

MODELLSZÁMÍTÁSOK AZ ENERGIA OKTATÁSÁHOZ

Radnóti Katalin – ELTE TTK Fizikai Intézet
Király Béla – Nyugat-magyarországi Egyetem

A régebbi szakmódszertani szakirodalom szerint szigorú követelmény, hogy a diákok elé kerülő feladatok a lehető legvilágosabb, legérthetőbb, legegyszerűbb megfogalmazásban jelenjenek meg, az adatok teljes körű megadásával és fölösleges adatok közlésének elkerülésével. *A valós élet problémái azonban nem ilyenek*, és ha csak ilyenekkel foglalkozunk az oktatás során, akkor nem tudjuk modellezni azokat a helyzeteket, amelyekbe tanítványaink ténylegesen kerülnek az iskola falain kívül. A mindennapokban felmerülő problémák általában kezdetben hiányosak, nem jól strukturáltak, nem kellően explicitek, az adatok köre nem teljes, és számos irreleváns, a végleges megoldásban majd szükségtelennek bizonyuló információ is adott. Az oktatás során az lenne teendőnk, hogy a gyerekeket tanítsuk meg az ilyen feladatok, problémák megfogalmazására is.

A problémamegoldás minden korosztály esetében fontos része a természettudományos ismeretszerzésnek. Menete minden korosztály esetében hasonló, csupán az egyes fázisok mélysége, részletessége változó. Olyan problémákkal célszerű foglalkozni, amelyek aktuálisak, vagy kapcsolatban vannak a tanulók életével.

Az alkalmazásképes tudás szerepe egyre jobban felértékelődik napjainkban, társadalmi elvárás az iskolával szemben. Elvárás, hogy a közoktatásból kikerülő diákok tudásukat új helyzetekben is képesek legyenek alkalmazni, tudjanak változatos témájú problémákat megoldani. Ezért az iskolával szemben támasztott követelmény az, hogy olyan életszerű problémákat tárjon a diákok elé, amelyek fontosak a társadalomban való eligazodás szempontjából, ne egyszerű rutineljárások alkalmazását kérje számon.

A probléma felismerésének kérdése több szempontból is fontos a természettudományos tanulmányok során. Nagy a jelentősége azért, mert alakítja a tanulók motivációs bázisát, segíti a megértést, nagyban hozzájárul a bonyolult helyzetek elemzésének megértéséhez, fontos a megfelelő *döntések előkészítése* és meghozatala szempontjából. Ha megmutatjuk, hogy a tanult ismeretek alkalmasak arra, hogy segítségükkel valóságos vagy valósághoz közeli, szimulált problémákat megoldjunk, vagy a megoldások következményeit elemezzük, akkor a tudás presztízse jelentősen megnövekedhet. Ha a tudás elismertsége növekszik, *a gyerekek törekedni fognak annak megszerzésére*.

Az, hogy milyen a tanulók viszonya a természettudományos tudáshoz, illetve e tantárgyakhoz, nagyon fontos tényező a tanulás eredményessége szempontjából. Ha a gyerekek az iskolai tanulmányaik során, a tananyag elsajátítása közben problémákat fogalmaznak meg, és megoldási utakat találnak, annak egyik alapvető eredménye az lesz, hogy az adott ismeretkört megértik.

Az oktatás során alkalmazott problémák sokfélék lehetnek. Egyéni, vagy csoportos vizsgálódásra alkalmas, például

- a nyílt végű kérdésekre való széleskörű válaszkeresés,
- a különböző felmérések készítését kívánó feladatok,
- a napilapokban és az interneten megjelent természettudományos témájú újságcikkek elemzése és értékelése.

Feladat a cikkek természettudományos tartalmának elemzése. Fontos annak vizsgálata, helyesen jelen-

nek-e meg a természettudományos ismeretek a médiákban, avagy előfordul, hogy torz világgépet tükröz némelyik írás. Nem csak kifejezetten ismeretterjesztő cikkekre gondolunk, hanem olyanokra is, amelyek bármilyen természettudományos problémához kapcsolódnak esetleg más, például társadalmi, politikai szempontból.

