

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM  
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR  
METEOROLÓGIAI TANSZÉK

# A harmat és a dér kialakulásának meteorológiai jellemzői a téli félévben



Készítette:

**HADVÁRI MARIANNA**

ELTE TTK Meteorológiai Tanszék

Témavezető:

**NAGY JÓZSEF**

OMSZ, Budapest

Tanszéki konzulens:

**WEIDINGER TAMÁS**

ELTE TTK Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2009.

## Tartalomjegyzék

1. Bevezetés .....	3
2. Irodalmi áttekintés .....	5
2.1. A harmat és a dér általános jellemzői .....	5
2.2. A harmat jelentősége .....	6
2.3. A harmat, mint ivóvízforrás .....	8
2.4. A harmat előrejelzése .....	9
2.5. A harmat mérése .....	10
2.6. A talajfelszín közelében képződő csapadékmennyiség meghatározása ..	12
2.7. A harmatcsepp kialakulásának mikrofizikája .....	14
3. Megfigyelési módszerek és adatok .....	20
3.1. Műszerek és mérőhelyek .....	20
3.2. Adatleválogatás .....	24
4. A megfigyelési adatok vizsgálata, eredmények .....	30
4.1. Gyakorisági vizsgálatok .....	30
4.1.1. A harmat és a dér előfordulásának gyakorisága .....	30
4.1.2. A relatív nedvesség hatása .....	32
4.1.3. A szélsébség hatása és eloszlása .....	35
4.1.4. A felhőzet szerepe a nem hulló csapadék képződésében .....	37
4.1.5. Az 5 cm mélységben mért talajhőmérsékletek eloszlása .....	44
4.2. A radiációs minimum hőmérséklet és a felszínhőmérséklet minimum kapcsolata .....	46
4.3. Harmat- és dérképződés közel azonos radiációs- és felszínhőmérséklet minimum esetén .....	49
4.4. Dér megfigyelése hideg légpárnás helyzetben .....	52
5. Összefoglalás .....	55
6. Köszönetnyilvánítás .....	57
7. Irodalomjegyzék .....	58

# 1. Bevezetés

Annak ellenére, hogy a harmat keletkezése „nem túlságosan bonyolult” fizikai folyamat eredménye, csak az 1800-as években kezdték helyesen értelmezni a jelenséget. A régiak nézete szerint ugyanis a harmat az égből hullt alá, de volt olyan elképzelés is, miszerint a Földből emelkedik fel (*Ráth, 1987; Möller, 2008*). Ezt az állítást először *William Charles Wells* cáfolta meg, aki szerint a harmat a talaj felszínével érintkező légrétegből csapódik ki (*Wells, 1814*). A harmat keletkezésével kapcsolatban először *Aitken* publikált mérési eredményeket, aki arra is kereste a választ, hogy honnan származik a kicsapódó nedvesség (*Aitken, 1880; Möller, 2008*).

A harmat és a dér magyarországi folyamatos megfigyelésének kezdete a 19. század második felére tehető, ekkor szerveződött egységes rendszerré a hazai meteorológiai állomáshálózat. A harmat- és dérmegfigyelés a kezdetektől fogva a mérési és megfigyelési program része volt. Jelenleg az OMSZ hálózatán belül 14 állomáson egészítik ki vizuális megfigyelésekkel a MILOS automaták mérési programját. A 14-ből 8 állomáson a megfigyelés 24 órán keresztül folyamatosan történik, míg a maradék 6 állomáson csak időszakosan, a nappali időszakra koncentrálva.

A harmat iránti érdeklődés a múlt század közepén nőtt meg igazán, amikor felismerték, hogy mezőgazdasági szempontból jelentős mikrocsepadék (*Aujeszky, 1956*). Fontossága manapság elsősorban azokban az országokban kerül előtérbe, ahol szűkösek a vízkészletek, de a várható klímaváltozás miatt, a jelenleg még nem vízhiányos területeken is szükség lehet arra, hogy hasznosítsuk ezt a csapadékformát.

A dér kisebb jelentőségére utal, hogy keletkezési körülményeivel, klimatológiájával viszonylag kevesen foglalkoztak (*Severini és Olivieri, 1980*). A növények vízháztartásban kisebb szerepe van, hiszen előfordulásának időszaka a növények nyugalmi állapota, amikor kevesebb vízre van szükségük. Megfigyelése mégis fontos, mert a deres napok számából következtethetünk a fagyzugokra, aminek agrometeorológiai szerepe jelentős (*Antal, 1956*). Új igényként jelenik meg a közlekedés-meteorológia is (*Norrman et al., 2000; Karlsson, 2001*).

A diplomamunkában a harmat és a dér kialakulásának meteorológiai jellemzőit vizsgálom a téli időszakban. Megfigyeléseim alapján ugyanis azt tapasztaltam, hogy viszonylag alacsony ( $-2 - -4$  °C) negatív radiációs minimum hőmérséklet mellett is

tapasztalható esetenként harmatképződés. Az ilyen speciális esetek időjárási körülményeit mindeddig nem vizsgálták, s a dér hazai előfordulásának gyakoriságáról sem találtam átfogó hazai tanulmányt. Célom a harmat és a dér kialakulásának klimatológiai vizsgálata a téli félévben, a hazai meteorológiai mérőhálózat elmúlt tízévi adatainak tükrében. A harmat- és a dérkeletkezés mikrofizikai modellezése, a felhőfizikai párhuzamok leírása azonban nem célja a dolgozatnak (*Beysens*, 1995; *Geresdi*, 2004; *Richards*, 2004).

Megjegyezzük, hogy ott keletkezik dér, ahol a felszín hőmérséklete  $0^{\circ}\text{C}$  alatti. Ez a döntő kérdés nem pedig pl. a harmatpont hőmérséklete, ami lehet akár  $0^{\circ}\text{C}$  feletti (*Côté és Konrad*, 2002). A problémát – amiért részben ez a diplomamunka is született – az jelenti, hogy a standard meteorológiai észlelések (2 m-es hőmérséklet, fűszinti hőmérséklet, radiációs minimum hőmérséklet és az 5 cm-es talajhőmérséklet), továbbá a szél és a felhőzet ismertében hogyan becsülhetjük meg ennek az aktív felszínnek a hőmérsékletét. Fontos kérdés továbbá az is, hogy milyen kapcsolatban van a dérmérő korong hőmérséklete és a számunkra fontos aktív felszín (lehet az a csupasz talaj, növény vagy aszfalt) hőmérséklete.

A diplomamunka első részében a harmat és a dér keletkezésének feltételeit és körülményeit ismertetem. A második részben a megfigyelések és mérések módjáról, valamint az adatok kiválasztásáról lesz szó. Ezután az adatok elemzésére és az eredmények bemutatására kerül sor (statisztikai vizsgálatok, esettanulmányok).

Célom, hogy ráirányítsam a figyelmet a harmat- és a dérészelelések fontosságára, a klimatológiai feldolgozások szükségességére. Az alkalmazott klimatológiai vizsgálatok potenciális felhasználója lehet a közlekedésmeteorológia (közúti igazgatóságok, út-előrejelzések), a repülésmeteorológia és a nagyközönséget tájékoztató média-meteorológia (pl. síkossági előrejelzések). Az ilyen típusú éghajlati vizsgálatok segítik az út-meteorológiai döntési rendszerek kialakítását is (*Takle*, 1990; *Gustavsson*, 1991; *Karlsson*, 2001).

## 2. Irodalmi áttekintés

### 2.1. A harmat és a dér általános jellemzői

A harmat keletkezése, más csapadékfajták (pl. hó, eső) keletkezéséhez viszonyítva jóval egyszerűbb fizikai folyamat, s aránylag gyakran megfigyelhető. A többi csapadékhoz hasonlóan a harmat is légköri vízgőzből képződik, még hozzá közvetlenül a lehülő testek felszínén, a velük szomszédos levegő megfelelő mértékű lehülése során (Antal, 1956). A levegőben kisebb-nagyobb mennyiségben állandóan jelen van a vízgőz. Ha egy testet lehütünk az illető levegő harmatpontjáig, a test felszínén megkezdődik a vízgőz halmazállapot-változása, vízcseppek vagy jégszemek jelennek meg.

A harmatképződésnek időjárási követelményei vannak (Aujeszky, 1950), ezek minél nagyobb mértékben teljesülnek, annál bőségesebb a harmat:

1. olyan levegő jelenléte, amiben köbméterenként legalább 4,85 gramm vízgőz (pontosabban fogalmazva 0 °C feletti harmatpont) van,
2. derült, vagy kissé (magasabb szinten) felhős ég,
3. szélcsend, vagy gyenge szél.

Ha a levegőben a vízgőz mennyisége kevesebb, mint  $4.85 \text{ g m}^{-3}$ , de a másik két feltétel teljesül, akkor fagypont alatti hőmérsékleten dér képződik belőle. A dér keletkezését a fagyok irányából is megközelíthetjük. A fagyokat keletkezésük szerint három csoportba osztjuk (Anda és Dunkel, 2000). Az egyik a szállított (advektív), a másik a kisugárzási (radiációs) fagy (<http://www.pointernet.pds.hu/ujzagok/agraragazat/2004-ev/05/agrarag-09.html>). Az első esetben hideg, fagypont alatti levegő beáramlása okozza a nulla fok alatti hőmérsékletet. A radiációs fagy alkalmával a levegő, az éjszakai hőkisugárzás energiavesztesége miatt, helyben hűl le fagypont alá. Annak a napi középhőmérsékletnek az értéke, amely mellett még előfordulhatnak kisugárzási fagyok, éghajlati körzetenként különböző lehet. Minél kontinentálisabb egy terület éghajlata, annál magasabb napi középhőmérsékletek esetén fordulhatnak elő (Varga-Haszonits, 1977). A harmadik esetben a két hatás együttesen lép fel, ezek az ún. kevert fagyok.

Egy, főleg az agrártudományok területén elterjedt definíció szerint a kisugárzási fagyokat további két típusra oszthatjuk (Perry, 2001). Az egyik típus az ún. láthatatlan

fagy (*black frost*), a másik pedig a látható fagy, vagyis a dér (*white* vagy *hoar frost*). Mindkettő keletkezési feltétele a gyenge szél és a derült idő. A láthatatlan fagy többnyire napnyugta után alakul ki, amikor is a viszonylag száraz levegőben, a levegő hőmérséklete gyorsan süllyed. Ha az alacsony relatív nedvességű száraz levegőben, a harmatpont jóval nulla fok alatt van, az a növények számára nagyon veszélyes, mivel a közelgő fagynak nincsenek szemmel látható jelei.

Az, hogy keletkezik-e jégkristály, erősen függ a harmatpont hőmérsékletétől (*Thompson és Bentley, 1997*). Amikor a levegőben lévő vízgőztartalom aránylag magasabb, s a hőmérséklet csökkenés viszonylag egyenletes az éjszaka folyamán, akkor jégkristályok fagynak ki a levegőből. Megjelenik a dér. A növények számára ez nem feltétlenül jelent közvetlen kárt, mivel a növényekben oldott különböző ásványi anyagok miatt nedveik nem fagynak meg a nulla fokhoz közeli negatív hőmérsékleten. A dér megjelenése viszont egy erősítő hatásként (*triggerként*) a jégkristályok keletkezését (*nukleációját*), illetve a növények későbbi fagyását is kiválthatja.

A dér megjelenési formáját tekintve hasonlít a finom zúzmárára, szerkezete azonban jóval lazább (*Domokos, 2008*). A kettőt azonban nem szabad összekeverni. A zúzmaraképződésnek más feltételei vannak (*Tóth, 2007*):

1. 0°C alatti tárgyak jelenléte,
2. köd vagy felhő kialakulása,
3. szél.

Zúzmara hazánkban leggyakrabban december és január hónapokban fordul elő (*Otta, 1953*).

## **2.2. A harmat jelentősége**

A harmat kutatása többnyire mezőgazdasági területeken fontos, a termés minőségére és mennyiségére is nagy hatással van. Emellett azonban számos területen, tudományos és kevésbé tudományos vonatkozásban is jelentős szerepet játszik (*Thompson és Bentley, 1997; Karlsson, 2001; Richards, 2004*):

- optika,
- klimatológia,
- geomorfológia,

- vallás és képzőművészetek,
- botanika,
- agrártudomány,
- emberi vízfelhasználás,
- szabadtéri tevékenységek,
- légszennyezés,
- genetika,
- zoológia.

A harmat mennyisége száraz területeken meghaladhatja a hulló csapadék mennyiségét (*Tuller és Chilton, 1973; Chowdhury et al., 1990; Kidron, 2000*). Különösen jelentős a harmat mennyisége part menti sivatagokban, ahol a relatíve nedves tengeri levegő a szárazföld felé áramlik (*Mooney et al., 1980*).

