

Kolláth Kornél

FÉNYSZENNYEZÉS ÉS METEOROLÓGIA – FELHŐALAP MAGASSÁG BECSLÉSE ÉJSZAKA ÉGBOLT KAMERA FELVÉTELEK SEGÍTSÉGÉVEL

Alacsony szintű felhők esetén a felhőalap magassága kritikus repülésmeteorológiai paraméter. A rendelkezésre álló mérések, megfigyelések mellett – azokat kiegészítendő – egy új eljárást javasolunk a felhőalap meghatározására az éjszakai periódusban. A technika a repülőtereken korábban használt felhőfényoszórók elvén és égbolt kamera felvételek feldolgozásán alapul. Megmutatjuk, hogy a fényszennyezés, a mesterséges fények fölfelé irányuló része passzív felhőfényoszóróként szolgálhat. A módszert Budapest belvárosában demonstráljuk, ahol a koncentrált diszkvilágítás játszotta a felhőfényoszóró szerepét. Kiterjedt, homogén Stratus felhőzet esetén jó egyezést találtunk a közeli repülőtéren mért és a módszerrel számított felhőalap magasság között. A felhők különböző méretű települések feletti kifénylésének megfigyelésére esettanulmányokat mutatunk. Vizsgáljuk a módszer korlátait, illetve annak általánosabb körülmények közötti alkalmazhatóságát.

Kulcsszavak: égbolt kamera, távérzékelés, Stratus, felhőalap magasság, fényszennyezés, felhőfényoszóró

BEVEZETÉS

Motiváció – a felhőzet megfigyelése éjszaka

Az operatív meteorológiai megfigyelés gyakorlatában a felhőzeti viszonyok éjszakai feltérképezése elsősorban a geostacionárius műholdak infravörös felvételein, a vizuális emberi észleléseken, illetve a főként repülőtereken működő felhőalap méréseken alapul. Az infravörös műholdas mérések inkább a felhőzet tetejének karakterisztikáiról informálhatnak. Az emberi észlelésnek ismert korlátai vannak. Az általában a repülőtereken elhelyezett lézeres felhőalap mérők csak néhány pontban érhetők el. A felhőzet alsó részének nagyobb térségekre kivetített megfigyelése tehát komoly korlátokba ütközik.

A repülés számára – a növekvő műszerezettség és fejlett navigáció ellenére – mind a mai napig komoly biztonsági kockázatot jelent a köd és az alacsony szintű felhőzet. Alacsony felhők esetén a felhőalap magassága kritikus repülésmeteorológiai paraméter. Ugyanakkor az általános meteorológiai előrejelzés, a tartós Stratus és köd előrejelzése, azok csapadékhatékonysága (szitálás, ónos szitálás, szemcsés hó előfordulása) szempontjából is fontos az alacsony felhők függőleges elhelyezkedésének, vastagságának minél jobb analízise.

Égbolt kamerák – a meglévő alkalmazások korlátai

A megfigyelési gyakorlatban elterjedőben van az égbolt kamerák használata, de az alkalmazások még kiforratlanok. A felhőalap magasságának égboltkamera felvételeken alapuló meghatározására találunk létező megoldásokat (Kassianov et al. 2005, Seiz et al. 2007, Janeiro et al. 2010, Chulichkov et al. 2015, Savoy et al. 2015, Wang et al. 2016). Az említett alkalmazásokban azonban közös, hogy a felhőzet struktúrájának kontrasztjain alapulnak és elsősorban a nappali órákra optimalizált a működésük. A fény polarizációjának mérése érdemben növelheti a felhőzet detek-

tálásának megbízhatóságát (Horváth et al. 2002), de a felhők távolsága és a polarizáció foka közötti kapcsolat már valószínűleg nem elég erős a kisebb távolságok megkülönböztetésére. A homogén struktúrájú, alacsonyabb magasságban elhelyezkedő Stratus felhők magasságának égbolt kamerákkal történő passzív távérzékelése tehát általában akadályokba ütközik.

Az olcsó távérzékelési eszközökként is „bevethető” digitális fényképezőgépek, webkamerák fejlődése új, eddig kiaknázatlan lehetőségeket rejt, különösen igaz ez éjszaka, mivel a szenzorok érzékenysége korábban csak nagyon korlátozott képminőséget engedett meg.

