

UV-SUGÁRZÁS MÉRÉSE A CERN-I TANULMÁNYÚTON

Riedel Miklós – ELTE TTK Fizikai Kémiai Tanszék

Hollósy Ferenc – Premier Research Hungary, Budapest

Szabolics Imre – Képző- és Iparművészeti Szakközépiskola, Budapest

Vantsó Erzsébet – ELTE TÖK Matematika Tanszék

Az utóbbi időben az ózonlyukjelenség miatt megnőtt a földfelszínre érkező napsugárzásban az ultraibolya (UV) sugarak hányada. Emiatt a napozás során gyorsabban leégünk, és hamarabb keletkeznek bőrelváltozások. Ha ismerjük a sugárzás aktuális mértékét, megfelelően védekezhetünk ezek ellen a déli órákban, magas hegyekben, a tengerparton stb. Az UV-sugárzás mennyiségi kísérleti tanulmányozására jó lehetőséget adott a fizikatanárok CERN-i tanulmányútja, és az azzal kapcsolatos magashegyi túra.

Elméleti háttér

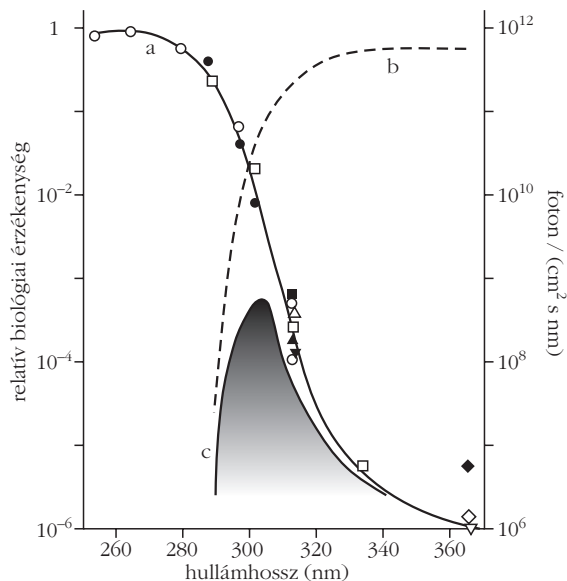
Az elektromágneses színekép 1 nm-től 1 mm-ig terjedő hullámhossztartományát optikai sugárzásnak nevezzük. Ezen belül a különböző hullámhossztartományokat másként érzékeljük. Szemünk a látható sugárzást fényként érzékeli, ennek hullámhosszhatárai (400–780 nm), az ultraibolya sugárzás hullámhossza 100 és 400 nm közé esik, az infravörös sugárzás a 780 nm fölötti tartomány. Az ultraibolya színeképtartományt nemzetközileg elterjedt módon három részre szokás osztani: 100–280 nm UV-C, 280–320 nm UV-B, 320–400 nm UV-A. A Nap sugárzó energiájának mintegy 7%-a az ultraibolya és rönt-

gentartományba tartozik, 46%-a a látható fény, további 47% pedig az infravörös tartomány része. A UV-C lenne az élő szervezetre a legveszélyesebb, ezt azonban – szerencsére – a légkör csaknem teljesen elnyeli. A magas légköri ózonréteg az UV-B jó részét is elnyeli és az UV-A is veszít erejéből. A Napból a földfelszínre érkező UV-sugárzás az egészségre részben hasznos: elősegíti a D-vitamin képződését, a mesterséges UV-sugárzást pedig felhasználgják a gyógyászatban és fertőtlenítésre is. Egy bizonyos mértéket meghaladó ultraibolya sugárzás viszont káros lehet, hatására bőrpír (erythema), bőroregedés, bőrdaganatok, szürke hályog keletkezhet, sőt a DNS károsodása is felléphet [1–3, 11].

A napsugárzás intenzitása és a biológiai érzékenység együttes hatását az *1. ábra* szemlélteti a DNS-sérülés érzékenysége, a napsugárzás intenzitása és ezek szorzata, azaz a napsugárzás biológiai hatékonysága (DNS-károsító hatása) ábrázolásával. A beszükkített görbe alatti terület az effektív biológiai besugárzás, ennek a besugárzási idővel való szorzata adja meg biológiai effektív dózis értékét [2].

