



**XIII. Országos Felsőoktatási
Környezettudományi
Diákkonferencia**



A villámgyakoriság parametrizálása Magyarországon

Szerző:

Mona Tamás

ELTE–TTK/Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

Témavezető:

Dr. hab. Ács Ferenc

ELTE–TTK/Földrajz- és Földtudományi Intézet

**Veszprém
2012. április 6-7.**

Tartalomjegyzék

Összefoglaló	3
1. Bevezetés.....	4
1.1 Szakirodalmi áttekintés.....	4
1.2 Célkitűzés	5
2. Villámgyakoriság és az egyszerű parametrizációik	6
2.1 A Dahl-féle kondenzátor modell	6
2.2 Price és Rind parametrizációja	7
2.3 Grewe és mtsai. parametrizációja	8
2.4 Dahl parametrizációja.....	9
3. Próbaszámítások, alkalmazhatóság	11
3.1 Számítások egy modell-felhőre	11
3.1.1 Price és Rind képlete.....	11
3.1.2 Grewe és mtsai. képlete	12
3.1.3 Dahl képlete	12
3.2 Esettanulmány	14
3.3 Bővített esettanulmány	19
4. Konklúzió	26
Köszönetnyilvánítás	27
Irodalomjegyzék.....	28

Összefoglaló

A tanulmányomban tömör áttekintést adok a villámgyakoriság parametrizálására szolgáló legegyszerűbb módszerekről:

- Price és Rind parametrizálásáról (1992),
- Grewe és mtsai. parametrizálásáról (2001) és
- Dahl parametrizálásáról (2010).

Ezek után ismertetem a módszerek bizonytalanságát és magyarországi alkalmazhatóságát. Hat napon vizsgáltam radar adatokat alkalmazva, eredményeimet pedig a SAFIR villám-lokalizációs rendszer adataival vettem össze. Az adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat bocsátotta a rendelkezésemre. Mindhárom esetben különös figyelmet kellett szentelnem a zivatarok lokalizálására. Ezen akadályt végül a zivatarok radarintenzitás alapján történő meghatározásával oldottam meg.

Mindhárom parametrizáció esetén egyszerű felhő tulajdonságokat használtam fel a számításokhoz. Price és Rind formulája kizárólag a zivatarfelhő magasságát veszi alapul. Az eddigi tapasztalatok szerint a képlet jól adja meg a villámgyakoriság napi tendenciáját, de értékeiben nagy a bizonytalanság. Grewe módszere, habár figyelembe veszi már a felhőn belüli vertikális mozgást is, túlzó eredményeket szolgáltat. A napi menetet ezen parametrizáció is viszonylag jól adja meg. Dahl módszere összetett, fizikai megfontolások alapján felállított módszer. A képlet Magyarországon némi átalakítással egyszerűen alkalmazható. Bemenő paraméterként a zivatarfelhő geometriai méreteit (magasság és kiterjedés) és a felhőn belüli a radarintenzitás értékét igényli. A módszer rendkívül érzékeny ezen utóbbi paraméterre. Ez az jelenti, hogy a radarintenzitás legkisebb értékeinek becslése igen fontos. Ha ez megfelelő pontosságú, akkor mind tendenciájában, mind értékeiben megközelítően helyes eredményeket szolgáltat. Ugyanakkor ezen peremfeltételek, vagyis a radarintenzitási küszöbértékek meghatározása kényes feladat, erre vonatkozó általánosan módszert még nem sikerült kidolgoznunk. Tanulmányomban – a módszerek általános analízise mellett – a probléma egy lehetséges megoldását is ismertetem.

1. Bevezetés

A villámgyakoriság becslése egy új, fiatal tudomány. E tudomány meteorológiai alkalmazásaiban Price és Rind (1992) munkája sarokkönek számít egyszerűsége és a globális szintű alkalmazása miatt. A villámlás és gyakorisága környezetalakító tényező mind szűkebb, mind tágabb környezetünkben. A villámok NO_x -gyárak, az NO_x -ek pedig mind a troposzférikus, mind a sztratoszférikus O_3 körforgalmának szabályozói. Levegőkémiai jelentősége mellett nem elhanyagolandó az a károkozás is, amely a lecsapó villámok kísérő és természetes velejárója.

Tudomásom szerint e típusú becslések Magyarországon nívum értékűek. Ugyanis az előbbi villámmal kapcsolatos kutatásaink inkább a villám lokalizálásával (Wantuch, 2005; Dombai, 2007), mintsem gyakoriságuk becslésével kapcsolatosak. E tanulmányban a villámgyakoriság becslését – eddig Magyarországon egyedülállóan – a radarreflektivitási érték parametrizálásán keresztül becsültük. Az eljárás nem mellőzi a komplex felhőfizikai folyamatokat sem (graupelképződés, ezek eséséi sebessége stb.), talán pont ezért igen bizonytalan, ugyanakkor bizonyos mértékben folyamatorientált. E dolgozat célja a módszer rövid ismertetése, a kapott eredmények bemutatása és rövid elemzése, valamint a tapasztalatok összegzése.

1.1 Szakirodalmi áttekintés

A villámgyakoriság becsülhető közvetve az ún. villámmodellek mellékproduktumaként vagy közvetlenül a sokkal egyszerűbb villámgyakorisági modellek révén. Én ezen utóbbiakkal fogok csak foglalkozni. A legismertebb villámgyakorisági modellek – haladva az egyszerűbbtől az összetett felé – a Price és Rind-féle modell (Price and Rind, 1992), a Grewe-féle modell (Grewe és mtsai. 2001, 2009), valamint a Dahl-féle (Dahl, 2010) modell. Price és Rind (1992) munkája a felhők legfontosabb morfológiai jellemzőjére, a felhőtető magasságra összpontosít; Grewe és mtsai. már némi fizikát is próbáltak alkalmazni becsülve a felhő különböző tartományaiban levő feláramlási sebességeket. Grewe és mtsai. a modelljüket levegőkémiai vizsgálatok céljaira készítették. A Dahl modellje szigorú fizikai megfontolásokon alapul, ez ugyan az egyszerűség rovására ment, ugyanakkor e modellre már rámondható, hogy folyamatorientált.

1.2 Célkitűzés

Mint ahogy már említettem, e tanulmányban ismertetem a Dahl-féle modell radarreflektivitási adatokon való alkalmazási eljárását. Egyúttal azt is vizsgálom majd, hogy ez az eljárás mennyire alkalmazható, hatékony, azaz az első ezzel kapcsolatos tapasztalataimat is próbálom összegezni. Vizsgálva az ilyen alkalmazású Dahl-féle módszert a Price és Rind módszerével kapott eredményeket is bemutatom, ezeket egyfajta referenciaként szemlélve.

2. Villámgyakoriság és az egyszerű parametrizációik

A villámgyakoriság az egységnyi időben történő villámlások száma. Ami a következő általános formulával jellemezhető:

$$f = \frac{1}{\Delta\psi} \frac{\partial\psi}{\partial t}. \quad (2.1)$$

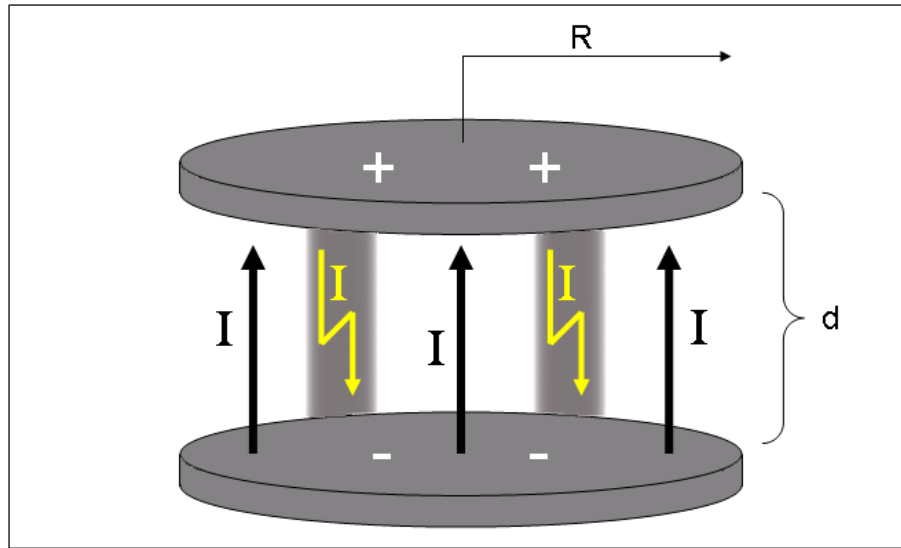
A ψ egy bármilyen, töltésmennyiségre visszavezethető függvény.

A villámgyakoriság „egyszerű parametrizációi” közé tartozik Price és Rind (1992), Grewe és mtsai. (2001), valamint Dahl (2010) parametrizációja. E parametrizálásokat azért mondjuk, vagy kereszteltük el „egyszerűnek”, mert nem a villámlás folyamatának leírása alapján, hanem a villámlással kapcsolatba hozható felhőtulajdonságok, vagy egy igen egyszerű modell alapján becsülik a villámgyakoriságot. Az első kettő megfigyeléseken alapul, míg a harmadik már egy fizikai modellt használ.