A harmat egyik különleges tulajdonsága, hogy mennyisége, s gyakran fellépése is erősen függ attól, hogy milyen anyagú, alakú, hővezető-képességű testen megy végbe a folyamat. (Mennyi a felszín hőmérséklete? Milyen a felszín, vagy az adott test hőháztartása?) A harmat mennyisége növényfajonként is változik, ugyanis a hosszú, keskeny és vékony levelek hamarabb és erősebben hűlnek. A harmat olyan csapadék tehát, amelynek mennyisége a növényi felületek nagyságától is függ. Valamint, ahol a vízfogyasztó növények nagyobb számban vannak jelen, ott nagyobb a harmat mennyisége is. 1 m<sup>2</sup> talajfelszín felett 15–20 m<sup>2</sup> harmatképző levélfelszín is lehet. Az összes levélfelület ennél nagyobb is lehet, viszont nem szabad megfeledkeznünk a levelek egymásra gyakorolt árnyékoló hatásáról sem.

A harmatnak a növények vízháztartásában mindenképp jelentősége van. A víz egy része a növény testébe jut, azonban mivel a harmat desztillált víz tápanyagok nélkül, nem pótolhatja a talajból felszívott víz szerepét (*Aujeszky, 1956*).

A harmatképződés másik kedvező hatása, hogy a kicsapódáskor felszabaduló hőenergia a felszín további lehülését megakadályozza, így gyakorlatilag a harmatképződés kezdete az éjszakai lehülést mérsékli. Ezzel sokszor megkíméli a növényzetet a fagykároktól. A harmat agrometeorológiai jelentősége négy pontban foglalható össze:

1. A harmatképződés vízszerezési lehetőséget jelent a növények számára, s éppenséggel olyat, amely száraz időszakokban is elérhető, mikor a növény vízháztartása nehézségekkel küszködik.
2. Növényvédelmi szempontból a harmatnak káros hatásai is vannak, egyfelől hátráltatja a beérést, másfelől támogatja bizonyos betegségek terjedését, s akadályozza az ellenük folyó védőintézkedések hatásosságát. A gombák (saláta-peronoszpóra, rozsdagomba, stb.) és baktériumok különösen kedvelik a nedves környezetet (*Scherm et al.*, 1995).
3. Gyapottermő országokban ún. por alakú levélhullató szereket használnak a munka megkönnyítésére, amelyek csak harmatképződés mellett hatásosak, mert a harmatcseppekben oldódnak.
4. Bizonyos gépi munkák (pl. aratás) feltétele, hogy a növények felszíne harmatmentes legyen.

### **2.3. A harmat, mint ivóvízforrás**

Nem is olyan messze Magyarországtól, a horvátországi kis szigeteken, ahol szegényes az ivóvízkészlet, harmat és esővíz felfogásával enyhítik ezt a hiányosságot. 2003 és 2006 között egy nagyobb kutatást végeztek Komiža-n (Vis sziget) és Zadarban (Dalmát tengerpart). Megvizsgálták a harmat ionos összetételét, s azt a WHO előírásoknak megfelelőnek találták, egyedül a magnéziumion koncentrációja nem volt megfelelő (*Beysens et al.*, 2009).

A lakosság lélekszámának növekedése miatti ivóvízhiány már több fejlődő országot is érint. A harmat gyűjtésére Indiában azt a módszert is alkalmazzák, hogy 5°C-os tengervízrel megfelelően kialakított hőcserélőkön áramoltatnak keresztül, így segítve elő a harmatcseppek kicsapódását. Például egy  $1,29 \times 10^5 \text{ m}^2$  felületű hőcserélő alkalmazásával 24 óra alatt  $643 \text{ m}^3$  harmatvíz nyerhető ki. Másik, kis költségvetésű módszerként, kiválasztott épületek tetejére galvanizált fémtetőket raknak, s így gyűjtik össze a harmatot. Egy  $18 \text{ m}^2$ -es,  $30^\circ$  lejtésű tetőről mindenféle hő- és egyéb szigetelés nélkül 114 liter vizet fognak fel októbertől májusig. A klímaváltozás miatt egyre több helyen lesz szükség hasonló eszközök, eljárások alkalmazására (*Rajvanshi*, 1981; *Sharan*, 2007).



A harmat felületen történő gyűjtése természetesen nem mai találmány. Az 1677-ben megjelent „Mutus liber”-ben már festményeken is ábrázolták, ahogyan cölöpökre kifeszített szövet segítségével gyűjtik a harmatot (Möller, 2008). A harmatcseppek gyűjtése az Andok magas hegyeiben is elterjedt.

## 2.4. A harmat előrejelzése

A harmat numerikus modellezése ritka (Chen és Dudhia, 2001). Számos modell létezik a harmat szimulálására és előrejelzésére (Janssen et al., 2002), de többnyire a növények levélfelületén kicsapódó harmatra vonatkoznak (Richards, 2004; Madeira et al., 2002). A szakirodalomban általánosan elfogadott, hogy a városi hősziget hatása, illetve az alacsony páratartalom miatt a városokban kevesebb a harmat.

A harmat előrejelzése összetett feladat. Magyarországon már az 1950-es években dolgoztak ki rá koncepciót, ami szorosan összekapcsolódik más időjárási jelenségek előrejelzésével, amelyek előrejelzésében talán nagyobb a gyakorlat. A harmat-előrejelzés megkívánja a részletesebb hőmérsékleti, felhőzeti és szélprognózisokat; valamint a sugárzási lehűlés lehetőségét kell megítélni. Ha az éjszaka folyamán egyáltalán nem lesz sugárzási lehűlés, nem lesz harmat sem. Ha úgy ítéljük, hogy lesz sugárzási lehűlés, akkor ennek mértékét kell megbecsülni, s egybevetni a harmatpont értékével: azt kell eldönteni, hogy a lehűlés eléri-e a harmatpontot, vagy sem. Ha nem éri el, akkor nem keletkezik harmat. Ha eléri, akkor meg kell becsülni annak időpontját, s hogy milyen mértékű vízkicsapódásra kell számítani. Magas harmatpont mellett csekély lehűlésnél rövid idő alatt is jelentős vízmennyiség csapódhat ki, alacsony harmatpont mellett ellenben a harmatképződés lassabban szolgáltatja ki a kicsapódó vízmennyiséget. A határfelületek átvonulásai is erőteljesen beleszólnak a képződés menetébe. Még akkor is, ha csak gyenge fejlettségű határfelületekről van szó, mivel azok két oldalán jelentős harmatpontbeli különbségek vannak, valamint a felhőzet jellege és mennyisége is erősen különböző.

A harmat időtartamának előrejelzése is fontos, ugyanis a harmat jelenlétének időtartama erősen változó mennyiség.

## 2.5. A harmat mérése

A harmat mérésére nincs általánosan elfogadott mérési módszer, többféle eljárás létezik (Richards, 2004):

- vizuális-tapintásos: vizuális észlelés vagy tapintás:
  - o Duvdevani tömb (festett falap, amelyen a harmatcseppek mérete alapján mérik a harmat mennyiségét).
  - o harmatlabda (üveggömb, aminek a felszínén kiváló harmat mennyiség becsülhető).
- drosométer: higroszkópos vagy nem higroszkópos,
- felitatás: itatós papírral felitatják a növényről a harmatot, és megméri a súlyát,
- rögzítő mérőeszközök: tömegérzékelő szenzorokkal és vízérzékeny, hosszukat vagy színüket változtató egységekkel, pl. tenziométer,
- nedvesség szenzor: elektronikusan működő érzékelők a levél nedvességének mérésére,
- harmatgyűjtők: harmatot manuálisan összegyűjtik pl. pipettával,
- távérzékelés:
  - o fényvisszaverő-képesség változás alapján becsült mennyiség,
  - o infravörös hőérzékelés,
- liziméter.

A harmatmérők nem abban az objektív értelemben mérik annak mennyiségét, ahogyan a csapadékmérők a makrocsapadékot. A harmat mennyisége nagyban függ attól, hogy milyen fizikai és geometriai tulajdonságai vannak annak a testnek, amelyen a harmatképződés végbemegy. A harmatmérők egy típusa a drosométer, ami általában egy celluloid felfogó lapból, s egy mérlegből áll. Magyarországon az első pontos harmatméréseket *Steiner* és *Fleischmann* (1936) végezték Kompolton, Hiltner-féle mérleggel. A mérés lényege, hogy egy kis házikóban elhelyezett mérleg szabadba kinyúló karjára napnyugtakor egy harmatfelfogó celluloid lapot helyeznek, s annak súlynövekedését napkeltekor megméri. A mérést 3 szinten végezték. Emellett feljegyezték mindhárom magasságban a száraz és nedves hőmérsékletet, a szélerősséget, a felhőzetet, esetlegesen köd jelenlétét, illetve, hogy a Napot felhő takarja-e vagy sem.

A harmatfelfogó lapokon köd alkalmával mért vízmennyiségeket külön elemezték. A kompolti méréseket 15, 100 és 200 cm magasságokban végezték. 1931 és 1932 években májustól októberig, az ezt követő két évben áprilistól októberig mértek, összesen 264 esetet vizsgáltak. A mérések eredményeképpen a következőket állapították meg:

- A harmatmennyiség a földfelszíntől mért magassággal változik, de a magassággal nem egyenletesen. A változásban bizonyos főbb jellegzetességek figyelhetők meg. A 15, 100 és 200 cm-es magasságokat rendre a, b és c-vel jelölve három fő jelleg mutatkozik. Nevezetesen  $(a > b > c)$ ,  $(a > b < c)$ ,  $(a < b < c)$ , illetve az első jelleg speciális esete  $(a, 0, 0)$ , amikor is a magasabb rétegekben egyáltalán nincs harmat-képződés. Köd esetében többnyire az  $(a > b < c)$ ,  $(a < b < c)$  jellegek a leggyakoribbak.

- A különböző magasságokban összegyűlt harmatmennyiségeket a harmat (illetve köd) erősségének mértékéül tekinthetjük. Megállapítható, hogy fokozódó harmat-erősséggel az eloszlás fokozatosan az  $(a, 0, 0)$ ,  $(a > b > c)$ ,  $(a > b < c)$  és  $(a < b < c)$  jellegeket veszi fel, ahol az  $(a, 0, 0)$  jelleg jellemzi a legkisebb erősségű harmatot. Tehát a harmatmennyiség és a magassággal való eloszlása között megállapítható, hogy a harmatmennyiség növekedésével a minimum mind mélyebbre kerül. Ez a megállapítás a ködből származó vízmennyiségre is igaz.

- Az időjárási helyzetekkel való összehasonlításból megállapítható, hogy az  $(a, 0, 0)$  jelleg főképpen a nyári meleg, napos és derült időjárási szakaszokban mutatkozik, a borultabb, hűvösebb időjárási helyzetekben az  $(a > b < c)$  és  $(a < b < c)$  jellegek lépnek fel gyakrabban.

- A levegő hőmérsékletének harmatponttól való távolsága és a viszonylagos relatív nedvesség összefüggésben van a harmatképződéssel. A következő megállapítások történtek ebben a vonatkoztatásban: a harmatponttól való távolság általában pozitív, vagyis a levegő hőmérséklete általában a harmatpont fölött van, csak egyes esetekben csökken a harmatpontig, vagy száll 1–2 tizeddel a harmatpont alá. A harmatponttól való távolság a magassággal alulról felfele nő, kivéve az  $(a < b < c)$  jelleg (köd esetében is), amikor a maximum 100 cm magasságban van. A viszonylagos relatív nedvesség felfelé általában fogy, eltérés az előbb említett jelleg esetén volt megfigyelhető.

Továbbá a várakozásoknak megfelelően megállapítható, hogy a harmatmennyiség annál nagyobb, minél közelebb van a levegő hőmérséklete a harmatponthoz, és minél nagyobb a viszonylagos relatív nedvesség. Ahogy a harmatmennyiség növekedésével a harmateloszlási jelleg változik, úgy változik a levegő hőmérsékletének harmatponttól való távolsága és relatív nedvessége is: a harmatmennyiség növekedésével az előbbi fogy, az utóbbi nő.

A harmatmérésben nagyon fontos tény, hogy az abszolút harmatmérés lehetetlen, mivel a harmatmérőn összegyűlt vízmennyiség csak a harmatfelfogó lapra és a mérési pontra jellemző adat, amely nem általánosítható és nem vonatkoztatható közvetlenül más helyre. Ezért meg kell elégedni az egymással összehasonlítható viszonylagos adatokkal.

