



Csernobil és Paks a tananyagban

Tévhitek és szakmódszertan

Elég, ha meghalljuk a Csernobil szót, máris megborzongunk, és azonnal az 1986 áprilisában történt balesetre, s annak rettenetes következményeire gondolunk. Két évvel a harmincéves megemlékezés után, Csernobil és az atomenergiától való rettegés beivódott mindennapjainkba, mialatt politikai fórumok fontos vitatárgya lett. A Paksi Atomerőmű mellé építeni tervezett Paks II. kérdése állandó témájává vált nemcsak az ország energiaellátásában érdekelt közösségeknek, hanem civileknek, az atomenergia tudományában kevésbé jártas polgároknak is. Következő írásomban kívánok beszámolni a téma középiskolai fizikaoktatásban való helytelen, illetve hiányos megjelenéséről, feldolgozásának egy lehetőségéről, illetve annak buktatóiról. Megállapításaimhoz csakis objektív és tudományos érveket sorakoztatok fel korábbi, szakmódszertani kutatásom eredményei alapján.

Dolgozatom [1] a *Csernobillal* kapcsolatos tévhitek eloszlását és az arra ajánlott objektív tananyagot foglalja magába. A témaválasztás maga kettősnek tekinthető, hiszen szerepel benne egyrészt a fentebb már említett tudománytalan hozzáállás, mint az „ismeretlentől való félelem” megszüntetése (**1. ábra**) és leküzdése, illetve a balesetről való 30. évi megemlékezés (2016) is. A naponta forgatott sajtó és az internetes weboldalak sokasága, sőt egyes, a témában készített dokumentumfilmek sem törekednek gyakran a tudományos pontosságra, hanem csak számokkal, adatokkal dobálózva igyekeznek meggyőzni az olvasót saját igazukról. Ilyen célból természetesen fontos, hogy ne vesszünk el a fizika vagy matematika bonyolult világában, mivel egy egyszerű magyarázat is sokszor hordozhat objektív és ésszerű téziseket vagy állításokat. Céлом tehát az, hogy a szakmódszertani kutatásomban összeállított közérthető, mégis tudományos érveimet a következőkben összegezzem, a középiskolai fizikaoktatás szemszögéből közelítve meg a kérdést.

Csernobil megjelenése egy oktatási segédanyagban

A Csernobil tanításához elérhető oktatási segédanyagok közül most alaposabban is megvizsgálunk egyet, hogy igazoljuk állításunkat, miszerint a tudományosnak hitt, rendelkezésre álló források is lehetnek megbízhatatlanok.

A katasztrófa következménye ugyanis, bár előkerül környezetismeret órán, de az ahhoz készített internetes segédanyag nemcsak pontatlan, de helytelen információkat is közöl. A *Különböző életmódok – különböző környezetpusztítás* című alfejezet [3] a hatodik osztályos *Ember a természetben* részeként, a *Természeti és társadalmi kölcsönhatások* fejezetében különös módon mesél a reaktor történetéről. Úgy fogalmaz, hogy „a nyolcvanas évek végén Földünk legnagyobb környezeti katasztrófája a csernobili (Ukrajna területén) atomerőműhöz kapcsolódik. [...] A baleset közvetlen közelében sokan olyan súlyos sugárfertőzést kaptak, hogy pár napon belül meghaltak. [...] Nem tudjuk felmérni, hány ember halt meg a sugárzás következtében kialakuló betegségektől, de annyi bizonyos, hogy gyakorlatilag Európa teljes lakossága érintett valamilyen mértékben.”

A Csernobil mellett történt esemény valóban óriási katasztrófát jelentett a környezetvédelem szempontjából is, hiszen minden addiginál nagyobb mértékben került a levegőbe radioaktív anyag egy atomerőmű sérüléséből származó balesetből (**2. ábra**). Ugyanakkor, nem csak tévedésnek, de tárgyi hibának tudhatjuk be a „sugárfertőzés” szót, hiszen *betegségről*, de semmiképp sem *fertőzésről* van szó! (A radioaktív sugárzást elszennvedett egyén ugyanis nem képes átadni betegségét más embertársának, akár az influenzát!) Szintén hiba, hogy a tananyag felelőtlen mó-

don érinti a baleset következtében elhunyt személyek számát: sokról beszél, bármiféle számadat megadása nélkül. Mindamelllett, az a megállapítás, hogy Európa egésze érintett lenne a baleset hatásától, egyszerűen hamis: bár a levegőbe került radioaktív anyagok elég messzire eljutottak a széllel, ám statisztikai egyezést azóta sem sikerült találni a rákos betegek számának növekedésével [4].