A legegyszerűbb parametrizációkban (Price és Rind, 1992; Grewe és mtsai., 2001) a $\Delta\psi$ egy konstans. Ez azt eredményezi, hogy a becslések túlságosan érzékenyvé válnak a zivatarfelhő geometriai jellemzőinek (pl. a zivatarfelhő vastagsága) megváltozására. A legegyszerűbb parametrizációk csak egy lehetőleg állandó geometriával rendelkező C_b -ra adnak elfogadható eredményeket.

2.1 A Dahl-féle kondenzátor modell

A Dahl-féle kondenzátor modell (1. ábra) alapvető fontosságú Dahl (2010) parametrizációjában. Dahl a zivatarfelhő folyamatait a kondenzátor működésével hasonlítja össze. Elhanyagolva a C_b -ok elektromos szerkezetbeli inhomogenitásait, a felső pozitív és az alsó negatív töltéscentrumot a kondenzátor két fegyverzetével egyenlíti ki. Ebben a szemléletmódban a töltések egy véges vastagságú fegyverzetbe, ha úgy tetszik, lemezbe tömörülnek. Aminek vastagsága sokkal kisebb, mint a felhő vastagsága, de nem elhanyagolható. A fegyverzetek közötti dielektrikum szerepét a vízgőzzel telített levegő tölti be. Az áramkörbe kötött kondenzátor a rajta átvezetett áram hatására feltöltődik. Ez a feltöltődési áram feleltethető meg a töltésszétválasztódás áramának. Miután a kondenzátor feltöltődött, a töltéseket egy kisülési áram formájában adja le. Ez maga a villámlás.



1. ábra: Dahl kondenzátor modellje (Dahl, 2010)

A modellben ha a (2.1) összefüggésben a ψ függvénynek, W elektromos tér által végzett munkát választjuk, akkor elektrodinamika megfontolások alapján a következőt kapjuk:

$$f = \frac{1}{\varepsilon \Delta W} A \rho \rho_c v_s h \left(\sqrt{R^2 + (d + h)^2} - R - d - h \right), \quad (2.1.1)$$

ahol, ε a dielektromos állandó, d a fegyverzetek közötti távolság, R a kondenzátor lemezek sugara, h a lemezek vastagsága, ρ a fegyverzetek felületi töltéssűrűsége, ρ_c a töltéssűrűség, v_s pedig a töltések sebessége, A a kondenzátor lemezek területe, ΔW pedig a villámlás által végzett elektromos munka. A összefüggés ismeretében az „egyszerű parametrizációk” már könnyen levezethetőek.

2.2 Price és Rind parametrizációja

Mivel „egyszerű parametrizációról” van szó, az ε , ρ , és ρ_c mellett a ΔW is állandó érték, így ezek egy C konstansban egyesíthetők.

Tegyük fel hogy, a kondenzátor lemezek R sugara és d távolsága, arányos a h vastagsággal, illetve a kondenzátor lemezei között mozgó töltés v_s sebessége – ami valójában a töltéssel rendelkező felhőelemek mozgását jelenti – szintén arányos a vastagsággal.

$$f_w = Ch^5. \quad (2.2.1)$$

Mivel a levezetés során több közelítést is alkalmaztunk, az értékeket pontosítani kell, azaz a megfigyelésekkel összhangba hozni. Price és Rind (1992) szerint

$$f_{pr} = 3,44 \cdot 10^{-5} H^{4,9}. \quad (2.2.2)$$

ahol f_{pr} a villámok száma percenként $\left[\frac{db}{perc}\right]$, a H pedig a felhőtető magassága [km]. A becslés nagy hiányossága az, hogy az azonos magasságú felhők villámgyakorisága megegyezik, valamint az is, hogy arányosságot tételez fel a felhő vastagsága és a felhőelemek sebessége között. Mindezek ellenére a későbbikben láthatni fogjuk, hogy viszonylag kielégítő eredményeket szolgáltat.

Egyébként Price és Rind (1992) a fenti egyenletet csak a szárazföld felett képződő zivatarokra vonatkozóan tekintette helyesnek. Az óceánok feletti zivatarokra vonatkozó képletük

$$f_{pr} = 6,40 \cdot 10^{-4} H^{1,73}. \quad (2.2.3)$$

2.3 Grewe és mtsai. parametrizációja

Grewe és mtsai. (2001) a fontos paraméterként szereplő felhőtető magasságot ki is fejezték. Szerintük

$$H = 10^{-3} a(w\sqrt{d})^b. \quad (2.3.1)$$

Ahol w feláramlási sebesség $\left[\frac{m}{s}\right]$, a konvekció következtében feláramló anyag-fluxus hányadosának adott felhőrétegre vonatkozó súlyozott átlaga, d a felhő vastagsága [m], a és b paramétereket a megfigyelésekhez való illesztés alapján határozták meg.

$$f_{gr} = 5,29 \cdot 10^{-7} (w\sqrt{d})^{2,65}. \quad (2.3.2)$$

f_{gr} tehát a Dahl-féle modell alapján kapott Grewe-típusú villámgyakoriság $\left[\frac{db}{perc}\right]$.

2.4 Dahl parametrizációja

Ahhoz, hogy megkapjuk Dahl parametrizációját a (2.1) egyenletben ψ függvénynek az elektromos térerősséget kell vennünk kiindulásul. Viszonylag bonyolult és hosszas levezetés után azt kapjuk, hogy

$$f = \gamma j \frac{A}{\Delta Q}. \quad (2.3.1)$$

ahol A a felhő alapterület, a γ villámlási hatásfok, a j feltöltődési áramsűrűség, és a ΔQ villámlásonként semlegesülő töltésmennyiség.

Vizsgáljuk meg most ezeket a paramétereket részletesen! Az A felhő alapterület alatt nem a teljes C_b alapterületét értjük, hanem csupán a töltéssel rendelkező régiók alapterületét. A Dahl-féle kondenzátor modell szerint ez a fegyverzetek felületét jelenti, vagyis a felhő graupeleket (negatív lemez) és jégkristályokat (pozitív lemez) tartalmazó rétegének alapterületét. Ehhez azonban definiálnunk kell a graupeleket és jégkristályokat tartalmazó tartományok határait. Akkor mondhatjuk, hogy az adott tartomány a felhőben graupeleket tartalmazó tartomány, ha a hódara sűrűsége meghaladja a $0,1 \frac{g}{m^3}$ értéket és a tartományban a hőmérséklet nem magasabb, mint 263 K. A jégkristályokat tartalmazó tartomány esetében is hasonló feltételt fogunk alkalmazni. A jégkristály-tartományról akkor beszélünk, ha a hó és jég szemek sűrűsége nagyobb, mint $0,1 \frac{g}{m^3}$.

A γ villámlási hatásfok azt fejezi ki, hogy maga a villámlás mekkora arányban semlegesíti a zivatar során kialakult potenciál különbséget. Mivel a villámlás mellett más egyéb folyamatok is közreműködnek a teljes semlegesítődésben – például a koronakisülések és a cseppek által transzportált töltések –, ezért a γ értéke sohasem érheti el az egyet. Egyetlen zivatar esetében sem mondhatjuk el azt, hogy csak a villámlás révén csökken a kialakult feszültség különbség. De mi tagadás, kb. 90 %-ban e folyamat a domináns. Ezért a villámlási hatásfok jó közelítéssel 0,9-nek vehető.

A hátra maradt két paraméter – j és ΔQ – értelmezése már sokkal összetettebb. Szemléljük előbb a villámlás során semlegesülő ΔQ töltésmennyiséget! A ΔQ adja meg azt, hogy a zivatar zajlása során egy villám hány C töltést transzportál. Ez nem azt jelenti, hogy minden egyes villámlás során ennyi és ennyi C töltés semlegesül, ez csupán egy adott idő intervallumra vonatkozó átlagos kisülési értéket fejez ki. Maggio és mtsai. (2009)

megállapították, hogy ΔQ exponenciálisan függ a felhő töltéscentrumának V [km^3] térfogatától,

$$\Delta Q = 25 \cdot (1 - e^{-0,013-0,027 \cdot V}). \quad (2.3.2)$$

Ennek az összefüggésnek korlátai is vannak. ΔQ legkisebb értéke 2, míg legnagyobb értéke 25 C, vagyis csak 2 és 25 C között változhat. A töltéscentrum térfogata alatt természetesen itt is a graupelek és a jégkristályok alkotta térfogatot kell értenünk.

A j feltöltődési áramsűrűség azt fejezi ki, hogy a töltésszétválasztódás mértéke mekkora. Ez arányos a ρ töltéssűrűséggel és a graupelek v_g sebességével,

$$j = \rho v_g. \quad (2.3.3)$$

A valóságban a jégkristályok mozgásából eredően fellépne egy ellenáram is, ám ezt a képletben elhanyagoltuk. Ugyanis e felhőelemek sebessége a graupelekéhez képest sokkal kisebb, ezért az általuk keltett áram is sokkal kisebb, így el is hanyagolható. Azonban a ρ , és a v_g értéke nem mérhető közvetlenül. Tapasztalati képletek (Dahl a COSMO-DE ide vonatkozó egyenleteit használta) alapján azonban kifejezhetők, pl. a graupelek m_g sűrűsége alapján.