## **2.6. A talajfelszín közelében képződő csapadékmennyiség meghatározása**

A vízgőznek a talajról vagy a növényfelületekről a levegőbe jutásakor (evaporáció + transpiráció), illetve a levegőből a talajra vagy a növényekre történő kicsapódásakor (harmat + bevonatok) ugyanazok a szállítófolyamatok mennek végbe, mint a hőátadáskor. Ezek a test határfelületén belüli molekuláris diffúzió, a szabad és kényszerített konvekció és az advekció. Ennél fogva, ezeknél a folyamatoknál is ugyanazok a törvények vannak érvényben, mint hőátadáskor (*Schnelle*, 1963).

A harmattal kapcsolatos kísérleti mérésekről is elmondható, hogy a felfogott víz mennyisége csak relatív értéknek tekinthető, mivel az a helyi mikroklimatikus viszonyokon túl, függ a felfogó test energetikai, termofizikai és aerodinamikai sajátosságaitól. Fizikai megfontolásokon alapuló becslések szerint a talaj menti légrétegből származó harmat mennyisége télen a legnagyobb (*Bacsó*, 1959).

A talaj menti légtér fizikai tulajdonságainak számítás útján történő meghatározására több modell is van. *Monteith* (1963) szerint a vízszintes felületen keletkezett harmat, illetve dér mennyisége és az energiamérleg között az összefüggés a következő:

$$E_p = \frac{s \cdot Rn}{L(s + \gamma)}$$

A képletben  $E_p$  a harmatképződés potenciális (lehetséges) értéke,  $s$  a telítési gőznyomás hőmérséklet szerinti változása, amit a Clausius-Clapeyron-egyenletből határozhatunk meg.  $L$  a fázisátalakulási hő, míg  $\gamma$  a pszihrometrikus állandó. Értéke jó közelítéssel,  $\gamma = 66 \text{ Pa K}^{-1}$ . A talajba, illetve a felfogó felszínre jutó hőáram elhanyagolható. (Lásd részletesebben: *Garatt és Segal, 1988; Jacobs és Nieveen, 1995.*) A fenti összefüggés szerint harmat keletkezik, ha a felfelé irányuló vertikális vízgőzátvitel kisebb, mint a hőmérsékletcsökkenéssel járó vízgőzkészlet csökkenése. Az összefüggés vízszintes felületre igaz, növényállományon belül a harmattöbblet meghatározásához az effektív kisugárzás meghatározását kell módosítani.

Meg kell említeni, hogy nemcsak a talaj felszínén képződik harmat. A felszín közeli csapadék másik jelentős formája a talaj felső rétegének pórusterében képződött vízmennyiség, az ún. talajharmat. Két komponense van:

1. a belső térből származó kondenzációs vízmennyiség,
2. az alsó talajrétegekből termodiffúzió útján felemelkedő vízgőzből származó vízmennyiség.

Magyarországon *Szász (1972)* a harmat keletkezési feltételeit részben elméleti, részben kísérleti módon állapította meg. Vizsgálatainak eredményeit a következőkben foglalhatjuk össze:

1. A relatív nedvességnek az éjszaka folyamán el kell érnie a kritikus 95%-os értéket ahhoz, hogy a kondenzáció megindulhasson.
2. Évi átlagban 829 olyan óra van, amiben kondenzáció megindulhat, ill. folyamatban van (1964–70 közötti időszakban).
3. Télen a legnagyobb a talaj menti légtérből származó harmat mennyisége.
4. Harmat – illetve dér – képződés esetén az átlagos felhőmennyiség mintegy 50%-a az évi közepes felhőzetnek.
5. Évente átlagosan 28,7 mm harmat keletkezik a talaj felszíne felett.
6. Az egy éjszaka képződő átlagos vízmennyiség  $\sim 0,2$  mm.
7. A harmat és dér mennyiség legjelentősebb hányada nyár végén és ősszel képződik, gyakori a képződés megindulása januárban és februárban is, mennyisége azonban csekélyebb.

8. A belső tér vízgőzkészletéből származó mikrocseppek mennyisége elhanyagolhatóan csekély, évi átlagos összege 0,4 mm-nél kevesebb.
9. Az alsóbb rétegekből diffúzió útján felemelkedő talajharmat évi összege 34,1 mm-re, ennek kb. a kétharmada a nyári és őszi hónapokban keletkezik.

## 2.7. A harmatcsepp kialakulásának mikrofizikája

A vízcseppek kialakulásának két módja van, a homogén és a heterogén kondenzáció. A fizikai folyamatot tekintve a harmatcseppek képződése heterogén kondenzáció, ami a felhőfizikai folyamatok során létrejövő heterogén kondenzációnak feleltethető meg. A heterogén kondenzáció folyamatát mégis a homogén kondenzáción keresztül ismertetem, mert az a folyamatok érthetőségét szolgálja (Beysens, 1995; Geresdi, 2004). *(A dérképződés mikrofizikájával itt külön nem foglalkozunk. Ez történhet a harmatcseppek kifagyásával, illetve a vízgőz közvetlen kikristályosodásával.)*

Homogén kondenzáció: A szennyező anyagoktól mentes légkörben a légnemű és folyadék fázis széles nyomási- és hőmérsékleti tartományban egyensúlyban van, ami azt jelenti, hogy a vízgőz keverési arányának véletlenszerű fluktuációja miatt a vízmolekulákból molekulacsoportok alakulnak ki, illetve esnek szét. A vízcseppkezdemények csak nagyon rövid ideig léteznek. A vízgőz nyomásának csökkenése a molekulacsoport szétesését eredményezi. Ha növeljük a rendszer vízgőztartalmát, egy adott telítési aránynál a rendszer instabillá válik, és a csökkenő gőznyomás ellenére a kialakult molekulacsoport vagy csoportok (makroszkópikus értelemben) felületére újabb vízmolekulák rakódnak le, s ennek következtében a vízcseppcske folyamatosan növekszik. A kérdés az, hogy mekkora ez a küszöbérték. Ennek megválaszolásához meg kell határozni, hogy hogyan változik a Helmholtz-féle szabadenergia egy vízcseppcske kialakulása során. Halmazállapot-változások során, így itt is a rendszer hőmérséklete mindvégig változatlan.

A kezdetben  $n_v + n_w$  mólnyi vízmolekulából álló,  $e_1$  nyomású és  $V$  térfogatú gáz  $F_1$  szabadenergiája a következőképpen írható fel:

$$F_1 = (n_v + n_w)\mu_{v,1} - e_1V,$$

a vízcseppecske kialakulását követően szabadenergiája  $F_2$  lesz:

$$F_2 = n_v \mu_{v,2} + n_w \mu_w - e_2(V - V_w) - p_w V_w + \sigma_{w/v} \Omega,$$

ahol  $e_1$  és  $e_2$  a vízgőz nyomása a cseppképződést megelőzően, illetve azt követően,  $n_v$  és  $n_w$  a gáz és a folyékony halmazállapotban lévő vízmolekulák mennyisége mólból kifejezve.  $V$  és  $V_w$  a vízgőz, valamint a vízcseppecske térfogata,  $p_w$  a nyomás a vízcseppecske belsejében,  $\Omega$  a vízcseppecske felszíne,  $\sigma_{w/v}$  a vízcseppecske és a vízgőz határán fellépő felületi feszültség,  $\mu_v$  és  $\mu_w$  pedig a vízgőz, illetve a víz kémiai potenciálja. Az 1 és a 2 index a kezdeti és a végállapotra utal (csak a gőzfázisban jelöljük). *Megjegyezzük, hogy a szabadenergiát ( $F$ ) a szabadentalpiából ( $G$ ) fejeztük ki ( $F = G - pV$ ). A szabadentalpia pedig a kémiai potenciál segítségével adható meg, felhasználva, hogy a potenciálok additív mennyiségek.*

Ha feltesszük, hogy az új fázis megjelenése nem befolyásolja lényegesen a vízgőz nyomását ( $e_1 \approx e_2 = e$ ) és kémiai potenciálját ( $\mu_{v,1} \approx \mu_{v,2} = \mu_v$ ), a szabadenergia változást a következőképpen írhatjuk fel:

$$\Delta F = F_2 - F_1 = n_w [\mu_w(p_w, T) - \mu_w(e, T)] - V_w(p_w - e) + \sigma_{w/v} \Omega.$$

A termodinamikai egyensúly feltétele, hogy a két fázis kémiai potenciálja megegyezzen, ezért egyszerűsítés után a következő egyenletet kapjuk:

$$\Delta F = -V_w(p_w - e) + \sigma_{w/v} \Omega.$$

A görbült felületek mechanikai egyensúlyának:

$$p_w - e = \frac{2\sigma_{w/v}}{r},$$

és a görbült felületek feletti egyensúlyi gőznyomást ( $e = e_{s,w}(t, r)$ ) meghatározó Kelvin-egyenlet

$$\ln\left(\frac{e}{e_{s,w}}\right) = \ln S_{s,w} = \frac{2M_w \sigma_{w/v}}{R^* T \rho_w r}$$

felhasználásával a következő összefüggéshez jutunk:

$$\Delta F = \sigma_{w/v} 4\pi r^2 - \frac{4\pi}{3} r^3 \ln(S_{v,w}) \frac{R^* T \rho_w}{M_w},$$

ahol  $e_{s,w}$  a sík vízfelszínre vonatkoztatott telítési gőznyomás,  $r$  a vízcsepp sugara,  $M_w$  és  $\rho_w$  a víz molekulásúlya, valamint sűrűsége,  $R^*$  az univerzális gázállandó,  $T$  pedig a hőmérséklet.

Különböző  $S_{v,w} = e / e_{s,w}$  telítési arányok esetén a cseppképződési energia-szükséglet is más.  $S_{v,w} > 1$  esetben a fenti függvénynek maximuma van. Szélsőérték-számítással megkaphatjuk ezt a maximumot:

$$r_g = \frac{2M_w \sigma_{w/v}}{R^* T \rho_w \ln(S_{v,w})},$$

Az  $r_g$  sugarú vízcseppek (kondenzációs csírák) a környező vízgőzzel együtt labilis egyensúlyi rendszert alkotnak. Ezért a cseppecskék további növekedése spontán folytatódik. Újabb vízmolekulák kötődése a cseppecskéhez a rendszer szabadenergiájának csökkenését eredményezi. A kondenzációs csira képződéséhez szükséges szabadenergia:

$$\Delta F_g = \frac{\sigma_{w/v} \Omega_g}{3} = \frac{16\pi M_w^3 \sigma_{w/v}^3}{9[R^* T \rho_w \ln(S_{v,w})]^2}.$$

A telítettség csökkenésével az  $r_g$  sugár gyorsan nő, a kritikus méret eléréséhez több millió vízmolekulának kell véletlenszerűen összekapcsolódnia, aminek kicsi a valószínűsége. A véletlenszerű csoportosulás miatt kialakuló vízcseppek méret szerinti eloszlása a Boltzmann-féle eloszlással írható le:

$$N_i = N_{w,sat} \exp\left(\frac{\Delta F_i}{kT}\right),$$

ahol  $N_i$  az  $i$  db molekulából álló vízcseppek száma.  $\Delta F_i$  a molekulacsoport kialakulásához szükséges szabadenergia,  $N_{w,sat}$  a vízmolekulák koncentrációja sík vízfelszín felett telítettség esetén,  $k$  pedig a Boltzmann-féle állandó.



Harmatképződés estén a kondenzációs csírák egy nedvesíthető (vízben nem oldható) felületen jönnek létre, tehát egy szilárd halmazállapotú részecske is jelen van. A heterogén kondenzáció egyenletei a következőképpen módosulnak:

$$F_1 = (n_v + n_w)\mu_{v,1} - e_1 V + \sigma_{a/v}\Omega_a,$$

$$F_2 = n_v\mu_{v,2} + n_w\mu_w - e_2(V - V_w) - p_w V_w + \sigma_{w/v}\Omega_w + \sigma_{a/w}\Omega_a,$$

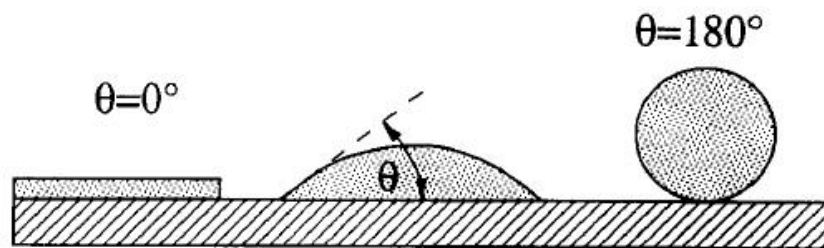
ahol  $\Omega_w$  és  $\Omega_a$  a vízcseppnek a vízgőzzel érintkező felülete, illetve az alsó határoló felületnek a vízcseppel érintkező felszíne. A  $\sigma_{a/v}$  és  $\sigma_{a/w}$  a felület és a vízgőz, valamint a felület és a víz között fellépő felületi feszültség. A kettő különbségéből kapjuk a cseppképződéshez szükséges szabadenergia-változást, ami egyszerűsítés után a következő:

$$\Delta F = (e - p_w)V_w + \sigma_{w/v}\Omega_w + (\sigma_{a/w} - \sigma_{a/v})\Omega_a.$$

A három felületi feszültség közötti összefüggés (illeszkedési paraméter) az összetevők találkozásánál teljesülő mechanikai egyensúlyból következik:

$$m = \cos(\Theta) = \frac{\sigma_{a/v} - \sigma_{a/w}}{\sigma_{w/v}},$$

ahol  $\Theta$  az illeszkedési szög (1. ábra)



1. ábra. Az illeszkedési szög különböző viszkozitású felületeken (Beysens, 1995).