Digitális fényképezőgépek, mint távérzékelési eszközök

A felhőzet többféle távérzékelési módszerrel detektálható. Esetünkben a felhőkön szóródó fényt mérjük digitális fényképezőgép segítségével. A látható fény az elektromágneses sugárzás azon hullámhossz tartománya, mely szemünkben fényérzetet kelt. A digitális fényképezőgépek, illetve azok szenzorjai, az abban alkalmazott szűrők úgy vannak kialakítva, hogy olyan hullámhossz tartományban gyűjtse a beérkező sugárzást, melyre az emberi szem is érzékeny. Mind a fényképezőgép, mind az emberi szem tulajdonképpen úgynevezett fénysűrűséget mér. A fénysűrűség az egységnyi térszögből, egységnyi idő alatt, egységnyi felületre érkező fénysugárzás teljesítménye. A fényképezőgéppel egy meghatározott időn keresztül „gyűjthető” a beérkező fény. Az úgynevezett RAW képek egyes pixelértékei arányosak a megfelelő irányokból beérkező fényenergiával. Megfelelő kalibrációval egy fényképezőgép, annak optikájával együtt tehát olyan távérzékelési eszközként használható, mellyel tényleges fizikai mennyiséget, az adott irányból egységnyi felületre beérkező fényenergiát mérhetjük.

A 90-es évek közepétől, végétől az egyre széles körben elérhető digitális fényképezőgépek tudományos célú munkára is alkalmassá váltak (Akkaynak et al. 2014). Megfelelő kalibráció mellett a digitális fényképezőgépek többek között a fényszennyezés mérések olcsó, alternatív eszközeivé is válhattak (Flanders 2006, Kolláth 2010, Hiscocks 2014, Kolláth 2016).

Mesterséges települési fények, mint felhőfényszórók

A lézeres felhőalap mérés elterjedését megelőzően a felhők magasságának éjszakai meghatározására felhőfényszórókat alkalmaztak a repülőtereken (Ashford 1947, WMO 2008). A berendezés egy erős irányított fényforrásból állt, mely képes volt egy határozott foltban megvilágítani a felhőzetet. Egy bizonyos távolságból a kifényesedés pozíciójának szögmagasságát manuális módon megmérve egyszerű háromszögelési eljárással volt számítható a felhőalap magassága. A felhőfényszórók használata mára szinte teljesen eltűnt, feledésbe merült. Hasonló elven működött az úgynevezett „rotating-beam”, más elnevezéssel „optical drum” felhőalap mérő eszköz, mely az egyszerű felhőfényszóróval ellentétben nem igényelt manuális, emberi eljárást. A lézeres (LIDAR) eszközök mára teljesen kiszorították az említett mérési technikákat (WMO 2008).

A mesterséges települési fények kevésbé koncentráltak és irányítottak, illetve intenzitásuk is ingadozhat, de mégis olyan fényforrásoknak tekinthetők, melyek éjszaka segíthetik a meteorológiai megfigyelést. A tapasztalat azt mutatja, hogy sok esetben jól körülhatárolható kifényesedés jelentkezik a felhőzet alján, melyekhez egy-egy település, városrész, ipari létesítmény, esetleg egyedi épület kivilágítása társítható. A fényforrások ezen esetekben tehát passzív felhőfény-

szórókként szolgálhatnak, így a felhőalap magassága az említett háromszögelési eljárással becsülhető. A dolgozat célja, hogy a felhőalap magasságának ilyen formában történő meghatározását, mint módszertani lehetőséget demonstrálja.

FELHASZNÁLT ADATOK, MÓDSZEREK

A Parlament épületének díszkivilágítása, mint felhőfényoszóró

A Parlament kivilágítása még Budapest belvárosának fényszennyezése közül is markánsan elkülönülő kifényesedést eredményez az alacsony felhőkön az épület felett. A jelenség a belváros legtöbb pontjáról szabad szemmel is jól megfigyelhető (1. kép).

A módszer demonstrálásának céljából a Parlament épületétől 1400 méteres távolságban, az Országos Meteorológiai Szolgálat székházának tetején operatíván működő égbolt kamera felvételeit dolgoztuk fel (2. kép) (OMSz 2014). A felvételek jpeg formátumban voltak elérhetők, ami ugyan nem ad lehetőséget a fénysűrűség, mint fizikai mennyiség mérésére, de a relatív fényességi értékek a jpeg képek pixelértékeiből kiolvashatók. A három színcsatornából csak a zöldet használtuk fel, mely egy 8 bites számérték (0–254). A képen az egyes pixeleknél meghatározott irányok felelnek meg. A pixelek és irányok (magassági szögek) társítását a képeken felhőtlen időben megjelenő Hold, bolygók, fényesebb csillagok adott időpontban lévő pozíciója alapján végeztük el (3. kép). A közbülső pontoknak megfelelő magassági szögeket interpolációval, a mért pontokra illeszkedő másodfokú polinom illesztésével nyertük.

