

## A természettudomány tanításának új erkölcsi feladatai

*A korábbi évezredekben, évszázadokban a szociális és technikai fejlődés lassú és néhány generáción keresztül észrevehető volt.*

*Az ókori tudósok az öreg és bölcs klasszikus írókat olvasták és értelmezték. A birodalmi dinasztiák Isten kegyelméből „örök érvényű” birodalmakon uralkodtak. Az uralkodók és hívők legfőbb célja a halhatatlanság volt. Az idő - akkor úgy tűnt - nem telik.*

**E**bben a korban az emberek örök érvényű modelleket gyártottak, hogy megérthessék azt a világot, amelyben élnek. Az ember modellje a szobor volt. Az időtálló művészeti ágak – a szobrászat és az építészet – az örökkévalóság megvalósítása iránti vágyat fejezték ki. Az időtálló természettudományokat, mint a geometriát és a merev testek statikáját, az emberi környezetben való tájékozódásra fejlesztették ki. A mozgás törvényen kívüli volt, a változást veszedelmesnek tekintették, az időt pedig egy olyan kellemetlen fogalomnak, amelyet ki kellett küszöbölni a világ sorából. A szakmát a szülőket utánozva sajátították el. A fiatalok számára az apa volt a legfőbb tekintély. Az erkölcsi törvényeket márványba vésték.

Galilei azonban kimondta: „Eppur si muove!”, s 500 évvel ezelőtt a változás érzékelhetővé vált. Kolumbusz felfedezte az Új Világot. A barokk ízlésnek megfelelően a mozgás már gyönyörű. A korszakra jellemző művészeti ágak, a zene és a színház, az Új Kor szellemét fejezték ki. A változás divatossá vált: Marx osztályharcokról és forradalmakról írt, Toynbee új határok szükségességét hangsúlyozta. Még az egyház reformációja is bekövetkezett. A newtoni dinamika és a darwini evolúció vette át az időtálló természettudományok helyét. A gőzgép új modellként szolgált az embernek, amint az üzemanyagot mozgássá alakította. A gépek készítéséhez szükséges szén és acél fontosabbá vált az aranynál és a márványnál is. Az arkhimédészi statikus erő helyett az energia lett a központi fogalom, a háborúk nem az aranyért, hanem az olajért törtek ki.

Az ipari forradalom mozgásba hozta a társadalmat: az emberek a farmokról a gyárakba mentek, a falvakból a városokba. Az apák utánzása és tisztelete nem volt elegendő többé. A társadalom feltalálta az iskolát, ahol naprakész tudást tanítottak. Így a felnövekvő új nemzedék szemében az apa helyett a tanár lett az új tekintély. Az idő, amely a gőzgép (Watt, 1765) és a gőzmozdony (Stephenson, 1825) feltalálása, az elektromágneses indukció felfedezése (Faraday, 1831) és a váltakozó áram energia továbbítására való felhasználása (Zipernowsky, 1885), a telegráf (Morse, 1821) és a lakossági telefonközpont kifejlesztése (Puskás, 1879) között eltelt két generációt ölelt fel, alkalmat adva az iskoláknak arra, hogy az új tudományos és technikai elképzeléseket beviessék az osztálytermekbe, a fiatal generáció gondolkodásába.

Az iskolai oktatás kötelezővé vált. Az iskolai órarendek azonban a tizenkilencedik századhoz ragaszkodtak. Mechanikát, geometriai optikát, elektromos áramot tanítottak fizikából, kémiai elemek összetételét (oxidáció és redukció) kémiából, változatlan biológiai fajokat és azok anyagcseréjét biológiából. A természettudományokat tanító tanárok nem beszéltek etikáról és szépségről, így a humanista és a nemzeti erkölcs a művészet, az irodalom és a történelem tanáraira maradt. A feladatok ilyen megosztása kétséges eredménnyel járt. Arthur Koestler szerint: „A közelmúltban több embert öltek meg ideológiai (nemzeti, faji, vallási) okok miatt, mint anyagi javakért.”

Aztán beköszöntött a huszadik század és nagyon eltért a korábbi évszázadoktól. A modern természettudomány és utódai, a fejlett technika felgyorsították a fejlődés ütemét évszázadokról évtizedekre. Az elektronok és a rádióhullámok a fejlődés fontosabb eszközeivé váltak, mint az arany vagy az acél. A nyers erő vagy a tárolt energia helyett az összegyűjtött információ adta meg az ipari termékek értékét. (És ennek negatív aspektusa, az entrópia a folyamatosan növekvő rendetlenséget és szennyezést mutatta.)