A szilárd felszínen kialakuló vízcseppcskék alakja gömbsüvegnek tekinthető. Geometriai megfontolás után kiszámítható a kondenzálódott víz térfogata ( $V_w$ ), valamint a víz-vízgőz ( $\Omega_w$ ), és a víz- felszín ( $\Omega_a$ ) határfelületek nagysága:

$$V_w = \frac{\pi r^3}{3} (2 + m)(1 - m)^2,$$

$$\Omega_w = 2\pi r^2(1 - m),$$

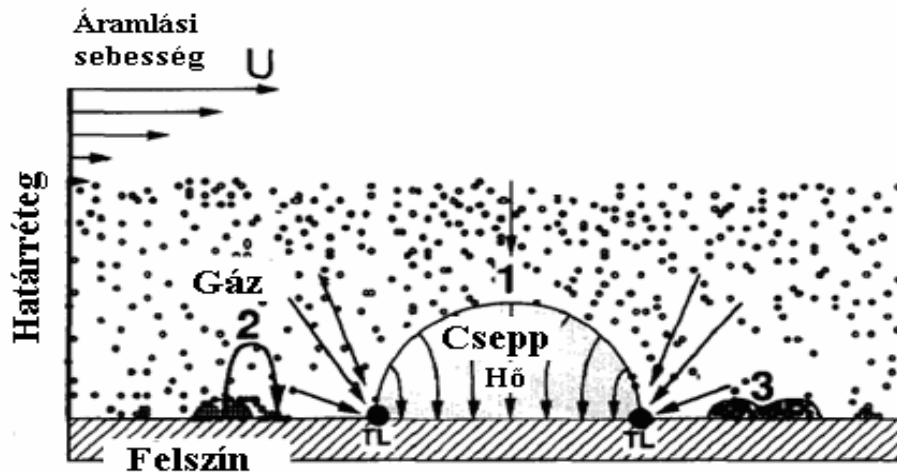
$$\Omega_a = \pi r^2(1 - m^2),$$

ahol  $r$  a kondenzálódott víz görbületi sugara. Tehát a harmatcsepp keletkezése során a szabadenergia-változás:

$$\Delta F = \frac{m^3 - 3m + 2}{4} \left[ \frac{\sigma_w}{v} 4\pi r^2 - \frac{4\pi}{3} r^3 \ln(S_{vw}) \frac{R^* T \rho_w}{M_w} \right]$$

A zárójel előtti tag a geometriai tényező, aminek értéke 0 és 1 között változhat, attól függően, hogy a felszín mennyire nedvesíthető.  $\Delta F = 0$ , ha felszín jól nedvesíthető ( $m=1$ ), illetve megegyezik a homogén kondenzációhoz szükséges szabadenergiával, ha a felszín víztaszító ( $m = -1$ ).

*Izolált csepp növekedése (2. ábra):*



2. ábra. Izolált harmatcsepp növekedése (Beysens, 1995).  
(A számozás jelentését lásd a szövegben.)

A felszín közelében kialakul egy határréteg, ahol a szélesség értéke kicsi, de a gradiense nagy (molekuláris diffúzió), a légréteg vízgőzzel telítetett. A már kialakult stabil harmatcsepp háromféleképpen növekedhet:

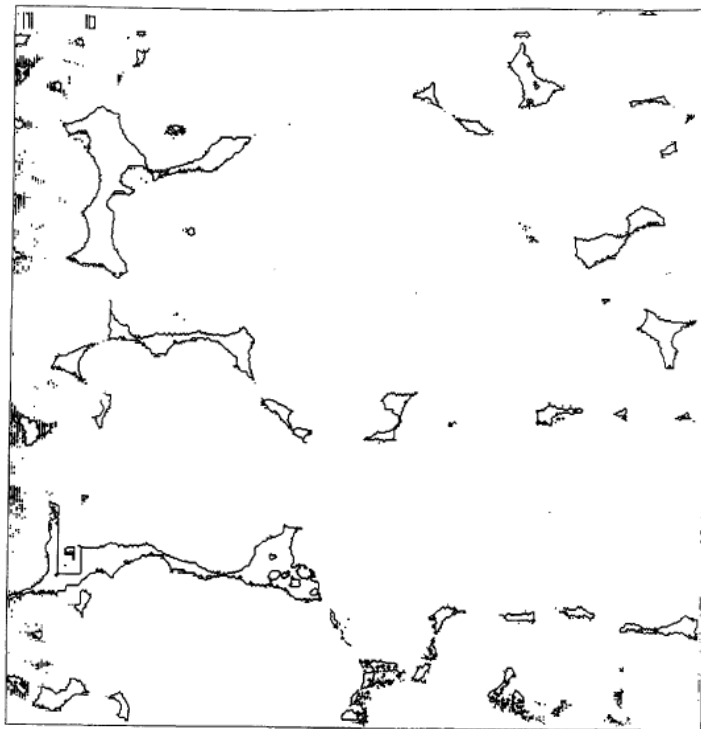
1. a harmatcsepp felületén keresztül a vízgőz direkt behatolása,
2. a kritikus sugár közeli góccok harmatcsepp felé történő vándorlása talajdiffúzióval,
3. a kritikus sugarat elért cseppek összeolvadása.

*Csepp-minta növekedése:*

Két harmatcsepp összeolvadása során a felszín energiája csökken, valamint felszín szabadul fel, amik elősegítik újabb harmatcseppek kialakulását. Összeütközés előtt az általuk lefedett felszín nagysága:  $2A = 2r^2\pi$ ,

az összeolvadást követően pedig:  $A' = 2^{2/3} r^2\pi = 2^{2/3} A$ .

Későbbiek folyamán, mikor több harmatcsepp összenövése megtörtént, de még száraz területek is vannak a felszínen, a harmatmentes szigetek jellegzetes formát alkotnak (3. ábra).



3. ábra. Harmatképződés egy sík felületen, ahol az „összenőtt harmatcseppek” között még kis száraz területek figyelhetők meg. A száraz területek elhelyezkedése fraktál geometriát mutat ((Beysens, 1995 nyomán).

### 3. Megfigyelési módszerek és adatok

#### 3.1. Műszerek és mérőhelyek

Az Országos Meteorológiai Szolgálat általunk vizsgált szinoptikus állomásain MILOS 500 elnevezésű automaták üzemelnek, amelyek számos meteorológiai paraméter mérését és továbbítását végzik.

A finn VAISALA cég által gyártott MILOS 500 típusú adatgyűjtők telepítése 1993-ban kezdődött, ami gyakorlatilag a mérőhálózat automatizálásnak kezdetét jelentette. A mérési program bővült, valamint több meteorológiai paraméter mérése pontosabbá és folyamatosabbá vált. Az automaták 10 m-en mérik a szélességet és a szélirányt, 2 m-en a léghőmérsékletet és a légnedvességet. A csapadékmérő felfogó felülete 1 m magasságban helyezkedik el. A légnyomásmérő az adatgyűjtőben található. A talajfelszín fölött 5 cm magasságban elhelyezett árnyékolt hőmérő szolgáltatja az ún. talajfelszín hőmérsékletet. Árnyékolás nélkül ez a hőmérő azonos értékű a radiációs minimum hőmérő adatával. Az árnyékolás a napsugárzás elleni védelmet szolgálja. A talaj 5–100 cm mély rétegeiben 3–5 szintben történik talajhőmérséklet mérés. Az állomások egy részében csapadék státusz, globálsugárzás, UV-B sugárzás és gammadózis teljesítménymérésre is sor került. A mintavételezés szél esetében 2 s-ként, minden más paraméternél percenként történik, amelyből az adatgyűjtő 10 perces átlagokat, szélsőértékeket és összegeket képez. Jelenleg 28 db MILOS 500 automatával ellátott szinoptikus állomást (*1. kép*) üzemeltet az OMSZ. Az általunk is felhasznált paramétereket a következő pontossággal mérik: felszínhőmérséklet, talajhőmérséklet és a harmatpontoszámításhoz szükséges léghőmérséklet: 0,1 °C, szélesség: 0,1 m/s, relatív nedvesség: 1% (*Grób, 2000; Nagy és Nagy, 2002; Zárbok et al., 2005*).

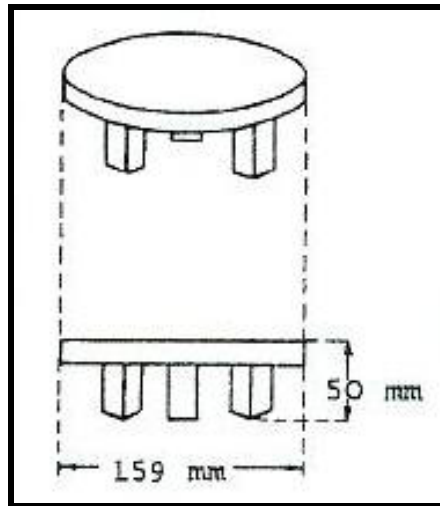
A hagyományos mérések részben maradtak meg. Az észlelővel ellátott állomásokon a főterminusokban ún. kontroll mérésenként a légnyomás, a léghőmérsékletet, a nedves hőmérséklet (a relatív nedvesség ellenőrzésére) és a csapadék mérése jelenleg is folyik. Emellett a felhőzet és a látástávolság folyamatos megfigyelése, a napfénytartam és a radiációs minimum hőmérséklet állandó mérése, a párolgás, a zúzmara, a dér, a hóvastagság és a hó sűrűség időszakos mérése, valamint a talajállapot és a harmat megfigyelése történik.



1. kép. A debreceni szinoptikus főállomás MILOS automatával.

A harmat és a dér megfigyelése során feljegyzésre kerül azok kicsapódásának kezdeti időpontja, illetve a kicsapódás megszűnésének időpontja. A harmat mennyiségére az észlelő ad becslést egy háromfokozatú skálán, ahol a 0 jelenti a leggyengébb, a 2-es szám a legerősebb mértékű harmatlerakódást. A dér mennyiségének meghatározása viszont méréssel történik, a zúzmaramérő korong (4. ábra) segítségével. A zúzmaramérő korong a talaj közelében keletkező (nem felhőzetből hulló) jeges lerakódások mérésére szolgál. Felfogó felülete azonos a csapadékmérőével ( $1/50 \text{ m}^2$ ). Anyaga kemény, műanyag bevonatú fakorong, amely lábakon áll. Ezek biztosítják a talaj feletti állandó 5 cm-es magasságot. Az eszköz a radiációs minimum hőmérő mellett kerül elhelyezésre, ügyelve arra, hogy a felfogó felülete vízszintes helyzetű legyen. Az első őszi talaj menti fagytól kezdve kell kihelyezni, és a késő tavaszi talaj menti fagyok megszűnéséig kell kezelni.

A mérések napi rendszerességgel történnek 06 UTC-kor. A lerakódott deret és zúzmarát műanyag vonalzóval kis edénykébe kell söpörni. Az edényke tartalmát fűtött helyiségben fel kell olvasztani, majd az olvadék víz mennyiségét szabványos csapadékmérő üveghengerben, tized mm pontossággal megmérni. A dér és zúzmara lerakódásokkal együtt ónos eső, vagy hó is előfordulhat. Nem kell sem megmérni, sem feljegyezni a csak hulló (ónos eső, hó) csapadék bevonatokat, vagy ha előbbiek dér és zúzmara lerakódásokkal vegyesen fordultak elő.



4. ábra. A zúzmaryamérő korong sematikus ábrája.