Hiányosságok és buktatók

Egyrészt a Csernobil–Paks kérdés tanításának hiányossága tehát, hogy a rendelkezésre álló segédletek pontatlanul, és mint láttuk, tévesen kezelhetik a valódi tényeket.

Másrészt égető probléma, hogy egyes fizikakönyvek [6] csak érintőlegesen foglalkoznak az atomerőmű, atomenergia témájával. Nem esik szó bennük a Paksi Atomerőmű jellegzetességeiről, s annak működését is csak felületesen tárgyalják. Ebből kifolyólag a tanárok sem lehetnek tisztában Paks, illetve Csernobil kapcsolatával, ami súlyos hiányosság az oktatás terén, hiszen a fizikatanár feladata lenne legfőképp, hogy foglalkozzék az 1986-os katasztrófa körülményeivel.

Végül ugyancsak felelőtlenség, ha nem vesszük figyelembe, hogy a témát szigorúan a tudományos tények keretein belül kell tanítani, ügyelve az objektivitásra. Szükségszerű ugyanis eltávolodni ezzel Csernobil és Paks politikai vonatkozásaitól, s ha azzal kapcsolatban előkerül Paks II kérdése, nem szabad befolyásolni a tanulók véleményét. Ellenben, ha a szaktanár nem elég felkészült vagy nem elég figyelmes, kevésbé képes mentesülni a szubjektivitás alól, így befolyásolva a fiatal nemzedék politikai hovatartozását anélkül, hogy mögötte valós tudományos ismeret lenne.

Ezen okokból szükséges tehát az a tudományos segédlet megírása, amely lehetővé teszi a szaktanár kelendő felkészültségét, ezáltal pedig azt, hogy a tanulók megismerkedjenek a Paksi Atomerőmű működésének hátterével és legfontosabb jellemzőivel. Ehhez azonban meg kell ismerniük azokat a biztonságtechnikai szempontokat, amelyek közérthető módon igyekeznek megmagyarázni a Csernobil és Paks között fennálló lényeges különbségeket.

Előzetes ismeretek

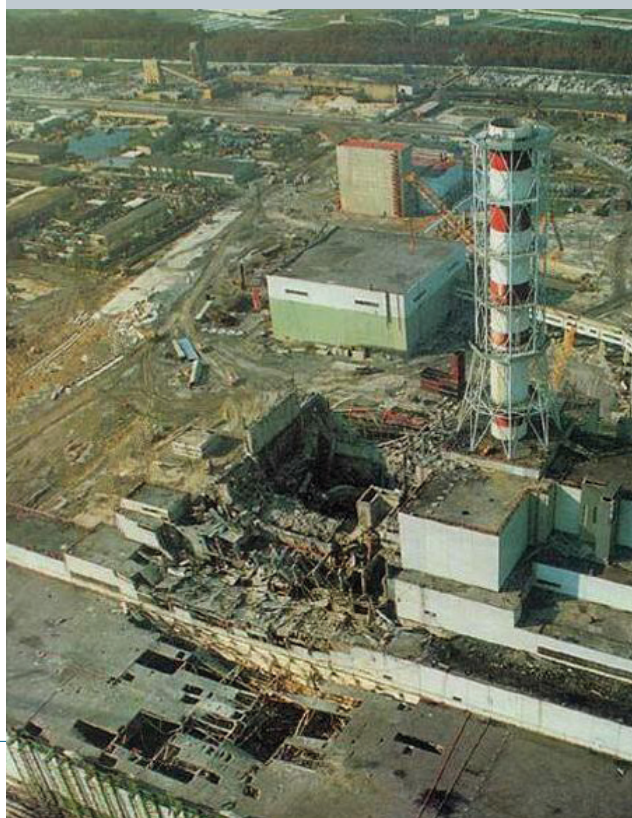
A biztonságtechnikai szempontok tudományos elemzéséhez szükséges néhány magfizikai fogalom alapos ismerete. Ezek tanítását szerencsére a középiskolai fizikatanterv is kötelezővé teszi [7].



1. ábra. Matrica a budapesti 28-as villamos egyik ablaküvegén.
[2] A radioaktív veszélyjelzésre figyelmeztető sárga kör körül a „CSERNOBIL FUKUSIMA PAKS?” felirat olvasható.