Felfedezték a neutron (Chadwick, 1932) és két éven belül a neutron láncreakció szabadalmaztatva lett (Szilárd, 1934); az atomreaktor működni kezdett (Chicago, 1942, Obninsk, 1946) és az atombombák felrobbantak (Hirosima és Nagaszaki, 1945).

A kvantummechanikával a szilárdtestek szerkezetét magyarázták (Wigner, 1942) és nagyon rövid időn belül feltalálták a tranzisztort (Bardeen, Wigner tanítványa, 1947); aztán a hordozható tranzisztoros rádiók a világ híreit otthonainkba hozták és nemzeti forradalmakat gerjesztettek még az írástudatlan beduinok között is, akik az újságokból nem tájékozódhattak.

---

*Mechanikát, geometriai optikát, elektromos áramot tanítottak fizikából, kémiai elemek összetételét (oxidáció és redukció) kémiából, változatlan biológiai fajokat és azok anyagcseréjét biológiából. A természettudományokat tanító tanárok nem beszéltek etikáról és szépségről, így a humanista és a nemzeti erkölcs a művészet, az irodalom és a történelem tanáraira maradt. A feladatok ilyen megosztása kétséges eredménnyel járt.*

---

Az elektronikus számítógépeket (Von Neumann, 1940-es évek vége) az e-mail követte (Kemény, az 1960-as évek eleje). Napjainkban már a szórakozás, a politika, a művészet, az üzlet a TV-n és az e-mailen keresztül a fény sebességét megközelítve jut el hozzánk.

Mindezen változások egyetlen emberöltő alatt következtek be! Nem csoda tehát, hogy a szülők és tanárok tisztelete lecsökkent. Elszökött gyerekek, magányos idősek, a hagyományos társadalmi rendszer ellen tüntető utcai graffitik, a vandalizmus, a terrorizmus és az értelmetlen iskolai gyilkosságok mind annak a konfliktusnak a megnyilvánulásai, amely a nyugati fiatalok szemében a tradicionális nevelés és a gyorsan változó technikai valóság között feszül: „Állítsátok meg a világot, ki akarok szállni belőle!”

A média, a politikusok és konzervatív népmozgalmak megdöbbenve vették tudomásul azt, hogy a nemlineáris fizika, a kvantummechanika, a molekuláris genetika, a nukleáris technika váratlanul betört a hétköznapokba.

A nemzeti erkölcsöt a sugárhajtású repülőgépek, a műholdas TV, az atomfegyverek, a ballisztikus rakéták befolyásolják. A szénérművek által okozott savanyú eső kipsztítja a környező országok fenyőerdeit, új feszültségeket teremtve nemzetek között.

Az egész világra vonatkozó erkölcs komoly kérdéseket állít manapság a fejlett országok elé. A CO<sub>2</sub> – amely a nehéziparból, az erőművekből, a szállításból, fosszilis üzemanyagok elégetéséből származik – felhalmozódik a légkörben és az éghajlat általános felmelegedését okozza. A túlzott párologtatás eredménye heves légmozgások és erdőtüzek a trópusokon, a víz globális körmozgásának megnövekedése és egyre nagyobb hőföldre terület és zónák, nagyobb hőmérséklet-ingadozások a mérsékelt égövben, ebből következően hurrikánok és árvizek az egész világon. Vajon egy nagy teljesítményű autó tulajdonosa érzi-e a felelősségét, amikor az árvizek ártatlan kisgyermekeket ölnek meg a messzi Bangladesben?

A szülői erkölcsnek megfelelően etetjük és tanítjuk gyermekeinket. De használunk hidrofluor-karbonokat is, mint például a freon a légkondicionálókban és a hűtőszekrényekben. Amikor ezek a molekulák kiszabadulnak, száz évig is megtalálhatók a légkörben, évtize-

dek alatt átjutnak a sztratoszférába és kilyukasztják az ózonpajzsot. Így az a freon, amit az 1960-as években a szülők használtak el, a napozó tizenévesekre nézve káros ultraibolya-sugárzást eredményezett az 1980-as években, ami ma, az 1990-es években abban nyilvánul meg, hogy a bőrrákos megbetegedések száma a huszonévesek körében megháromszorozódott. A légkör sorsa nem érdekli sem a politikusokat (akik csak a következő választásokra gondolnak), sem az üzletembereket (akik csak a költségvetési év végéig számolnak). Csakis a gyerekeket nevelő szülőknek és diákokat tanító tanároknak lényeges ez a kérdés.