Így a töltéssűrűség

$$\rho = \begin{cases} 4,467 \cdot 10^{-10} + 3,067 \cdot 10^{-9} m_g & \text{ha } m_g \leq 3 \text{ gm}^{-3} \\ 9,8 \cdot 10^{-9} & \text{ha } m_g > 3 \text{ gm}^{-3} \end{cases} \quad (2.3.4)$$

míg a graupelek sebessége,

$$v_g = \begin{cases} (1,633 + 2,969 \cdot m_g)^{0,89} & \text{ha } m_g \leq 3 \text{ gm}^{-3} \\ 8,237 & \text{ha } m_g > 3 \text{ gm}^{-3} \end{cases} \quad (2.3.5)$$

Így a (2.3.4.8) egyenlet tagjait könnyen mérhető felhőfizikai paraméterek alapján becsülni tudjuk, de erről a következő fejezetben még részletesen szót ejtünk.

3. Próbaszámítások, alkalmazhatóság

A parametrizációk megismerése után, térjünk rá ezek gyakorlati alkalmazhatóságára, és vizsgáljuk meg őket magyarországi viszonyokban. Ezt a magyarországi légkörfizikai mérések információi alapján kíséreljük meg, azaz e mérések eredményeit a villámgyakoriság becslésére próbáljuk majd felhasználni. Először összehasonlítjuk e parametrizációkat egy átlagosnak nevezhető zivatarcella esetében különös figyelmet fordítva az egyes képletek korlátaira és érzékenységére. Ezek után összehasonlítjuk majd a parametrizációkat egy esettanulmányon is, ami valamelyest részletesebb képet ad majd az egyes módszerek hatékonyságáról is.

3.1 Számítások egy modell-felhőre

Először legyen a Cb egy henger. Legyen a henger alapja egy 4 km-es sugarú kör, a magassága pedig 8 km. Osszuk fel e magasságot három részre 2:1:1 arányban a bennük dominánsan előforduló felhőelemek alapján. Legyen alul egy 4 km-es vastagságú cseppréteg, közepén egy 2 km-es vastagságú graupelréteg és legfelül egy 2 km-es vastagságú jégkristályréteg. Legyenek a rétegekben levő átlagos feláramlási sebességek rendre $7 \frac{m}{s}$, $14 \frac{m}{s}$, és $3.5 \frac{m}{s}$. Ezen értékek alapján a bemutatott parametrizációk segítségével már kiszámítható a villámgyakoriság. A Dahl-féle módszer alkalmazásához később még újabb mennyiségeket is be kell vezetnünk.

3.1.1 Price és Rind képlete

A (2.2.2)-os egyenletbe csupán a felhőtető [km]-ben kifejezett magasságát kell beírunk. E modell-felhő esetében ez 8 km, így a villámgyakoriság $0,92 \frac{db}{perc}$, vagyis megközelítően percenként egy villám. A felhőtető magasságának kisebb mértékű módosításával a villámgyakoriság aránylag keveset változik. Megállapíthatjuk tehát, hogy Price és Rind parametrizációja aránylag szűk határok között határozza meg a villámgyakoriságot.

Mind Price és Rind, mind Grewe és mtsai. parametrizációja egy adott zivatarcellára vonatkozóan határozza meg a villámgyakoriságot. Eközben nem veszik figyelembe a

horizontális méreteket. Így a zivatarcellák számának, valamint a felhőtető magasságának minél pontosabb meghatározása döntő fontosságú e két parametrizáció esetében.

3.1.2 Grewe és mtsai. képlete

A (2.3.2)-es összefüggés alkalmazásához a felhőtető magasságának ismerete mellett a feláramlási sebességeket is ismernünk kell. Hangsúlyozzuk ki, hogy a (2.3.2)-es egyenletben szereplő anyagfluxus-nyagsűrűség hányados valójában az adott rétegre vonatkozó vertikális sebességet jelenti. A modell-felhő esetében a feláramlási sebességek adottak, a valóságban azonban ennek meghatározása nem egyszerű feladat. Price és Rind (1992) munkájában van egy összefüggés, ami közel lineáris kapcsolatot feltételez a felhőtető magassága és a feláramlási sebesség között. Ez alapján

$$v = 8 \cdot 10^{-4} \cdot h^{1,09} \quad (3.1.2.1)$$

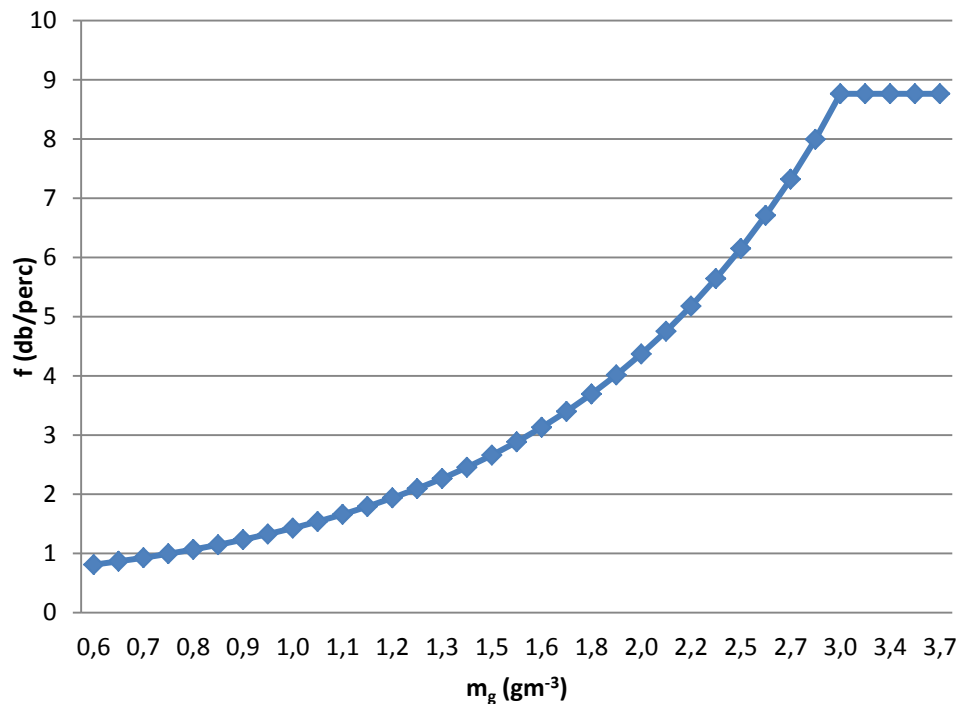
ahol h a felhőtető méterekben kifejezett magassága, míg v a feláramlási sebesség $\left[\frac{m}{s}\right]$. Az egyenlet a felhő csepprétegében jó közelítést ad. A graupelrétegben viszont ennek kétszeresét, míg a jégkristály-rétegben ennek felét kell vennünk. A modell-felhő esetében a villámgyakoriság $18,6 \frac{1}{perc}$. Ez jóval nagyobb érték, mint Price és Rind értéke. A tapasztalat azt mutatja, hogy e parametrizáció erősen felülbecsül, de az általa szimulált trendek követik a tényleges villámgyakoriság változásait.

3.1.3 Dahl képlete

Ezek után térjünk rá a vizsgált parametrizáció közül a legösszetettebbre. Dahl képlete mikrofizikai megfontolások alapján becsüli a villámgyakoriságot. A (2.3.1)-es egyenletben $\gamma = 0,9$, A jó közelítéssel a henger alakú modell-felhő alapterülete, ΔQ a modell-felhő térfogatából, míg j a graupelek m_g sűrűségéből becsülhető. Könnyen belátható, hogy a villámgyakoriság a henger sugarának, magasságának és a graupelek sűrűségének függvénye, vagyis

$$f = f(R, d, m_g). \quad (3.1.3.1)$$

Mivel az R és a d adott, a villámgyakoriság csak az m_g függvénye (2. ábra). Jelen esetben a (2.3.4) és a (2.3.5) alapján a villámgyakoriság $8,76 \left[\frac{db}{perc} \right]$, mivel a graupelek sűrűsége nagyobb, mint 3 gm^{-3} . Ebből sejthető az is, hogy az m_g pontos értéke, meghatározása a parametrizáció fontos eleme.



2. ábra: A villámgyakoriság és az m_g kapcsolata,
ha $R=4000 \text{ m}$ és $d=8000 \text{ m}$.

A graupel-sűrűséget közvetlenül nem mérik, azonban a radarmérésekből származó Z ekvivalens reflektivitási faktor alapján becsülhető. Geresdi (2004) alapján

$$m_g = 8,285 \cdot 10^{-3} \cdot Z^{0,45}. \quad (3.1.3.2)$$

A Z ekvivalens reflektivitási faktor mértékegysége $\text{mm}^6 \text{m}^{-3}$. A gyakorlatban azonban ennek dBZ-ben kifejezett értékét szoktuk venni, ami $10 \log Z$ -nek felel meg. Így az előző képlet a következőképpen írható át:

$$m_g = 8,285 \cdot 10^{0,045 \cdot Z - 3}, \quad (3.1.3.3)$$

ahol most már Z az ekvivalens reflektivitási faktor – röviden radarintenzitás – dBZ-ben kifejezett értéke. A fenti összefüggésnek van elméleti alapja, de a gyakorlatban az m_g már az alacsonyabb dBZ-ék mellett is eléri a $3 \frac{g}{m^3}$ kritikus értéket, és így a villámgyakoriság érzéketlenné is válik a felhő aktivitására. Ezért számításainkban a következő tapasztalati képletet használtuk:

$$m_g = 8,55 \cdot 10^{-4} \cdot e^{0,136 \cdot Z}. \quad (3.1.3.3)$$

Ebben az összefüggésben a változás mértéke már kisebb, de az összefüggés még mindig igen érzékeny a radarintenzitás változásaira. Ha Z értékének a zivatarcellában előforduló maximális Z értéket vesszük, akkor a zivatarcella kiterjedését igen pontosan kell meghatároznunk, ugyanis a képlet igen érzékeny ennek változásaira. Érdemes tehát egy átlagos, az egész cellára vonatkozó dBZ-vel dolgozni.