A talaj menti legalacsonyabb – ún. kisugárzási (radiációs) – hőmérséklet borszeszes minimum hőmérővel mérik, 0,1 °C-os pontossággal. Értéke naponta egyszer, reggel 06 UTC-kor kerül leolvasásra. A kapillárisban fekete üvegpálcika van elhelyezve, ezt használat előtt a borszesz felszínéhez kell csúsztatni. Ha a hőmérséklet csökken, az alkohol meniszkusza a felületi feszültség következtében a pálcikát magával húzza. Amikor a hőmérséklet emelkedik, az alkohol kitágul, és a kapillárisban előrehalad, a pálcikát azonban az elért legalacsonyabb helyen hagyja. Használat közben a hőmérőnek vízszintesen kell feküdnie, hogy a pálcika a hajszálcsőben saját súlya miatt el ne csússzék. A radiációs minimum hőmérőt mindig úgy kell elhelyezni a tartón, hogy számlappal a talaj felé forduljon, ezáltal elkerüljük a zúzmarya, hó, dér, harmat, stb. lerakódását, illetve kicsapódását a skála feletti üvegrészre, amely a leolvasást megnehezítené. A leolvasás megtörténte előtt nem szabad a hőmérőt helyéről elmozdítani, csak a hossz tengelye mentén átfordítani.

A hőmérőt a talaj felett 5 cm magasságban kell elhelyezni. A felállítás helyének feltétlenül sík és teljesen nyílt, csupasz területnek kell lennie. A hőmérő elhelyezése az e célra készült tartó állványon történik. Helyes beállítás esetén a vízszintesen fekvő hőmérő borszeszt tartalmazó végének középvonala a talajtól pontosan 5 cm-re van. A felállítás magasságát feltétlenül meg kell tartani, mert a talaj közvetlen közelében már néhány centiméteres magasságkülönbség is jelentős hőmérséklet különbséggel járhat együtt. Még nagyobb hiba keletkezne, ha a hőmérő mélyedésbe, vagy dombocskára kerülne kihelyezésre, mert a hideg levegő a magasabb helyekről a

mélyedésekbe folyik. A dombra helyezett hőmérő tehát a helyes értékeknél magasabb, a gödörbe helyezett hőmérő pedig alacsonyabb értékeket mutatna (*Domokos, 2008*).

Hótakaró esetén a radiációs minimumot a hóréteg felszínén kell mérni. Ilyenkor, tartóval együtt, a hó tetejére kell helyezni a hőmérőt. A hőmérő csak az este 18 UTC és reggel 06 UTC közötti időszakban használatos, nappal a hőmérőházikóban kell tartani. Amennyiben ugyanis erős napsütés éri, a hőmérő tönkremegy, mert a felmelegedett borszesz párologni kezd, és a cső jobboldali üres részében kiválik. Így rövidesen lényegesen hidegebbet fog mutatni, mint a valóságos hőmérséklet.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat állomásain mennyiségi és minőségi felhőzet-megfigyelés is történik. Egy terminusi észleléskor az összfelhőzet mennyisége, az alacsony, középmagas és magas szintű felhőzet mennyisége és fajtája kerül feljegyzésre.

Az összfelhőzet (vagy borultság) becslése úgy történik, hogy képzeletben egymás mellé gyűjtjük az égbolt különböző részein előforduló felhőket, és ezután megbecsüljük, hogy ez a képzeletbeli összefüggő felhőtakaró hány nyolcadát (vagy a gyakrabban használt idegen szóval: oktáját) borítaná be az égboltnak. Felhőtlen égboltnál ez a szám 0, teljesen borultnál 8. Megjegyzendő, hogy amennyiben van az égboltnak felhővel borított és felhőtől mentes pontja is, ez a szám csak 1 és 7 közé eshet. Tehát nem adható 0 okta bármilyen kicsi felhőfoszlány, és nem adható 8 okta bármilyen kis felhőmentes-terület előfordulása esetén.

Alapjuk magassága szerint alacsony, középmagas és magas szintű felhőket különböztetünk meg.

Alacsony felhők azok, melyek alapja alacsonyabb, mint 2500 méter. Főként vízcseppecskéket, hideg légtömegben folyékony és szilárd halmazállapotú elemeket vegyesen tartalmaznak. A földi megfigyelőhöz viszonylag közel vannak, így szerkezeti elemeik látszólag nagyobbak, mint a magasabb felhőké. Nappal általában sötétebbek, éjjel viszont világosabbak, min a magasabb szinteken lévő felhők. Magyarországon a lehulló csapadék túlnyomó része 2500 m alatti alapú felhőkből hullik.

A középmagas felhők 2,5 és 7 km közötti magasságban fordulnak elő. Folyékony és szilárd halmazállapotú részecskéket vegyesen tartalmaznak. Csak hajnalban vagy alkonyatkor látszanak nagyon sötétnek. Csapadék általában nem, ha mégis, akkor gyenge intenzitással hullik belőlük.

A magas szintű felhők anyagi összetételükben különböznek a középmagas felhőktől, ugyanis kizárólag szilárd részecskéket (jeget) tartalmaznak. Éghajlatunkon

4 és 13 km közötti magasságban fordulnak elő. A jégfelhők nappal mindig fehérek, többnyire részben átlátszóak. Csapadék sosem hullik belőlük.

Az észlelői gyakorlatban a különböző magasságban lévő felhők mennyiségének becslése az összfelhőzethez hasonlóan történik, és oktáokban kerül feljegyzésre, természetesen alaki jellegüknek megfelelően is osztályozva vannak, de jelen dolgozatban ennek ismertetését mellőzöm.

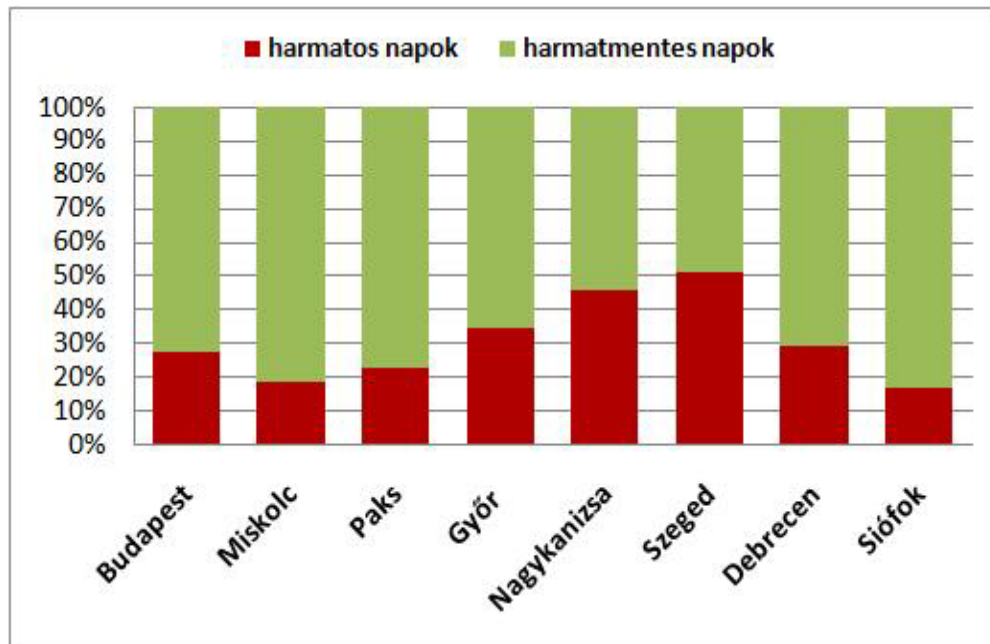
Mivel az automatizálások miatt az egyes állomások mérési programja gyakran változott, olyan állomásokat kellett keresni, ahol az automata zavartalan működése mellett folyamatos volt a 24 órás megfigyelés. Tovább szűkítette a lehetséges állomások körét az a tény, hogy többször előfordult, hogy egy-egy állomás területén belül bizonyos szenzorokat áthelyeztek. Ezek alapján 7 állomás bizonyult megfelelőnek: Budapest, Miskolc, Paks, Győr, Nagykanizsa, Szeged és Siófok. Továbbá Debrecen, ahol éppen a radiációs minimum hőmérséklet mérőhelye változott, ami már-már feledésbe merült, ám az adatok feldolgozása során megmutatkozott. Az elemzések nagy részét azonban nem befolyásolja. E két tényező miatt indokoltnak láttam, hogy a debreceni adatsorral végzett számítások eredményeit is bemutassam. Győr és Nagykanizsa kivételével 10 éves adatsor állt rendelkezésemre, 1999 őszétől 2009 tavaszáig beállt 10 téli félév negatív radiációs minimumos napjait vizsgáltam meg. Nagykanizsa esetében 8, míg Győr esetében 7 évet vizsgáltam, ugyanis 2007 óta ezek az állomások az állomáshálózat átszervezése miatt csak automata mérésekkel rendelkeznek, a vizuális megfigyelések a közeli repülőterekre koncentrálódnak. Győrben 2000 tavaszától volt 24 órás folyamatos megfigyelés. Elhelyezkedésüket tekintve a választott állomások közül a legtöbb síkvidéki állomás, amelyek az országhatáron belül többé-kevésbé egyenletesen helyezkednek el.

### **3.2. Adatleválogatás**

Bár diplomamunkámban a negatív radiációs minimumok melletti harmat és dérképződés körülményeit vizsgálom, a harmat jelentőségének érzékeltetéséhez fontosnak tartom bemutatni, hogy az milyen gyakori jelenség. A szakirodalmakban egyöntetűen hangsúlyozzák a harmat fontosságát. Kísérleti mérésekből a harmat éves átlagos mennyiségére készültek becslések (Szász, 1972). A magyarországi harmatos napok számáról azonban nagyobb időszakot átfogó kimutatás nem készült. Az 5. ábrán



az általam vizsgált, 1999. június 01. és 2009. május 31. közötti időszakban előfordult összes harmatos és harmatmentes napok arányát láthatjuk.



5. ábra. Harmatos és harmatmentes napok aránya 1999 júniusa és 2009 májusa között.

Következő lépésként a vizsgálatba bevont adatbázissal foglalkozunk. Kiinduló pontunk az OMSZ felszíni meteorológiai mérési adatbázisa volt. Az adatleválogatás a radiációs minimum értéke alapján történt. A vizsgált 10 évből azokat a napokat választottam ki, ahol a radiációs minimum hőmérséklet értéke negatív volt. Itt meg kell említeni, hogy a radiációs minimum negatív értéket többségében a téli félévben (október 15-április 15) vesz fel, de ettől különböző időpontokban is előfordulhat, s természetesen a téli félévben sem mindig negatív az értéke.

Leggyakrabban január hónapban süllyed a radiációs minimum hőmérséklet értéke  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  alá – átlagosan az estek 80 %-ában – ami egyébként is leghidegebb hónapunk (Péczely, 2002). Februárban 76 %, decemberben közel 70 % azon napok száma, amikor a talaj fölött 5 cm-rel fagy (1. táblázat). Márciusban a napok több mint a felében mérhető negatív radiációs minimum. Néhány esettel május és szeptember hónapokban is találkozhatunk. Májusban kiugróan sokszor fordul elő a magasabban fekvő Miskolcon. A vizsgált 10 évben mindössze a három nyári hónapunkban nem volt a radiációs minimum hőmérséklet negatív, ezen felül a Balaton közeli Siófokon májusban sem csökkent  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  alá a radiációs minimum. A többi állomáshoz képest itt április és

október hónapokban is arányaiban jóval kevesebbszer fordul elő negatív radiációs minimum. Január hónap az egyetlen, ahol nincs érzékelhető különbség Siófok és a többi állomások között. Az egyéb állomások között nincsenek nagy különbségek, azonban elmondható, hogy Debrecenben még Miskolcnál is többször negatív a radiációs minimum.

állomás\hónap	1	2	3	4	5	9	10	11	12
Budapest	76	76	48	17	1	0,5	18	38	68
Miskolc	81	79	52	15	19	0,3	17	48	73
Paks	79	77	53	23	3,5	1	19	42	66
Győr	76	75	56	25	2	1	18	35	70
Nagykanizsa	84	82	54	24	5	3	21	45	71
Szeged	81	75	53	21	2	1	16	42	69
Debrecen	84	75	57	28	3	2,5	20	55	73
Siófok	81	73	38	5,5	0,5	0	9	29	60

1. táblázat. Negatív radiációs minimumok havi gyakorisága %-ban 1999 ősze és 2009 tavasza között.

állomás\hónap	1	2	3	4	5	9	10	11	12
Budapest	4,6	4,9	5,3	3,2	0,8	0,4	2,6	5,7	4,2
Miskolc	4,8	4,3	7,2	2,5	1,1	0,3	3	4,8	3,1
Paks	4,4	4,5	5,3	4,3	1,7	0,5	3	4,6	4,2
Győr	5,7	5,9	6,3	4,3	1	0,5	4,4	4,2	4,9
Nagykanizsa	5	4,4	5	5,9	2	1,1	4,3	4,6	4,8
Szeged	3,4	3,4	5,5	5,4	1,2	0,7	2,4	5	4,1
Debrecen	4,3	4,4	5,3	5,2	1,4	1,3	3,5	4,3	3,2
Siófok	5,9	6,2	6	2,2	0,3	0	2,4	3,5	6

2. táblázat. Negatív radiációs minimumok havi gyakoriságának szórása 1999 ősze és 2009 tavasza között.