A sugárzás intenzitását watt/m² egységben fejezik ki, az utóbbi időben azonban megnőtt az igény arra, hogy a szélesebb közönség tájékoztatására a Nap UV-B sugárzásának kifejezésére valamely könnyen áttekinthető skálázást vezessenek be. Ez az úgynevezett UV-index (UVI) [4–7]. Kanada volt az első ország (1992 után), amely a napi időjárás-előrejelzésben a várható UV-sugárzás maximális értékét is megadta. Az UVI-t a WHO standardizálta, így fogalma, meghatározása és skálázása az egész világon egységes.

A mérésben részt vettek: Riedel Miklós (vezető), Azari Henriette, Csatlós Mária, Hollósy Ferenc, Horváth Krisztina, Kovács Zoltán, Lábás Antalné Pém Judit, Láng Róbert, Papp Géza, Pájer Szabolcs, Ságiné Valaczká Ilona, Szabolics Imre, Tóth Diana, Vantsó Erzsébet, Varjasiné Balla Edit, Várnainé Benedek Ágnes.



1. ábra. Az effektív biológiai besugárzás és dózis szemléltetése [2].

A Föld különböző helyein eltérő mértékű az UV-sugárzás. Az ezt okozó magaslégszféri ózonréteg vékonyodása leginkább az Antarktisz, az Északi-sark felett mutatkozik meg. Mi, közepes szélességi fokon élők is számolhatunk az ózonréteg csökkenése miatt az UV-intenzitás növekedésével. Európában általában 0 és 8 közötti UVI-értékeket tapasztalnak, de az ózonréteg vékonyodásával a felső érték növekedhet. Az Egyenlítő táján, illetve Ausztráliában a 12-es indexérték sem ritka.

Az UV-index skála megállapításánál az előbb említett két tényezőt vették figyelembe. A különböző hullámhosszúságú UV-sugarak intenzitása és a sugarak káros biológiai hatása is hullámhosszfüggő, emellett az emberek, bőrtípus szerint (1. táblázat) és egyéni is különbözőképpen érzékenyek az UV-sugárzás mennyiségére. Az egyes bőrtípusok között természetesen nehezen húzható határvonal [12]. A négy típus szerinti csoportosítás esetén mi, közép-európai emberek többnyire a kettes vagy harmas csoportba vagyunk sorolhatók.

A fenti két hatást a bőrtípustól is függő McKinlay–Diffey-féle tapasztalati függvény (Erythema Action Spectrum Function, 1987) írja le. Ez azt az időt adja meg órában, ami már éppen bőrpírosodást (erythe-

2. táblázat			
Az UV-B-sugárzás éppen bőrpírosodást okozó súlyozott hatása három, 1 nm széles hullámhossztartományra			
Hullámhossz (nm)	Intenzitás (W/m ²)	McKinlay–Diffey-féle súlyozó szorzó (óra)	Szorzat (súlyozott hatás) 1 nm széles sávra ([W/m ²]×óra)
295,0	0,0006	1,00	0,0006
305,0	0,0740	0,22	0,0163
325,0	0,4780	0,03	0,0138

1. táblázat		
Az emberiség felosztása négy csoportba a bőrtípus szerint		
bőrtípus	barnulás/leégés	jellemzők
1	Nem barnul, mindig leég	Nagyon világos bőr, kék szem, sok szeplő, vörös-szőke haj
2	Ritkán barnul, gyakran leég	Világos bőr, kék/zöld szem, szétszórt szeplők, vörös-szőke haj
3	Közepesen barnul, néha leég	Világosbarna bőr, szürke/barna szem, barna/fekete haj
4	Gyorsan barnul, ritkán (vagy sosem) ég le	Barna/fekete bőr, barna szem, fekete haj

mát) okoz az adott hullámhosszúságú UV-sugárzásból. (A különböző forrásokban kissé eltérő értékek találhatók [13].). A két hatás (intenzitás és biológiai hatás) együttesét tehát a függvényértékek szorzata fejezi ki. Ezt három jellemző hullámhossz esetére a 2. táblázat mutatja be.