Ma már feladatunk az is, hogy megértsük a diákokkal, hogy a napilapokban megjelent cikkek sokszor szubjektívek és időnként politikailag is motiváltak. Ha valami nyomtatásban megjelenik, attól nem biztos, hogy minden tekintetben igaznak is tekinthető. Ezért a vizsgálatokat kiterjeszthetjük arra is, hogy az újságíró mennyire volt objektív, állítását számításokkal alátámasztotta-e, illetve milyen dolgokat nagytított fel vagy hallgatott el.

Jelen írásunkban közölt feladataink érdekessége az, hogy a számításokhoz szükséges adatokat különböző nyilvános adatbázisokból, illetve az internetről lehet venni. Tehát a *való életből és valós adatokkal végzett modellszámításokat* fogunk bemutatni, illetve még további feladatokat javasolni. Tesszük ezt azért, hogy a tanulók lássák, miként lehet egyszerű matematikai eszközök segítségével utána számolni a különböző híradásokban, tervezetekben számszerűen megjelenő állításoknak, és ne „dőljenek be” megalapozatlan, a tényeket mellőző kijelentéseknek.

Ha megnézzük a különböző „környezetvédelmi” csoportokat, akkor azt látjuk, hogy elsősorban a vágyaikat, nem pedig a tényeket közlik, és gondosan ügyelnek arra, hogy csak kinyilatkoztatásokat adjanak közre és ne részletes (főleg ne gazdasági megtérülési) számításokat, amelyeket bárki ellenőrizhetne.

Iskolás tudásnak tekinthetjük például, hogy a gyerekek ismerjen különböző fontos képleteket, mértékegységeket, összefüggéseket. Ez a tudás szükséges, de nem elégséges feltétele a problémamegoldásnak. Ahhoz nagyobb rálátás, elvonatkoztatás, a problémák összefüggéseinek elemzése, komplex gondolkodás mód is szükséges. Lényegében itt kapcsolódik az iskola az élethez, ekkor lesz a tantárgyi tudásból hétköznapi életben is használható tudás.

Ez a tudatos állampolgárrá nevelés szerves részét képezi. És ez a *fizikai, és a kémiai feladatmegoldás tanításának egyik fontos célja*.

Az energia olyan terület, amely mindenkit érint, ha másként nem, akkor a környezetterhelésen vagy a közüzemi számláin keresztül.

A következőkben nézzünk néhány olyan problémát, amelyek alkalmazhatók az energia előállításával kapcsolatos anyagrészek feldolgozásakor.

Az első modellszámítás a bioetanol előállításával kapcsolatos.

Egy személyautó Magyarországon átlagosan körülbelül 15 000 km-t tesz meg évente. 2011 végén a személygépkocsi-állomány 2 968 000 darab volt. Ezek 85%-a benzínüzemű. Mekkora földterületre lenne szükség átlagos termésbozom mellett, ha elhatárolnánk, hogy az összes benzínüzemű személygépkocsit

kukoricából előállított bioetanolal szeretnénk üzemeltetni? Ez a termőföldünk hány százalékát tenné ki?

Mik lennének ennek a programnak a buktatói? A szükséges adatokat keresse meg az interneten!

Magyarország területe 93 027,44 km², amelynek 48%-a szántóföld, ami 44 653,17 km² = 4 465 317 ha (hektár). 1 ha = 100 × 100 m = 10 000 m² = 0,01 km², a mezőgazdaságban még sok esetben ezt az egységet használják. A termésátlag egy jó évben 8 tonna/ha kukoricára a statisztikai adatok szerint. Ha mind a 48%-nyi termőföldön kukoricát termelnék az 8 t/ha × 4 465 317 ha ≈ 35,7 millió tonna.

Számoljunk úgy, hogy 1 liter bioetanol előállításához körülbelül 3 kg kukorica szükséges (ennél kevesebb szükséges, ez csak rossz minőségű kukoricára igaz), akkor a 35,7 millió tonna kukoricából 35,7/3 ≈ 12 millió m³ bioetanol állítható elő.

2 968 000 · 0,85 = 2 522 800 személyautó benzínüzemű. Az összes megtett km = 2 522 800 · 15 000 = 37,842 · 10⁹ km. Egy jól beállított autó 100 km-en 7 liter benzint fogyaszt, tehát a benzinszükséglet 265 · 10⁷ liter, 2,65 milliárd liter, ami 2,65 millió m³.

