

FELHŐK MAGASSÁGÁNAK MÉRÉSE

Stonawski Tamás
Nyíregyházi Főiskola

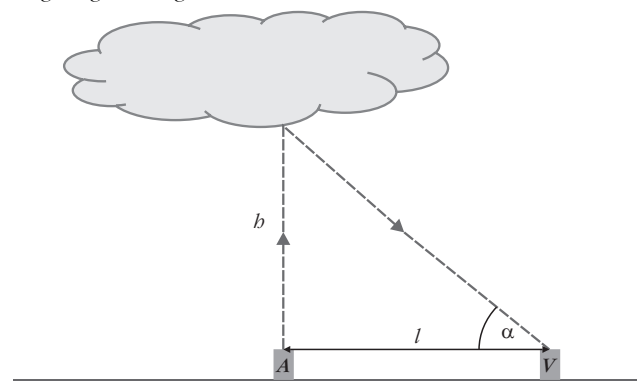
Hosszú megfigyelések eredményeként jött létre a Nemzetközi felhőatlasz, amely 10 felhőfajt, 14 felhőtípust, 9 altípust, 9 járulékos alakzatot és ezek lehetséges variációit adja meg. A felhőatlasz a felhők jellemző paramétereit tartalmazza, többek között a földfelszíntől mért magasságukat is. A magasságértékek igen sok műszeres mérésből adódnak össze, így a légkört meghatározó mennyiségek változásai miatt a táblázatokban nem egy-egy konkrét magasságértéket találunk, hanem egy széles intervallumot átfogó értékssereggel jellemezhetjük a kiválasztott felhőfajok talajszinttől mért magasságát.

A magasságmérés elvégezhető ballonnal, radar-technikával és lézerrel is. A ballon által felvitt pszichrométer alapján meghatározható a harmatpont magassága, ami a felhőalap magasságával egyezik meg.

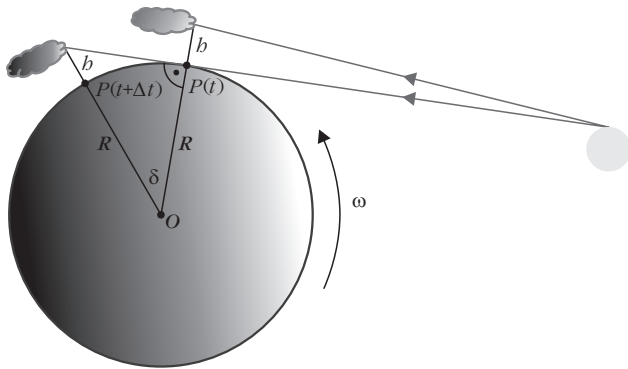
Az elektromágneses hullámokkal történő mérés lényege, hogy egy függőleges hullámnyaláb visszave-

rődését érzékelik egy ismert távolságból (1. ábra). A detektor állásából meghatározható a magassági szög, amely alapján a felhőmagasság már kiszámítható [1].

1. ábra. Az A adóból induló hullámokat a felhőről visszaverődve a V vevő detektálja. A detektor adataiból meghatározható a felhőalap magassága: $b = l \operatorname{tg} \alpha$.



Köszönet Jubász Andrásnak és Jánosi Imrénének a segítségükért.



2. ábra. A naplemente után még egy ideig megvilágítja a Nap a felettünk lévő felhőket.

Az általunk megfigyelt felhők magasságát – drága mérőeszközök hiányában – meghatározhatjuk az alábbi eljárással [2].

A naplemente után még egy ideig megvilágítja a Nap a felhőket (2. ábra). Ez abból adódik, hogy a felhők magasabban helyezkednek el (b), mint a P pontban lévő földi megfigyelő. A felettünk lévő felhők magasságának sikeres megméréséhez a horizont felett tiszta égboltnak kell lennie. Figyeljük meg a naplementét, majd amikor a Nap alábukik a horizonton, indítsuk el az előkészített stoppert és mérjük meg, hogy mennyi idő alatt tűnik el a fény a felettünk lévő felhőről! A kérdéses Δt – esetünkben 429,6 s – idő alatt a Föld δ szöggel fordul el a saját tengelye körül, a $P(t)$ pont a $P(t+\Delta t)$ pontba kerül. A δ szöget – a Föld teljes körbefordulásához szükséges 24 óra = 86 400 s ismeretében – egyszerű egyenes arányosság alapján számíthatjuk ki:

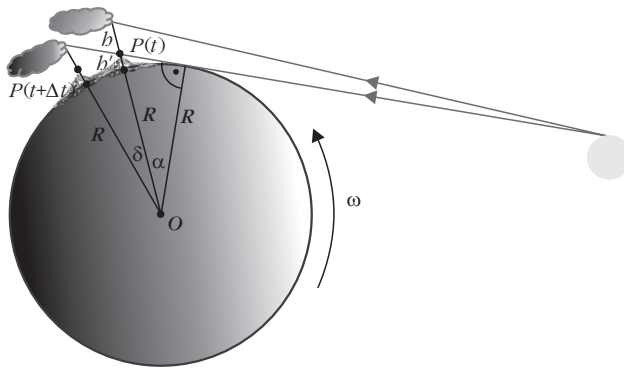
$$\delta = \frac{\Delta t}{86\,400} 2\pi.$$

Majd a 2. ábrán látható derékszögű háromszög alapján – a Föld $R = 6,37 \cdot 10^6$ m sugarának ismeretében – kifejezhetjük a felhő b magasságát:

$$\begin{aligned} \cos \delta &= \frac{R}{R+b} \rightarrow \\ b &= \frac{R}{\cos \delta} - R = \frac{R}{\cos\left(2\pi \frac{\Delta t}{86\,400}\right)} - R = \\ &= \frac{6,37 \cdot 10^6}{\cos\left(2\pi \frac{429,6}{86\,400}\right)} - 6,37 \cdot 10^6 \approx 3100 \text{ m} \end{aligned}$$

A mérés sikeres kivitelezéséhez mindenekelőtt olyan helyszínt kell keresni, ahonnan jól látható a horizont és nincsenek a látványt takaró tereptárgyak. A másik fontos feltétel, hogy a horizont felett csak kevés felhő legyen, hiszen a lemenő Nap utolsó sugarainak el kellett jutniuk először a megfigyelőhöz, majd napnyugta után a felettünk lévő felhőkre, és azokon visszaverődve a megfigyelő szemébe.

Mi erre alkalmas helyszínt a Nyíregyházi Főiskola 6. emeletén találtunk, és csak a sokadik megfigyelés alkalmával sikerült kedvező körülményekben a mérést végrehajtani.



3. ábra. Ha a mérést a tengerszint fölött végezzük, módosul a 2. ábra. A felhő magasságának meghatározásához az ábra két derékszögű háromszögének összefüggéseit használtuk fel, b' a mérési helyszín tengerszint feletti magasságát jelöli.

Ötletek a pontosabb magasságméréshez

A mérések közben a diákokban sok ötlet fogalmazódott meg a számítások pontosítására. A két legfontosabb felvetés szerint meg kell vizsgálni a szélességi fok és a tengerszint feletti magasság befolyását a mérés végeredményére. A tengerszint feletti értékek a terepviszonyoknak megfelelően eltérőek lehetnek a Föld egy-egy pontján. A 2. ábrát ezért módosítani kellett (3. ábra).

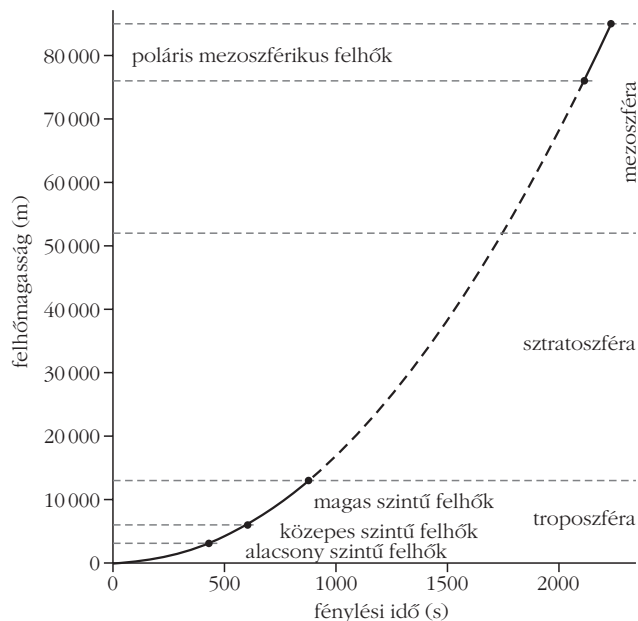
A 3. ábra derékszögű háromszögeiből az alábbi összefüggések írhatók fel:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{R}{R+b'}, \\ \cos(\alpha + \delta) &= \frac{R}{R+b'+b} \rightarrow \\ b &= \frac{R}{\cos(\alpha + \delta)} - (R+b'), \end{aligned}$$

ahol b' a megfigyelő tengerszint feletti magasságát, α pedig e magasság miatti, időben későbbi naplementéhez tartozó Föld-elfordulás szögét jelöli.