A két függvény szorzatát integrálják (bőrtípusonként) a 290–330 nm tartományra, és a kapott számot könnyebben kezelhető értékekre kerekítik. Így áll elő a MED (Minimal Erythema Dose, azaz minimális bőrpírosodást okozó dózis) mennyiség. Ez az a minimális besugárzási energia a Napsugárzás teljes UV-tartományában (J/m² egységben), amely már éppen bőrpírosodást okoz. A MED bőrtípus szerinti értéke a 3. táblázatban látható.

Ebből a „hétköznapi használatra” szánt, a sugárzás intenzitását kifejező UV-indexet (UVI) a 2-es bőrtípusra kapott értékhez (1 MED = 250 J/m², illetve 1 MED/h = 0,0694 W/m²) illesztették, és úgy definiálták, hogy a szokásos napi maximális UV-sugárzási értékek egy kis számokat tartalmazó (nagyjából 10-ig terjedő) skálán kifejezhetőek legyenek:

$$1 \text{ UVI} = 0,025 \text{ W/m}^2 = 0,36 \text{ MED/h.}$$

Ennek alapján az aktuálisan mért UV-intenzitásból kiszámítható az a maximális napozási idő, ami alatt már éppen bekövetkezik a bőr kipírosodása.

Egy példa: ha az UV-index értéke 5, az intenzitás 5 UVI = 0,125 W/m². Ezt 2000 s-mal kell szoroznunk ahhoz, hogy 1 MED = 250 J/m² értéket kapjunk. Ez a 2-es bőrtípusra azt jelenti, hogy 2000 s ≈ 33 percnyi napozás

3. táblázat	
Az 1 MED értéke a különböző bőrtípusokra	
bőrtípus	1 MED értéke az adott típusra (J/m ²)
1 (nagyon világos bőr...)	200
2 (világos bőr...)	250
3 (világosbarna bőr...)	350
4 (barna/fekete bőr...)	450



2. ábra. UV-mérés az Aiguille-du-Midi csúcson.

okok már éppen bőrpirosodást. Ezt az átszámolást a mindennapi használatra szánt UV-mérők automatikusan elvégzik, és kijelzik a használó számára.

A fényvédő krémeken feltüntetett faktorszámok azt fejezik ki, hogy hányzorosára növeli a még biztonságosnak tekinthető napozási időt a krém használata. A krémeket a gyakorlatban tesztelik, a faktorszám tapasztalati. Nagy lehet a szórás értéke, a bőrtípustól és az egyéni érzékenységtől függően.

Mérési feladatok, kísérleti eszközök

A földfelszínre érkező UV-B sugárzás mértékét a légkör vastagsága is befolyásolja, így előre sejthető, hogy reggel és este kisebb, a deleléskor nagyobb UV-index értékeket mérünk azonos napsugárzási és légköri viszonyok mellett. Ugyanígy ok miatt várható, hogy a tengerszint feletti magasság növekedésével nő az UV-sugárzás mértéke. Ezeket az ismereteket kívántuk a tanulmányút során végzett mérésekkel közvetlenül is megtapasztalni.

A mérőcsoport tagjai két kísérletsorozatot végeztek:

- egy egyszerű zsebműszerrel mérték az UV-sugárzás intenzitását (az UVI-t) reggeltől alkonyatig nagyjából óránként a napszaktól (napmagasságtól) való függés észlelése céljából,

- vizsgálták az UVI változását (növekedését) a tengerszint feletti magasság függvényében a tanulmányút Aiguille-du-Midi csúcsra (3842 m) történő kirándulása során.