Dahl képlete – az előbbi két parametrizációval ellentétben – egyáltalán nem érzékeny a zivatarcella magasságára. Ugyanakkor a cella horizontális méretei és a radarintenzitás erősen befolyásolják a villámgyakoriságot. A képlet könnyen túlbecsülhet, főleg akkor, ha elnagyoltan ítéljük meg a zivatarcella horizontális kiterjedését, illetve Z értékét. Mindezek alapján nyilvánvaló, hogy e paraméterek meghatározása igen fontos. Tapasztalataink alapján csak a 40 dBZ-nél intenzívebb zivatarok esetén figyelhető meg számottevő villámlás. A számításainkat tehát csak ezen érték fölött érdemes elvégeznünk.

3.2 Esettanulmány

A képletek érzékenységének és korlátainak tudatában, vizsgáljuk meg most ezeket egy konkrét esetre vonatkozóan. Az elemzést 2008. május 20.-ára végeztük el, mert ezen a napon jól elkülöníthető zivatarcellák voltak, így ezek behatárolásával nem kellett foglalkoznunk. Az alábbiakban bemutatásra kerülő eljárás általánosan és könnyen alkalmazható bármely zivataros nap villámgyakoriságainak vizsgálatára.

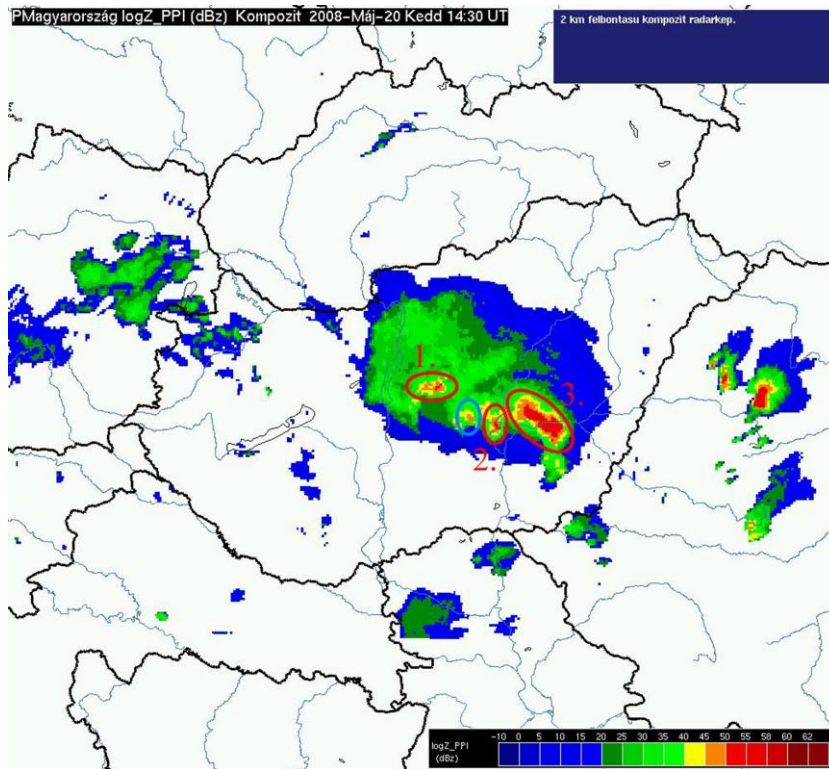
Az elemzett napon az OMSZ (Országos Meteorológiai Szolgálat) napi jelentése alapján az ég eleinte erősen felhős volt, és többfelé esett eső, záporosó. Később átmenetileg, főként délen és keleten a felhőzet felszakadozott, és 3-7 órára a Nap is kisütött. Délutántól egyre többfelé alakult ki zápor, zivatar, az Alföldön heves jégesővel, viharos széllel. Az országban nagy hőmérséklet-különbség alakult ki. Nyugat-Dunántúlon a csúcshőmérséklet

csupán 10, 12 °C között változott, ugyanakkor délkeleten, keleten 25, 29 °C mértek. Éjszaka többnyire felhős idő volt, sokfelé esővel, záporral, keleten viszont csökkent a felhőzet. Zivatar aktivitás 11:15 és 19:15 UTC (Universal Time Coordinated, Egyezményes koordinált világidő, ehhez Magyarországon télen egy, nyáron viszont két órát kell hozzáadni) között volt.

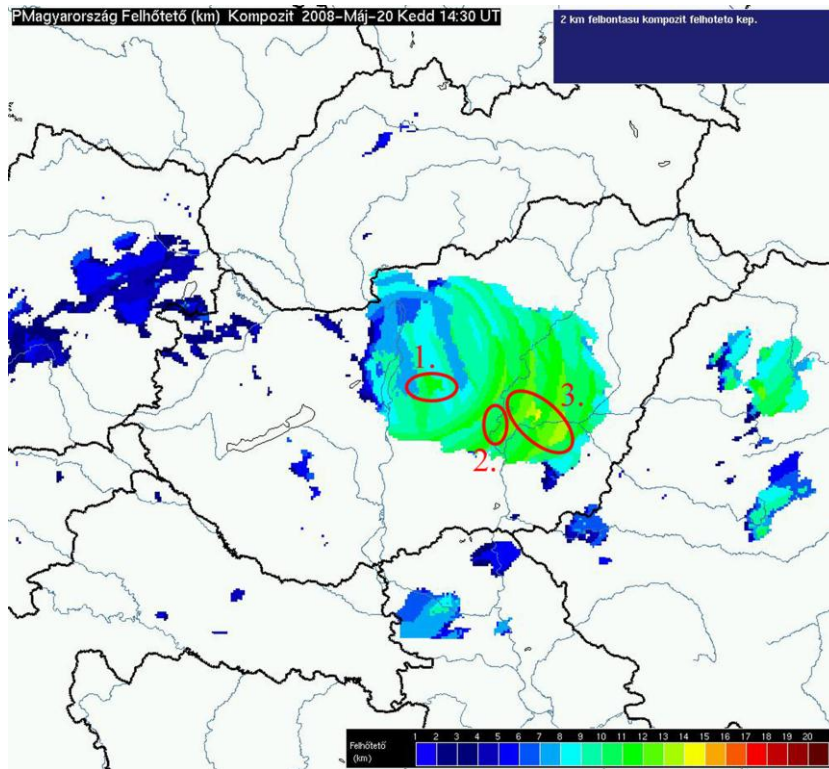
A számításokhoz szükséges bemenő adatokat az OMSZ állította rendelkezésünkre. Ezek a 15 perces léptékű radarintenzitás és felhőtető magasság adatok, melyeket a HAWK 2.10.r8. meteorológiai munkaállomás segítségével vizualizáltuk. A program az adatokat 2 km-es felbontásban kezeli Magyarország egész területén. Az adatok értelmezését színskála segíti, ám a kurzor mozgatásával az adott helyen mért érték és a helykoordináták is azonnal leolvashatók.

Az adatok „leolvasását” a következő, 14:30 UTC-és radarintenzitás képen fogom szemléltetni (3. ábra). Láthatjuk, hogy a három pirossal jelölt zivatarcella jól elkülönül egymástól. A kézzel jelölt zivatargóc méretéből kifolyólag elhanyagolható.

Látható, hogy az 1.-es, illetve a 2.-es zivatar színében a narancssárga szín a meghatározó. E színhez a 45-50 dBZ-s intervallum tartozik. A tapasztalat szerint, ilyen esetben a Z értékének az intervallum alsó határát érdemes venni, mert Dahl képlete nagyon érzékeny erre a paraméterre. A 3.-as zivatar színét már nehezebb meghatározni, itt 40-60 dBZ-s radarintenzitás értékek vannak. Ha alaposabban megvizsgáljuk, akkor észrevehetjük, hogy az 50-55 dBZ-s intervallumú piros szín a domináns. Így ehhez a zivatarhoz az 50 dBZ-s radarintenzitást rendeljük (lásd az 1-es táblázat Z oszlopát). A következő lépésben a kiterjedést határozzuk meg. Kezdjük az egyszerűbbel, vagyis a felhőtető magassággal. Ehhez a 4. ábrát hívjuk segítségül, melyről az adott területhez tartozó felhőtető magasság azonnal leolvasható. A kurzorral végigpásztázva a területet azt becsülhetjük meg, hogy mekkora az adott terület átlagos felhőtető magassága, ugyanakkor megkereshetjük a maximális értéket is (lásd az 1-es táblázat H oszlopait). Az utóbbira Price és Rind képletének, míg az előbbire a másik két parametrizáció alkalmazásához van szükségünk. Térjünk, vissza az előző ábrához. A kurzor segítségével leolvashatjuk a zivatarok legészakabbi és legdélebbi φ koordinátáit, így képezhetjük a φ koordináták különbségét is. Ezzel megkaptuk a zivatarok fokokban kifejezett észak-déli kiterjedését. Tudnunk kell, hogy 1 fok 110 km-es kiterjedést jelent (lásd az 1-es táblázat a oszlopát). Ugyan ez a teendőnk a nyugat-keleti kiterjedést illetően is, csak itt a lemért értékek fokként 75 km-es kiterjedést jelentenek (lásd az 1-es táblázat b oszlopát). Így már rendelkezünk is az összes szükséges



3. ábra: 14:30 UTC Radarintenzitás (OMSZ)



4. ábra: 14:30 UTC Felhőtető magasság (OMSZ)

adattal (1. táblázat), hogy parametrizációink segítségével becsülhessük a villámgyakoriságokat.