A szexuális erkölcsöt sokkal nyíltabban befolyásolta a fogamzásgátló tabletták és aztán az AIDS terjedésének veszélye, mint bármilyen írott szabály.

A humanista erkölcs az egyén szabadságát hívatott figyelembe venni. Egy bárány sikerese klónozása – vagyis másolása –, Dolly megszületése heves támadásokat váltott ki a „humanistákból”, akik irodalmon és történelmen nevelkedtek, nem pedig molekuláris genetikán. A 21. század első nagy természettudományos vállalkozása a Human Genome Project (Emberi Genetikai Terv). Gondolkodjunk erről egy kicsit: ha mindenki ismeri saját genetikai ujjlenyomatát, fel tud készülni arra, hogy elkerülje azokat a speciális betegségeket, melyek megrövidíthetik az életét. Ez eddig nagyon jó, de ha a biztosító társaságok megtudják, hogy klienseiknek genetikai szempontból milyenek a kilátásaik, fel is emelhetik az életbiztosítás díját. Lehet, hogy fiaink és lányaink majd úgy választanak társat maguknak, hogy először egymás génjeit ellenőrzik? Lehet, hogy a még meg nem született kisbabákat majd mesterségesen eltávolítják, ha a génjeik nem felelnek meg az édesanyjuknak, ezzel a biológiai sokféleséget megszüntetve? De vajon ki mondhatja meg, hogy mi a jó vagy mi a rossz?

A humán tárgyakat tanító tanárok nincsenek felkészülve ezen új morális kérdések megvitatására, ők nem ezekre vannak felkészülve. Például az irodalomtanárt múlt századi regények elemzésére készítették fel; kevésbé felkészült a tegnapi esti TV show művészeti értékének megvitatására, még kevésbé arra, hogy megtanítsa az interneten való esztétikai és erkölcsi szempontok szerinti tájékozódást. A történelemtanárok jobban otthon vannak a 18. és a 19. században, mint a 20. és az eljövendő 21. században. Így a természettudományos oktatásnak kell felvállalnia azt a felelősséget, hogy a 21. század polgárainak erkölcsi nevelést nyújtson. De ahogy már említettük: az iskolai tantervet a 19. században állították össze és rögzítették.

Tehát miről tanuljunk?

- A matematikában: törtek összeadásáról vagy számítógépes nyelvről?
- A fizikában: a lejtő törvényszerűségeiről vagy az ózonlyukról?
- A kémiában: a kénsav előállításáról vagy a savanyú esőről?
- A biológiában: az oroszlánról vagy az AIDS-ről?
- A földtudományokban: nemzeti parkokról vagy az éghajlatváltozásokról?

Az iskolai örökség szerint az elsőt kellene választanunk, azonban az újságolvasó és TV-néző diákokat valószínűleg jobban érdekelné a második választás. A matematika a világ időtálló modelljét tanítja. A történelem múlt időben van: jól elmagyarázza, hogy az események miért történtek meg. A földrajz jelen időben van: jól megtaníttja, hogy hol vannak az országok jelenlegi országhatárai és fővárosai. A fizika jövő időben van: célja előre jelezni bizonyos dolgok bekövetkezését. Ez az, ami miatt a természettudomány lényeges a mai gyorsuló világunkban élő emberek számára. *Gábor Dénes*, magyar–brit Nobel-díjas így ír a „Kitalálni a jövőt” című könyvében: „Mózes megmutatta népének az ígért földjét, de aztán negyven évig a pusztában vezette őket, míg egy másik, értékesebb generáció fel nem nőtt. Ma is negyven évbe telhet egy olyan új generáció kinevelése, amely a fejlett technikának köszönhetően már könnyebben élhet, de meg kell találnunk a pusztát alkalmasabb megfelelőjét. Az információs technika jelenlegi szintjén ennek az időnek rövidebbnek kellene lennie – pusztán annyi időnek, hogy kiképezhessék a tanárokat, a ta-

nárok pedig a dolgozók első generációját. Nem a fiatalok nevelése a lassú, hanem a politikai vezetőké.”