A most már akár áruházi szinten is beszerezhető UV-sugárzásmérő könnyen elérhető, nem drága, a nagyközönségnek szánt eszköz. Számos kivitelben forgalmazzák, internetes megrendeléssel is beszerezhető. Az eszköz az UV-B sugárzás átlagos értékét méri egy plexibe ágyazott AlGaN fotodióda segítségével nagyjából a 240–320 nm-es tartományban [8]. Egyes eszközök különféle kényelmi szolgáltatásokat is nyújtanak, például hangjelzéssel figyelmeztetnek, ha az adott körülmények között veszélytelennek tekinthető napozási idő lejárt, esetleg figyelembe veszik a használt napvédő készítmény faktorát, mérik a levegő hőmérsékletét stb. Ezekben az egyszerű eszközökben a kijelzés rendszerint 1 digités, azaz az UV-index egész

számként jelenik meg. Az eszközök pontosságát a gyártók óvatosan ± 1 -nek adják meg. Ez természetesen nagyon durva adat, több műszert összehasonlítva a $\pm 0,5$ értéket tartjuk reálisnak. A mérési tartomány 0-tól akár 20-ig is terjedhet, bár ilyen irreális értékű napsugárzás aligha valósul meg.

A műszer érzékelőjét méréskor gondosan a Nap irányába kell fordítani, ezt a szögbeállítást kis irányzótűske felszerelé-

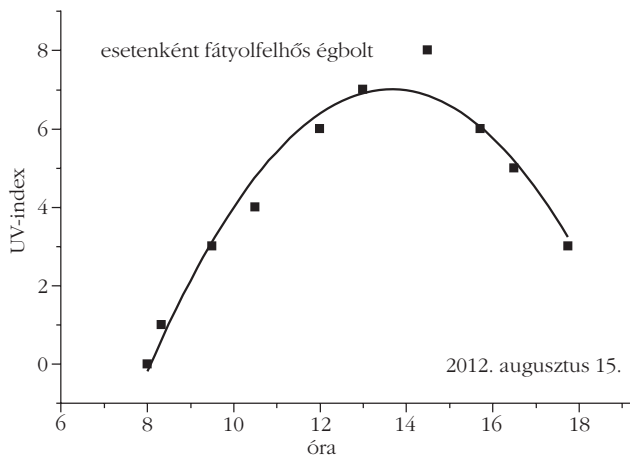
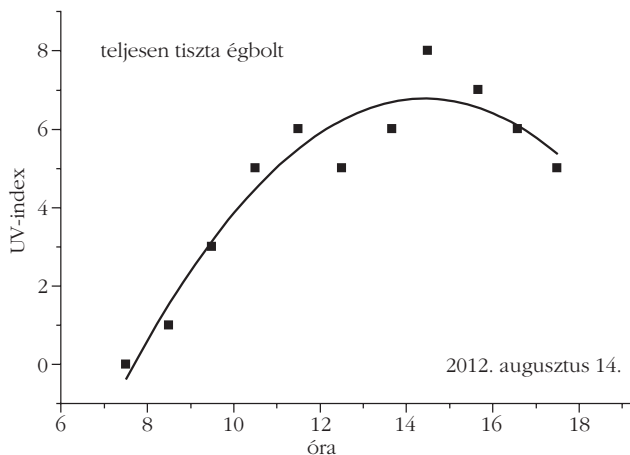
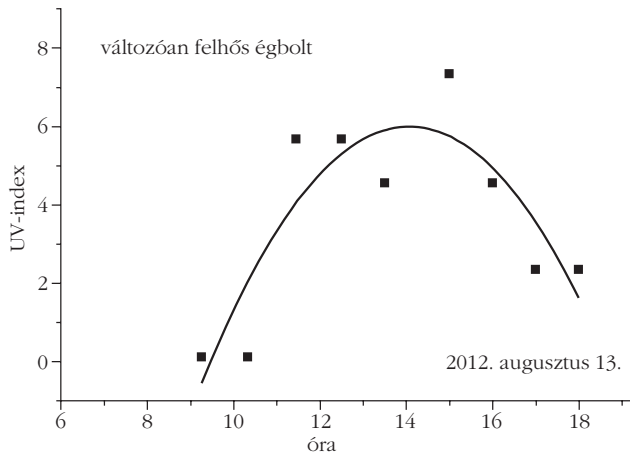
sével könnyíthetjük meg. A mérést többször megismételve, helyes mérés esetén egyező adatokat kapunk (figyelembe véve az 1 számjegyes kijelzést). Ha az adatok nem egyeznek, az vagy átmeneti felhősödést, vagy mérési hibát jelent, ilyenkor ismételjük meg a mérést, és a maximális értéket fogadjuk el.

