

The cover features a decorative background of hexagonal shapes in shades of orange and light grey. One hexagon in the upper left contains a close-up photograph of a spiderweb with several dew drops against a blue sky.

1. FEJEZET

TERMÉSZETTUDOMÁNYOS NEVELÉS – TARTALOM ÉS MÓDSZER

Veres Gábor

Ez a fejezet röviden áttekinti a tantárgyközi programok, komplex témák révén történő tanítás elméleti hátterét. Felvázolja az utóbbi évtizedekben lezajlott pedagógiai paradigmaváltás lényegét, és bemutatja azokat a gondolkodási területeket, amelyek fejlesztése kiemelt fontosságú a természettudományos nevelésben.

INTEGRÁLT SZEMLÉLET, TANTÁRGYKÖZI TÉMÁK ÉS TANULÁSSZERVEZÉS

A természettudományos tantárgyak tanítása Magyarországon hagyományosan diszciplináris tanulásszervezéssel történik. A fizika, a kémia, a biológia és a földrajz tantárgyak a maguk sajátos nézőpontjából esetenként ötvözik a különböző diszciplinák elemeit (pl. geofizika, ásványtan, növényföldrajz), de a tudományterületek belső felépítése alapvetően meghatározza a közoktatásba átvitt tartalmakat és a tanulás formáit is. Nehéz lenne sorra venni mindazokat a tudományos, társadalmi, gazdasági változásokat, amelyek a 21. század új pedagógiai paradigmáját kialakították, talán alapelveként említhető valamiféle szintézis, ami az elaprózott és mélyreható tudáselemek összerakása iránti igényt jelentheti. Az információs társadalom kialakulásával elképesztő mennyiségű ismeret, adat keletkezik és érhető el, amelyek feldolgozását, értelmezését nem bízhatjuk kizárólag a számítógépekre. Megjelentek olyan globális problémák (pl. környezetszennyezés, klímaváltozás, járványok), amelyek vizsgálatához már nem elegendő egy-egy szaktudomány eszközkészlete, szükség van a multidiszciplináris, interdiszciplináris megközelítésekre is. Mindez nem jelent választási kényszert: vagy a profi szaktudományok, vagy valami bizonytalan, egyikhez sem köthető komplexum. A diszciplinák belső felépítése és működése nem kérdőjeleződik meg, de mellé kell hogy kerüljenek a kapcsolódások, a közös kutatások elemei is.

A tudományos életben zajló fejlődés a tudományos ismeretek tanításában-tanulásában sem maradhat következmények nélkül. A közoktatás világában azonban egyszerre mutatkoznak a változás felé ható és az azzal ellentétes erők. A tanulásról alkotott újabb elméletek középpontjába a tanuló került, az ő személyes és aktív részvételével épülhet az új tudás. A gyermeki személyiség fejlődésében a kisgyermekkorától egymást kiegészítve figyelhető meg az analízis és a szintézis (a szétzedés és az összerakás), ez jellemzi a természet megismerésének korai fázisát is. Később, a formális oktatásban a szaktárgyak is ezt folytatják, de inkább egymás mellett haladva, mint egymással együttműködve. Az ezredforduló környékén hazánkban is élénk szakmai vita folyt a természettudományos tantárgyak integrált tanításáról, a „science” típusú oktatásról, több szakmai segédlet (pl. Csorba, 2003; Veres, 2002a,b; Veres, 2011), illetve kerettanterv (NEFMI, 2008) is készült ennek le-

hetőségéről. A természettudományos nevelés ekkor már önálló területté vált a neveléstudományon belül, aminek a szerepe az lehet, hogy hidat képezzen a természettudományos diszciplínák és a nevelés között. Csapó Benő értelmezése szerint a természettudományos nevelés „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, szakpedagógiáját.” (Csapó, 2004, p. 12).

Az integráció egyik eszköze a természettudományos alapfogalmak területtől független kiépítése. A Politechnikum gyakorlatában a legfontosabb integrációs elv az általános rendszerelméletből következő, a gyerekek mindennapi tapasztalatait felhasználó kognitív műveleti rutin, egyfajta metakognitív eszközrendszer kialakítása. A részekre bontás és a részek közötti kapcsolatok vizsgálata, a rész és egész értelmezése vagy a környezeti kapcsolatok elemzése olyan szemléletmód, amely később a természeti és a technikai rendszerek mélyebb megértését szolgálhatja. A tanulók a természetet az anyag szerveződési szintjein haladva fedezik fel, foglalkoznak a rendszerek állapotaival, ezekről megfigyelések, mérések alapján leírásokat készítenek. Az állapotok összevetése a változások és a folyamatok világába vezet, ahol az energia és az információ formálja az anyag különféle megjelenési formáit. Az információ fogalma a mi programunkban mélyebb, mint a köznapi értelmezés, közelebb áll a fizikai alapfogalomként való meghatározáshoz, de a tanulók számára is használható értelmezését igyekszünk adni (Havas, 2008; Veres, 2008). Az információs anyagelmélet szerint „Az információ éppen olyan főszerepet játszik a világban, mint az anyag és az energia. A világot alkotó rendszerek információs kapcsolatok révén szerveződnek egészé. Alapvető különbség viszont, hogy az információra nem érvényesek a megmaradási törvények, megsemmisíthető és létrehozható.” (Drótos, 1993).

A korábbi alaptanterveink, így a NAT 2020 is megengedi az integrált tanulás szervezést az általános iskolákban, de a fizika, a kémia és a biológia tartalmi és módszertani szabályozása (NAT, 2020; kerettantervek) a megszokott diszciplináris formában került kidolgozásra, megszüntetve a korábbi *Ember és természet* műveltségterületet. A természettudományos tantárgyak tanítását nehezíti a szaktanárok hiánya is, ami nem függetleníthető a tantárgyak tanulói kedveltségétől. Főként a fizika és a kémia tantárgyakra jellemző, hogy nem motiválják eléggé a szaktanári pályaválasztást. A változáshoz nyilvánvalóan több tényező együttes hatásá-

ra lenne szükség, beleértve a tanulási idő és a környezet szabadabb alakítását is. Tantárgy-pedagógiai szempontból a tanulóközpontú, aktív tanulási módszerek alkalmazása, a motiváció erősítése, a tanári szerep megváltozása is szükségesek lehetnek. A tanulásszervezés és módszertan megújítása hatékonyan ötvöződhet a tanórán kívüli iskolai foglalkozásokban, az iskolán kívüli tanulási formákban, projektekben, a tematikus napok és hetek programjaiban.

Természettudományos műveltség és tudás

A tantárgyi integráció csak egy lehetséges eszköz, amely a tudományosan vizsgálható problémákat korlátok nélkül engedi a gyermeki megismerés tárgyává tenni. A valódi kérdés nem a tudományos elit kiválasztásáról és képzéséről szól, hanem a társadalom mint egész viszonyulásáról a megismeréshez, a technológiai fejlődés előnyeihez és veszélyeihez, valamint arról, hogy a közoktatás keretében miként lehet hatékonyabban fejleszteni a természettudományos kompetenciákat, hogyan lehet a legszélesebb tanulói rétegeket a mindennapi életben alkalmazható természettudományos műveltség birtokába juttatni (Veres, 2008).

Az ezredforduló időszakában a neveléstudományi kutatások újabb eredményei, a gazdasági hatékonyság, az oktatási beruházások társadalmi megtérülésének igénye a tudáskonceptió megváltozását is eredményezte. Fontossá vált az életben jól alkalmazható ismeretek, készségek és attitűdök széles tömegek általi elérésének biztosítása. Ez a fajta tudás rejlik a természettudományos műveltség (*scientific literacy*) kifejezés jelentésében. Lényegi sajátossága, hogy nem csupán a természettudományos ismereteket tartalmazza, hanem a tudomány működésének megismerését, a tudományos gondolkodásmód elsajátítását is célul tűzi ki. Kereteinek és tartalmának megfogalmazásához hozzájárult a tudományos-technológiai fejlődés és a nevelés-oktatás világának divergenciája is (Veres, 2008). Csapó Benő (2004) ezt így fogalmazta meg: „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 hozzáférhetők, és csak sokszoros transzformáció és átértelmezés révén válhatnak tananyag-gá. 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 segítségünkkel hatékonyan oldhatunk meg olyan feladatokat, amelyeket korábban csak alapos tudományos felkészültséggel lettünk volna képesek elvégezni. Ez a fejlődés a világ legtöbb oktatási rendszerében a természettudományok tanításának válságát idézte elő.” (Csapó, 2004, pp. 11–12). A természettudományok sajátosan felépített ismeretrendszere ma is szükséges a társa-

dalom számára, de egyre élesebben válik szét a tudáselit mint kisebbség és a nem szakemberek alkotta többség. Az előbbieket a technológiai fejlesztés előrevívői, az utóbbiak ennek haszonélvezői vagy éppen veszélyeztetett alanyai (Veres, 2008). A tudomány és a társadalom egymásrautaltságából következik, hogy a tudomány működésének megértése minden fiatal oktatásának jellemzőjévé kell válnia (Millar & Osborne, 1998).