Ha figyelembe vesszük, hogy a Föld φ szélességi fokán a forgástengelytől mért R' távolság:

1. táblázat			
A felhőatlaz magasságértékeire kiszámított fénylési idők az Egyenlítőn és Nyíregyházán			
felhőtípus	előfordulási magasság (km)	észlelési idő napnyugta után (min)	
		$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 48^\circ$
éjszakai világító felhők	76–85	35–37	43–45
magas szintű felhők	6–13	10–15	12–18
közepes szintű felhők	2–6	6–10	7–12
alacsony szintű felhők	0–2	0–6	0–7



4. ábra. A felhők tengerszintől mért magassága a fénylési idő függvényében, amikor a megfigyelő az Egyenlítőn és a tengerszinten van. A tiltott sáv szaggatott vonallal van jelölve.

$$R' = R \cos \varphi,$$

és ezt helyettesítjük a b felhőmagasságot megadó képletbe, a következő függvényt kapjuk:

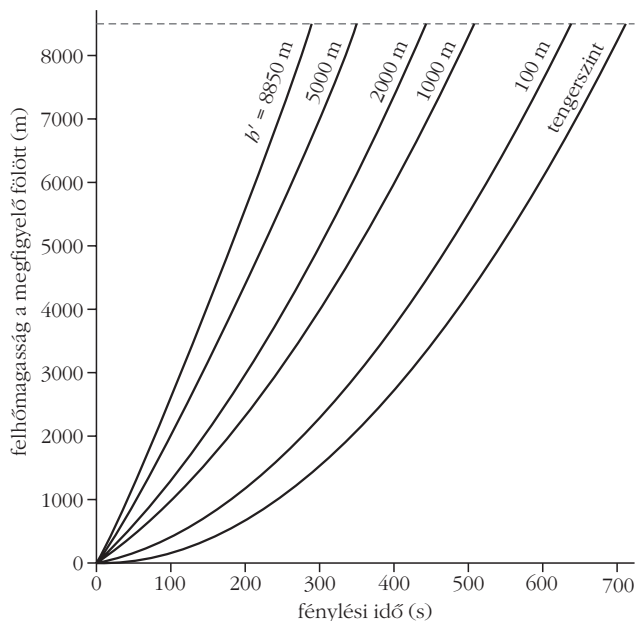
$$b(\Delta t) = \frac{R \cos \varphi}{\cos \left(\arccos \frac{R \cos \varphi}{R \cos \varphi + b'} + 2\pi \frac{\Delta t}{86400} \right) - (R \cos \varphi + b')}.$$

Az értelmezési tartományok és az értékkészletek meghatározásához a felhőatlasz adatait is felhasználtuk (1. táblázat). A felhők csoportosításánál (1. táblázat és 4. ábra) látható, hogy létezik egy tiltott sáv (13–76 km) – ez a sztratoszféra, itt csak nagyon speciális körülmények között, főleg a sarkvidékeken jöhetnek létre felhők –, ahol a „hagyományos” felhők már nem fordulhatnak elő, de e fölött, a mezoszférában poláris mezoszférikus felhők figyelhetők meg. Az 1. táblázat alapján jól látható, hogy azonos magasságban úszó felhőt magasabb szélességi fokról megfigyelve az hosszabb ideig fénylik a sötétben.