Mérések, eredmények és tapasztalatok

Az UV-sugárzás napszaktól (napmagasságtól) való függését három egymást követő napon (2012. augusztus 13–15.) a CERN területén körülbelül 430 m tengerszint feletti magasságban, nyílt terepen való mérésekkel vizsgáltuk. (Augusztus 13-án délután – a tanulmányút programjából adódó ok miatt – a mérések egy részére a mintegy 50 km-re, de azonos tengerszint feletti magasságban lévő Lausanne-ban került sor.) A méréseket nagyjából óránként végeztük a reggeli óráktól alkonyatig (2. ábra).

A mérési eredményeket a 3. ábra foglalja össze. A mérési pontokra másodfokú polinomot illesztettünk, és meghatároztuk a napi maximum értékét. Augusztus 13-án az égbolt változóan felhős, 14-én teljesen tiszta, 15-én esetenként fátyolfelhős volt. Ez a légköri helyzet a mérési adatok szórásán jól látszik. Az UV-index napi várható maximális értékét ma már a médiában is elérhető módon közlik [9]. Ennek segítségével méréseinket össze tudtuk hasonlítani a német meteorológiai szolgálat Genf területére közölt adataival [10] (4. táblázat). Látható, hogy az egyezés – figyelembe véve eszközünk egyszerűségét – egészen jó, bár mért értékeink szisztematikusan kisebbek (ha a kiugróan nagy értékeket nem vesszük figyelembe). A napi maximum 14 óra körül jelentkezik annak megfelelően, hogy a Nap delelése ezen a hosszúsági fokon a nyári időszámítási periódusban 14 h körül van.

Az UV-sugárzás tengerszint feletti magasságtól való függését az Aiguille-du-Midi csúcsra vivő felvonó alsó (1035 m), középső (2317 m) és felső (3842 m) állomáson vizsgáltuk tiszta égbolt mellett 2012. augusztus 18-án 9:50 és 11:00 óra között. Az egy magasságban átlagolt mérési pontokra egyenest illesztettünk (4. ábra). A közvetlenül mért adatok azonban módosítandók, mert a 3. ábráról leolvashatóan a mérések



3. ábra. Az UV-index napi változása Genf körzetében, három egymást követő napon, nagyrészt tiszta égbolt esetén.

között eltelt körülbelül 1 óra alatt az UV-index egy adott tengerszint feletti magasságnál is körülbelül 1,5 egységgel növekszik. Az ilyen módon, 11 órára korri-

4. táblázat			
2012. augusztus 13. és 15. között Genf területére előrejelzett és a mért UV-index értékek összehasonlítása			
dátum	13.	14.	15.
előrejelzés Genf területére	7	7	8
mért maximum az illesztett görbéből	6,3	6,8	7,0

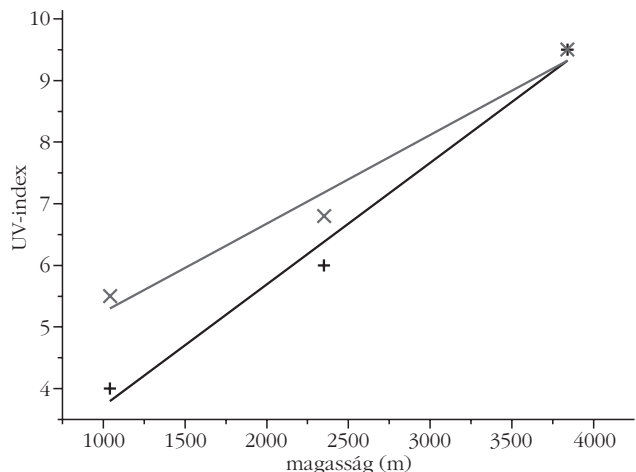
gált egyenes is látható a 4. ábrán. A mérés igazolta előzetes várakozásunkat: a tengerszint feletti magassággal növekedett az UV-sugárzás értéke, 1000 méterenként körülbelül 1,4 egységgel. Egyébként ezen a napon UVI = 10 maximumot 14:50-kor 2300 m magasságban mértük, szemben az előző napokban, 430 méteren mért maximumokkal.