A természettudományos nevelés céljait a PISA-mérések keretrendszere foglalja össze, ami egyúttal az oktatási rendszerek egyfajta nemzetközi iránytűjeként is működik. A 2019-ben közzétett keretrendszer az alábbiakban határozza meg a természettudományos műveltség fő kompetenciaterületeit (OECD, 2019):

1. *Jelenségek természettudományos magyarázata*
Természeti és technológiai jelenségekre vonatkozó magyarázatok felismerése, megfogalmazása és értékelése.
2. *Tudományos kutatások értékelése és tervezése*
A tudományos kutatások leírása és értékelése, valamint a jelenségek tudományos vizsgálatára vonatkozó eljárások kidolgozása.
3. *Adatok és bizonyítékok tudományos értelmezése*
Adatok elemzése és értékelése, állítások és érvek különféle reprezentációi, tudományos következtetések levonása.

Az első terület egyfajta tartalmi tudásként értelmezhető, míg a másik kettő a tudományos kutatás különféle módszereit magában foglaló procedurális tudás, valamint a keletkezett adatok, hipotézisek és elméletek természetét, megbízhatóságát vizsgáló episztemikus tudás meglétét igényli.

A tanulás-tanítás lehetőségei

Az oktatáselmélet és a neveléstudomány utóbbi évtizedekben bekövetkezett fejlődése az elmélet és a gyakorlat gyökeres változásához, egy új pedagógiai paradigma kialakulásához vezetett. Átértékelődtek az oktatással kapcsolatos szemléletmódok, így például előtérbe került a tanulók egyéni fejlődésének, erősségeinek értékelése, de egyúttal a tanulók felelőssé is válnak saját tanulási folyamatukért. Fontosabbá vált a tudás érvényessége, az alkalmazható tudás építése, a kompetenciák értékelése és fejlesztése, az élethosszig tartó tanulás képessége.

Ha a természettudományos nevelés, az integráció szempontjából nézzük a kihívásokat, láthatjuk, hogy a tanulási célok és módok, valamint a tartalmak is megváltoztak. A tanulás konstruktivista modellje szerint a tudást a diáknak magának kell létrehozni, a tanár feladata, hogy ehhez megteremtse a szükséges ismereteket, alkalmakat, eszközöket. Eszközök alatt azonban nemcsak a hagyományos labora-

tóriummi eszközök értendők, hanem a gondolkodásmódok és a megvalósítás gyakorlati készségei is (Dobson, 1991). A konstruktivista tanulásfelfogás kiemeli azt is, hogy a tanulók rendelkeznek előzetes ismeretekkel a világról, és ezeket a tanítás során nem lehet figyelmen kívül hagyni.

Az új pedagógiai paradigma érvényesítése valamennyi, a nevelésben-oktatásban érdekelt, illetve részt vevő szereplő szemléletének módosulását feltételezi. A belső meggyőződések feladása, az új elfogadása nem könnyű, de a létező problémák megoldásában való sikeresség igazolhatja a kísérletezőket. A tudás átadására alapuló tanítási módszerek helyébe az egyéni tudásépítés kerül, amelyben kulcsszerepe van a tanulók meglévő tudásának és a szociális interakcióknak. Ennek megfelelően a tanár szerepe is átalakul (Savery & Duffy, 1996; Veres, 2002a), nem a tudás egyfajta fölérendelt birtokosaként, hanem a tudásépítés segítőjeként, a tanulókkal partneri viszonyban tevékenykedik. A tanulóknak is alkalmazkodniuk kell az ismeretek gyors változásához és az ebből következő folyamatos tanulási kihívásokhoz. Az önirányított tanulásra való felkészítést a személyre szabott oktatási módszerek és az új technológiákra alapozott oktatási környezet szolgálhatja (Bolhuis & Voetes, 2001). A fenntarthatóság ebben a folyamatban is fontos kérdés, nagy a visszarendeződés veszélye, különösen akkor, ha a formálisan elsajátított új módszereket nem támasztja alá a megértés, a belső meggyőződés és az elfogadás. A digitális pedagógia napjainkban tapasztalható térnyerése meghatározó lehet a változás elősegítésében és az új pedagógiai paradigma általánossá válásában.

A NAT 2020 egységességről és a differenciálásról, valamint a módszertani alapelvekről szóló fejezetében az alábbi korszerű pedagógiai szemlélettel és módszerekkel találkozhatunk, amelyek az iskolák pedagógiai gyakorlatában a jelenleginél nagyobb szerepet kaphatnak:

- aktív tanulás, a tanulói kompetenciák fejlesztése;
- az egyénre szabott tanulási lehetőségek térnyerése;
- a tanulói együttműködésen alapuló tanulás, amelyben az eddiginél nagyobb hangsúlyt kapnak a differenciált tanulásszervezési eljárások;
- multidiszciplináris tanórák, azaz olyan foglalkozások szervezése, amelyek megvalósításakor a tanulók egyszerre több tudományterülettel foglalkoznak, a tudnivalók integrálásával ismerkednek meg;
- a teamtanításnak olyan alkalmazása, amely a több tantárgy ismereteit integráló témákat feldolgozó foglalkozásokat közös tanítás keretében valósítja meg, tehát annak lehetősége, hogy egy-egy tanórát több pedagógus együttműködve tarthasson;
- a digitális technológiával támogatott oktatási módszerek tervszerű, rendszeres alkalmazása.

Problémaalapú tanulás

A 21. század információs társadalmában az oktatás egyik legfontosabb célja a tanulók hatékony problémamegoldó képességének fejlesztése. A tantervekben és pedagógiai programokban is szereplő cél, a kritikai gondolkodás és a problémamegoldó képesség fejlesztése azonban kevésbé jellemző az osztálytermi gyakorlatban. A tanárok által feltett kérdések többsége a tanultak egyszerű visszakérdezésére irányul, az összegzést igénylő kérdések viszonylag ritkák. A problémaalapú tanulási környezetben viszont a tanulók a problémákkal abban a formában szembesülnek, ahogyan azok felmerülnek, nehezen körülhatárolható módon, hiányos információkkal. Ez a szemléletmód ellentétben áll azzal, ahogyan a tanár a megszokott módon vezeti a tanítványait egy letisztult, elméleti megoldás felé.

A problémaalapú tanulás lényege, hogy a tanterv, a tanítási folyamat a tanárközpontúságtól a tanulóközpontú, interdiszciplináris megközelítések felé mozdul el. Elterjedése abból a felismerésből táplálkozik, hogy a tanulóknak minimális ismeretük marad a hagyományos tanulási módszerekkel folyó tanulást követően, és azt is csak nehezen tudják más összefüggésekben alkalmazni. A problémaalapú tanulás olyan tanulási környezetet kínál, amelyben a tanulók feltárhatják az előzetes tudásukat, életközeli összefüggésekben tanulhatnak, és egyéni vagy kis csoportos munkában fejleszthetik tudásukat. A tanulóktól kritikai gondolkodást, problémamegoldó képességet, önirányított tanulási stratégiát és a csoportmunkához szükséges együttműködési képességet követel. Elemei, jellemzői a következők (Veres, 2004):

- a tanulókat olyan életközeli, gyakorlati problémákkal ismerteti meg, amelyek tanulási késztetést ébresztenek bennük;
- kihívást jelent a tanulás tanulására, a csoportban való munkavégzésre, a valós problémák megoldására;
- a problémák alkalmasak a tanulók érdeklődésének felkeltésére, és rávezetnek az adott témakör tanulására;
- felkészíti a tanulókat a kritikus és elemző gondolkodásra, az alkalmas tanulási források felkutatására;
- a vizsgált problémák többoldalúak és komplexek, kutatást, információszerzést, elemzést igényelnek, nem rendelkeznek előre meghatározott „helyes” megoldásokkal;
- a tanárok csapatkapitányi, támogatói szerepet játszanak;
- a tanulói értékelés az ön- és társértékelést állítja előtérbe.