A havi gyakoriságok szórásában sincsenek nagy különbségek. Összességében elmondható, hogy az esetek gyakoriságával a szórás is növekszik, kivéve március hónapot, ahol a legnagyobb az eltérés az egyes évek hónapjai között (2. táblázat).

Mivel a radiációs minimum beállítására 18 UTC-től másnap reggel 06 UTC-ig eltelt 12 óra alatt kerül sor, így a többi meteorológiai paraméter értékét is ebben az időtartamban elemeztem. Állomásonként a radiációs minimum értéke mellett vizsgáltam:

- a felszínhőmérséklet minimumát és negatív tartományban tartózkodásának időtartamát,

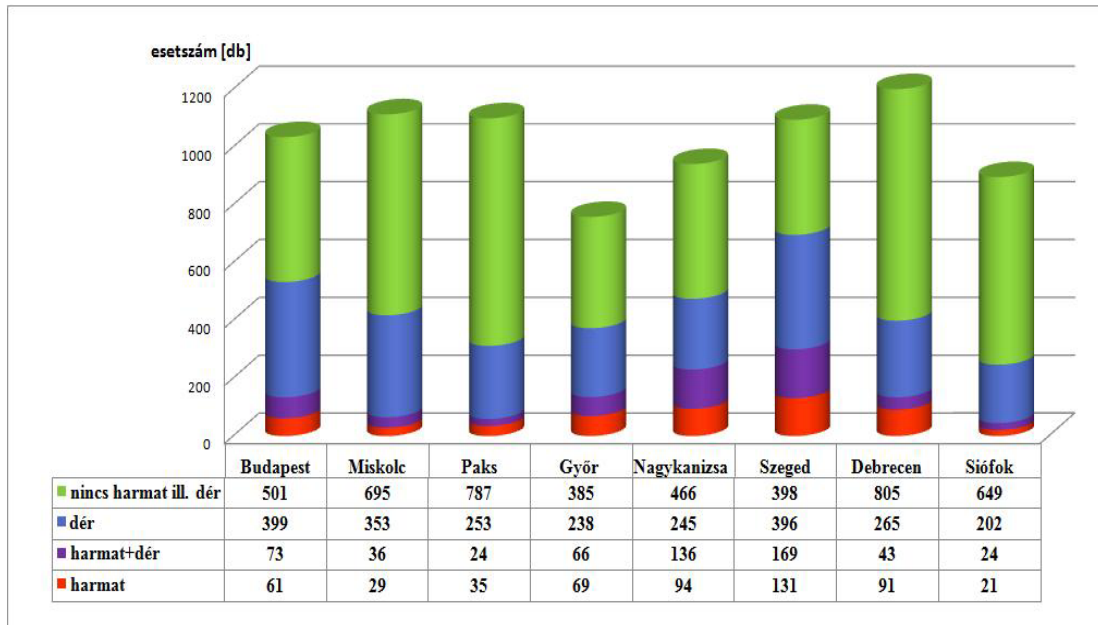
- a 2 méteres magasságban mért harmatpont átlagát és minimumát,
- a relatív nedvesség átlagát és maximumát,
- a szélesség átlagát és minimumát,
- a párányomást,
- az összfelhőzet, az alacsony szintű felhőzet és a közép magas szintű felhőzet átlagmennyiségét,
- a dér és a harmat jelenségek fennállását, illetve időtartamát, valamint
- 5 centiméteres mélységben a talajhőmérséklet átlagát és minimumát.

A harmat és a dér jelenségek időtartamáról a feljegyzések alapján perces pontosságú információm volt, amit azonban órákra kerekítettem. Ugyanis a felszín-hőmérséklet negatív tartományban tartózkodásáról órás közelítések készültek.

Első lépésként az egyes állomások adatait 3 csoportra bontottam, annak alapján, hogy a radiációs minimum leolvasását megelőző 12 órában harmat, illetve dérképződés jelensége megfigyelhető volt-e. Az első csoportba kerültek azok a napok, ahol harmatképződés megfigyelhető volt, a második csoportot alkotják a deres napok, míg a harmadik csoport azokat a napokat tartalmazza, ahol sem harmat-, sem pedig dérképződés nem volt. Az első és második csoport között van átfedés, ugyanis többször előfordult, hogy egy-egy 12 órás időszak alatt harmat- és dérképződés is volt. A harmatos napok elkülönítése kizárólag a jelenségek megfigyelése alapján történt, míg deres napok esetében összegeztem a dér jelenségek szerinti megfigyelését, és a dérkorong reggeli leolvasásának eredményét. Gyakran előfordult, hogy a 12 óra folyamán dér jelensége volt megfigyelhető, a korong leolvasásakor azonban már nem volt nyoma. Az esetek elenyészően kis százalékában az a fordított helyzet állt elő, hogy a korongon megjelent a dér, a jelenségek között azonban nem szerepelt. Ezeket észlelési hibának tekintettem, valószínűsítve, hogy az észlelő a jelenségek rovatban nem tüntette fel a deret. Annak ellenére, hogy a zúzmara többnyire függőleges irányú lerakódást képez, felmerült a kérdés, hogy a megfigyelt mikrocseppek esetleg a zúzmarának a talajon történt kicsapódása vagy kifagyása. A felvetést elvetettem, ugyanis az állomásokon zúzmaramérések is történnek, ami kizárja az esetleges téves rögzítést.

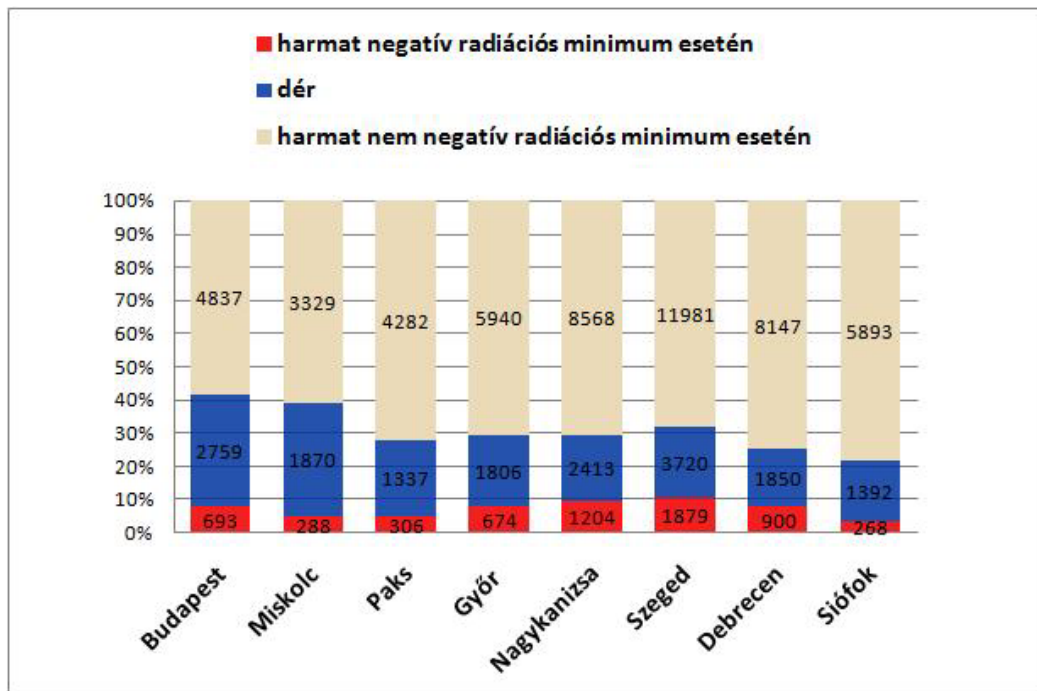
A szétválogatás eredményeképpen megkaptam, hogy állomásonként, a vizsgált időszak alatt hányszor fordultak elő az egyes jelenségek külön-külön, illetve együttesen, valamint, hogy hány esetben nem történt kicsapódás. A negatív radiációs minimumos napok átlagos évi száma 76 és 120 között változott. Az egyes állomásokon különböző

gyakorisággal fordult elő harmat és dér. Az előfordulások gyakorisága állomásonként a 6. ábrán látható. Emellett külön megvizsgáltam az egyes jelenségek fennállásának időtartamát. Az órás eloszlás a napihoz hasonló jelleget mutat.



6. ábra. A harmat, a dér és együttes előfordulásuk esetszámai az egyes állomásokon 1999 ősze és 2009 tavasza között (tíz év) negatív radiációs minimum mellett.

Megvizsgáltam továbbá, hogy ezen esetszámok milyen arányban vannak a szóban forgó időszak alatt előfordult összes harmatos nappal, illetve órával. Mind a harmatos napok, mind a harmatos órák tekintetében elmondható, hogy a negatív radiációs minimum mellett bekövetkezett harmatképződés kb. 10%-a az összes harmatos esetnek, ami azt mutatja, hogy a harmat fennállásának időtartama átlagosan megegyezik a nyári és a téli félévben. Ha a pozitív és negatív radiációs minimumok mellett képződött mikrocsepdek (zúzmara nélkül) arányát nézzük, megállapítható, hogy átlagosan az esetek 30 %-a negatív radiációs minimum mellett történik (7. ábra).



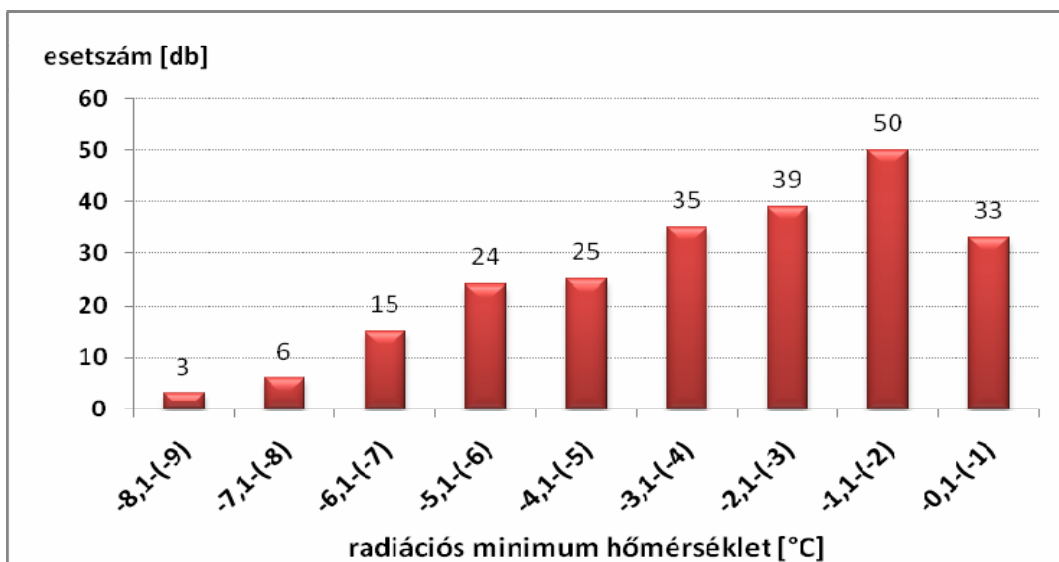
7. ábra. A negatív radiációs minimum melletti harmatos és deres órák, valamint a nem negatív radiációs minimum melletti harmatos órák száma és aránya 1999 ősze és 2009 tavasza között.