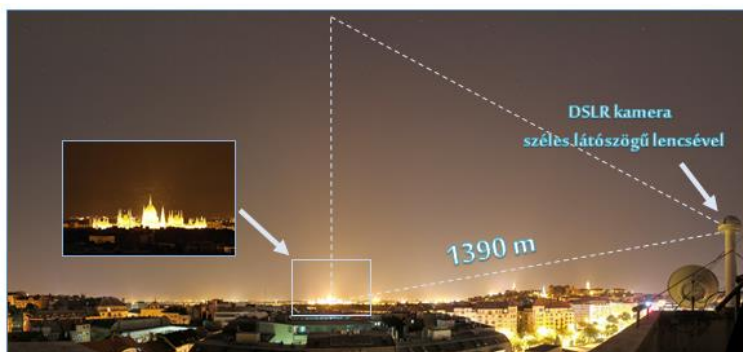
A kiértékeléshez egy szoftvert készítettünk, mely megkeresi a képen a kifényesedés maximumának függőleges pozícióját a Parlament épülete felett (6. kép). Az épület pixelszélességének megfelelő sávban vízszintes irányban átlagolt pixelértékekkel dolgoztunk. Abban az esetben, ha a maximális érték több függőleges pozícióban is szerepel, akkor ezen pozíciók átlagát tekintettük a maximális kifényesedés centrumának. A kifényesedés pozíciójához tehát magassági szöget társíthattunk, melyből az ismert 1400 méteres távolság alapján háromszögelési eljárással már egyszerűen számítható a felhőalap magassága.



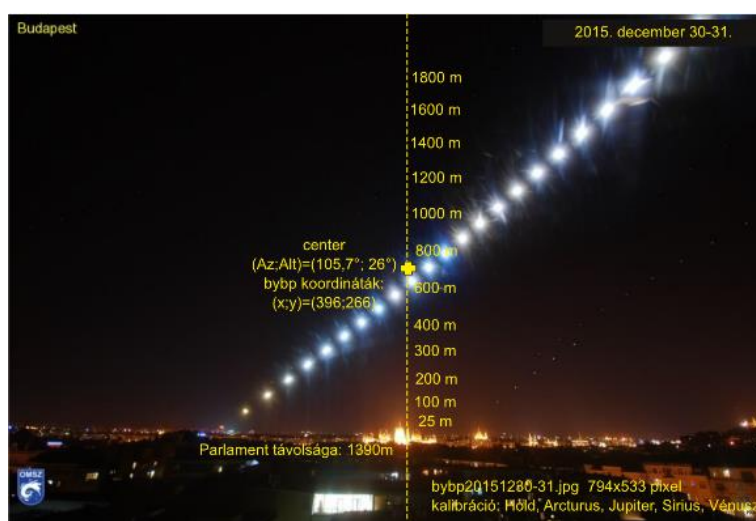
1. kép A felhőzet kifényesedése a Parlament épülete felett a Margit-híd budai hídfőjéről megfigyelve. A városon belül egyes épületek, városrészek erős díszkivilágítása felhőfényoszóróként funkcionálhat

Az égbolt kamerák felvételeit előzetesen manuálisan szűrtük az olyan felhős esetekre, melyeken szemmel látható határozott kifényesedési maximum mutatkozik a Parlament feletti sávban. Egy kb. fél éves - 2015. decemberétől 2016 nyaráig tartó – periódust dolgoztunk fel ilyen módon, mely során a fél óránkénti képekből 163 esetet gyűjtöttünk. Az eredményeket a ferihegyi

repülőtér meteorológiai távirataiban (METAR) szereplő felhőalap információkkal közös ábrán jelenítettük meg (1. ábra).