A problémaalapú tanulás az alábbi területeken fokozza a tanulók teljesítményét (Barrows & Tamblyn, 1980; Engel, 1997):

- alkalmazkodás és részvétel a változásokban,

- a problémamegoldás alkalmazása új és jövőbeli helyzetekben,
- kreatív és kritikai gondolkodás,
- a problémákra és helyzetekre irányuló holisztikus megközelítések elfogadása,
- a nézőpontok különbözőségének elismerése,
- sikeres együttműködés a csoportban,
- a tanulási hiányosságok és erősségek felismerése,
- az önrányított tanulás elősegítése,
- hatékony kommunikációs készségek,
- az alaptudás növekedése,
- vezetői készségek,
- a különböző források kezelése.

Kutatásalapú tanulás

Az Európai Unió megbízásából a Rocard-jelentés (Rocard et al., 2007) elemezte a természettudományos nevelésben mutatkozó problémákat, és javaslatokat fogalmazott meg a helyzet javítására. Ebben – többek között – a szakértők rámutatnak, hogy a tananyagok és a tanulási módszerek túlságosan deduktív szemléletűek, dominál bennük az általános elméletekből történő levezetés, kevesebb szerepet kapnak a tanulók közvetlen tapasztalására építő módszerek. A változáshoz a természet vizsgálatának induktív útját, a kísérletezés tanulási folyamatba illesztését szorgalmazzák. A deduktív és induktív gondolkodás nem zárja ki egymást, valójában a megismerési út egymásba fonódó lépéseinek felelnek meg. Mivel a változás iránya így egyértelműen kijelölődött, az EU FP 7-es keretprogramjaiban helyet kaptak az induktív megismerés támogatására kialakított projektek. Ilyen volt a matematika és a természettudomány területén a kutatásalapú tanulás lehetőségeit bemutató PRIMAS (Csíkos, 2010), valamint a módszer értékelési eszközeit fejlesztő SAILS (Csapó, Csíkos, & Korom, 2016) projekt. Ezekben a Szegedi Tudományegyetem irányítása mellett munkacsoportunk is közreműködött, feladatokat alkottunk (Veres, 2010; Veres, 2016), és a kipróbálásukban is részt vettünk.

A kutatásalapú tanulás magában foglalja a természeti/anyagi világ vizsgálatát, kérdések feltevésére vezet, felfedeztet, és a felfedezések szigorú ellenőrzésével új tudást hoz létre. A kutatásalapú tanulás tükrözi, és a lehető legjobban közelíti a valódi tudományt. A tanuló saját kíváncsiságán, érdeklődésén alapul, feltételezi és felszínre hozza a probléma felismerésének és megoldásának vágyát. A tanulási folyamat akkor kezdődik, amikor a tanuló felfigyel valami meglepő tényre, amely kapcsán olyan kérdéseket, gondolatokat fogalmaz meg, amelyek nincsenek összhangban a korábbi tapasztalataival, meglévő tudásával. A következő lépés a megfigyelések

folytatása, további kérdések feltevése, előfeltevések, előrejelzések megfogalmazása, ezek ellenőrzése, magyarázatok, elméletek és modellek alkotása. A tanulónak meg kell találnia a saját megoldási stratégiáját, ami nem jelent folyamatos előrehaladást a megoldásban, sokkal inkább előre- és visszalépések ismétlődése. A kutatási folyamat előrehaladása közben egyre több kérdés merül fel, ami a jelenség alaposabb vizsgálatára ösztönöz, ezzel elősegíti a további tanulást és a mélyebb megértést. A kutatás során a tanuló adatokat gyűjt és rögzít, elemzi és bemutatja az eredményeket, felhasználja és felkutatja a szükséges információforrásokat, könyveket, videókat, szakembereket. A tapasztalatok magyarázata reflexiókat, megbeszéléseket összehasonlításokat igényel, eközben az új ismereteket más összefüggésekben is alkalmazzák a tanulók. Mindez azt szolgálja, hogy a tanulók képesek legyenek új gondolkodásmódokat, elméleteket felépíteni önmagukban.

A kutatásalapú tanulás szakaszai és jellemző tevékenységei (Duran & Duran, 2004)

I. Előkészítés, ráhangolás

Kapcsolódás a tanulók előzetes tudásához és tapasztalataihoz, az érdeklődés felkeltése, a tanulás iránti motiváció erősítése.

- képek, filmek, bemutatók megtekintése
- szövegek olvasása
- szövegalkotás
- grafikus vázlat készítése
- ötletroham

II. Felfedezés

A kíváncsiság kielégítése, tudásépítés, a jelenségek kutatása.

- vizsgálatok elvégzése
- forráselemzés, információgyűjtés
- problémamegoldás
- modellalkotás

III. Értelmezés, magyarázat keresése

A tanulók megszilárdítják fogalmi elképzeléseiket, ellenőrzik a kérdésekre, problémákra adott válaszaikat. További elméleti következtetéseket vonnak le. Az elméletek és a jelenségek leírására megfelelő fogalmakat vezetnek be.

- elemzés és magyarázat
- bizonyítékok keresése az elképzelések alátámasztására
- strukturált kérdések
- szövegértelmezés és megbeszélés

- tanári magyarázat
- gondolkodási műveletek/készségek (pl. összehasonlítás, osztályozás, hibakeresés) használata

IV. Kiterjesztés, kidolgozás

A tanulók a megszerzett tudásukat különféle helyzetekben alkalmazzák. Magyarázataikat további tartalmi területekre terjesztik ki. Még alaposabban ellenőrzik elképzeléseiket, és új összefüggéseket fedeznek fel. Ezen a ponton a lezárás és a tananyaghoz kapcsolás nélkülözhetetlen.

- problémamegoldás
- döntéshozatal
- kísérletes kutatás
- gondolkodási műveletek/készségek (pl. összehasonlítás, osztályozás, analógiás gondolkodás) alkalmazása

V. Értékelés

A tanulók elméleti és gyakorlati tudásának formális értékelése.

- eredmények/teljesítménylisták, táblázatok
- tesztek (feleletválasztó, feleletalkotó kérdések)
- előadások
- termékek
- újságcikk, riport, film
- fogalmi térkép
- portfólió

A kutatásalapú tanulás alkalmazása során várható pedagógiai eredmények:

- kutató/felfedező gondolkodásmód,
- felkészítés a jövő bizonytalanságaira és az élethosszig tartó tanulásra,
- a természettudományos gondolkodásmód megértése,
- a tanulók gondolkodásának értékelése, támogatása;
- párbeszéd, a munka közös irányítása;
- a célok közös értékelése, elfogadása;
- a hibák értékelése, megbeszélése (nyitottság).

A várható eredmények mellett fontos azt is megemlíteni, hogy a felfedeztető, probléma- és kutatásalapú tanulás módszerét a neveléslelektan szempontjai alapján Kirschner, Sweller és Clark (2006) kritikai elemzésnek vetették alá, kétségeket fogalmazva meg a módszerek hatékonyságát illetően. Nézetük szerint a minimálisan irányított vagy teljes mértékben szabad kutatás során a tanulók különféle mellékutakra tévedhetnek, elbizonytalanodhatnak, ezért a módszer jóval időigényesebb,

és nem biztosítható a tanulási folyamat céljának elérése sem. Ezeket a tapasztalatokat számos esetben maguk az alkalmazó tanárok is jelzik, ennek következtében a tanári közvélemény megosztott a felfedezett módszerek alkalmazásával kapcsolatban. A kételkedő elemzőknek adott válaszokból kiderül, hogy a kritika részben a módszerek félreértéséből adódik, másrészt valóban szükség van azok hozzáértő és gyakorlott alkalmazására. Szó nincs a tanári irányítás hiányáról, a kutatás megfelelő támogatása kulcseleme ezeknek a tanulási módoknak. Ennek módszerei sokféle lehetnek, beletartozhat a támogató értékelés, a csoportmunka facilitálása vagy a különféle kérdéstípusok változatos alkalmazása (Veres, 2010).