Vegyük a bioetanol fűtőértékét azonosnak a benzinnel, tehát akkor 2,65 millió m³ az ország szükséglete. Egy jó évben ennek többszörösét lehet előállítani: 11,9/2,65 = 4,49, közel 4 és félszeresét.

De ez azt jelenti, hogy a termőterület 0,22-ad részét, 22%-át erre kell fordítani. Több, mint egy ötödét! Az ország teljes területének közel 10%-át, ami körülbelül két megye teljes területe. Kérdés, hogy akkor mit eszünk?! 2012 például rossz év volt, az ország kukoricából még behozatalra is szorult.

A rend kedvéért becslésünk során vegyük figyelembe azt is, hogy 1 liter bioetanolhoz 0,5 liter benzint szoktak keverni, tehát csak a teljes üzemanyag-szükséglet 2/3-ad részét termeljük meg. De ez is a termőterület 14,5%-a.

A második modellszámítás a nukleáris energia felhasználásával kapcsolatos.

A paksi atomerőműben 4 reaktor működik. Reaktoronként a hőteljesítmény 1485 MW, a villamos teljesítmény 500 MW.

a. Becsüljük meg 1 reaktor üzemanyag-töltetét, ha tudjuk, hogy az üzemanyag körülbelül 4,2%-ban tartalmaz jól hasadó ²³⁵U-izotópot, és az izotóp koncentrációja (az egész töltetre nézve) évente átlagosan 1,14%-kal csökken! Tegyük fel, hogy a felszabaduló energia nagyrészt az ²³⁵U maghasadásából ered, ahol egy-egy hasadás alkalmával 32 pJ energia szabadul fel. (Évente átlagosan 330 napot üzemel egy-egy reaktor.) Mekkora a tömege és a térfogata?

b. Mekkora lenne a paksi erőművel azonos hőteljesítményű hőerőmű évi üzemanyag-szükséglete, ha az 24,5 MJ/kg fűtőértékű szenet használna? Mekkora lenne a tömege és a térfogata?

c. Becsüljük meg a szén-erőmű által évenként kibocsátott gáz térfogatát normál állapotban! Milyen vastagon borítaná be ez a szén-dioxid gáz Magyarországot területét, amely 93 027,44 km²?

Megoldás:

a. Határozzuk meg egy reaktor aktív zónájában naponként elhasadt uránmagok számát:

$$N_U = \frac{8,64 \cdot 10^4 \text{ s} \cdot 1,485 \cdot 10^9 \text{ W}}{3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}} = 4 \cdot 10^{24}$$

A naponként elhasadt urán össztömege pedig:

$$m_U = \frac{4 \cdot 10^{24}}{6 \cdot 10^{23}} \cdot 0,235 \text{ kg} = 1,57 \text{ kg}$$

Évi 330 üzemnappal számolva, az ^{235}U elhasadt tömege évente: közel 517 kg. Az ehhez szükséges teljes üzemanyag tömege pedig:

$$M_{\text{töltet}} = \frac{517 \text{ kg}}{1,14 \cdot 10^{-2}} \approx 45,35 \text{ t}$$

A 4 blokkra összesen 181,4 tonna.

Térfogata: az urán sűrűsége meglehetősen nagy 19,1 g/cm³, vagy 19 100 kg/m³, vagy 19,1 tonna/m³. $V = m/\rho \approx 2,375 \text{ m}^3$ egy reaktor esetében, azaz 4 reaktorra 9,5 m³.

Összehasonlításképp számoljuk ki egy kicsi szoba térfogatát. Magassága legyen 3 m, alapja 4 m × 4 m. $V = 4 \times 4 \times 3 = 48 \text{ m}^3$, amelyben 5 évre elegendő töltet halmozható fel. A Paksi Atomerőműben 2 évre elegendő üzemanyagot tárolnak.

Az üzemanyag szállítási térfogata, és a kiégett, nagy aktivitású fűtőanyag térfogata is körülbelül ennyi. Ennél valamivel nagyobb, mivel nem fémuránt, hanem uránoxidot használnak. De annyi mindenképpen elmondható, hogy viszonylag nem nagy térfogatokról van szó más – például a szénnel működő – erőművekhez képest ezért a szállítási költség aránylag kevés. Természetesen a szállításnál és a tárolásnál komoly nehezítő tényező, hogy sugárveszélyes anyagról van szó.