2. kép Az Országos Meteorológiai Szolgálat székházának tetején elhelyezett égbolt kamera



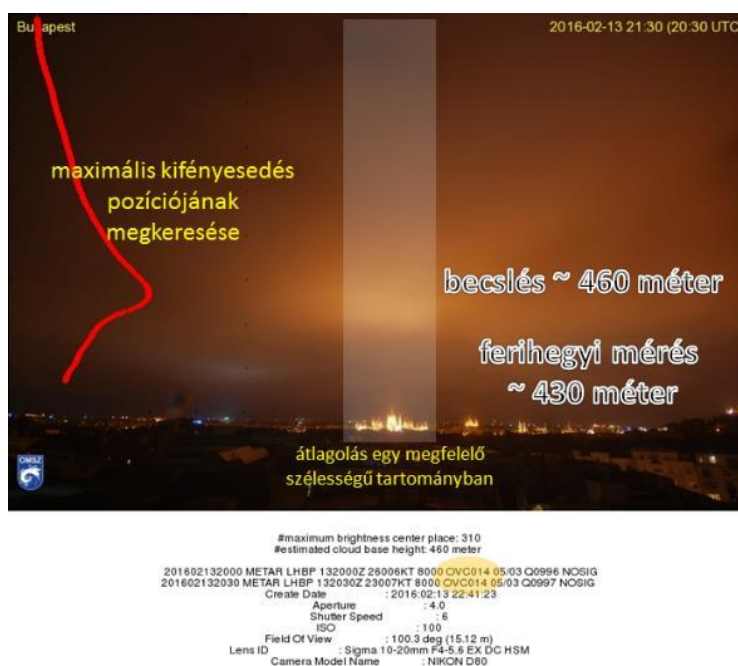
3. kép Az égbolt kamera képen lévő irányok kalibrációja a Hold, illetve bolygók, fényesebb csillagok adott időpontban lévő ismert pozícióival történt



4. kép Égbolt kamera által készített felvétel alacsony felhőzet és a bekapcsolt díszkivilágításnál. (A Parlament díszkivilágítása és a Hősök-tere melletti műjépgálya erős kivilágítása is jól megfigyelhető a kép bal oldalán.)



5. kép A felhők kifényesedése a Parlament felett különböző felhőalap magasság esetén. A bal felső képen 1000 méter feletti a felhőzet magassága, míg a jobb alsó esetben közvetlenül az épület kupolája felett helyezkedik el a felhőzet, de még a látástávolság megengedi a felhő kifényesedésének észlelését

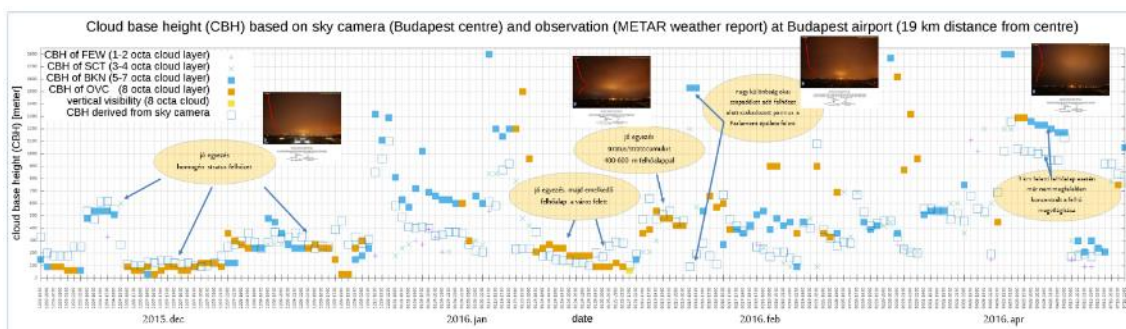


6. kép A feldolgozás módszere a kép Parlament fölötti sávjában lévő a pixelértékek vizsgálatán alapul. A sávban a jpeg kép zöld színcsatornája az egyes sorokban átlagolásra kerül. A maximális érték függőleges pozíciójában, illetve az annak megfelelő magassági szög alatt feltételezzük a Parlament feletti felhőzet alapját