Projektalapú tanulás

A tanulás fejlesztő hatását erősítheti, ha a tanár és a tanuló együttműködve alakíthatja a tanulási folyamatot. A nagyobb szabadság lehetővé teszi a tanulói érdeklődés teljesítményfokozó hatásának kihasználását. A tanárnak azonban ismernie kell az adott tanulócsoport értékrendjét, tanuláshoz való viszonyát, ehhez igazodva adhatja át a projekt irányítását diákjainak. A módszer azokban a csoportokban alkalmazható teljes mértékben, ahol a tudásszerzés elfogadott érték. A szociális kompetencia, illetve a hatékony tanulás kulcskompetenciájának fejlesztése a szabadság megadását és felelős elfogadását is jelenti.

A tartalom és tevékenység tervezése során a tudás alkalmazása, valamint a mindennapi élet felől közelíthetők meg a problémák. Ezek köré olyan projektalapú tanulás építhető, amely újraszervezi a tematikus egységeket. Fontos, hogy a diákok érettségük és felkészültségük szerint vegyenek részt a projekt tervezésében, ők fogalmazhassanak meg kutatási kérdéseket, és önállóan indulhassanak el a válaszok keresésére.

Alapvetően természettudományos és műszaki kompetenciát igénylő projektek esetén is lehetőség van az összes kulcskompetencia fejlesztésére. A tervezés és a munka szervezése során erősíthető a kezdeményezőképeség és a vállalkozói kompetencia. A projekt kivitelezése és bemutatása az anyanyelvi kommunikáció különféle módjait kívánja meg. Az információk forrásaként és a feldolgozás eszközeként leggyakrabban digitális eszközök szolgálnak, így a használatukkal kapcsolatos kompetencia is fejlődik. Az idegen nyelvű keresés bővíti a megszerzhető információk körét, továbbá a kutatás során és az eredmények feldolgozásában szükség van a matematikai kompetencia megfelelő szintjére.

A projektalapú tanulás szervezés legegyszerűbb módja, ha a projekt néhány tanóra keretében megy végbe. Ez nem igényli az órarend átszervezését, ha pedig elsősorban a már felépített tudás alkalmazására irányul, a tantervi követelmények

sem sérülnek (pl. *Én és a kémia, Házépítés*). Új tananyag is feldolgozható projekt-módszerrel, de a tanulási célokat világosan ki kell alakítani. A tantervi modulokban megjelenő részproblémák helyett ilyenkor másokat is megfogalmazhatnak a diákok, amelyek ugyanúgy alkalmasak lehetnek a fő célok elérésére. A projekt hatékonyságát növelheti, ha időtervezését nem köti a tanórák rendje. A tanulási folyamatba iktatott különféle projekteken belül arra is van mód, hogy a tanulók egyéni érdeklődésük, fejlődési szintjük és tanulási szükségletük alapján válasszanak feladatokat, munkamódszereket. Az érdeklődő, elmélyültebb tanulók önállóan kutathatnak, mások az információgyűjtésben, az eredmények bemutatásában vállalhatnak feladatokat.

A tanórákon jellemzően a csoportmunka különféle formái alkalmazhatók, részint a tanuláshoz szükséges interakciók, részint például a szociális kompetenciák fejlesztése céljából. A szabadon szerveződő csoportmunkák és a kooperatív technikák kombinációi mellett a frontális tanári magyarázatokra is van lehetőség, feltéve, ha ennek az adott tudásrendszer építésében szerepe van, és ha biztosítani lehet a tanulói visszajelzések (kérdés, problémafelvetés) lehetőségét. Az iskolai tanulás mellett igyekszünk az otthoni munkát is beemlíteni a nevelési folyamatba. Erre nemcsak az egyéni és a csoportos kutatási feladatok adnak módot, hanem az új információs és kommunikációs technológiák is. A projektmunka szervezésére és segítésére iskolánkban gyakran alkalmazzuk a különféle webeszközöket, például a Microsoft Teams, vagy korábban a NEO-LMS, Google Classroom rendszereket. Nagy értéke lehet a projektalapú tanulásnak a jól sikerült bemutatónap, amelyen akár a tágabb helyi közösség is részesévé válhat a projektmunkának, a tanulók így formálhatják saját környezetüket.

Iskolán kívüli tanulás, tematikus napok, hetek

Az új pedagógiai paradigmába illeszkedő és a természettudományos nevelés megújításában szerepet kapó módszerek a tanulás-szervezésben is megtörik a hagyományos formákat. A 45 perces tanórákra épülő, gyakran napi 7-8 órát tartalmazó órarendek hagyományként rögzültek a legtöbb oktatási rendszerben. Ezzel szemben a nemzetközi összehasonlításban eredményesebb, a paradigmaváltásban élenjáró országok (pl. Finnország, Észtország) közoktatásában ezeket olyan, tartalmukban és időkeretükben rugalmasan szervezhető formák váltják fel, mint a tantárgyak nélküli vagy az iskolán kívüli helyszíneken történő tanulás. A természettudományos és technológiai kompetencia fejlesztésében különösen jó talajra találhatnak az efféle kezdeményezések, például terepgyakorlatok, üzemlátogatások és múzeumpedagógiai alkalmak formájában. Az utóbbi években ezek a programok nagyobb támogatást élveznek, szaporodnak a központilag szervezett tema-

tikus napok és hetek, jelentős támogatást kapnak az új módszerek kipróbálásában élenjáró tehetséggondozó programok.

A tematikus napok, tematikus hetek alkalmával a csoportok hosszabb ideig és elmélyültebben dolgozhatnak, több idejük van az információk gyűjtésére és a termékek elkészítésére. Bizonyos projektek szükségszerűen az iskola falain túl kerülnek megszervezésre. A természetben vagy a lakóhelyi környezetben végzett kutatómunka, illetve a múzeumok, játszóházak és üzemek meglátogatása is így történhet (pl. *Lakóhelyünk*, *Erdei iskola*). A projekt haza is vihető, otthoni kutatás, gyűjtés is lehet a feladat. Ennél a típusnál a virtuális csoportmunka, a számítógéppel segített kollaboratív tanulás is bevezethető.

A tanulói teljesítmény értékelése

A pedagógiai paradigmaváltás, ezen belül a természettudományos nevelés innovatív módszerei akkor működhetnek hatékonyan és fenntartható módon, ha a pedagógiai értékelés eszközei is támogatják ezeket. A korábbi, tanárközpontú modellben a pedagógus jellemzően szummatív módon értékeli a tanulói teljesítményt. Ezzel kevés információt juttat vissza a szabályozott működéshez, sem a tanulóknak, sem a szülőknek teljesen tisztában az értékelt teljesítmény minőségével, szerkezetével, így a továbblépés sem könnyen tervezhető. A tanulóközpontú modellben mind a tanulási célok, mind a tanulói teljesítmény összetevői a tanár-diák partneri együttműködés során alakulnak ki. A pedagógiai rendszerben megnő a visszacsatolt információk mennyisége és minősége, ami hatékony folyamatszabályozást tesz lehetővé. Az értékelés fókuszosa a tanulási eredményről áttevődik magára a folyamatra, ezzel a készségek és képességek fejlesztése hatékonyabbá válhat. Mivel az oktatási rendszerek nehezen fogadják be a változásokat, számolni kell ennek a két szemléletnek az egymás mellett élésével.