Az alapfogalmak között ismernünk kell az atom, azon belül az atommag, illetve elektronfelhő, valamint a kötési energia fogalmát, amely az erős kölcsönhatás révén összetartja az atommagot. Ugyancsak megtanuljuk a középiskolában, hogy a kötési energia felszakításával mesterségesen tudunk energiát előállítani: a maghasadás során a tömegdefektusból (tömeghiányból) keletkező energiát szabályozott keretek között előbb mechanikai munkává, majd hőenergiává, végül villamos energiává alakíthatjuk. A maghasadás létrejöttének feltétele azonban, hogy az atommagokat lassú (termikus) neutronokkal ütköztessük, amelyek lassításáért a moderátor közege felel. (Ez lehet grafit, víz, illetve nehézvíz stb. is.) Emellett láncreakcióról beszélünk, ha az ütközést követően újabb és újabb hasítások következnek be, vagyis a folyamat ismétlődik és ellenőrzött körülmények között, önfenntartóvá válik.

2. ábra: A sérült csernobili reaktorblokk a baleset után, ahonnan minden addiginál nagyobb mértékű radioaktív anyag került a környezetbe és a levegőbe [5]



A leggyakrabban hasított atommag az urán, amely a láncreakció elvén működő atomerőművek üzemanyagának tekinthető [8].

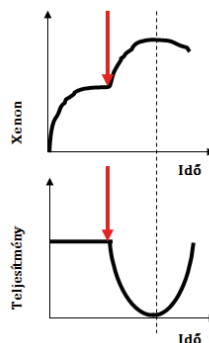
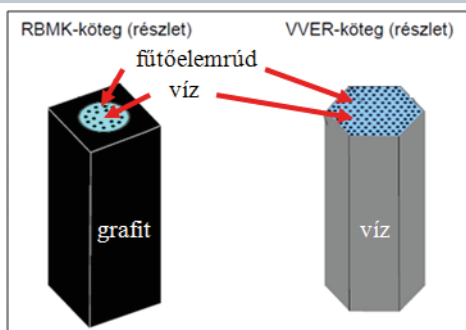
Ugyanakkor, bár a moderátor anyagi minősége szerint számos reaktortípust megkülönböztethetünk, a téma tanításának szempontjából csak két típus értékelése fontos. A *Csernobil*-típusú *RBMK* (könnyűvízes) reaktor grafitot használ moderátorként, míg a *VVER* (nyomottvízes), Paksi-típusú rendszerben a moderátor víz. A hűtőközeg szerepét mindkét reaktortípusban a víz tölti be, amely szabályozza a reaktor hőháztartását, illetve túlhevülés esetén megakadályozza, hogy komolyabb probléma lépjen színre. A 3. ábrán látható jelölésben a hasadóanyag alkotta fűtőelemrudak mindkét esetben vízfürdőben állnak (hűtőközeg), körülöttük pedig az eltérő anyagi minőségű moderátor látható [9].

Az első szempont: a xenonmérgezés

Saját szakmódszertani kutatásom azt támasztja alá, hogy a téma megfelelő tanításához két tényező elemzése szükséges, amelyek alkalmazása nagy eredményre vezet az oktatás terén. Ezek közül az egyik a xenonmérgezés.

A jelenség felismerése Hanfordba, 1944-re tevődik vissza, amikor grafitmoderátoros (tehát *Csernobil*-típusú!) reaktor beindításakor a kezelők azt tapasztalták, hogy a reaktor egy adott idő alatti normális működés után magától leállt, majd nemsokára újraindult. Hamar felismerték, hogy a probléma a reaktor irányíthatóságával, kezelhetőségével volt összefüggésben. A maghasadás során, a láncreakcióban megjelenő 135-ös tömegszámú jódiotóp ugyanis 6 óra alatt bomlik el 135-ös tömegszámú xenonizotóppá, míg a xenon tovább-bomlásához, azaz 135-ös tömegszámú céziummá való alakulásához 9 óra szükséges. (A tömegszám a magfizikában egy elem atommagjának nukleonszámával, azaz protonjainak és neutronjainak együttes számával azonos.) Mivel a xenon továbbalakulása több időt vesz igénybe, mint a xenon létrejötte, így a xenon mennyisége felhalmozódik a reaktorban. Ugyanakkor, mivel a xenon a legneutronéhebb elemek közé tar-

3. ábra: Az RBMK és VVER reaktorok üzemanyagkötegének felépítése. Mindkét típus fűtőelemeit vízfürdő övezi, amely a csövek hűtéséért felel [10].



4. ábra: A reaktorban felhalmozódó xenon mennyiségének növekedésével párhuzamosan csökken a rendszer teljesítménye, majd előbbi csökkenésével az energiatermelés is növekedni kezd [12].