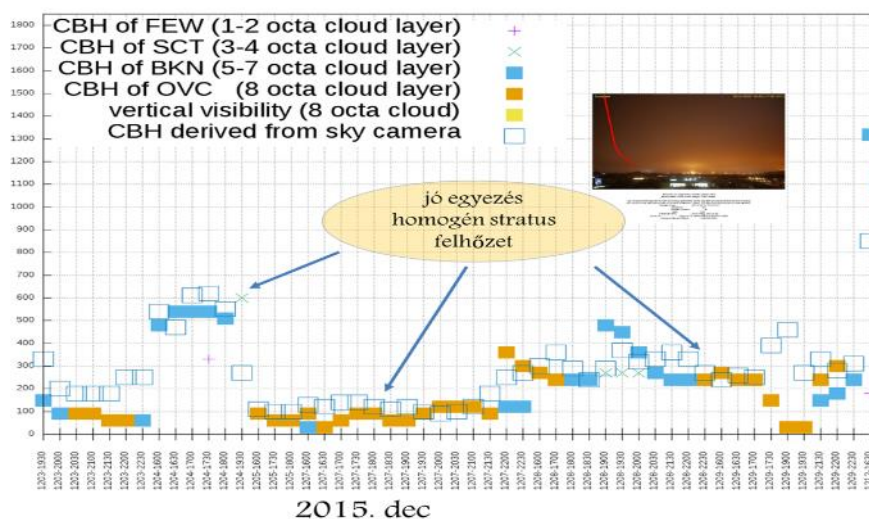
EREDMÉNYEK, DISZKUSSZIÓ

A módszer alapján számított felhőalap értékeket és a 19 km távolságban lévő ferihegyi repülőtérre mért, észlelt felhőzeti információkat (METAR távirat felhőzeti csoportja) közös ábrán jelenítettük meg (1. ábra). Az ábra elkészítésével az volt a célunk, hogy egy áttekintést nyújtson a két egymástól független felhőzeti információ viszonyáról. Az összehasonlítást nem lehet teljesen

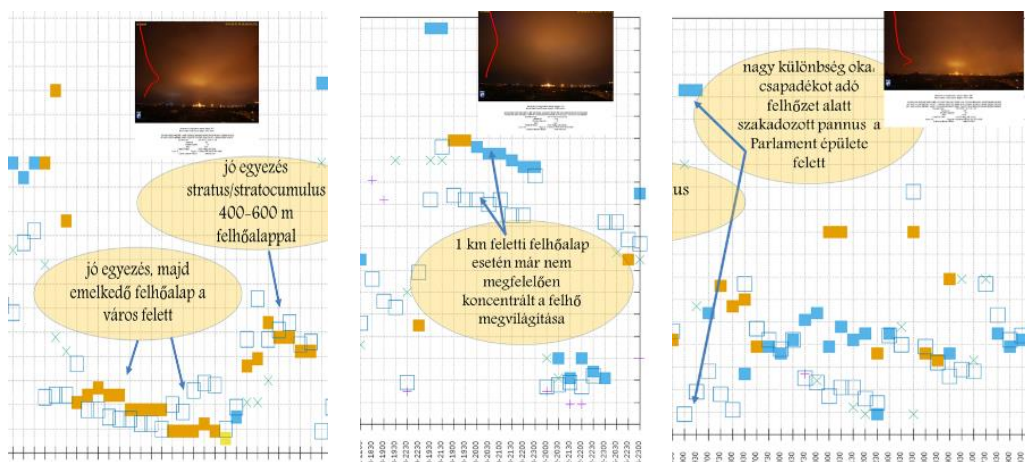
egyértelmű, hisz a METAR táviratokban több magassági szintben lévő felhőzet is megjelenik. Jó egyezésnek azt tekintettük, ha a METAR-ban az 5–8 oktányi mennyiségű felhőzet alapja és a számított felhőalap közel van egymáshoz (100–200 méternél nem nagyobb az eltérés).



1. ábra A manuálisan kiválasztott eseteket időrendi sorrendben jelenítettük meg. A függőleges tengelyen a magasság szerepel. A számított felhőalap magasságát nyitott kék négyzetek jelölik. A zárt kék, narancs négyzetek rendre az 5–7, illetve 8 okta, míg a kis keresztek az 1–4 okta felhőzet alapjának magasságát jelölik



2. ábra Kiterjedt Stratus felhőzet periódusai 2015. decemberében. A mért és a módszer által számított felhőalap magasságok ebben a periódusban jó egyezést mutatnak



3. ábra Néhány jellegzetes periódus a mért és számított felhőalap magasságok idősorában

A következőkben az 1. ábráról egy-egy jellegzetes periódust mutatunk be (2–3. ábra). A 2015. decemberében több periódusban is tartós, kiterjedt Stratus felhőzet volt a jellemző. Ezekben az időpontokban igen jó egyezést mutatott a ferihegyi repülőtéren mért és a módszer által számított felhőalap magasság (2. ábra). A különbségek egy része abból származik, hogy a repülőtér és a belváros felett ténylegesen különböző volt a felhőalap magassága. Más esetekben – főként az 1 km-nél magasabban lévő felhőknél – a felhő kifényesedése már nem eléggé határozott, illetve a díszkivilágítás függőlegestől eltérő aszimmetrikus fényszennyezése is problémákhoz vezethet a módszerben.