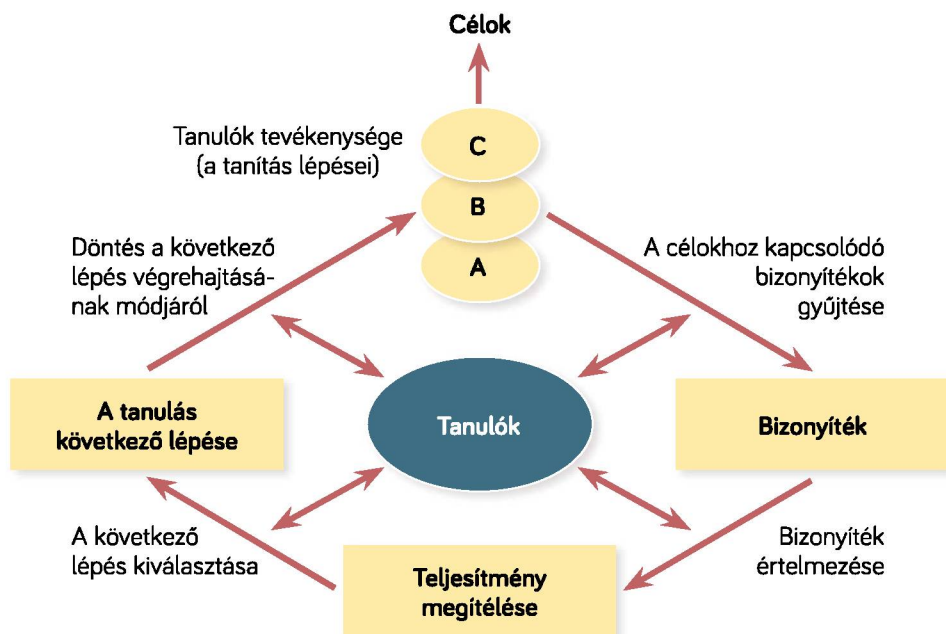
A NAT 2020 tanulási eredményeket határoz meg, de a központi kerettantervekben már szerepelnek a fejlesztési feladatok/célok és a tanulási tevékenységek is. A fenti értelmezés szerint közvetlenül tervezni és szabályozni az utóbbiakat lehet, ehhez kell tisztázni a célokat. A tanulás eredményét a legkevesébb lehet előre tervezni, ez fokozottan áll a felfedezettő módszerek alkalmazására. Éppen ez jelenti ezek többletértékét, az érdeklődés, a tanulási motiváció, a kezdeményezés és a kreativitás növekedését. A tartalomalapú szabályozás egyoldalúsága oldódhat, a tudás alkalmazhatósága, a tanulóval kapcsolatos képességek és attitűdök fejlődhetnek.

Az értékelésben előtérbe kerül a diagnosztikus és a formatív értékelés. A diagnosztikus értékelés a célok, tantervek, tanítási stratégiák, módszerek egyénre, csoportra szabott kiválasztását támogató információk gyűjtése, a tanítási-tanulási folyamat

hatékonyágának leírása, visszajelzése. A formatív értékelés a tanulók fejlődésének és tudásának gyakori, interaktív módon történő értékelése, célja a tanulási célok meghatározása és a tanítás azokhoz igazítása (OECD-CERI, 2005), a tanítási-tanulási folyamat közben végzett irányítás, a közvetlen visszacsatolás, a tanulási nehézségek feltárása és kijavítása.

A formatív értékelés kulcskomponensei (1. ábra):

- a folyamatban aktívan közreműködő tanulók, akik nyitott vagy egyénre szabott kérdésekkel létrehozott osztálytermi kommunikációban vesznek részt;
- tanulók, akik ismerik a munkájuk céljait, és tisztában vannak a jó minőségű munka jellemzőivel;
- visszajelzés a tanulóknak, amely megmutatja, hogyan legyenek jobbak, hogyan haladjanak előre, és amely elkerüli a más tanulóval való összehasonlítást;
- önértékelés, a tanulók bevonása a fejlődésükhöz vagy előrehaladásukhoz szükséges tennivalók azonosításába;
- a tanár és a tanulók közötti párbeszéd, amely támogatja a tanulók tanulással kapcsolatos reflexióit;
- a tanár, aki a gyűjtött információk alapján úgy módosítja a tanulás folyamatát, hogy minden tanuló lehetőséget kapjon a tanulásra.



nyilak: az értékelés eseményei; téglalapok: az értékelés eredményei

1. ábra A formatív értékelési ciklus (Harlen, 2006, p. 87 alapján)

A formatív értékelés elemei, módszerei a kutatásalapú természettudományos nevelésben:

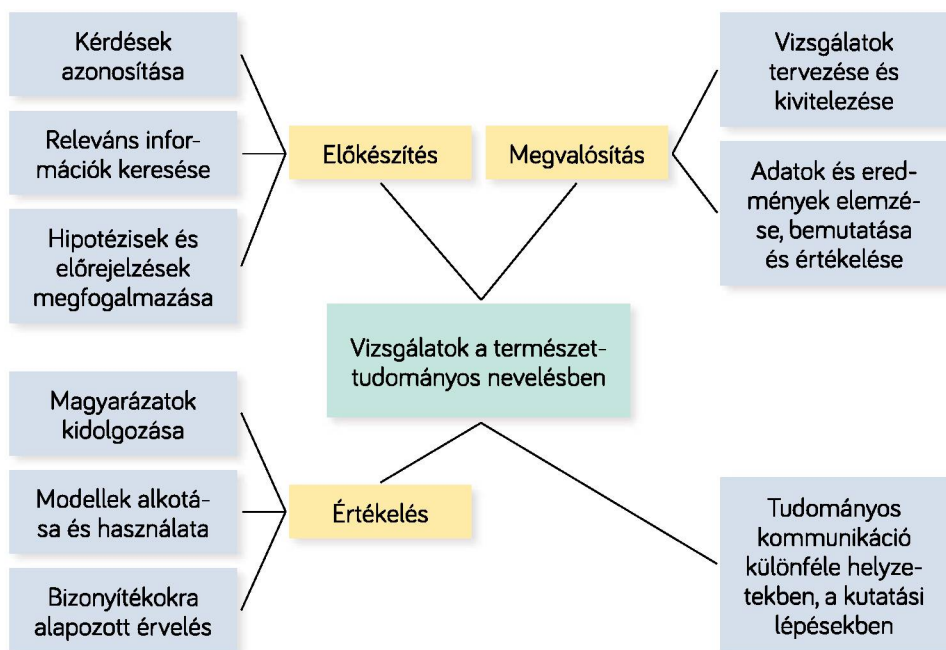
- osztálytermi dialógusok elősegítése;
- kérdések alkalmazása (nyitott, zárt, tantárgyra vagy személyre irányuló);
- visszajelzések a tanulóknak (osztályzatok, vélemény);
- a tanulóktól kapott visszajelzések felhasználása a tanítás szervezéséhez;
- a tanulók ösztönzése, hogy részt vegyenek munkáik értékelésében.

KIEMELT FEJLESZTÉSI TERÜLETEK

A továbbiakban azokat a készség, képesség jellegű területeket tekintjük át, amelyek fejlesztésére napjainkban a természettudományos nevelésben kiemelt figyelem irányul.

Természettudományos kutatási készségek

A természettudományos vizsgálatok főbb szakaszait (előkészítés, megvalósítás, értékelés) és a hozzájuk kapcsolódó tevékenységeket foglalja össze a 2. ábra.



2. ábra A természettudományos nevelésben, a kutatásalapú tanulásban alkalmazott vizsgálatok kompetencia-rendszere (Grob et al., 2014; Grob, Holmeier, & Labudde, 2016, p. 1762)

A kutatási készségek aktuális fejlettségi szintjének értékelését, valamint a kutatási készségek fejlesztési módjainak, irányainak kidolgozását segíti, ha információkkal rendelkezünk a fejlődés menetéről. Az eddigi kutatási eredmények alapján megadhatók az alapvető kutatási készségek lehetséges fejlődési indikátorai (Veres, 2016; OFI, é.n.).