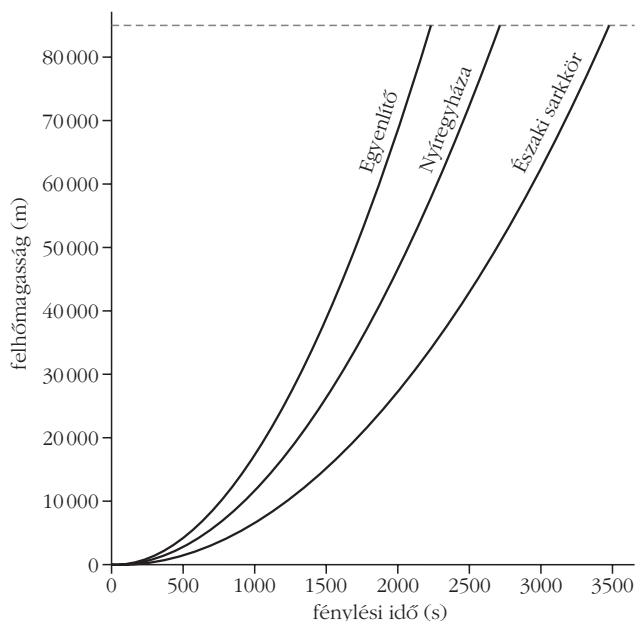
A mérési helyszín tengerszint feletti magassága is jelentősen befolyásolhatja a számításokat, mint az 5. ábra mutatja. A szélességi fokok hatása a mérésre még nagyobb: akár 60%-os eltérés lehet ugyanazon magasságú felhő fénylési ideje között az északi sarkkörön, illetve az egyenlítőn (6. ábra).

Tereptárgyak fénylése

A felhők fénylése lenyűgöző látványt nyújt az esti és a hajnali égbolton. Magasabb tereptárgyak, tornyok, hegyek is képesek fényleni a sötétben, igaz sokkal



5. ábra. A felhők megfigyelőhöz képesti magassága az Egyenlítőn a fénylési idő függvényében a megfigyelő tengerszint feletti magassága, mint paraméter változtatásával.



6. ábra. A felhők tengerszintől mért magassága a fénylési idő függvényében a szélességi fok, mint paraméter változtatásával. A tiltott sáv nincs jelölve.

kevesebb ideig – pár másodperctől néhány percig –, mint ahogy azt a felhők esetében láttuk (7. ábra).

Az ókori Egyiptom obeliszkjei és nagyszabású piramisai is lélegzetelállító látványt nyújthattak napkelte előtt és naplemente után, amikor a fényesre csiszolt köveken (amelyek mára már szinte teljesen eltűntek, hiszen évezredek át szolgálták a környék építőanyagául) visszaverődtek a sötét tájba a Nap sugarai. Az obeliszkbe a Napistenhez szóló imákat véstek, csúcsait pedig jó fényvisszaverő képességű, sima felületű fémmel, legtöbbször arannyal vonták be. Ezek a tények arra utalnak, hogy a 10-30 méteres monoliti-

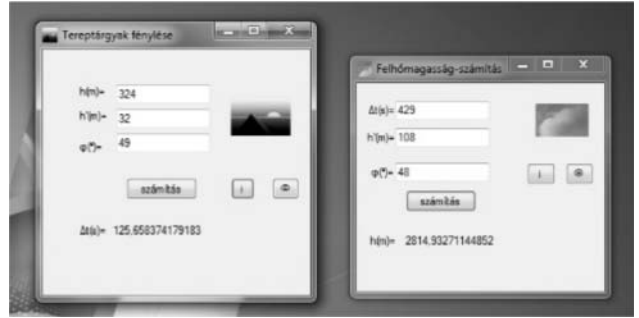
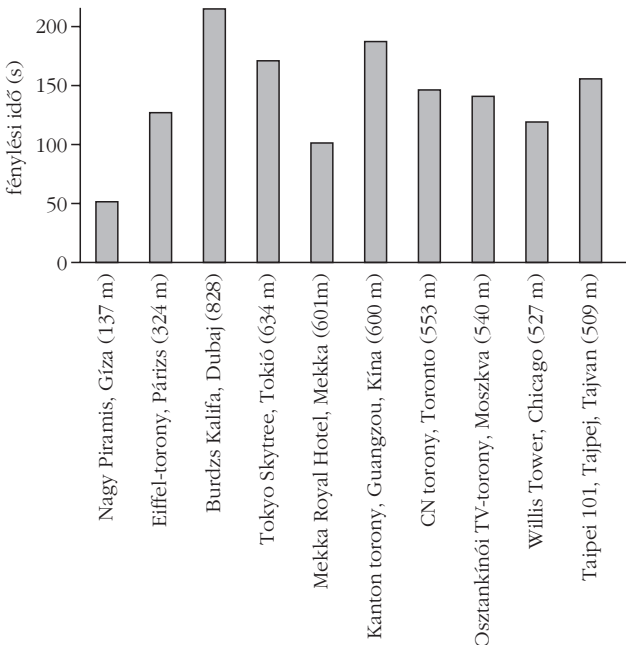