A feldolgozás problémái, módszer korlátai, szükséges fejlesztések

A bemutatott feldolgozás során manuális, szubjektív módon történő előzetes szűrést végeztünk, mely során a homogén struktúrájú felhős esetek kerültek válogatásra, jól körülhatárolt módon jelentkező kifényesedéssel. Ezt a manuális szűrést automatikus eljárásnak kell kiváltania. A pixelek fényességi értékeinek egyszerű maximum keresése helyett a fényesség-magassági szögfüggvényt részletesebben szükséges megvizsgálni, hogy szűrhesünk azokra az esetekre, melyre a módszer megfelelő biztonsággal működhet. A kifényesedés foltjához – amit közelítőleg egy ellipszisnek feltételezhetünk a képen – a 2 dimenziós képi térben függvényt (célszerűen Gauss-eloszlást) illeszthetünk. Az eloszlás paramétereiből (pl. szórás) a kifényesedés foltjának határozott mivoltára objektíven következtethetünk, így csak egy bizonyos megbízhatósági küszöb felett származtatunk felhőalap magasságot.

Felmerül a felhős és derült égrészek automatikus detektálása, illetve általában a felhőzet struktúrájának vizsgálata. A nappali képek esetén az RGB összetevők különbségei, egymáshoz való arányai alapján a derült és felhős pixelek egy viszonylagos biztonsággal elkülöníthetők (Heinle 2010, Shields 2013). Az éjszakai égbolt esetén az RGB komponensek alapján a különböző spektrumú települési fényforrások miatt nehezebb univerzális küszöbértékeket alkalmazni a felhőzet detektálására. A detektálásra felhasználható ugyanakkor az az összefüggés, hogy a felhőkről visszaszóródó települési fények miatt a felhős pixelek általában magasabb fényességi értéket mutatnak a derült pixelekhez képest (Kyba 2011). Fényszennyezés mentes környezetben, illetve sűrű ködben azonban éppenséggel a derült ég természetes fénylése lehet magasabb. Főként kevésbé fényszennyezett környezetben a csillagok láthatósága is alapján képezheti a felhőzet detektálásának (Martinis, 2013).

Az égbkép, felhőzeti kép homogenitásának, textúrájának ellenőrzése is fontos feltétel lehet a felhőalap magasságának bemutatott módszer szerinti alkalmazhatóságában. Erősen inhomogén égbkép esetén a magasabb fényességi értékek egy-egy foltja a szakadozott, különböző magasságban elhelyezkedő felhőpadokra is utalhat, így a felszíni fényforrást és a hozzá tartozó kifényesedést kevésbé lehetséges társítani egymáshoz. Haralick (1973) nyomán Heinle és társai (2010) az égbolt képekre, mint kétdimenziós RGB számhalmazra alkalmazták a képfeldolgozó eljárásokban alkalmazott, a képi textúrára jellemző különféle statisztikai mutatókat (energia, entrópia, homogenitás, kontraszt). Ezen paraméterek alapján típusokba sorolták a felhőket. Bár módszerüket nappali képekre fejlesztették, feltételezhetjük, hogy a korszerű digitális kamerák magas érzékenység mellett, rövid záridővel készült éjszakai képeire hasonlóképp alkalmazható a textúra jegyek alapján a felhőzet típusokba sorolása. (A rövid záridőre a felhők elmozdulása

miatti elmosódás kiküszöbölése miatt van szükség.) A felhőalap magasságmeghatározás módszerénél a homogénebb réteges felhők (Stratus, Altostratus, esetleg Nimbostratus, kiterjedt Stratocumulus, Altocumulus stratiformis) jelenthetik az alkalmazás feltételét.

A Hold fénye vékonyabb felhők esetén megzavarhatja az algoritmus működését, így felmerül, hogy a Hold várható pozíciójától, fázisától függővé kell tenni a szűrési eljárást.