Kérdésfeltevés

- a természettudományos módszerekkel vizsgálható kérdések felismerése
- a vizsgálat lényegi kérdésének felismerése, megfogalmazása
- konkrét kérdések megkülönböztetése vizsgálhatóságuk alapján
- a nem vizsgálható kérdések átfogalmazása konkrét vizsgálatra irányuló kutatási kérdéssé
- egymásba épülő, egymásból következő kérdések megfogalmazása

Hipotézis megfogalmazása

- tényekre alapozottság, lényeges tulajdonságok, körülmények figyelembevétele
- korábbi tapasztalatokból levont következtetés, ismert fogalmak beépítése
- nehezen ellenőrizhető jelenségek végbemenetelére vonatkozó hipotézis megfogalmazása
- a jelenségek vizsgálati módszereire vonatkozó elképzelés megfogalmazása
- adott tényre, jelenségre vonatkozó többféle lehetséges elképzelés figyelembevétele
- az előfeltevések, elképzelések bizonyításának igénye

Megfigyelés

- objektumok, anyagok közötti hasonlóságok és különbségek felismerése
- a különbségek részletes és világos megfogalmazása
- részleges hasonlóság felismerése különböző objektumok esetében
- a vizsgált problémával összefüggő megfigyelési eredmények felismerése
- többféle érzékleten, érzékszerven alapuló megfigyelés
- megfigyelési eszközök használata

Kísérlettervezés, kivitelezés

- alapvető elméletekből való kiindulás hiányos információk esetén vagy továbbgondolást igénylő esetekben
- adott kérdéssor alapján kísérlet tervezése
- megfelelő kísérleti lépéssor megtervezése
- a függő, a független és a rögzített változók azonosítása
- vizsgálati terv készítése, a független, a függő és a rögzített változók beállítása

- a kísérlet sikeressége érdekében keresendő vagy mérendő adat azonosítása
- a tervezett és a végbement/végrehajtott vizsgálatok összevetése

Következtetés

- az eredmények összevetése a kiinduló kérdéssel
- az eredmények összevetése az előrejelzésekkel
- a változók közötti összefüggések bemutatása
- a megfigyelések és a mérések jellemzőinek, irányának bemutatása
- a kapott tényeket, adatokat összegző következtetések megadása
- a következtetések eseti jellegének, illetve a felmerülő új tények esetén való változtathatóságának felismerése

Természettudományos gondolkodási készségek

A természettudományos nevelés alapproblémája, hogy mára olyan mennyiségű tudományos tananyag alakult ki, amelyet a tanulók képtelenek feldolgozni és megérteni. A megoldás egyik része, hogy a tananyagokat a tanulók pszichológiai, fejlődési sajátosságaihoz kell igazítani. A másik, hogy a tanulók gondolkodási szintjét a tanulási feladat szükségleteihez kell emelni. A kutatások azt is megállapították, hogy a gondolkodási képességek bármilyen alcsoportjának fejlesztése transzferhatást gyakorol az egyébként külön nem fejlesztett képességekre is.

A gondolkodási képességek fejlesztéséhez elengedhetetlen azok meghatározása és működésük feltárása. A továbbiakban a természettudományos gondolkodás jellemzőinek és műveleteinek egy lehetséges rendszerét tekintjük át Adey és Csapó (2012, pp. 26–37) munkája alapján.

Metastratégiák és általános gondolkodási folyamatok

- **Metastratégiák:** Az ember saját gondolkodási folyamatainak irányítására vonatkozó stratégiák.
- **Tárolás és előhívás:** A hatékony információbevitelhez az információk megfelelő szervezésére van szükség.
- **Önszabályozás:** Lehetővé teszi, hogy a tanulók a probléma releváns részeivel foglalkozzanak, saját gondolkodásukat elemezzék, a gondolkodási útvonalakat megválasszák, a tanulási folyamatot megtervezzék, majd a kivitelezést monitorozzák (Molnár, 2002, idézi Adey & Csapó, 2012).
- **Érvelés (párbeszédes):** Fejleszti az állítások logikus rendbe szervezésének képességét, segíthet a téves elgondolások kiküszöbölésében.
- **Kritikai gondolkodás:** Lényegének általában a bizonyítékok, érvek összegyűjtését, kritikai értékelését és a döntések megalapozását tekintik.

Gondolkodási műveletpárok (dichotómiák)

Gyakori, hogy a gondolkodást tulajdonságpárokkal jellemzik. A fejlett gondolkodáshoz a párokban szereplő típusok integrációja, vagy annak felismerése szükséges, hogy az adott helyzetben melyik alkalmazható eredményesebben.

- Kvantitatív – kvalitatív: A kvantitatív gondolkodás a mennyiségek kezelését, a kvalitatív a minőségi jellemzők azonosítását, elemzését jelenti. Az összetett problémák megoldásához mindkettőre szükség van.
- Konkrét – absztrakt: A konkrét gondolkodás az egyedi, aktuális esetek, dolgok, szituációk kezelését, míg az absztrakt gondolkodás a tényezők képzeletbeli manipulációját teszi lehetővé. Az elméleti modellek megalkotásához, a komplex összefüggések megértéséhez elengedhetetlen az absztrakt gondolkodás megléte.
- Konvergens – divergens: A konvergens gondolkodás olyan feladatok megoldásánál fordul elő, amelyeknek egy megoldásuk van. A gondolatmenet különböző kiindulási helyzetekből indulhat, de mindegyik az adott eredmény felé tart. A divergens gondolkodás a kreativitás egyik legfontosabb komponense, olyan feladatok, problémák esetében jelenik meg, amelyeknek több megoldásuk is lehetséges.
- Holisztikus – analitikus (egészleges – elemző): A problémamegoldást vagy az információk megjelenítési és feldolgozási módját jellemző irányultság. A holisztikus gondolkodás a szituáció áttekintését, az analitikus gondolkodás a kisebb részletek megragadását helyezi előtérbe.
- Deduktív-induktív: A deduktív az általánostól a specifikus felé tartó, míg az induktív az egyedi esetekből kiindulva az általános konklúzió felé vezető gondolkodás.

Mintázatok, műveletek, képességek

konzerváció, sorképzés, osztályozás, kombinatív gondolkodás, analógiás gondolkodás, arányossági gondolkodás, extrapolálás, korrelatív gondolkodás, változók megadása és beállítása

Rendszerszintű komplex gondolkodás

A rendszerszintű komplex gondolkodás elméleti megalapozása a Ludwig von Bertalanffy által kidolgozott általános rendszerelmélethez köthető (Bertalanffy, 1968), amellyel kapcsolatban Bertalanffy utal arra a lehetséges szerepvállalásra is, amelyet ez a komplex gondolkodásmód a természettudományok integrált tanításában betölthet: „A hagyományos fizika, biológia, pszichológia vagy a társadalomtudományok elkülönült területek, amelyeken belül általános trend, hogy egyre kisebb rész-

területekre oszlanak, majd ez a folyamat ismétlődik, mígnem ez a specializáció jelentéktelenül apró területekre vezet, amelyek nem állnak kapcsolatban egymással. Ezzel ellentétben az oktatásban megjelenik az igény az átfogó tudományos műveltségre, az alapvető interdiszciplináris tudásra, amelyet a rendszerelmélet segíthet kialakítani” (Bertalanffy, 1968, p. vii).

Az általános rendszerelméletben tükröződő komplex gondolkodás a későbbi értelmezések szerint egymással szinergikus viszonyban lévő analitikus készségek rendszerét jelenti, amely alkalmas a rendszerek azonosítására és megértésére, viselkedésük előrejelzésére, a kívánt hatásoknak megfelelő módosítások kidolgozására. Magában foglalja az információk megszerzésének és elemzésének, valamint a problémák részekre bontásának, a megoldások tervezésének és tesztelésének képességét. A többféle értelmezést szintetizáló meghatározás szerint a rendszer-szintű gondolkodás jellemzői a következők (Arnold & Wade, 2015):

1. *A részek és kapcsolatok azonosítása*
A rendszerszemlélet alapvető készsége, megfelelő gyakorlattal fejleszhető.
2. *Visszacsatolások azonosítása és megértése*
Ok-okozati visszacsatolások felismerése, amelyek alapvetően befolyásolják az adott rendszer viselkedését.
3. *A rendszer szerkezetének megértése*
Az 1. és 2. pont speciális kombinációját jelenti.
4. *Állandók és változók, folyamatok azonosítása*
Ez a rendszerszemlélet magasabb fokú készségeleme. Állandó lehet például valamely fizikai erőforrás (pl. tartalék tápanyag) készlete, és különböző változók módosíthatják a készletek értékeit, ezáltal folyamatokat hívhatnak életre.
5. *A dinamikus viselkedés megértése*
A készletek és változók alakulása, az időbeli folyamatok a rendszer dinamikus viselkedését alakítják ki. Ez a készségelem az előzőket is feltételezi.
6. *Egymásba épülő rendszerszintek megértése*
A rendszerek egymásba épülésével kialakuló hierarchia, a rendszer-alrendszer összefüggés megértése, az anyagi világ szerveződési szintjeinek átlátása.
7. *A komplexitás csökkentése a rendszermodell megfelelő tervezésével*
Az adott cél szerint felesleges rendszerelemek kizárásának képessége.