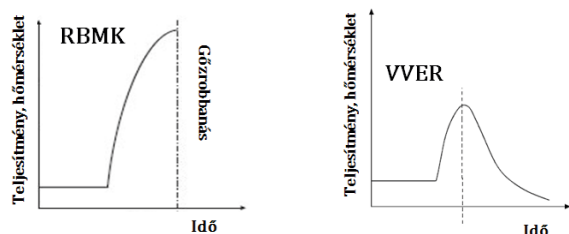
tozik, vagyis elnyeli a hasadáshoz szükséges neutronokat, következményként nem zajlik tovább a láncreakció, s a reaktor előbb-utóbb – akár magától – leáll (4. ábra) [11].

Az önmagától történő leállással és újraindulással még nem is lenne számottevő baj, de az abba történő emberi beavatkozás már katasztrofális lehet. Ez a probléma szinte csak *RBMK*-reaktor esetén jelentkezik. *Csernobil*ban a reaktor működtetése során az operátorszemélyzet arra lett figyelmes, hogy a reaktor egyszer csak veszít teljesítményéből, majd hirtelen leáll. A helyettes főmérnök, aki (az operátorokkal egyetemben) nem volt tisztában a probléma súlyosságával, parancsba adta, hogy a teljesítmény mesterséges emelése céljából lassan hozzá a szabályozórudak kihúzásához. (A szabályozórudak a fűtőanyagrudak mellett, a hűtőközegbe nyúlnak, s ki-be húzásukkal a teljesítményt lehet kellőképp kontrollálni.) Az időközben felmerülő műszaki hibák, illetve az egyéb emberi mulasztások miatt fellépő üzemzavar azonban ekkor már nélkülül is az energiatermelés növekedéséhez vezetett. Az erőmű két szálon zajló melegeedésével tehát megállíthatatlanul rohant a végzete felé.

A másik tényező: a Teller-effektus

Az oktatás szempontjának másik, lényegi eleme a Teller-effektus, amely Teller Ede (1908–2003), magyar származású amerikai fizikus nevéhez fűződik.

Teller elméleti megfontolások útján vizsgálta és hasonlította össze az *RBMK* (*Csernobil*-i) és *VVER*-típusú (Paksi) reaktor szerkezeti felépítéséből adódó lehetséges problémákat. Ezek elemzése során arra a következtetésre jutott, hogy a moderátorközeg az, amely problémát jelenthet az egyik, és megoldást a másik reaktor számára, balesetveszélyes körülmények esetén. Ugyanis, Teller megállapította, hogy ha valamely műszaki probléma (például túlhevülés) folytán megemelkedne a reaktor belső hőmérséklete, az a hűtőközeg hőmérsékletének emelkedésével járna, mivel, mint láttuk, mindkét reaktor



5. ábra: [14] A felülmoderált RBMK (Csernobil-i) és az alulmoderált VVER (Paksi) típusú reaktorok viselkedése hirtelen teljesítménymelkedés után az idő függvényében.

esetén a víz látja el ezen feladatot. Abban az esetben, ha már nincs mód megfékezni a hűtővíz melegedését, az előbb-utóbb felforr, majd elpárolog, így a hűtőközeg eltűnik.

A probléma, hogy a Csernobil-típusú reaktorban a láncreakció még tovább zajlik, hiszen a grafitmoderátor tovább lassítja az érkező neutronokat, csak víz hiányában nem lesz mód a folyamat hűtésére. Ennek következményeként pedig ellenőrizhetetlen túlhevülés következik be, amely hő tönkreteszi a fűtőelem-rudakat és a keletkező gőz előbb-utóbb robbanáshoz vezet (5. ábra). (A reaktor-típust az ilyen folyamatok bekövetkezésének hajlama miatt felülmoderált reaktornak nevezzük.) Ellenben a paksi reaktor esetén, amikor elpárolog a hűtőközeg, elpárolog a moderátor is! Vagyis, mivel moderátor hiányában maghasadás sincs, a reaktor rövidesen leáll (alulmoderált reaktor) [13].

A fentiekben vizsgált egyszerű, mégis rendkívül fontos fizikai szempontok alapján megfogalmazható, hogy a fizikai törvények biztosítják, hogy a *Csernobil*ban történt eset Pakson ne ismétlődhesen meg.

A fizikatanár feladatai

Konklúzióként tehát megfogalmazható, hogy nagyobb felelősség tudatában, fizikatanárként kezünkben a lehetőség, hogy az oktatásba vitt Csernobil-Paks problémakör alapos elemzése során változtassuk meg a jelenleg tapasztalt, sokszor szubjektív véleményen álló érvelést. Utóbbi kivitelezése számtalan lehetőséget nyújt a fizikatanárok számára.