A történelem felgyorsul a modern technikának köszönhetően. Mózessel ellentétben nekünk nincs negyven évünk arra, hogy megoldjuk az emberiség problémáit. A tudományos laboratóriumoktól a tanárképző intézményekig, addig, hogy iskolai tanárrá válhasson valaki, majd hogy a diákok által az osztályteremben elsajátított tudás később a felnőtt társadalomban realizálódhasson, túl hosszú az út. A társadalom, amely képes ezen változásokat felgyorsítani, a jövő században hatással lehet a világgazdaságra és a világtörténelemre.

Ez az a pont, ahol fontossá válik a tudós és a tanár közvetlen kapcsolata, a természettudományos kutatás és az iskolai oktatás közötti lerövidített út. „Egy újszülöttnak minden vicc új.” A tizenéveseket nem a hagyományok érdeklik, ők a jövő felé nyitottak. Ha úgy látják, hogy a természettudomány fontos a jövőjük formálása érdekében, azonnal figyelemmel kísérik, sőt még szüleik átnevelésére is hajlandóak. Hadd említsek egy speciális példát: a fiatalok magfizikai műveltségét.

---

*Az irodalomtanárt múlt századi regények elemzésére készítették fel; kevésbé felkészült a tegnap esti TV show művészeti értékének megvitatására, még kevésbé arra, hogy megtanítsa az interneten való esztétikai és erkölcsi szempontok szerinti tájékozódást. A történelemtanárok jobban otthon vannak a 18. és a 19. században, mint a 20. és az eljövendő 21. században. Így a természettudományos oktatásnak kell felvállalnia azt a felelősséget, hogy a 21. század polgárainak erkölcsi nevelést nyújtson.*

---

Hirosima és Nagaszaki emléke, Three Mile Island és Csernobil emléke nagyon nagy terhet ró az atomenergiára. De az etnikai konfliktusok sora és a felelőtlen diplomáciai magatartás több embert ölt meg a volt Jugoszláviában, mint a Hirosimára és Nagaszakira dobott bombák. A gázzal kapcsolatos szerencsétlenségek több ember halálát okozzák, mint a nukleáris balesetek. A szénipar (vagy a dohányzás) okozta levegőszennyezés évente százszor több embert öl meg, mint Csernobil utóhatása. De egy TV-riporternek nehéz megérteni, hogy egy grafit moderátoros, vízhűtéses reaktornak pozitív a visszacsatolása a hőmérséklet-változásra, míg a vízmódorált, vízhűtéses reaktornak negatív: leáll, ha túlfűtés miatt a víz moderátor elforr. A különbség hasonlít ahhoz a különbséghez, ami egy hordó benzin vagy egy hordó sör reakciója között van, ha egy meggyújtott gyufát dobunk bele.

Egy atomenergia-ellenes környezetvédő arra a kérdésre, hogy az atomerőművek helyett inkább koszos szenerőműveket használjunk-e, így válaszolna: Őrizzük meg az energiát! Szigeteljünk jól ablakainkat! De Észak- és Közép-Európában széles körben tapasztalták, hogy az olajválság után, amikor megerősítették a lakóházak szigetelését, a radon szintje a lakáson belül két- vagy háromszorosára is megnőtt. A mérsékelt övben a radon és származékai jelentik a lakosságra eső sugárzás fő forrását! (Magyarországon az évi radon dózis tízszer magasabb, mint a Csernobilból származó sugárterhelés volt 1996-ban, annak ellenére, hogy Csernobil csak néhány száz kilométerre van Budapesttől.)

Úgy gondolom, a levegőszennyezés és az általános felmelegedés éppúgy etikai probléma, mint a nukleáris fegyverkezés. Ezeket a problémákat megvitatjuk a tanárokkal. A tanárok ráébredtek: ha a jövőre vonatkozó általános felelősség kérdését tárgyalják meg fizika, kémia, földrajz és biológia órákon, akkor minden diák (még a leendő író, üzletember és politikus is) figyel, ami meggyőzi a tanárokat arról, hogy a nukleáris lefegyverzés, az energianyeresi lehetőségek, a CO<sub>2</sub> üvegházhatása természettudományos problémák, amelyeket még jelentőségelteljesebbé tesz a társadalommal való kapcsolatuk és a velük járó etikai felelősség. Egy nagyon sikeres tanári előkészítő alapján, amelyet *Tóth Eszter* vezetett,

15 000 magyar középiskolás diák mérte a radon koncentrációját egy éven keresztül a saját hálószobájában. Mikor egy izraeli pedagógus megkérdezte tőlük: „Mit tennétek, ha a közelben egy Csernobilhoz hasonló méretű nukleáris baleset történné?”, a diákok így válaszoltak: „Mégmérnénk a radioaktív csapadékot!”. Az 1998/99-es tél rendkívüli mértékben hideg, jeges és hóban gazdag volt Magyarországon. Ezen a télen a radonnövekedés meghaladta az 1986-os növekedést, ami Magyarországot Csernobil miatt érte. Ez az, amit azok a középiskolások megmértek és megértettek!