Érdeemes arról is szót ejteni, hogy radioaktív hulladékok nemcsak az atomreaktorokban keletkeznek, hanem a radioaktív izotópok mezőgazdasági, ipari és orvosi alkalmazása során is. Például az izotópdiagnosztikai vizsgálatokhoz, a sugárkezelésekhez alkalmazott radioaktív preparátumok és azok tárolóedényei (kesztyűk stb.) is radioaktív hulladékok, igaz, ezek kis és közepes aktivitásúak, és az itt alkalmazott izotópok rövid felezési idejűek. Azonban ezen hulladékoknak nagyobb a térfogata. Ezek használata teljesen elfogadott a lakosság részéről. Természetesen ezek nagyon fontos alkalmazások, csak azért írtuk le, hogy jelezzük, a nukleáris technika elemeit máshol is alkalmazták és ott is keletkezik hulladék.

b. A szükséges szén tömege 4 reaktorblokkra számolva:

$$m_{\text{szén}} = \frac{5,132 \cdot 10^{14} \text{ J} \cdot 330}{24,5 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 69,125 \cdot 10^8 \text{ kg}$$
$$\approx 6,9 \cdot 10^6 \text{ t}$$

Térfogata: a szén sűrűsége 1–0,85 tonna/m³, tehát térfogata körülbelül 6,9 millió m³ lenne.

Gondolatban terítsük szét egy focipályára. A pálya mérete legyen 100 m × 50 m = 5000 m². 6 900 000/5000 = 1380 m = 1,38 km magas lenne. Magasabb, mint a Kékes!

Például a Mátrai Erőmű átlagos éves lignitfelhasználása 8,5 millió tonna 700 MW-os teljesítmény eléréséhez. (A lignit fűtőértéke a becslésünkben használtnál lényegesen kisebb, átlagosan 7300 kJ/kg.)

c. Ha feltesszük, hogy a teljes szénmennyiség tökéletesen elég, akkor a szénatomokból szén-dioxid molekulák lesznek, ezek száma megegyezik a szénatomok számával. Ekkor a keletkező gáz anyagmennyisége:

$$n = \frac{6,91 \cdot 10^9 \text{ kg}}{1,2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} = 5,76 \cdot 10^{11} \text{ mol}$$

Normál állapotban a szén-dioxid gáz térfogata:

$$V_N = 5,76 \cdot 10^{11} \text{ mol} \cdot 22,41 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$$
$$= 1,29 \cdot 10^{10} \text{ m}^3$$

Az ország teljes területét bedefő normál állapotú gázréteg pedig:

$$l = \frac{1,29 \cdot 10^{10} \text{ m}^3}{9,302744 \cdot 10^{10} \text{ m}^2} \approx 13,9 \text{ cm}$$

vastag lenne.

Ez a gázmennyiség természetesen nem „teríti” be az országot a kiszámolt vastagságban, hanem eloszlik a légkörben, egy része elkerül az óceánokhoz, amelyben valamennyi feloldódik, másik részét a növények felhasználják fotoszintézisük során. A többlet-terhelés a környezetben számottevő.

Az sem mellékes azonban, hogy a szén elégetése során egyéb környezeti terheléssel is számolni kell, mint pernye, füst stb. Ezt legjobban Kínában lehet tapasztalni, ahol az erőteljes iparosítás következtében nagyon sok szenet égetnek el. Emlékezzünk a pekingi olimpiára, amikor a játékok idejére több nagyüzemet le kellett állítani, mivel elviselhetetlen volt a levegőszennyezés.

További javasolt feladatok

1. Egy mezőgazdasági társaság 500 ha (5 km²) földterülettel rendelkezik, amelyen csak kukoricát termeszt. Elhatározzák, hogy ennek megműveléséhez traktoraik üzemanyagaként csak saját maguk által termesztett repceből előállított biodízeltszert használnak fel. Készítsen modellszámítást, hogy közelítőleg mennyi földet kellene még bérelniük, hogy elég kukoricát tudjanak termeszteni!