1. táblázat: 14:30 UTC-kor megfigyelt három zivatarcella karakterisztikus adatai

<i>Cella</i>	<i>Z (dBZ)</i>	<i>H (km)</i>	<i>H_{max} (km)</i>	<i>a (km)</i>	<i>b (km)</i>
1.	45	10	12	11	15
2.	45	11	13	11	7,5
3.	50	12	15	33	30

Price és Rind képletében a H_{max} [km]-ben kifejezett értéke szerepel. Ez alapján az előbbieken bemutatott három zivatarcellára jellemző villámgyakoriság rendre 6,7; 9,8; és $20,0 \frac{db}{perc}$.

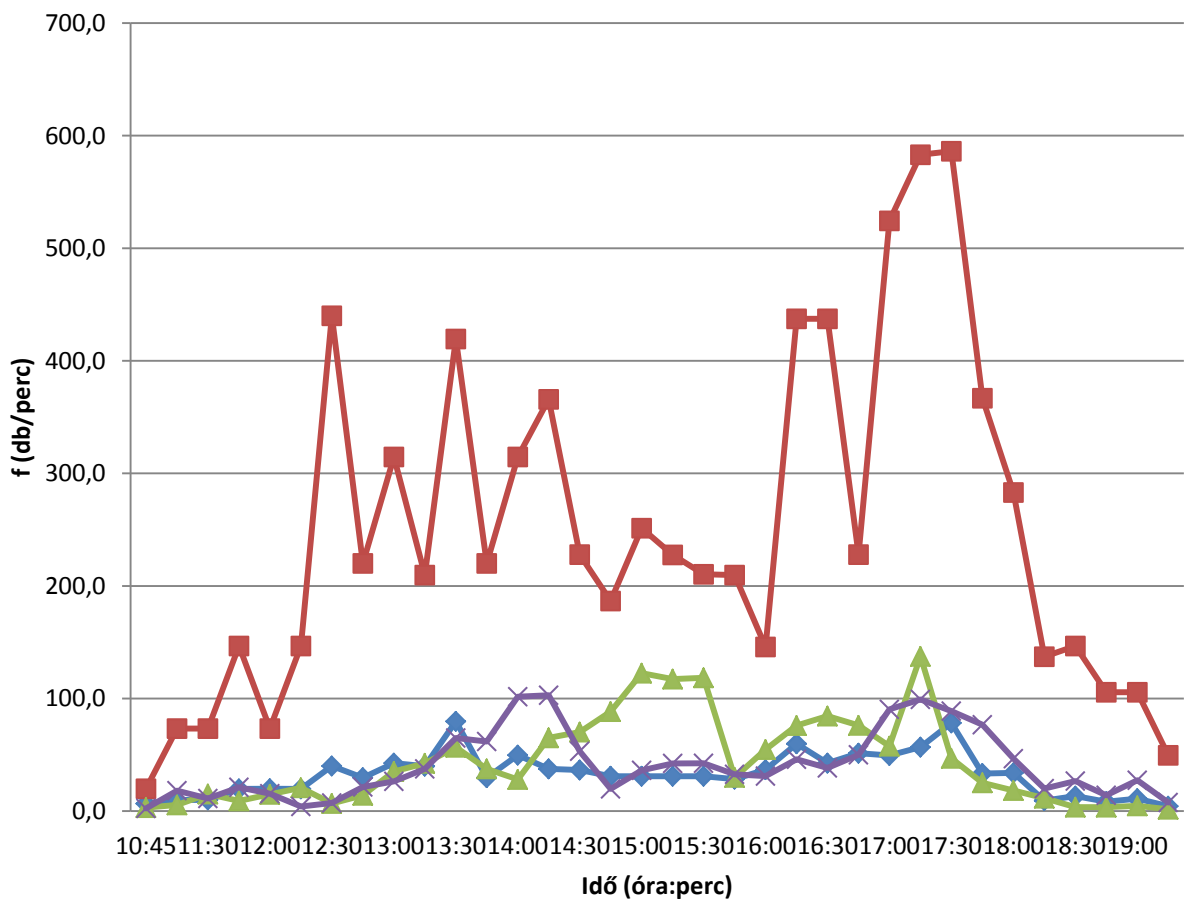
Grewe és mtsai. képletében a H [m]-ben kifejezett értékét kell használnunk. A pontosabb számítás végett, a zivatarcella felhőtető magasságából a felhőalap magasságot ki kell vonni, hogy így megkaphassuk a C_b magasságát. Így, pontosabban is becsülhetjük egyes rétegek vastagságát, valamint a rétegekre tipikus feláramlási sebességeket. Ezen információk alapján a becsült villámgyakoriságok rendre 49,6; 73,3 és $104,9 \frac{db}{perc}$.

A Dahl-féle módszernél először a zivatar A alapterületét kell becsülnünk. A meteorológiában a zivatarok alapterületét ellipszisekkel közelítik. A mi zivatarcelláink esetében ezen ellipszisek főtengelyeit a 3.2.1-es táblázatban az a és a b paraméterek reprezentálják. ΔQ értékét a zivatarcella alapterülete és magassága (a H szintén [m]-ben van kifejezve) alapján számított térfogata függvényében (2.3.4.10-es egyenlet) becsültük. j -t a radarintenzitásból (Z), az m_g graupel-sűrűség függvényében kell becsülnünk. γ értékét 0,9-nek vettük. Ezek alapján a három cella által létrehozott villámgyakoriság rendre 4,6; 2,3 és $63,3 \frac{db}{perc}$. Az eredmények összesítését a 2-es táblázat szemlélteti.

2. táblázat: 14:30 UTC villámgyakoriságai

<i>Cella</i>	<i>Price és Rind</i>	<i>Grewe és mtsai.</i>	<i>Dahl</i>
1.	6,7	49,6	4,6
2.	9,8	73,3	2,3
3.	20,0	104,9	63,3
Országos	36,5	227,8	70,2

Utaljunk nyomatékosan a képletek érzékenységére! Price és Rind parametrizációja kiegyensúlyozott, azaz nem ad kiugró értékeket a felhőtető magasságának 1-2 km-es változásai során. Grewe módszere azonban sokkal érzékenyebb Price és Rind módszeréhez képest. Ebben az esetben a becült villámgyakoriságok markánsan változnak a felhőtető magasság 1-2-3 km-es változásai során. Dahl módszere nem érzékeny a felhőtető magasságra, de a radarintenzitásra és a zivatarcella alapterületére igen. Az alapterület meghatározása során a pár km-es eltérés nem okoz számottevő ingadozást. Ezzel szemben az 5 dBZ-s változásokra a módszer, jelentős érzékenységet tanúsít. Ezért a radarintenzitás precíz meghatározása kulcsfontosságú. E tanulmányban 5 dBZ-s skálabeosztás használatára volt csak lehetőségünk, de egy finomabb beosztás jelentős pontosítást jelenthetne.



5. ábra: A villámgyakoriságok időbeli változás

Kék: Price és Rind, piros: Grewe és mtsai., zöld: Dahl-dBZ, lila: SAFIR.

A fentiekben vázolt eljárást elvégeztük a teljes nyolc órás intervallumra is, így megkaptuk a villámgyakoriságok időbeli menetét is. Ezt az 5. ábra szemlélteti. Ha ezt összevetjük a SAFIR (Magyarországon használatos villám lokalizációs rendszer) mérésekkel, akkor a következőket mondhatjuk:

- Price és Rind, illetve Dahl parametrizációja sok helyen kifejezetten jól becsüli a villámgyakoriságot,
- Grewe és mtsai. parametrizációja jelentősen felülbecsli a villámgyakoriságot,
- mind Price és Rind, mind Grewe és mtsai. parametrizációja mindezek ellenére jól leképezi a villámgyakoriság időbeli változásait,
- Dahl parametrizációja nem adja vissza az időszak közepén megfigyelt időbeli változást.