A módszer csak megfelelően nagy látástávolság esetén működőképes (a kifényesedő felhőzet és a megfigyelő pont közötti távolságnál lényegesen nagyobb látástávolság szükséges). Felmerül tehát, hogy a stabil távoli fényforrások, kontrasztok alapján a látástávolság behatárolásával párhuzamosan működjön a felhőalap magasság meghatározásának eljárása.

Példák a felhőzet kifényesedésére a fényszennyezés más konfigurációi mellett

A következő pár felvétellel azt illusztráljuk, hogy számos más környezeti körülmény esetén is jól behatárolható függőleges pozícióban fényesedik ki a felhőzet. Különböző nagyságú és lélekszámú települések mesterséges fényei, más-más távolságból megfigyelve is határozott „nyomot” hagyhat a felhőzeten.



7. kép Veszprém fényszennyezése világítja be a felhőket a Siófoki égbolt kamera felvételén (távolság: 23 km)



8. kép Heves város fényei a felhőzeten 3 km távolságból, kb. 1 km-es felhőalap esetén



9. kép Kisebb lélekszámú falvak fényei a kb. 1 km-es alappal rendelkező felhőzetben 5–10 km-es távolságból.

ÖSSZEGZÉS, KITEKINTÉS

Demonstráltuk, hogy kiterjedt, homogén Stratus, Stratocumulus stratiformis felhőzet és megfelelő látástávolság esetén a környező fényszennyezés, mint fényforrás segítségével, az éjszakai égbolt kamera képek feldolgozásával számítható a felhőalap magassága. A módszer a repülés-meteorológiai szempontból kiemelt fontosságú, alacsony (néhány száz méter) felhőalap detektálásában játszat nagyobb szerepet az egyéb távérzékelési eljárásokhoz, égbolt kamera alkalmazásokhoz képest olyan térségekben, melyek távol esnek megbízható felhőalap mérésektől.

A módszer általános körülmények közötti teszteléséhez, a későbbiekben operatív gyakorlatba integrálásához a soron következő fejlesztések szükségesek, illetve az alábbi kérdések várnak megválaszolásra:

- ➔ a matematikai képfeldolgozó eljárásokban alkalmazott, képi textúrára jellemző statisztikai paraméterek meghatározása a kiterjedt, homogén felhőzet detektálásához;
- ➔ az RGB komponensek egymáshoz képesti viszonyának vizsgálata a felhőzet detektálásának javításához;
- ➔ csillagok láthatóságának vizsgálata a felhőzet detektálásához;
- ➔ a Hold pozíciójának, fázisának figyelembe vétele;
- ➔ a felhőzet kifényesedésének, mint a képen látható alakzat matematikai karakterisztikáinak kiszámítása;
- ➔ az eljárás megbízhatósági szintjének paraméterezése, küszöbértékek megállapítása, mely fölött az adott esetben számítható a felhőalap magassága;
- ➔ milyen karakterisztikákkal kell rendelkezzen egy adott megfigyelő hely és a környező fényszennyezés, hogy a felhőzet magassága megbízható módon becsülhető legyen? Vagyis milyen korlátokkal kell számolni a megfigyelő hely kiválasztásában? Hogyan lehetséges hatékonyan kalibrálni (irányok, használható stabil települési fényforrások) egy adott megfigyelő helyre telepített égbolt kamerát?
- ➔ a kamera-lencse rendszer, mint fénysűrűséget mérő távérzékelési eszköz kalibrációja (JPEG képekről RAW formátumba való áttérés; lencse peremsötétedés pontos kimérése, figyelembe vétele; megvilágítás mérő eszköz (luminance meter) használata a kalibrálás során);

- ➔ hogyan segítheti a fényszennyezés modellezése a kamera felvételek kiértékelését?
- ➔ az éjszakai látható tartományú műholdképek és az égbolt kamerák hogyan egészíthetik ki egymást, illetve a többi rendelkezésre álló távérzékelési eljárást a felhőzet feltérképezésében?