7. ábra. A sík sivatagi környezetéből 348 m magasan kiemelkedő Uluru/Ayers Rock Ausztráliában. A magányos homokkő sziklatömb környezete naplementekor már sötétben van, ő maga pedig a csúcsa felé közeledve – vörösből narancsba hajló – egyre világosabb (fotó: Hajjas János, www.panoramio.com/user/hajjas).

kus építmények a napkelte első sugarainak láttatására is szolgáltak [3]. (Az egyiptomi túlvilági hit szerint a lélek halhatatlan és képes vándorolni. A piramisok mélyén elhelyezett balzsamozással konzervált testeket a hit szerint a lélek újra birtokba veheti. A hajnalban és alkonyatkor fénylő piramisok a fáraó visszatérő lelkének testbe való költözését és annak elhagyását is szimbolizálhatta.)

Ha a $b(\Delta t)$ függvényből egy $\Delta t(b)$ függvényt készítünk, akkor e függvény segítségével meghatározhatjuk a magas épületek fénylési idejét. Az épületekhez fénylési időket csak akkor van értelme rendelni, ha – a piramisokhoz hasonlóan – szomszédos tereptárgyak nélkül magányosan állnak, ellenkező esetben a számolt értékeket a mérésekkel nem lehet összevetni.

9. ábra. Néhány magas épület fénylési ideje. A fénylési idő az épület magasságán kívül a tengerszint feletti magasságtól és a szélességi foktól is függ.



8. ábra. Információs felülettel ellátott C# nyelven írt programok segítették a számításokat.

A számítások hosszadalmasak, ezért C# nyelven rövid programokat írtunk [4] a b felhőmagasság és a tereptárgyak Δt fénylési idejének a kiszámításához (8. ábra).

A Google Earth, mint adatbázis [5] felhasználásával meghatároztuk néhány híres, magas épület fénylési idejét (9. ábra). A jelenlegi legmagasabb (828 m) felhőkarcoló, a Dubajban található Burdzs Kalifa itt is kiemelkedik a többi közül, a *címlapon* napkeltekor még sötét környezetéből világlik ki a már napsütötte épület (a jó kontraszt az Egyenlítő közelségének is köszönhető). Az Eiffel-torony – kedvező elhelyezkedése miatt – magasságához képest viszonylag nagy fénylési időt mutat.

Konklúzió

Az időmérés alatt a Föld forgása mellett természetesen a felhő is mozgott és a Föld is a Nap körüli ellipszispályáján keringett, de mérésünk során ezeket a mozgásokat elhanyagoltuk. A mérés legnagyobb pontatlansága a kezdő és a befejező időpont meghatározásában rejlett.

A pontatlanság ellenére igen hasznosnak találok a mérés elvégzését, hiszen általánosan közelít meg egy, a Földhöz kapcsolódó speciális mozgást. Azok a fizikai tények, hogy a Föld forog (és vajon mennyire követi a légkör a földfelszínt), a felhők kis szakaszon vizsgálva tényleg egyenes vonalú egyenletes mozgást végeznek-e, milyen adatok szükségesek a felhők sebességének a méréshez, melyek a mérést befolyásoló és melyek az elhanyagolható körülmények; mindezen felismerések a tanulókat egyfajta komplex gondolkodásra kényszerítették, hiszen a fizikakönyvek feladatai csak speciálisan kiélezett és egy adott témakörhöz kapcsolódó problémákkal foglalkoznak. A fenti összetett mérés pedig a maga általánosságával közelebb hozta a fizikaórát a mindennapok történéseihez.

Irodalom

- <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/meteorologia/ch05s04.html>
- <http://justtechnika.com/articles/find-height-of-clouds-with-a-stop-watch/>
- <http://hu.wikipedia.org/wiki/Obeliszk>
- <https://onedrive.live.com/?cid=F268C03064AF1E7D&id=F268C03064AF1E7D!159>
- <http://www.google.hu/intl/hu/earth/download/ge/agree.html>