Tanulságok, megfontolások az oktatásban való alkalmazhatóságra

A mérések az iskolában könnyen és gyorsan elvégezhetők, az eredményeket az iskolatípustól és az érdeklődéstől függően fel lehet használni különböző tantárgyakban különböző mélységű tárgyalásra. Felhasználható az egészségi hatások taglalására, környezetvédelmi témák bevezetésére, a fényvédő krémek összetételéről, hatásáról szóló megbeszélésre stb. Hasznos lehet annak megtárgyalása, hogy mi mindentől függhet egy adott fizikai mennyiség, hogyan választhatók meg a kísérleti körülmények úgy, hogy egyszerre az adott mennyiségnek csak egy-egy faktortól való függését vizsgáljuk. A kiértékeléseket számos, rendelkezésre álló számítógépes programmal el lehet végezni. A mérés segítségével mélyebben megérthető a mérési hiba és a mérési pontokra illesztett függvény fogalma.

Az itt bemutatottakon kívül az UV-mérővel számos más kísérlet is elvégezhető. Tanulságos a közönséges üveg és a kvarcüveg UV-áteresztő/elnyelő képességének vizsgálata megfelelő lapocskák (például diaüveg) segítségével. Megvizsgálhatók különböző, UV-védőréteggel ellátott szemüveglencsék és napszemüvegek, bár hangsúlyozni kell, hogy az UV-index a bőr és nem a szem érzékenységgel kapcsolatosan definiált mennyiség, és az egyszerű UV-mérőket a bőrre kifejtett hatás mérésére készítik. UV-védő krémek vizsgálatát viszont nem lehet megbízható körülmények között elvégezni, mert ehhez egy kvarclapra egyenletes réteget kellene felvinni (lehetőleg a tiszta hatóanyagból), ami aligha valósítható meg.

4. ábra. Az UV-index változása a tengerszint feletti magassággal (+ nem korrigált, × korrigált értékek).



A természetes UV-sugárzás monitorozására akár iskolai hálózat is szervezhető, illetve iskolai kirándulás, biciklitúra alkalmával az interdiszciplináris szemlélet szellemében a diákok ilyen vizsgálatokat is elvégezhetnek. Így a kirándulás testi felüdülése szellemi örömmel is párosulhat. Az összehasonlítás-hoz az UV-index előrejelzés Magyarországra is elérhető [9].

Irodalom

1. Schanda János: Élet a sugárözönben. *Magyar Tudomány* 2002. augusztus.
2. Gáspár Sándor, Bérces Attila: Az ultraibolya sugárzás hatása a környezetünkre. *Fizikai Szemle* 43/4 (1993) 153.
3. Hollósy Ferenc: Az UV-B-sugárzás (1. rész). *Természet Világa* 126 (1995) 258.
4. Ultraviolet index; http://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet_index
5. UV-Index for the Public; http://www.higieneocupacional.com.br/download/uv_index_karel_vanicek.pdf
6. The UV-Index Poster; http://meteo.lcd.lu/papers/uv/uvi/uvi_03.html
7. How is the UV-Index Calculated? http://serc.edu/labs/photobiology/UVIndex_calculation.aspx
8. Necz Péter Pál: Az UV-sugárzás mérésére szolgáló műszer fejlesztése; http://kornyezet.elte.hu/cimlap/hu/kornytud/Zarovizsga/Vedes_prez/110120/Necz_Peter_Pal.pdf
9. Országos Meteorológiai Szolgálat, Országos UV-index előrejelzés; <http://www.met.hu/idojaras/humanmeteorologia/uv-b/>
10. http://kunden.dwd.de/uvi/maxe_s?uv_euro=ID1
11. Liskay Gabriella: Klímaváltozás és bőrdaganatok. *Magyar Tudomány* 2011. február; www.matud.iif.hu/2011/02/04.htm
12. <http://www.webbeteg.hu/cikkek/borbetegsegek/237/onkonnyen-leeg>
13. http://meteo.lcd.lu/uvi_calculator/02-UVI-Calculations-2-7.PDF