3.3 Bővített esettanulmány

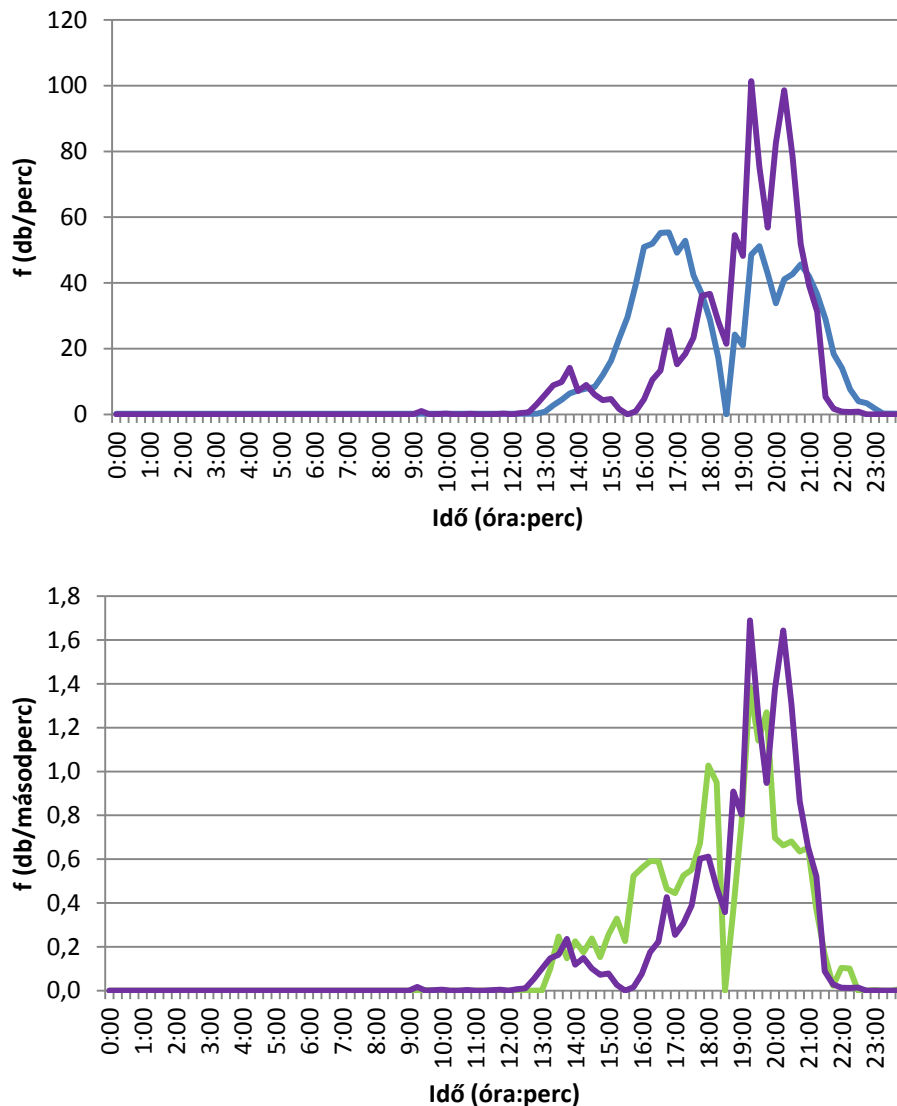
Egyetlen nap számításaiból nem vonhatunk le biztos következtetéseket a parametrizációk jóságával kapcsolatban. Egyelőre úgy tűnik, hogy Price és Rind, illetve Dahl módszere keveset biztatóbb eredményekkel, ezért a következőkben tekintsük csupán e két parametrizáció eredményeit hat teljes napra vonatkozóan. A további teszteket FORTRAN programom segítségével hajtottam végre.

Mivel minden nap zivatar aktivitása eltérő és sajátos a kérdéses [dBZ]-ben kifejezett küszöbérték meghatározása is napról-napra változott. Kísérletet tettem egy egyszerű módszer kidolgozására, ennek lényege a következőképpen írható le. Vettem az adott nap dBZ értékeinek területi és időbeli átlagát. Az így kapott átlagot vettem a [dBZ]-és küszöb nulladrendű közelítésének. Az átlagolást megismételtem, de most már csak az előbb kapott értéket meghaladó dBZ-eket vettem górcső alá. Így kaptam egy átlagolásból származó dBZ küszöböt, ami nagyjából az adott értékek három negyedénél volt. Az eljárás se nem egzakt, se nem tudományosan megalapozott, de mint ahogy azt látni fogjuk igen jó eredményeket szolgáltatott.

Azokon a napokon, amelyeken a fenti átlagolás nem vált be, a [dBZ]-és küszöböt „saját kezűleg” határoztam meg saját tapasztalati meglátásaim alapján. Nézzük most az eredményeket mind a hat napra vonatkozóan!

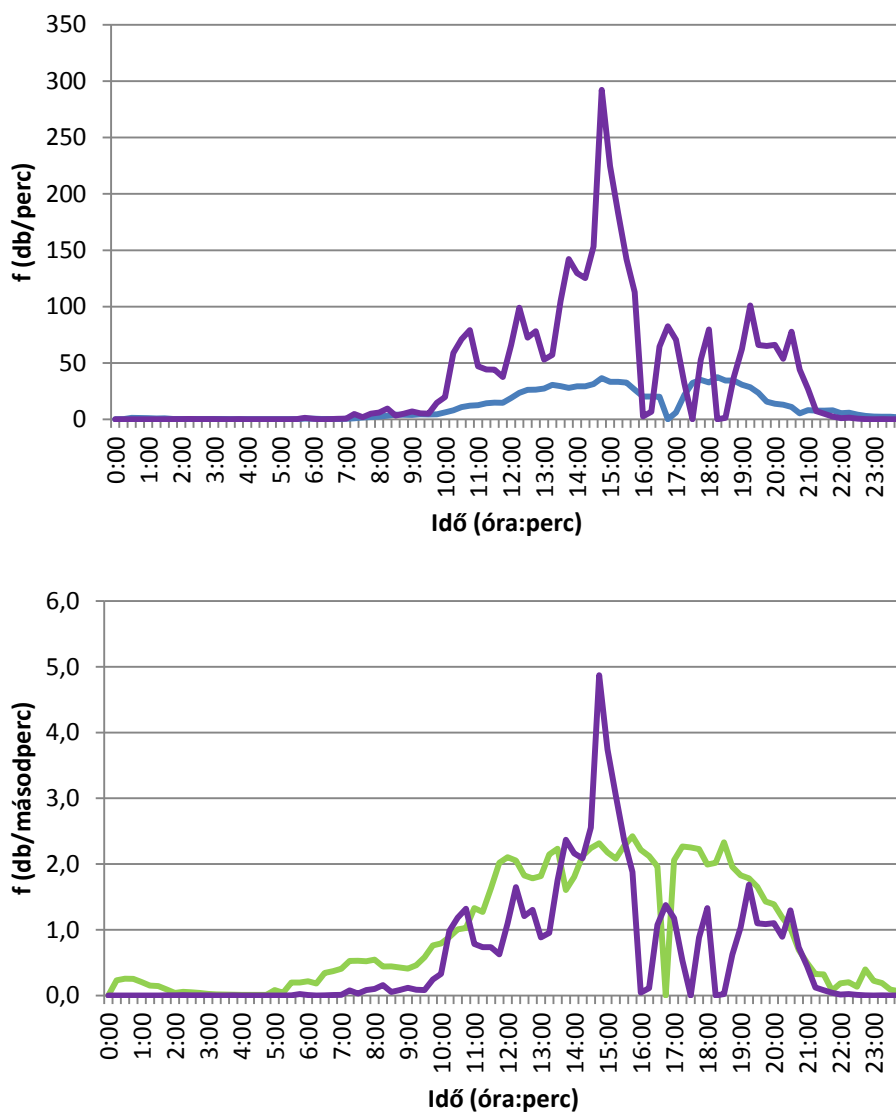
Mindegyik ábrán a felső diagramon Price és Rind (kék görbék), míg az alsón Dahl parametrizációja (zöld görbék) látható, a SAFIR adatokat lilával jelöltem. A parametrizációk

eredeti mértékegységeit meghagytam, a SAFIR adatok alapján kapott gyakoriságokat viszont átszámítottuk azokra a mértékegységekre, amelyekre vonatkoztak a parametrizációk. Price és Rind esetében ez az eredeti SAFIR adatok 15-tel, míg Dahl esetében 900-al történő leosztását jelentette.



6. ábra: Villámgyakoriságok 2007 június 23.-án
Kék: Price és Rind, zöld: Dahl-dBZ, lila: SAFIR.