*Szilárd Leó*, a nukleáris láncreakció és az inhomogén nukleáris reaktor feltalálója születésének centenáriuma indult el a Szilárd Leó Tanulmányi Verseny, amely a diákok nukleáris problémákkal kapcsolatos felkészültségét vizsgálja. A győzteseket szívesen várják az egyetemeken, ahol nem kell felvételi vizsgát tenniük. Évről évre több száz középiskolás vesz részt a versenyen és próbál választ találni olyan trükkös (fizikai? technikai? gazdasági? társadalmi?) magfizikai kérdésekre, melyek még néhány professzor számára is túl nehezek lennének. Például az egyik elméleti kérdés a következő volt:

Mi keletkezik, ha két  ${}^2\text{H}$  atommag energetikailag kapcsolatba kerül?  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^4\text{He}+\gamma$  vagy  ${}^3\text{He}+\text{neutron}$ ? (A válasz: alapállapotban a  ${}^4\text{He}$  egyedüli keletkezése az energia és impulzus megmaradás miatt tiltott. A gerjesztett  ${}^4\text{He}$  megszabadulhatna a többletenergiájától egy foton kisugárzásával, de az elektromágneses reakciók viszonylag lassúak. Így a  ${}^3\text{He} + \text{n}$  végállapot a leginkább valószínű az erős magkölsönhatások miatt).

Egy gyakorlati probléma a következő volt: Gyűjts össze annyi radioaktív anyagot az osztályteremben, amennyit csak tudsz és egy detektor segítségével mérd meg a felezési idejét, amilyen pontosan csak lehet! (Megoldás: az urán jelen van a talajban és az építőanyagokban. Az U Ra Rn gáz aktív bomlástermék bomlási lánc a levegőben pozitív fémionokat hoz létre, amik a szálló porba ragadnak. A por részecskéi egy szűrőn át porszívó segítségével 20 perc alatt radioaktív mintaként összegyűjthetők. Porossá téve a levegőt a hatékonyság növelhető. Vagy fújjunk fel egy léggömböt, majd dörzsöljük meg hajjal. A negatívan feltöltött léggömb magához vonzza a szálló pozitív ionokat. 30 perc után kiengedhetjük a levegőt a léggömbből, az leereszt és aktivitása mérhető.)

A közelmúltban végzős középiskolai diákok egy statisztikusan jelentős hányadát kérdezte *Papp Katalin*, vajon hogyan oldaná meg a háztartások növekvő energia szükségletének problémáját. A lehetőségek a következők voltak: szénérőmű, olaj és gáz, atomenergia, vízenergia, biomassza (növényekből származó energia), import vagy megszorítások. A diákok óriási hányada az atomenergiát választotta. Ez az eredmény nagyban különbözik attól az „általános” nézettől, melyet az újságokból, a médiából és a parlamentből ismerhetünk.

A természettudományos órák általában is nevelhetnek a polgárságra. Az ezredfordulón meg kell vitatnunk az iskolai természettudományos oktatás erkölcsi vonatkozásait. Hadd ismételjem meg az állításumat: egy demokratikus társadalomban az embereknek érteniük kell a jövőt. Ezért a társadalomnak kell döntéseket hoznia. A polgároknak meg kell érteniük a problémákat, etikai felelősséggel kell mérlegelniük és rá kell erőltetniük döntéseiket a politikusokra. Nem adhatunk végleges választ a századfordulón felmerülő összes kérdésre. A jövőendő generációknak kell megérteniük és formálniuk saját jövőjüket. Tanítványaink, gyerekeink és unokáink lesznek a 21. század döntéshozó polgárai. Meggyőződésem, hogy az olyan aktuális problémák, mint amilyen például az ember által okozott éghajlatváltozás, csakis az oktatás segítségével oldhatók meg.