A komplex rendszerek vizsgálatának stratégiája több gondolkodási művelet integrációjával alakítható ki. A természettudományos gondolkodás egy lehetséges rendszerében (Adey & Csapó, 2012) leírt műveletek közül több összefüggésbe hozható a rendszerszemlélettel, ilyenek például a tulajdonságpárokkal jellemezhető gondolkodási folyamatok.

A *konkrét – absztrakt* dichotómia kezelése szükséges ahhoz, hogy a körülöttünk lévő világban megfigyelhető objektumok elvi hasonlósága alapján kialakítsuk a rendszer absztrakt fogalmát, amit a későbbiekben újabb konkrét rendszerek vizsgálatában megismerési eszközként, metakognitív stratégiaként is alkalmazhatunk. A kutatások azt is kimutatták, hogy a rendszerről alkotott episztemikus tudás, fogalmi értelmezés nélkül nem működtethető ez a gondolkodási képesség.

A *holisztikus – analitikus* szemléletpár a kiindulóponton a részek azonosítását jelenti, azaz analitikus gondolkodást igényel. A rendszer fogalmának lényege azonban éppen az, hogy az egész több mint a részek összessége, azok belső kölcsönhatásai révén sajátos működés, funkció jellemzi.

A *deduktív – induktív* gondolkodási fázisok váltakozásával történő megismerési folyamat a rendszerek esetében azt jelenti, hogy számos konkrét természeti, technológiai és gazdasági/társadalmi rendszer egyediségéből induktív módon szűrődött le az általános rendszerelmélet. Az ennek alapján megfogalmazott általános elvek deduktív alkalmazása megfigyelhető például a rendszerek tervezésében, optimalizálásában.

Az alapvető gondolkodási képességek (Csapó et al., 2013) közül a *sorképzés* a rendszerhierarchia kezelésében, a rendszer-alrendszer viszonyok értelmezésében játszik szerepet. Az *osztályozás* képessége ahhoz szükséges, hogy az egyes alrendszerek jellemzői alapján a rendszerelemekből csoportokat képezzünk. A rendszerek működését szimuláló modellek eredményeinek valós környezetbe történő átvitele *analógiás gondolkodást* igényel. Az *arányossági gondolkodás* a rendszerdinamikai modellekben jelenik meg, például a hatás-ellenhatás, a pozitív és negatív visszacsatolás esetében. A komplex rendszerek viselkedésének megértése, a viselkedés *extrapolálása* a tudomány nagy kihívása. A modellek eredményei azonban csak *valószínűségi gondolkodással* elemezhetők.

Az ezredfordulót követő években végzett kutatások eredményei alátámasztották, hogy a rendszerekkel kapcsolatos tudás- és képességrendszer jó alap a természettudományos műveltség építéséhez, a komplexitás megértéséhez. Olyan közös nyelvezet és gondolkodási rendszer, amely áthidalja és közös keretbe foglalja a különféle természettudományos témaköröket, elősegítve a természet szabályszerűségeinek megértését (Goldstone & Wilensky, 2008).

Mások kiemelik, hogy ez a típusú komplex gondolkodás segítheti a természeti rendszerek magasabb rendű komplexitásának megértését. Értelmezésük szerint a rendszerszemlélet a természettudományos műveltség fontos eleme, hasonlóan az oksági gondolkodáshoz, a modellek alkotásához és más hasonló, természettudományos gondolkodási képességhez, amelyekkel a kísérleti eredmények és meg-

figyelések magyarázhatók (Cheng, Ructtinger, Fujii, & Mislevy, 2010). A rendszer-szintű gondolkodás fejlesztésével és értékelésével kapcsolatban hármas kihívást érzékelnek: (1) a komplexitás megértéséhez a tanuló és az értékelő részéről megfelelő háttértudás szükséges, (2) nehézséget okozhat a tartalmi kontextusba való beágyazás, valamint (3) a tanulók fejlődési szintjével való összhangba hozás.

A kutatók a rendszerszemlélettel kapcsolatos készségeket és képességeket összefüggésbe hozták a tanulás során kialakított konstrukciókkal, a rendszerekhez kapcsolódó tudásterületekkel. A komplex rendszerek gyakoriak a természettudományok vizsgálati körében. Megértésük nehézségét az okozza, hogy sokféle szempontból elemezhetők, ami túlmutathat a mindennapi tapasztalatok körén. Az összetett szerkezeti és működési kapcsolatok megértését segíthetik az alkotás-tervezési tevékenységek, amelyek lehetővé teszik a rendszerek működésének feltárását, segíthetik a tanulókat a mélyebb, szisztematikusabb megértést jelentő tudás megszerzésében (Hmelo, Holton, & Kolodner, 2000).

A rendszerszintű komplex gondolkodás mérés-értékelésére gyakran alkalmaznak kérdőíveket, videóelemzést vagy interjúkat. Ezek mellett alkalmas eszköz lehet a fogalmi térkép (*concept map*) készítése is. Ennek a módszernek különböző módjai vannak, lehet papír-ceruza vagy számítógépes szerkesztés, illetve irányított vagy kevésbé irányított feladat. Egy vizsgálat szerint (Brandstädter, 2012) a számítógépes szoftver használata pozitívan befolyásolta a diákok teljesítményét a papír-ceruzával készített fogalmi térképekkel összehasonlítva. A számítógépes programok használata mellett a kutatók a magasabb fokon irányított térképezés módszerét ajánlják a rendszerszintű komplex gondolkodás fejlesztésére.

Nem tantárgyfüggő (21. századi) készségek

Olyan, nem tantárgyi készségek (*soft skills*) sorolhatók ebbe a csoportba, amelyek a személyiségfejlődés, a munkába állás vagy az aktív állampolgárság szempontjából meghatározóak. A legfontosabb 21. századi készségek többféle keretrendszer (P21, 2019; ATCS, é.n.; Binkley et al., 2012; UNESCO, 2012) alapján a következők: együttműködés, kommunikáció, kreativitás, kritikai gondolkodás, problémamegoldás, produktivitás, önirányítás, tervezés, alkalmazkodóképesség, kockázatvállalás, konfliktuskezelés, IKT-jártasság, vállalkozói készségek (OFI, é.n.).

Az új pedagógiai paradigmában felértékelődött a 21. századi készségek fejlesztése, mivel nem az ismeretek tárolását, hanem megszerzését és alkalmazását segítik. A fejlesztést támogató tanári kompetenciák (P21, 2019):

- a 21. századi készségek fontosságának és a napi pedagógiai munkába való integrálási lehetőségeinek megértése;

- a tananyag mély megértése, valamint a problémamegoldás, a kritikai gondolkodás és más 21. századi készségek fejlesztése közötti összefüggés megértése;
- a tanulók egyéni tanulási stílusának és adottságainak felismerési képessége;
- a 21. századi technikai lehetőségek (pl. médiaforrások, számítógéppel segített tanulás, közösségi média) használata az osztálytermi munkában;
- a tudásmegosztás lehetőségeinek kiaknázása, a szakértőkkel és más, iskolán kívüli közösségekkel való személyes és virtuális információcsere;
- a készségfejlesztés módszereinek ismerete és alkalmazása (kis lépésekkel kell kezdeni, rövid és egyszerű projektekkel, amelyek segítenek abban, hogyan integrálhatók a 21. századi készségek a tantárgyi munkába);
- az együttműködés, a hálózatépítés erősítése iskolán belül és iskolák között, valamint a kutatókkal, a szakértőkkel és a társadalmi szervezetekkel.