2. Egy család elhatározza, hogy holnaptól fogva környezettudatosan él, ezért villamosenergia-fogyasz-

tásuk egy részét a háztetőre telepített 20 m² napelemmel kívánják megoldani. Milyen egységekre lesz szüksége a családnak, mennyibe kerül a beruházás (ehhez interneten talál árakat), mennyi idő alatt fog megtérülni, milyen problémákkal kell szembesülniük az üzemeltetés során?

3. Képzeld el, Magyarország népszavazással dönti el, hogy a tervezett 2000 MW erőmű-kapacitás helyett más módon állítunk elő villamos energiát. A szavazáson a szélenergia győz, amelynek erőműveit az autópályák mellé telepítene. (Szándékosan alakítjuk így a feladatot, hogy még meghökkenőbb legyen az eredmény.) 1000 m-enként hány km-en keresztül kellene egy 2 MW-os (maximális teljesítményű) szél erőművet felállítani? Mennyi acélra és betonra lenne ehhez szükség? Ez a Dunai Vasmű és egy cementgyár éves kapacitásának hány százalékát fedné le? Milyen további beruházásokra lenne szükség, milyen problémák lépnének fel?

4. A hidrogént egyesek a jövő üzemanyagának tekintik, de arról kevés szó esik, hogy miből, hogyan és milyen energiabefektetéssel állítunk elő hidrogént. Tételezzük fel, hogy vízből elektromos energia felhasználásával. Magyarországon egy személyautó évente átlagosan 15 000 km-t tesz meg. 2011 végén a személygépkocsi-állomány 2 968 000 darab volt. Ezek 85%-a benzínüzemű. Készítsen modellszámítást arra, hogy ha a személygépkocsikat atomerőműben termelt elektromos energia segítségével előállított hidrogénnel töltenék fel, hány paksi atomerőmű blokk kellene ahhoz, hogy fedezzük ezt az energiát? A fűtőérték, vagyis a benzin energiátartalma valamennyi üzemanyagfajta esetében nagyjából ugyanannyi, körülbelül 12 kWh/kg (43 megajoule). A robbanómotoros autók hatásfoka 35% körül van és az átlagfogyasztása 7 liter/100 km (5,2 kg/100 km).

5. Egy család havonta 5 m³ 60 °C-os meleg vizet használ fel. Mekkora lesz a számla, ha a vízhálózatból érkező 15 °C-os vizet földgázzal vagy elektromos árammal melegítik fel? A hatásfokokról ne feledkezzem meg!

A fenti feladatokat oktatási környezetben kipróbáltuk, még hozzá környezettanszakra járó hallgatók esetében. A hallgatók választhattak a feladatok közül, a kiválasztottakat otthon oldhatták meg és a megoldásokat a vizsgán, annak részeként kellett bemutatni. Elmondható, hogy a hallgatóknak tetszett ez a fajta, hozzáférhető adatokra és tényekre alapozott feladatmegoldás. Ugyanis sok esetben vagyunk annak tanúi, hogy – különösen az energetikai kérdésekben – különböző szervezetek mindenféle számolás nélkül, elsősorban érzelmi alapon tesznek kijelentéseket.

Modellszámításainkkal nem az volt acél, hogy az azokból kapott eredmények pontosak legyenek, hiszen a felhasznált adatok számtalan forrásból, főleg az internetről származnak, hanem, hogy ne legyenek elvi tévedések, nagyságrendi eltérések. A diákok vegyék észre, azért kerül körülbelül háromszorosába, ha ott-hon a vizet gáz helyett elektromos árammal melegítjük, mert az erőművekben a hatásfok 30–40%-os, hogy hatalmas területeket kellene kukoricával bevetünk, ha benzinről bioetanolra térnénk át stb. A gondolkodás-mód és a metodika elsajátítása volt a cél.

Irodalom

- Herman Edit, Kádár József, Martinás Katalin, Bezegh András: A kukorica alapú bioetanol magyarországi előállításának exergiaelemzése. *Fizikai Szemle* 53 (2013) 125–129.
- Király Márton, Radnóti Katalin: Az energiáról és az energiatermelésről, I–II–III. rész. *A Fizika Tanítása* 20 (2012) 2. szám 8–18., 3. szám 3–12., 4. szám 3–14., MOZAIK Oktatási Stúdió, Szeged.
- Molnár Gyöngyvér: *Tudástranszfer és komplex problémamegoldás*. Műszaki Kiadó, Budapest, 2006.