Egyrészt ezért javaslom, hogy a témában kötelező anyagrész mellett elemi szinten kerüljön ismertetésre a két legfontosabb tényező, a xenonmérgezés és a Teller-effektus elméleti háttere, illetve, hogy a modern fizika oktatásának alapvető része legyen *Csernobil* története.

Másrészt, ha az elméleti tudás már megvan, további feladat, hogy annak gyakorlatát is élményszerűvé, kézzelfoghatóvá tegye. Ennek megoldása lehet a Paksi Atomerőműbe történő üzemlátogatás, ahol valószínűleg is láthatóvá válik az energiatermelés folya-

mata. Ezáltal, a Látogató Központban és a Karbantartó Egységben tett séta során sugárzásnak kitettség nélkül, megtapasztalható lesz az addig csak a könyvben vagy táblán látott bonyolult, de izgalmas folyamat.

Ez utóbbi járulhat hozzá ahhoz, hogy a tanulók már nem csak a fizikai alapokkal ismerkedhetnek meg, de testközelből figyelhetik meg az atomerőmű biztonságára vonatkozó szigorú előírásokat is. Ennek nyomán gazdagabb áttekintést nyerhetnek az atomenergia talán legmegosztóbb kérdéseiről, amelyek gyakran a környezetvédelem témakörében merülnek ki.

Ugyanakkor, a fizikatanár aktív közreműködése nem jelenti azt, hogy az atomenergia és Paks működéséről nem kell vitákat, konferenciákat rendeznünk, s ott érveket vagy ellenérveket állítanunk fel. Természetesen, a fenti problémakör alapos tisztázása mellett, mint a tévhitekkel kapcsolatban már láttuk, szükség van társadalmi diszkusszióra is. Ugyancsak fontos lenne tehát, hogy a fizikatanárok más civil szervezetekkel együtt előadásokat tartsanak és kerekasztal-beszélgetéseket szervezzenek meg, s azokra minél több civil érdeklődőt invitáljanak el.

SZABÓ RÓBERT

IRODALOM

1. Tudományos Diákköri (TDK) dolgozat. Szabó Róbert: Csernobil, a modern Pompeii (1986-2016), ELTE TTK, 2016.
2. Saját fénykép. Készült a budapesti 28-as villamoson, 2017. június 15-én.
3. Különböző életmódok — különböző környezetpusztítás. Internetes weboldal: <http://tudasbazis.sulinet.hu/HU/termeszetudomanyok/termeszetismeret/ember-a-termeszetben-6-osztaly/termeszeti-es-tarsadalmi-kolcsonhatasok/kulonbozo-életmodok-kulonbozo-környezetpusztítás>. Utolsó megtekintés dátuma: 2017.08.26.
4. Marx György: Atommag-közelben. Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged, 2006., 218. oldal.
5. Chernobyl disaster. Internetes weboldal: https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_disaster. Utolsó megtekintés dátuma: 2017.08.26.
6. Halász Tibor — Jurisits József — Szűcs József: Fizika 11. Rezgések és hullámok. Modern fizika. Mozaik Kiadó, Szeged, 2011.
7. Internetes weboldal: http://kerettanterv.ofi.hu/03_melleklet_9-12/index_4_gimn.html. 3. Melleklet, Kerettanterv a gimnáziumok 9-12. évfolyama számára. Fizika B változat. Utolsó megtekintés dátuma: 2018.01.15.
8. Erostyák János — Litz József (szerk.): A fizika alapjai. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2003., 676-679. oldal.
9. Erostyák János — Litz József (szerk.): A fizika alapjai. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2003., 680. oldal.
10. Szatmáry Zoltán — Aszódi Attila: Csernobil. Tények, okok, hiedelmek. Typotex Kiadó, Budapest, 2010., 51. oldal.
11. Sükösd Csaba: Csernobil leckéje (Csernobil 30). Középiskolai Fizikatanári Ankét, Nyíregyháza, 2016.01.14., 6-10. dia.
12. Sükösd Csaba: Csernobil leckéje (Csernobil 30). Középiskolai Fizikatanári Ankét, Nyíregyháza, 2016.01.14., 6., 9. dia alapján.
13. Erostyák János — Litz József (szerk.): A fizika alapjai. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2003., 681. oldal.
14. Szatmáry Zoltán — Aszódi Attila: Csernobil. Tények, okok, hiedelmek. Typotex Kiadó, Budapest, 2010., 45. oldal.