IRODALOM

- Adey, P., & Csapó, B. (2012). A természettudományos gondolkodás fejlesztése és értékelése, online diagnosztikus értékelése. In B. Csapó & G. Szabó (Eds.), *Tartalmi keretek a természettudomány diagnosztikus értékeléséhez* (pp. 35–116). Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.
- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach. *Procedia Computer Science*, 44, 669–678.
- ATCS (én.). Assessment & Teaching of 21st Century Skills.
https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/citizenship/socio-economic/docs/ATC21S_Exec_Summary.pdf
- Barrows, H. S., & Tamblyn, R. M. (1980). *Problem-based learning: an approach to medical education*. New York, N.Y: Springer Publishing.
- Bertalanffy, L. V. (1968). *General System Theory. Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller.
- Binkley, M., Erstad, O., Hermna, J., Raizen, S., Ripley, M., Miller-Ricci, M., & Rumble, M. (2012). Defining Twenty-First Century Skills. In P. Griffin, B. McGaw, & E. Care (Eds.), *Assessment and Teaching of 21st Century Skills* (pp. 17-66). Dordrecht: Springer.
https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-007-2324-5_2
- Bolhuis, S., & Voetes, M. (2001). Toward self-directed learning in secondary schools: what do teachers do? *Teaching and Teacher Education*, 17(7), 837–855.
- Brandstädter K. (2012). Assessing System Thinking Through Different Concept-Mapping Practices. *International Journal of Science Education*, 34(14), 1–24.
- Cheng, B. H., Ructtinger, L., Fujii, R., & Mislevy, R. (2010). *Assessing Systems Thinking and Complexity in Science. Project: Application of Evidence-Centered Design to State Large-Scale Science Assessment*. Menlo Park California: SRI International Center for Technology in Learning.
- Csapó, B. (2004). A természettudományos nevelés: híd a tudomány és a nevelés között. In B. Csapó (Ed.), *Tudás és iskola* (pp. 11–28). Budapest: Műszaki Könyvkiadó.

- Csapó B., Csíkos Cs., Korom E., B. Németh M., Black, P., Harrison, C., van Kempen, P., & Finlayson, O. (2013). *Report on the strategy for the assessment of skills and competencies suitable for IBSE*. SAILS projekt keretében készült jelentés. Szeged: Szegedi Tudományegyetem.
- Csapó, B., Csíkos, Cs., & Korom, E. (2016). Értékelés a kutatásalapú természettudomány-tanulásban: a SAILS projekt. *Iskolakultúra*, 26(3), 3–16.
<http://www.iskolakultura.hu/index.php/iskolakultura/article/view/21773/21563>
- Csíkos, Cs. (2010). A PRIMAS projekt. *Iskolakultúra*, 20(12), 4–12.
<http://www.iskolakultura.hu/index.php/iskolakultura/article/view/21098>
- Csorba, F. L. (2003). *Testvéri tantárgyak – Segédanyag a természettudományok összehangolt tanításához a középiskolákban*. Budapest: Oktatókutató és Fejlesztő Intézet.
<https://ofi.oh.gov.hu/tudastar/pedagogiai-rendszerek/testveri-tantargyak>
- Dobson, K. (Ed.). (1991). *Co-ordinated Science G.C.S.E. Introductory Book*. Canada: Collins Educational, HarperCollins Publishers.
- Drótos, L. (1993). *Informatikai jegyzetek*. <https://mek.oszk.hu/03100/03122/html/>
- Duran, L. B., & Duran, E. (2004). The 5E Instructional Model: A Learning Cycle Approach for Inquiry-Based Science Teaching. *Science Education Review*, 3(2), 49–58.
- Engel, C. (1997). Is problem-based learning just another fashion? *Changing Medical Education and Medical Practice*, 6(6), 15–7.
- Goldstone, R. R., & Wilensky, U. (2008). Promoting Transfer by Grounding Complex systems Principles. *Journal of the Learning Sciences*, 17(4), 465–516.
- Grob, R., Beerenwinkel, A., Haselhofer, M., Holmeier, M., Stübi, C., Tsivitanidou, O., & Labudde, P. (2014). *Description of the ASSIST-ME assessment methods and competences*. Basel: University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland.
- Grob, R., Holmeier, M., & Labudde, P. (2016). Formative assessment for inquiry learning. In J. Lavonen, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto & K. Hahl (Eds.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2015 Conference. Science education research: Engaging learners for a sustainable future, Part 11* (co-eds. J. Dolin & P. Kind), (pp. 1759–1765). Helsinki, Finland: University of Helsinki.
- Harlen, W. (2006). *Teaching, Learning and Assessing Science 5–12*. London: Sage.
- Havas, P. (2008). A Globális éghajlatváltozás című oktatócsomag fejlesztése és a kipróbálás tapasztalatai. *Új Pedagógiai Szemle*, 58(10), 43–65.
- Hmelo, C. E., Holton, D. L., & Kolodner, J. L. (2000). Designing to Learn About Complex Systems. *Journal of the Learning Sciences*, 9(3), 247–298.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.
- Millar, R. & Osborne, J. (Eds.). (1998). *Beyond 2000: Science Education for the Future*, School of Education. London: King's College.
- NEFMI (2008). *Természettudomány tantárgy kerettanterve a közoktatás 5–8., és a középiskolák 9–12. évfolyamára*.
http://www.nefmi.gov.hu/letolt/elektronikus_ugyintezes/ktt_terv_mell_termtud_090324.pdf
- Nemzeti alaptanterv (2020). *Magyar Közlöny*, 17, 290–446.

- OECD (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*. Paris: PISA, OECD Publishing.
- OECD – CERI (2005). *Formative Assessment: Improving Learning in Secondary Classrooms*.
<http://www.oecd.org/education/ceri/35661078.pdf>
- OFI (én.). *Komplex természettudomány a szakgimnáziumok 9. évfolyama számára Pedagógiai koncepció*.
<https://ofi.oh.gov.hu/komplex-termeszettudomany-szakgimnaziumok-9-efolyama-szamura-pedagogiai-koncepcio>
- P21 (2019). *Partnership for 21st Century Skills*.
<https://www.battelleforkids.org/networks/p21>
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). *Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe*. Luxembourg, Belgium: European Commission.
https://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf
- Savery, J. R., & Duffy, T. M. (1996). Problem Based Learning: An Instructional Model and Its Constructivist Framework. In B. G. Wilson (Ed.), *Constructivist Learning Environments – Case studies in Instructional Design* (pp. 138–145). New Jersey: Educational Technology Publications, Inc., Englewood Cliffs.
- UNESCO (2012). *21th Century Skills*.
<http://www.ibe.unesco.org/en/glossary-curriculum-terminology/t/twenty-first-century-skills>
- Veres, G. (2002a). Komplex természetismeret a Politechnikumban I. *Új Pedagógiai Szemle*, 52(5), 60–83.
<https://ofi.oh.gov.hu/tudastar/veres-gabor-komplex-090617>
- Veres, G. (2002b). Komplex természetismeret a Politechnikumban II. *Új Pedagógiai Szemle*, 52(6), 56–73.
<https://folyoiratok.oh.gov.hu/uj-pedagogiai-szemle/komplex-termeszetismeret-a-politechnikumban-ii>
- Veres, G. (Ed.). (2004). *Mátrix – Az integrált természetismeret tantárgy kereszttantervi tartalma*. Budapest: OKI-OKM.
https://poli.hu/wp/wp-content/uploads/2009/11/M%C3%A1trix_2.pdf
- Veres, G. (2008). Kérdések és válaszok az integrált természettudományos nevelésről. In P. Havas & G. Veres (Eds.), *Globális éghajlatváltozás oktatócsomag. Integrált természettudományi mintaprojektek* (pp. 7–21). Budapest: Oktatókutató és Fejlesztő Intézet.
<https://ofi.oh.gov.hu/tudastar/globalis/kerdesek-valaszok>
- Veres, G. (2010). Kutatásalapú tanulás – a feladatok tükrében. *Iskolakultúra*, 20(12), 6–77.
<http://www.iskolakultura.hu/index.php/iskolakultura/article/view/21102>
- Veres, G. (2011). A tantárgyközi együttműködést elősegítő iskolaszervezés tapasztalatai a Politechnikumban. In F. L. Csorba & Zs. Bánkúti (Eds.), *Átmenet a tantárgyak között – A természettudományos oktatás megújításának lehetőségei* (pp. 153–181). Budapest: Oktatókutató és Fejlesztő Intézet.
<http://mek.oszk.hu/13500/13598/13598.pdf>
- Veres, G. (2016). Gondolkodás- és képességfejlesztés: kihívások és megoldások a SAILS projektben. *Iskolakultúra*, 26(3), 43–56.
<http://www.iskolakultura.hu/index.php/iskolakultura/article/view/21776>