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Akkaynak, D. et al. (2014): Use of commercial off-the-shelf digital cameras for scientific data acquisition and scene-specific color calibration. *Journal of the Optical Society of America A*, Vol. 31 (2), 312.
- [2] Ashford, O. M. (1947): Meteorological instruments. *Weather*, Vol. 2 (4), 103–104.
- [3] Chulichkov et al. (2015): Method of estimation of cloud base height using ground-based digital stereophotography. In: 21st International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics
- [4] Flanders (2006): Measuring Skyglow with Digital Cameras. *Sky & Telescope*, 99–104. url: <http://www.skyandtelescope.com/wp-content/uploads/SkyglowDigitalCameras.pdf> (2017.03.15.)
- [5] Haralick et al. (1973): Textural features for image classification, 3, 610–621, 1973.
- [6] Heinle et al. (2010): Automatic cloud classification of whole sky images, *Atmos. Meas. Tech.*, 3, 557–567
- [7] Hiscocks, P. D. (2014): Measuring Luminance with a Digital Camera. url: <http://www.ee.ryerson.ca/~phiscock/astronomy/light-pollution/luminance-notes-2.pdf>. (2017.03.15.)
- [8] Horváth et al. (2002): Ground-based full-sky imaging polarimetry and its use for polarimetric cloud detection. *Appl. Opt.* Vol. 41 (3), 543.
- [9] Janeiro et al. (2010): Developments of low-cost procedure to estimate cloud base height based on a digital camera. *Measurement*, Vol. 43 (5)
- [10] Kassianov et al. (2005): Cloud-Base-Height Estimation from Paired Ground-Based Hemispherical Observations. *J. of Appl. Met.*, Vol. 44 (8)
- [11] Kolláth, Z. (2010): Measuring and modelling light pollution at the Zselic Starry Sky Park. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 218, 012001.
- [12] Kolláth, Z. et al. (2016): Qualifying lighting remodelling in a Hungarian city based on light pollution effects. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, Volume 181, September 2016, Pages 46–51
- [13] Kyba et al. (2011): Cloud coverage acts as an amplifier for ecological light pollution in urban ecosystems. *PloS one*, Vol. 6 (3), e17307.
- [14] Martinis et al. (2013): A New Method to Estimate Cloud Cover Fraction over El Leoncito Observatory from an All-Sky Imager Designed for Upper Atmosphere Studies. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 125:000-000
- [15] OMSZ (2014): Az Országos Meteorológiai Szolgálat égkép készítő rendszere. url: http://www.met.hu/downloads.php?fn=/ismertetok/egkep_ismerteto.pdf (2017.03.15.)
- [16] Savoy et al. (2015): Cloud base height estimation using high resolution whole sky imagers. In: 2015 IEEE, (IGARSS).
- [17] Seiz et al. (2007): Cloud mapping with ground-based photogrammetric cameras. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 28 (9)
- [18] Shields et al. (2013): Day/night whole sky imagers for 24-h cloud and sky assessment: history and overview. *Appl. Opt.* Vol. 52. (8), 1605.
- [19] Wang et al. (2016): Cloud base height from sky imager and cloud speed sensor. *Solar Energy*, Vol. 131, 208–221.
- [20] WMO (2008): Guide to meteorological instruments and methods of observation. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization. url: https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.pdf (2017.03.15.)

**LIGHT POLLUTION AND METEOROLOGY – CLOUD BASE HEIGHT ESTIMATION AT NIGHT
BASED ON SKY CAMERA MEASUREMENTS**

Base height of low-level clouds is a critical parameter in aviation meteorology. We introduce a new observation method for determining cloud base height at night. The technique is based on processing sky camera pictures and it is analogous to the triangulation principle of searchlight ceilometer. We show that light pollution (the upward component of artificial lights) could be used passively as cloud ceiling projector in various environments. The method was tested in one year period from one observation site in central Budapest. We found that the base height could be estimated with reasonable accuracy in the case of homogeneous stratus cloud sheets, via the illumination of the clouds from the stronger ornamental lights in the city. Case studies with different local light pollution characteristics (e.g. smaller settlements, different observation distances) will be presented. Limitations of the method will be discussed.

Keywords: sky camera, remote sensing, stratus, cloud base height, light pollution, searchlight ceilometer

Kolláth Kornél (MSc)
meteorológus
Országos Meteorológiai Szolgálat
Időjárás-előrejelző és Veszélyjelző Osztály
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Környezettudományi Doktori Iskola
kollath.k@met.hu
orcid.org/0000-0002-0771-4116

Kolláth Kornél (MSc)
meteorologist
Hungarian Meteorological Service
Unit of General and Severe Weather Forecasting
Eötvös Loránd University
Doctoral School of Environmental Sciences
kollath.k@met.hu
orcid.org/0000-0002-0771-4116



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-07-0388_Kollath_Kornel.pdf