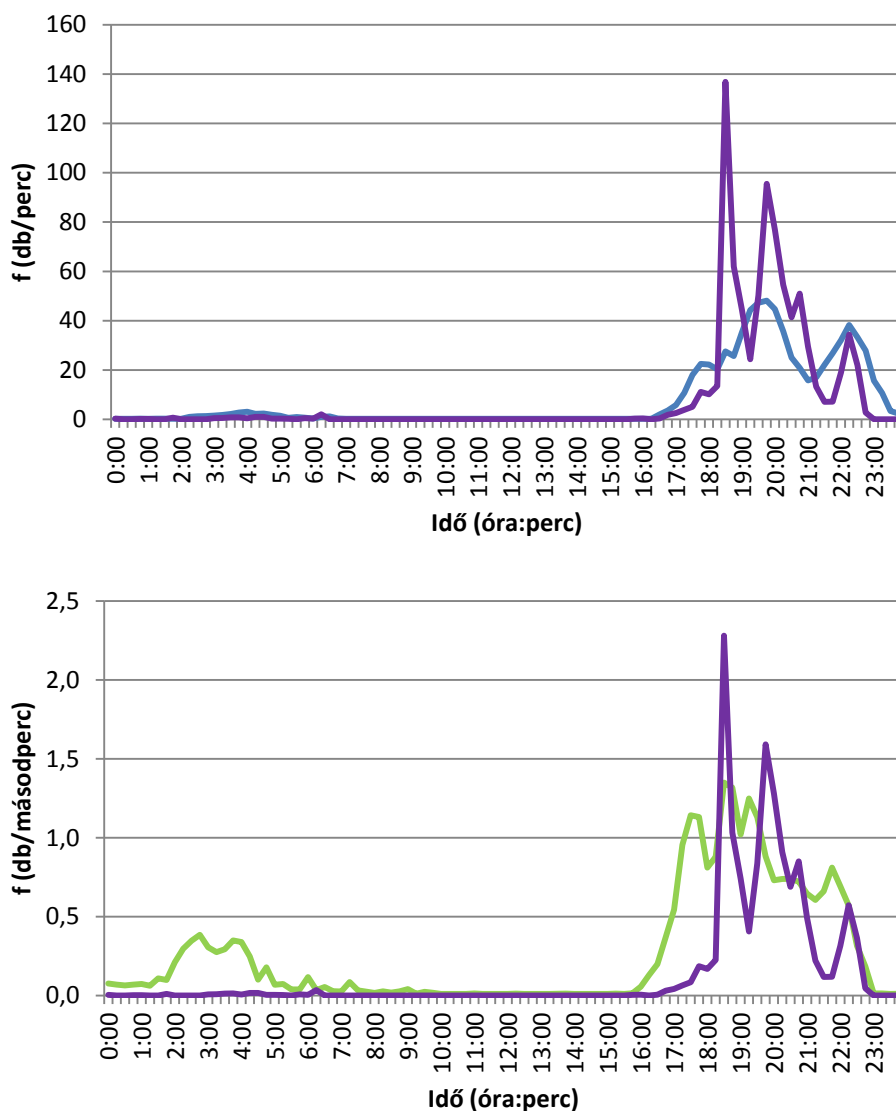
A 6. ábra alapján láthatjuk, hogy Dahl parametrizációja sokkal jobb egyezést mutat a Safir adatokkal, mint Price és Rind. Erre a napra a [dBZ]-és küszöb 46,4-nek adódott az átlagolási eljárás alapján, és ez jónak is bizonyult.



7. ábra: Villámgyakoriságok 2007 augusztus 20-án

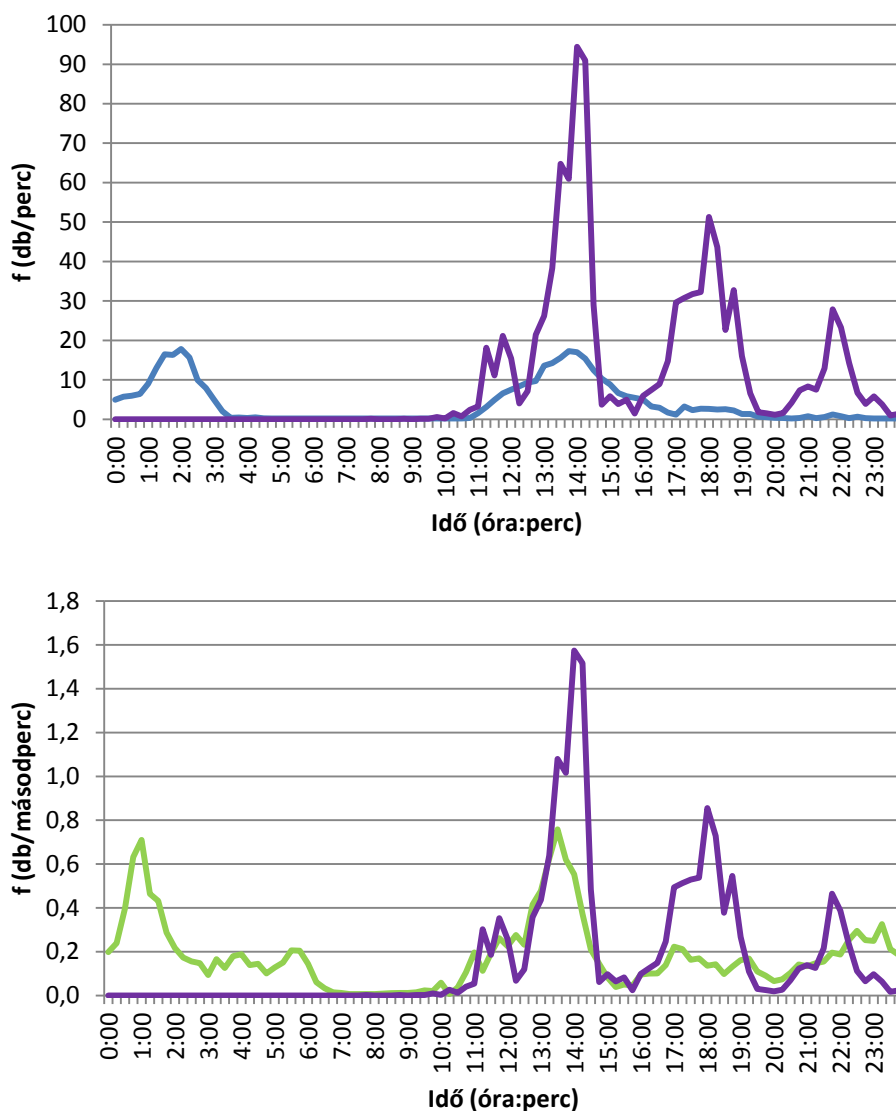
Kék: Price és Rind, zöld: Dahl-dBZ, lila: SAFIR.

A 7. ábra alapján is azt mondhatjuk, hogy Dahl módszere a megbízhatóbb és ezen a napon is helyes eredményt adott a [dBZ]-és küszöbre az átlagolási eljárás (34,4). A Dahl féle parametrizáció ugyan nem adja vissza ezen a napon a villámgyakoriság tendenciáját, ellenben megközelítően jó becsüli a gyakoriság napi értékét.



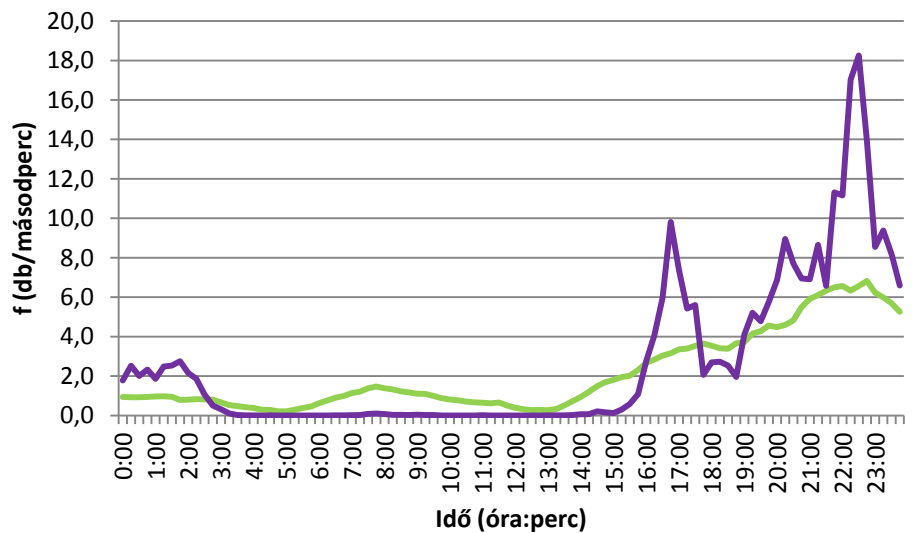
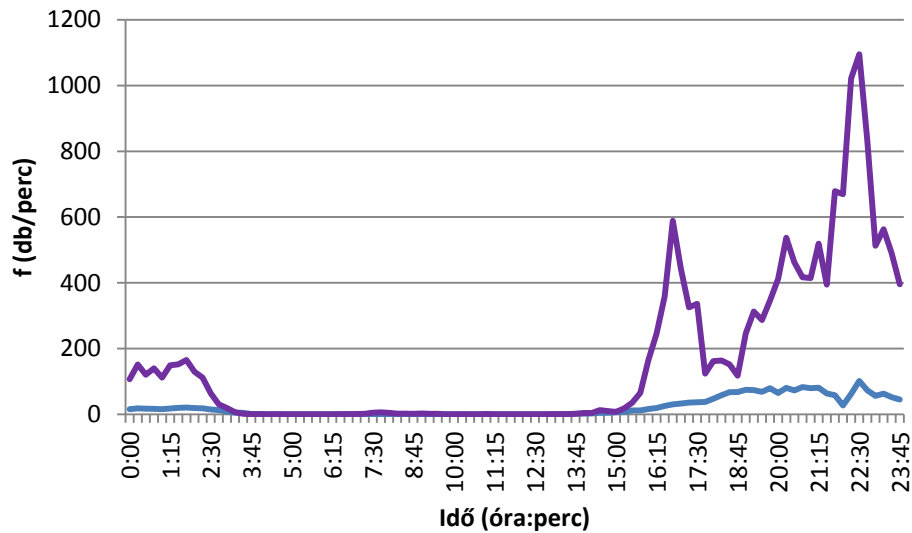
8. ábra: Villámgyakoriság 2007 augusztus 23-án
 Kék: Price és Rind, zöld: Dahl-dBZ, lila: SAFIR.