## 4. A megfigyelési adatok vizsgálata, eredmények

### 4.1. Gyakoriság vizsgálatok

#### 4.1.1. A harmat és a dér előfordulásának gyakorisága

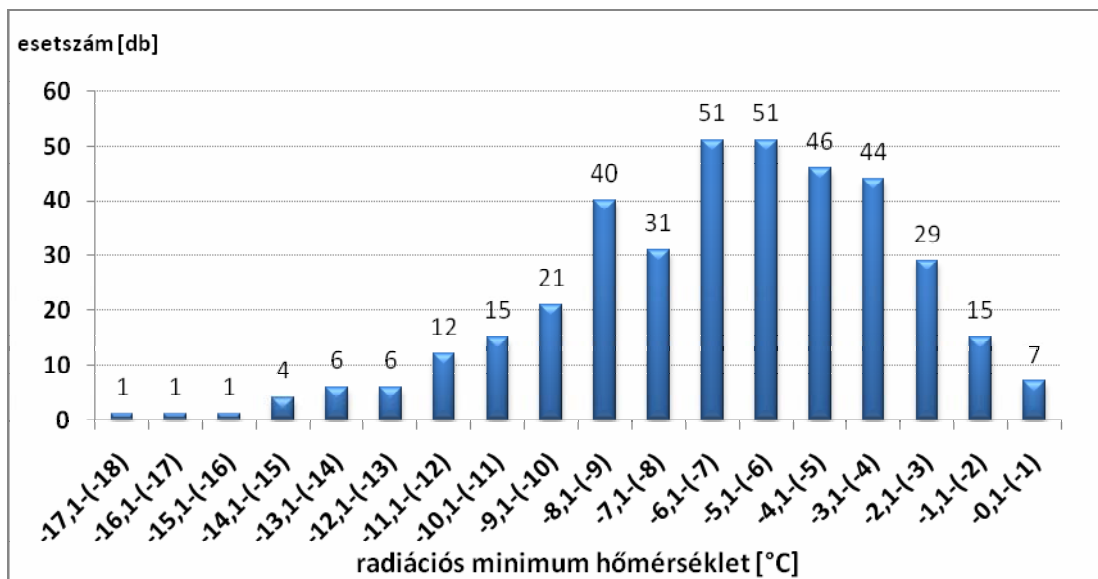
A vizsgált időszak alatt a legalacsonyabb radiációs hőmérsékletet Pakson mérték,  $-30,1\text{ °C}$ -ot, míg Budapesten  $-22,0\text{ °C}$ -nál alacsonyabb érték nem fordult elő. A többi állomáson a legalacsonyabb radiációs hőmérséklet e két érték között alakult. A radiációs minimumok eloszlásáról elmondható, hogy legtöbbször a  $-1,1\text{ °C}$  és  $-2\text{ °C}$ , valamint a  $-2,1\text{ °C}$  és  $-3\text{ °C}$  közötti tartományokba eső értéket veszik fel. Az ezektől hidegebb értékek előfordulása többé-kevésbé egyenletesen csökkenő tendenciát mutat. Meglepő, hogy a  $-0,1\text{ °C}$  és  $-1\text{ °C}$  közötti tartományban ritkábban veszi fel a radiációs hőmérséklet a minimumát, mint az egy, illetve két fokkal hidegebb tartományban. Ez a vizsgált összes állomás esetében így alakult, a legnagyobb különbség (1:2) arányban Nagykanizsán adódott (8. ábra).



8. ábra. A radiációs minimumok eloszlása harmatképződés esetén Nagykanizsán.

A harmatos napok száma (negatív radiációs minimum hőmérsékletek mellett) állomásonként eltérő, legtöbbször Szegeden (300), legkevesebbszer Siófokon (45) fordult elő. Harmat általában  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  feletti hőmérséklet mellett fordult elő, de több állomás esetében ennél alacsonyabb radiációs minimum mellett is regisztráltak harmatot. A legalacsonyabb radiációs minimum értéke, ami mellett harmatot is feljegyeztek  $-14,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Miskolc).

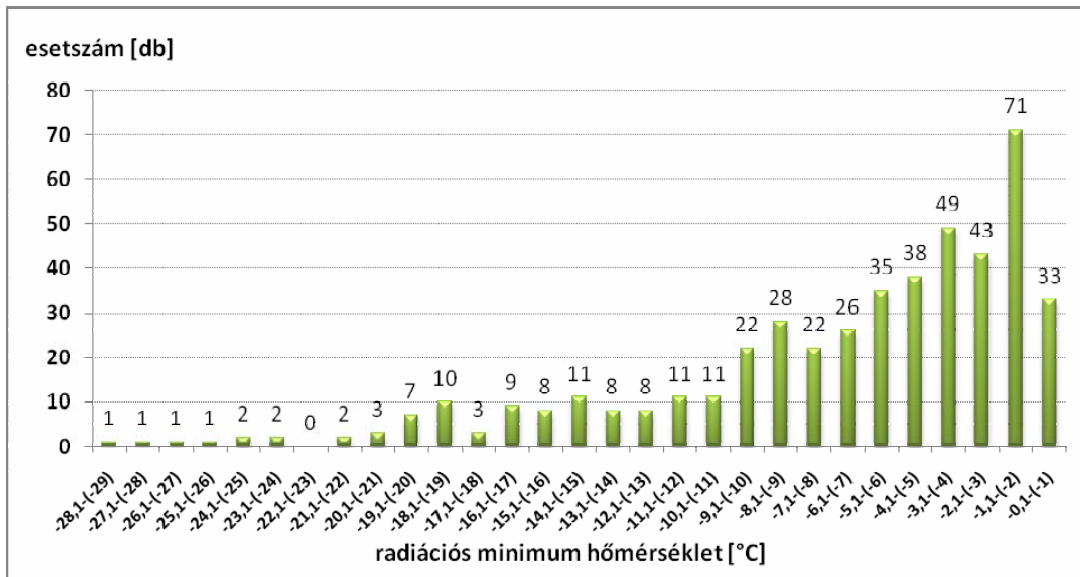
A legtöbb deres nap (565) szintén Szegeden volt a vizsgált 10 évben, ami az állomás negatív radiációs minimumos napjainak több mint 50%-a. A legkevesebbet (226) Siófokon regisztrálták, ami 25%-a az összes esetnek. A radiációs minimumok csökkenésével átlagosan  $-5 - -7\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig egyenletesen növekszik a dér előfordulásának gyakorisága, majd a maximumot követően egyenletesen csökken  $-15 - -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig. E hőmérsékletek alatt, már kevés alkalommal fordul elő dér, s eloszlása sem egyenletes, aminek oka a mikrofizikai magyarázaton túl (kis nedvességtartalom) e radiációs minimum hőmérsékletek ritka bekövetkezése (9. ábra). A leghidegebb radiációs minimum hőmérséklet, ami mellett deret regisztráltak  $-25,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Szeged).



9. ábra. A radiációs minimumok eloszlása dérképződés esetén Nagykanizsán.

A legnagyobb különbség az egyes állomások radiációs minimumainak eloszlásában, abban az esetben volt, amikor nem volt sem harmat- sem dérképződés (10. ábra). Az állomások felére igaz a kezdetben növekvő majd csökkenő tendencia, Siófok és Győr esetében a radiációs minimum értékek csökkenésével egyenletesen

csökken gyakoriságuk is, míg Miskolc és Debrecen esetében  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig közel azonos esetszámok figyelhetők meg, s csak ezután kezdődik a többé-kevésbé egyenletes csökkenés. A 10 éves adatsor alapján, a három csoport esetében állomásonként és elemenként átlagokat számítottam. Az így elkészített radiációs minimum hőmérséklet átlagok Nagykanizsa kivételével kb.  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal alacsonyabbak dérképződés esetén, mint amikor a vizsgált mikrocsepdek nem képződtek.



10. ábra. A radiációs minimumok eloszlása Nagykanizsán, abban az esetben, amikor nem történt harmat- illetve dérképződés.

#### 4.1.2. A relatív nedvesség hatása

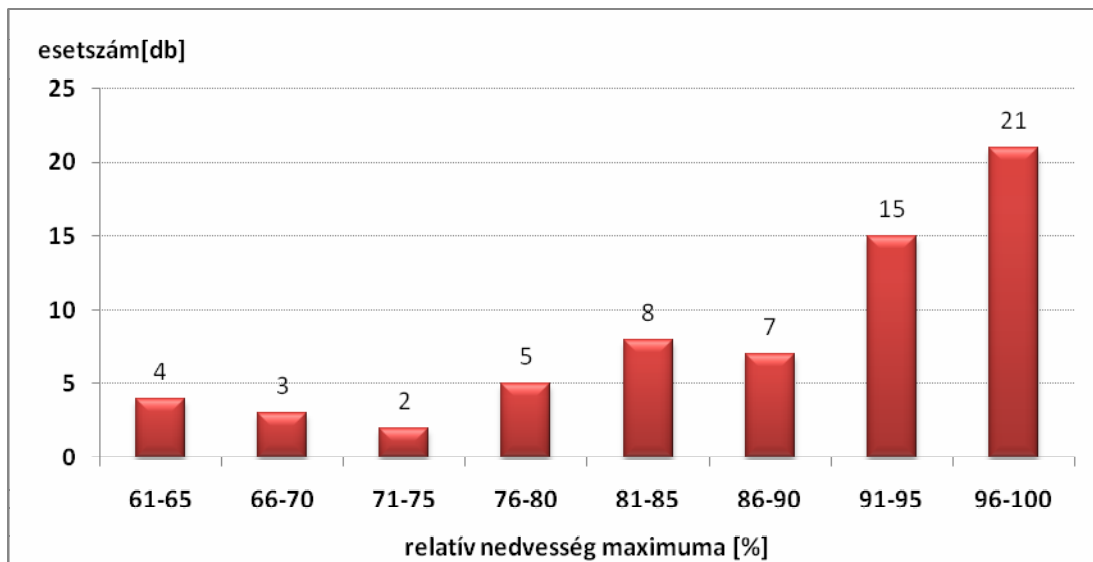
A relatív nedvesség vizsgálata során elemeztem a 12 órában (18 – 06 UTC között) mért relatív nedvességek átlagát és maximumát. Az átlagokról elmondható, hogy harmatképződés esetén átlagosan 2–3%-kal, dérképződés esetén 4–5%-kal magasabb értékeket mértek, mint abban az esetben, mikor ezen jelenségek egyike sem fordult elő. A relatív nedvesség maximumát illetően megfordul a jelleg a harmat és a dér között; a magasabb értékek harmatképződés esetén gyakoribbak. Mindez az eloszlás jellegében is megmutatkozik.

Általánosságban elmondható, hogy negatív radiációs minimum hőmérséklet esetén a relatív nedvesség maximuma leggyakrabban 95% és 100% közötti értéket vesz fel az éjszaka folyamán. Az ettől alacsonyabb értékek előfordulásának gyakoriságát



egyenletesen csökkenő tendencia jellemzi. A relatív nedvességek maximumának legkisebb értékei között állomásonként jelentős különbségek vannak. Az eloszlás jellegében elsősorban a harmat- és a dérképződések esetén figyelhető meg eltérés.

Harmatképződés esetén a relatív nedvesség maximuma a legtöbb esetben 90% fölött alakul, s meglehetősen ritkán süllyed 80% alá (Megjegyezzük, hogy ez a 2 m-es szinten mért érték.). A legalacsonyabb maximum harmatképződés mellett 61% volt. Paks kivételével 61% és 80% között minden állomáson regisztráltak néhány esetet. A 11. ábrán látható a harmatképződés esetén mért maximális relatív nedvesség eloszlása Miskolcon, ami az átlagostól abban tér el, hogy alacsony maximum érték mellett is viszonylag sok esetszám volt.

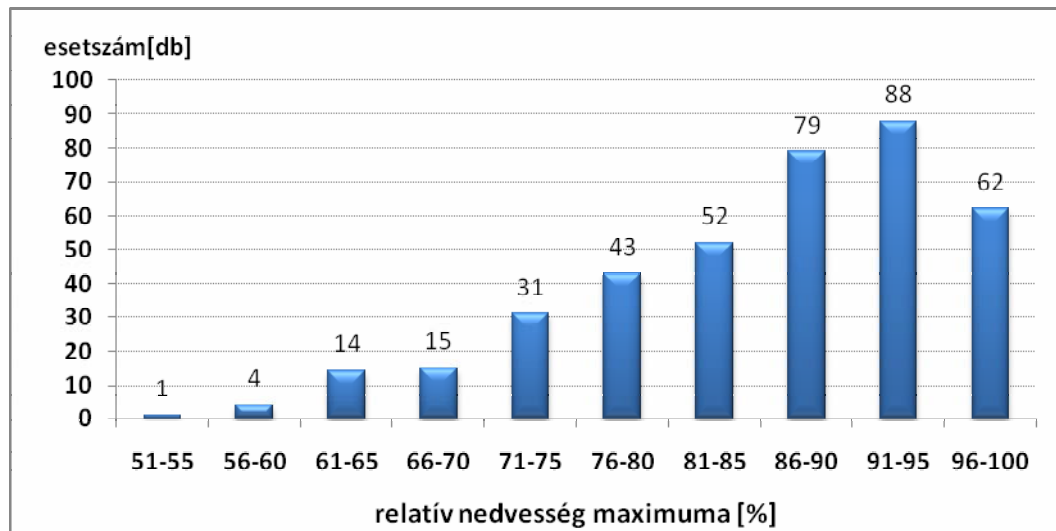


11. ábra. A relatív nedvesség maximumának eloszlása Miskolcon harmatképződés esetén.

