11. old.; NAHALKA ISTVÁN: *Irányszatok a természettudományos nevelés második világháború utáni fejlődésében*. Új Pedagógiai Szemle, 1993. 1. 3–24. old.; NAHALKA ISTVÁN: *Válságban a magyar természettudományos nevelés*. Új Pedagógiai Szemle, 1999. 5. 3–22. old.
- (4) L. pl.: INHELDER, B.–PIAGET, J.: *A gyermek logikájától az ifjú logikáig*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1967.
- (5) SHAYER, M.–ADEY, P.: *Towards a science of science teaching. Cognitive development and curriculum demand*. Heinemann Educational Books, London, 1981.
- (6) ADEY, P.–BLISS, J.–HEAD J.–SHAYER, M. (szerk.): *Adolescent development and school science*. The Falmer Press, New York, 1989.
- (7) L. pl. Philip Adey tanulmányát e számban.
- (8) ABRUSCATO, J.: *Teaching children science*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J. 1981.
- (9) L. pl. Stella Vosniadou és Christos Ioannides tanulmányát e számban.
- (10) L. pl. Korom Erzsébet tanulmányát e számban, továbbá: KOROM ERZSÉBET: *Naiv elméletek és tévképzetek a természettudományos fogalmak tanulásában*. Magyar Pedagógia, 1997. 1. 17–41. old.
- (11) GLYNN, S. M.–YEANY, R. H.–BRITTON, B. K. (szerk.): *The psychology of learning science*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1991.
- (12) MINSTRELL, J. A.: *Teaching science for understanding*. In: RESNICK, L. B.–KLOPFER, L. E. (szerk.): *Toward the thinking curriculum. Current cognitive research*. Association for Supervision and Curriculum Development. Alexandria, 1989. 129–149. old.; NEWTON, D. P.: *Causal situations in science: a model for supporting understanding*. Learning and Instruction, 1996. 3. 201–217. old.
- (13) SPADA, H.: *Conceptual change or multiple representations?* Learning and Instruction, 1994. 1. 113–116. old.
- (14) KOZMA, R. B.–RUSSEL, J.–JONES, T.–MARX, N.–DAVIS, J.: *The use of multiple linked representations to facilitate science understanding*. In: VOSNIADOU, S.–DE CORTE, E.–GLASER, R.–MANDL, H. (szerk.): *International perspectives on the design of technology supported learning environments*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, 1996. 41–61. old.
- (15) L. Philip Adey tanulmányát e számban.
- (16) NAHALKA ISTVÁN: *Konstruktív pedagógia – egy új paradigma a láthatáron (I., II., III.)*. Iskolakultúra, 1997. 2. 21–33. old., 3. 22–40. old., 4. 3–20. old.
- (17) KÁRPÁTI ANDREA: *Digitális pedagógia*. Új Pedagógiai Szemle, 1999. 5. 76–90. old.
- (18) L. KOZMA és mtsi, i. m.; GOLDMAN, S. R. és mtsi.: *Anchoring science instruction in multimedia learning*. In: VOSNIADOU, S.–DE CORTE, E.–GLASER, R.–MANDL, H. (szerk.): *International perspectives on the design of technology supported learning environments*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah. 1996. 257–285. old.
- (19) I. Art Hobson tanulmányát e számban, továbbá: KLOPFER, L. E.: *Scientific literacy*. In: LEWY, A. (szerk.): *The international encyclopedia of curriculum*. Pergamon Press, Oxford. 1991. 947–948. old.
- (20) ROTH, W. M.: *Authentic school science*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1995.
- (21) DAS, R. R. ÉS RAY, B.: *Teaching home science*. Sterling Publishers, New Delhi, 1989.

- (22) Bővebben l.: CSAPÓ BENŐ: *Az értelmi képességek fejlesztésének történelmi-társadalmi kontextusa*. Iskolakultúra, 1999. 9. 3–15. old.
- (23) Postman, i. m. 33. old.
- (24) L. Báthory Zoltán tanulmányát e számban, továbbá: SZALAY BALÁZS: *Természettudomány*. In: Monitor. *A tanulók tudásának változása*. Országos Közoktatási Intézet, Budapest, 1999. 149–208. old. E legfrissebb közlemény szerint a korábbi felmérésekhez viszonyítva a tanulók természettudományi tudása minden életkorban jelentősen csökkent.
- (25) Ld. Báthory Zoltán tanulmányát e számban, továbbá: B. NÉMETH MÁRIA: *Iskolai és hasznosítható tudás: a természettudományos ismeretek alkalmazása*. In: CSAPÓ BENŐ (szerk.): *Az iskolai tudás*. Osiris kiadó, Budapest, 1998. 115–138.; CSAPÓ BENŐ–B. NÉMETH MÁRIA: *Mit tudnak tanulóink az általános és a középiskola végén*. Új Pedagógiai Szemle, 1995. 8 3–11. old.; CSÍKOS CSABA–B. NÉMETH MÁRIA: *A tesztekkel mérhető tudás*. In: CSAPÓ BENŐ (szerk.): *Az iskolai tudás*. Osiris kiadó, Budapest, 1998. 83–114. old.
- (26) CSAPÓ BENŐ: *Az iskolai tudás felszíni rétegei: mit tükröznek az osztályzatok?* In: Csapó Benő (szerk.): *Az iskolai tudás*. Osiris kiadó, Budapest, 1998. 39–82. old.

A tanulmány az OTKA TO30555 számú pályázat keretében végzett kutatáshoz kapcsolódik.