A 8. ábrán látható nap eredmények már gyengébbek. Először is az átlagolási módszer rossz eredményt adott a [dBZ]-és küszöböt illetően, 18,5-et az elfogadhatóbb 35-ös érték helyett. A másik gond a hajnali órákban kialakuló villámgyakorisági csúcs volt. A Safir mérések alapján nem volt számottevő villámlás az adott időszakban, a paramterizációk alapján viszont igen. Price és Rind eljárása ebben az esetben elfogadhatóbb megegyezést mutatott a Safir adatokkal.



9. ábra: Villámgyakoriságok 2008 május 20-án
 Kék: Price és Rind, zöld: Dahl-dBZ, lila: SAFIR.

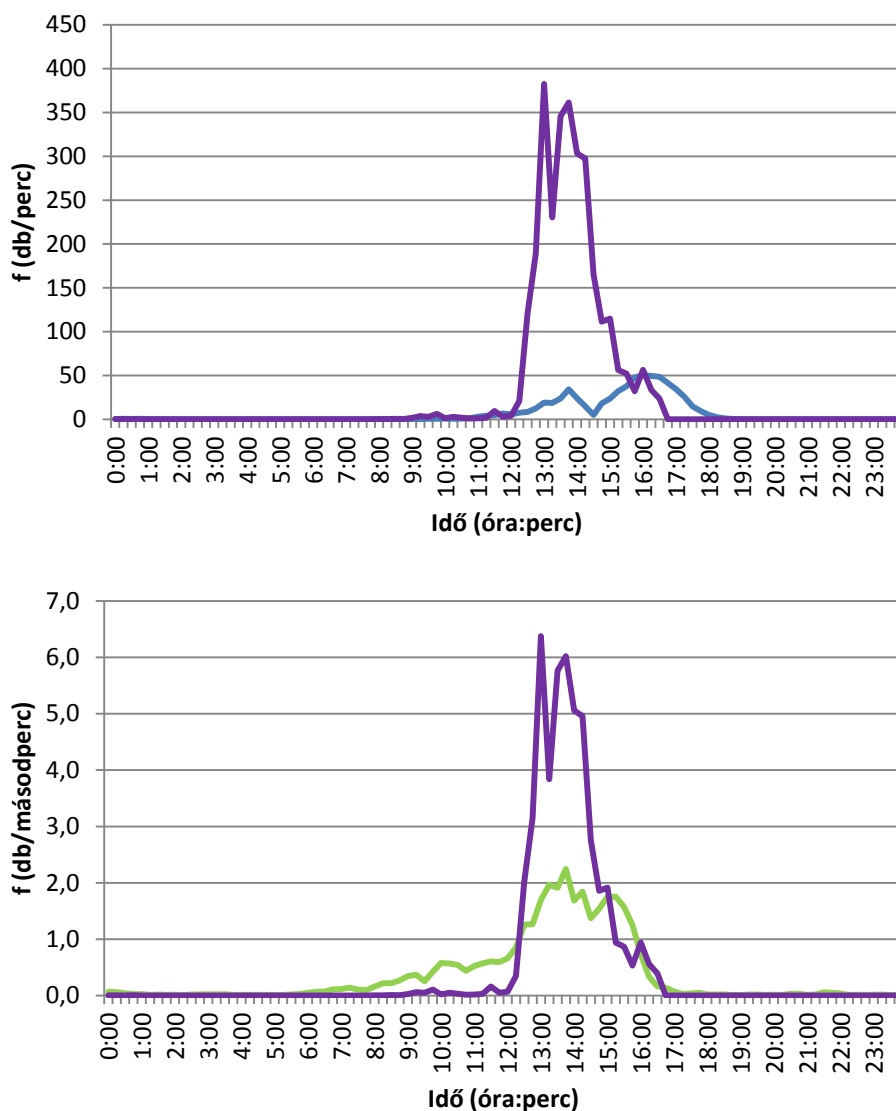
Hasonló gondokkal szembesültünk a 9. ábrán látható eredményekkel kapcsolatban is. Dahl módszere az éjszakai és hajnali órákban jelentős hibával jár. A parametrizáció mentségére szolgáljon az, hogy a nap második felében kielégítő pontossággal becsül. Az átlagolási módszer ezen a napon is teljesen helytelen eredményt szolgáltatott, 22,9-es [dBZ]-és küszöböt a 40 [dBZ] helyett.



10. ábra: Villámgyakoriságok 2010 augusztus 13-án

Kék: Price és Rind, zöld: Dahl-dBZ, lila: SAFIR.

A 10. ábrán a parametrizált értékekben nem figyelhető meg a megfigyelt tendencia, és az átlagolási módszerrel kapott 25,3-es [dBZ] küszöbnél jobb küszöb-érték erre a napra nem található. A parametrizációk képtelenek voltak visszaadni a késő délután megfigyelt villámgyakoriságok csúcsait.



11. ábra: Villámgyakoriságok 2010 augusztus 16-án
 Kék: Price és Rind, zöld: Dahl-dBZ, lila: SAFIR.

Az utolsó napunk eredményei is érdekesek (11. ábra). Egy nagyjából négy órás időközben egy igen markáns villámgyakorisági csúcs volt. A parametrizációk megközelítően jól időzítik e csúcsot, de a villámgyakoriság napi értékeit határozottan rosszul becsülik. Ráadásul az átlagolási módszer sem ad jó küszöb értéket, 35 helyett 15,4-et.

4. Konklúzió

Tanulmányomban részletesebben taglaltam a villámlás egyik legfontosabb meteorológiai jellemzőjét: a villámgyakoriságot. Részletes áttekintést adtam a villámgyakoriság parametrizálására szolgáló legismertebb módszerekről:

- a Price és Rind parametrizálásáról,
- Grewe és mtsai. parametrizálásáról és
- Dahl parametrizálásáról.

A módszereket magyarországi mérési adatokon teszteltem. Ezt először egy olyan zivataros napon tettem, amikor a zivatarcellákat vizuálisan is elkülöníthettem. Ezek után az OMSZ által rendelkezésünkre bocsátott öt másik zivataros napra is elvégeztem az elemzést (Grewe és mtsai. módszerét ez esetben már nem vizsgáltam). E napokon becsülnöm kellett egy, a nap zivartevékenységének jellegétől függő [dBZ]-és küszöb-értéket, amelynek meghatározása a módszerünkben nélkülözhetetlen. E tanulmányban első közelítésben egy átlagolási eljárással próbálkoztam. Egy naptól független, egységes módszer kialakítására törekedtem, de ennek sikeressége igen változó volt. Az eredmények alapján Dahl parametrizációja biztatóbb eredményeket adott, de Price és Rind módszerével kapott eredmények sem elvetendőek tekintettel a módszer egyszerűségére.

Végezetül, az alapvető benyomásom, hogy a villámgyakoriság parametrizálásának tudománya – tekintettel arra, hogy egy a szárnyát bontogató tudományról van szó - sok-sok rejtélyt és ezzel járó bizonytalanságot tartogat. Ilyen például a [dBZ]-és küszöb-érték pontos meghatározása is, ami a Dahl-féle parametrizációhoz elengedhetetlen fontosságú m_g graupel sűrűség becsléséhez szükséges.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőmnek, dr. Ács Ferencnek a sok támogatást és szakmai segítséget, amivel a dolgozat elkészítéséhez hozzájárult. Nagyon köszönöm az Országos Meteorológia Szolgálat munkatársainak, hogy rendelkezésemre bocsájtották a szükséges adatokat. Ugyanígy köszönet illeti Breuer Hajnalkát is a FORTRAN programozásban nyújtott segítségéért, és dr. Geresdi Istvánt az elméleti munkám támogatásáért.

Irodalomjegyzék

- Dahl, J. M. L.: 2010, The Development of a New Lightning-Frequency Parameterization and its Implementation in a Weather Prediction Model, *Phd work*, Berlin, pp. 9-35.
- Dombai, F.: 2007, Hazai villámlás lokalizációs és radar adatok összehasonlító elemzése, *Doktori értekezés*, Budapest
- Geresdi, I.: 2004, Felhőfizika, *Dialóg Campus Kiadó*, Budapest-Pécs
- Grewe, V., D. Brunner, M. Dameris, J.L. Grenfell, R. Hein, D. Shindell, J. Staehelin: 2001, Origin and variability of upper tropospheric nitrogen oxides and ozone at northern mid-latitudes, *Atmospheric Environment* 35, 3421-3433.
- Grewe, V.: 2009, Impact of lightning on air chemistry and climate, *Lightning: Principles, Instruments and Applications*, Eds. H.-D. Betz, U. Schumann, and P. Laroche, Springer, pp. 537–549.
- Maggio, C., Marshall, T. and Stolzenburg, M.: 2009, Estimations of charge transferred and energy released by lightning flashes, *J. Geophys. Res.* 114, D14203.
- Price, C. and Rind, D.: 1992, A simple lightning parameterization for calculating global lightning distributions, *J. Geophys. Res.* 97.
- Wantuch, F.: 2005, A Kárpát-medence villámainak meteorológiai vizsgálata objektív mérések alapján, *ELTE - Doktori értekezés*, Budapest