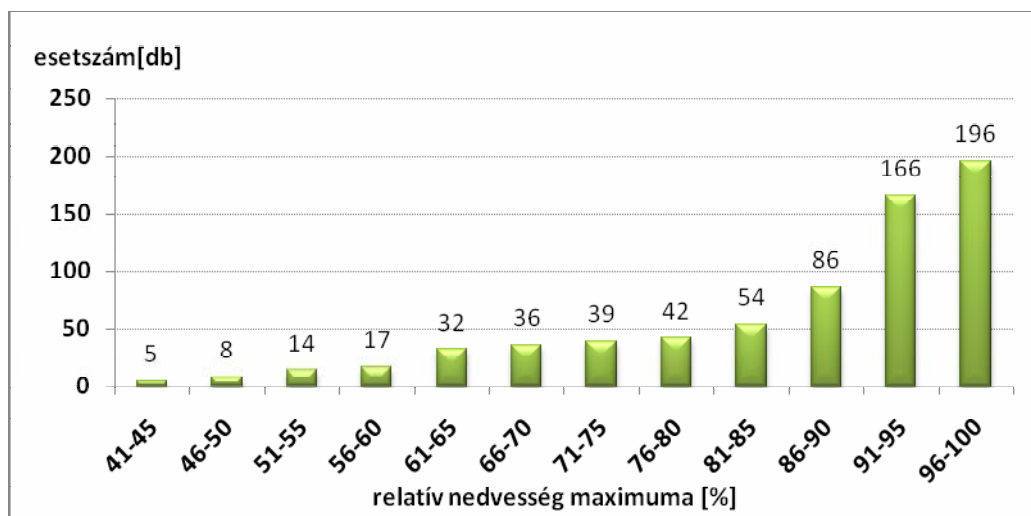
Dér esetében a maximum értékek nagyobb gyakorisággal vesznek fel alacsonyabb értékeket. A legnagyobb esetszám 90% és 95% közötti (12. ábra). Ettől alacsonyabb relatív nedvesség maximumok mellett az esetszám is egyenletesen csökken az 50%-os értékig. 50%-nál alacsonyabb relatív nedvesség maximum mellett mindössze egyszer fordult elő dér az összes állomás tekintetében.

Abban az esetben, amikor nem volt harmat, illetve dérképződés, a relatív nedvesség maximumának egyenletes csökkenése figyelhető meg (13. ábra). Ekkor

átlagosan 10%-kal alacsonyabb maximumok is előfordultak – a legalacsonyabb maximum 38% volt (Debrecen).



12. ábra. A relatív nedvesség maximumának eloszlása Miskolcon dérképződés esetén.

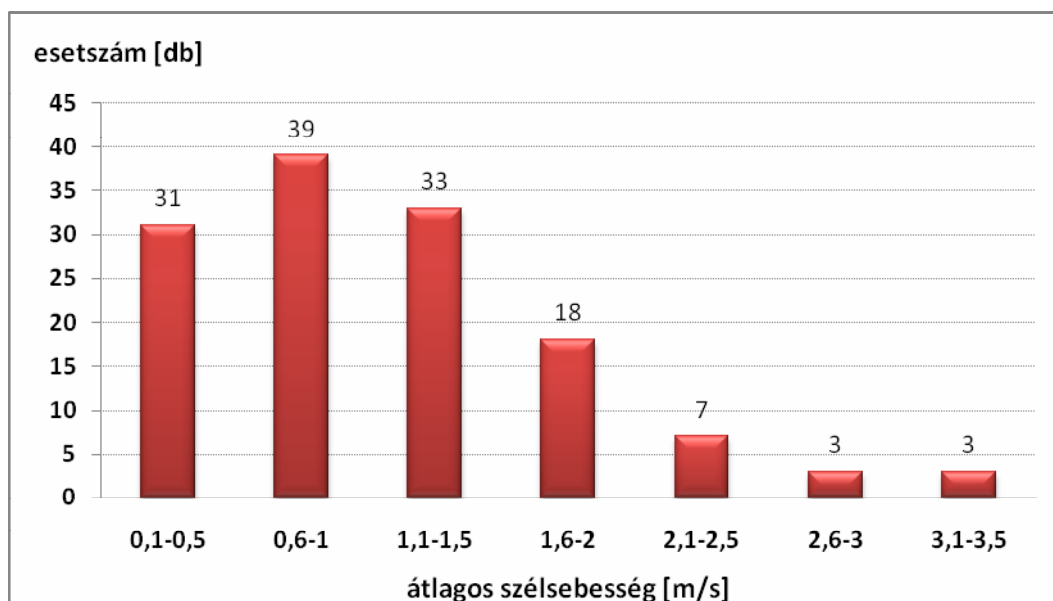


13. ábra. A relatív nedvesség maximumának eloszlása Miskolcon abban az esetben, amikor nem történt harmat, illetve dérképződés.

### 4.1.3. A szélesebbesség hatása és eloszlása

A szélviszonyok vizsgálatához rendelkezésre álltak a radiációs minimum leolvását megelőző 12 órában mért átlagos szélesebbességek és szélesebbesség minimumok.

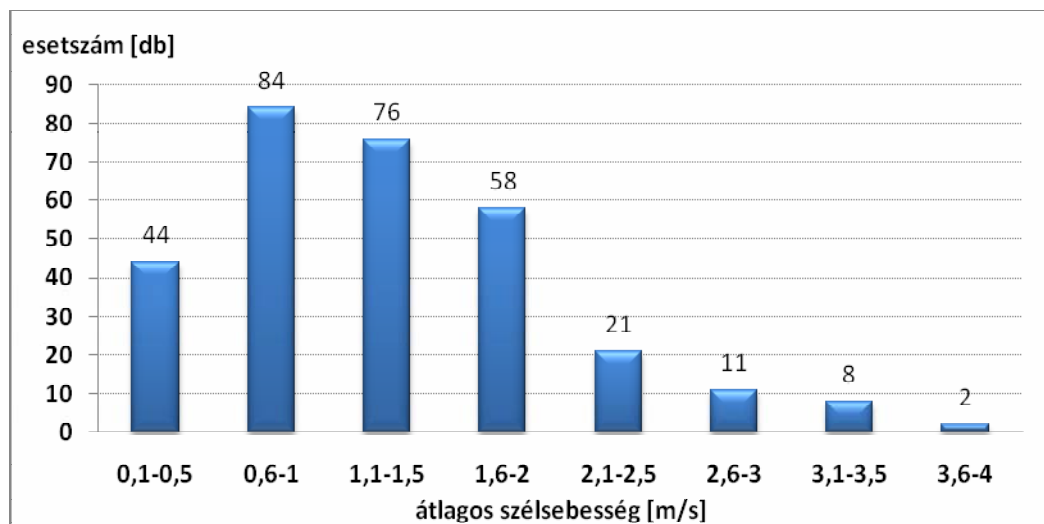
A szélesebbesség erősségében és annak eloszlásában állomásonként jelentős különbségek vannak. Az adatok összességét tekintve elmondható, hogy a szélesebbesség minimumok és átlagok 1 m/s-mal alacsonyabbak harmat- és dérképződéskor, mint amikor nem tapasztalunk ilyen jelenséget (harmadik eset). Kivételt képez Miskolc, ahol a szélesebbesség eloszlása mindhárom esetben hasonló. Az egyes eseteket külön megvizsgálva, ugyanazon az állomáson a harmat- és dérképződéskor mérhető átlagos szélesebbesség és azok minimuma között nincs szignifikáns különbség.



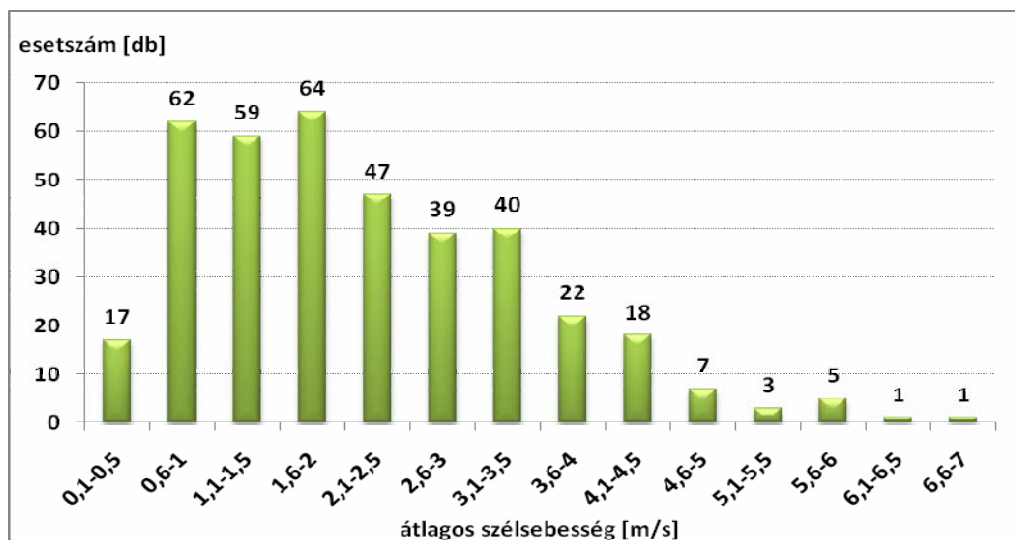
14. ábra. Az átlagos szélesebbesség gyakorisága harmatképződés esetén Győrben.

Harmat- és dérképződés esetén a szélesebbesség átlaga többnyire 0 és 2,5 m/s között alakult, de egy-egy esetben Szegeden és Miskolcon 6,3 m/s sebességű átlagszél mellett is regisztráltak harmatot. Csupán Nagykanizsa esetében nem emelkedett 2,5 m/s fölé a szélesebbesség átlaga. A szélesebbesség eloszlásában állomásonként előfordulnak kisebb különbségek, a sűrűségfüggvény a 0,1 m/s és 1,5 m/s közötti tartományban vette fel maximumát. Győr szélesebbesség gyakoriságai harmat esetében a 14. ábrán, dérképződés esetében a 15. ábrán láthatók. (Az ábrákon 0,5 m/s-os intervallumokat használtunk.) Azokon az

állomásokon, ahol az eloszlás maximuma az 1 m/s alatti tartományok valamelyikébe esett, a szélesebbeségek erősödésével a további esetszámok csökkenése egyenletes, míg ott ahol a maximum a magasabb értékek irányába tolódott, az esetszámok csökkenésében nincs szabályszerűség. A szabálytalanság az erősebb szelek nem egyenletes előfordulásával magyarázható.



15. ábra. Az átlagos szélesebbesség gyakorisága dérképződés esetén Győrben.

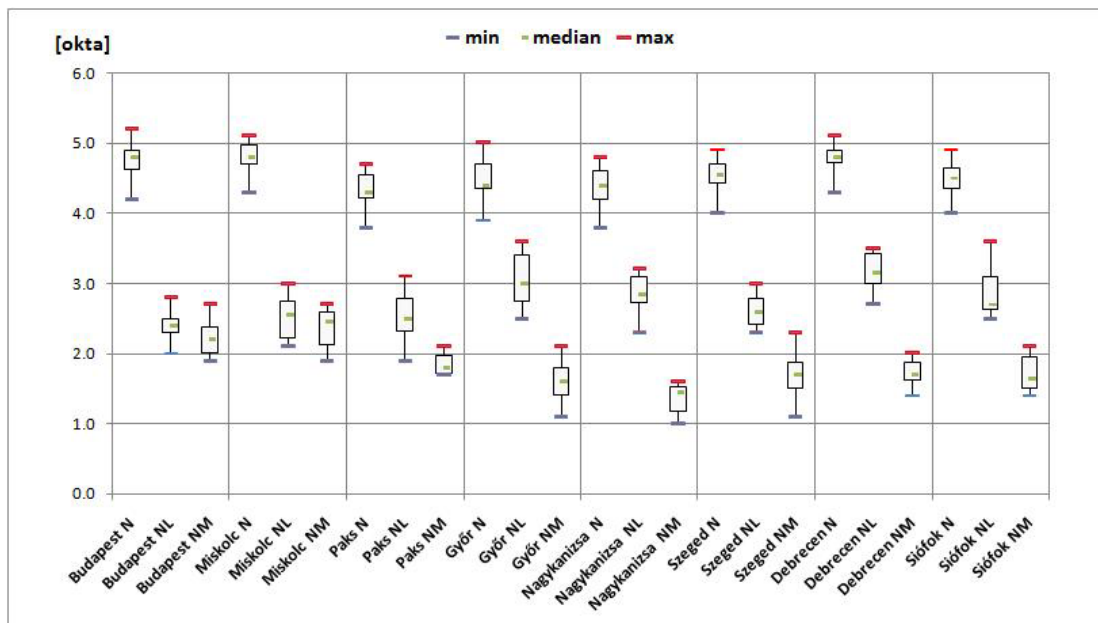


16. ábra. Az átlagos szélesebbesség gyakorisága Győrben, abban az esetben, amikor nem volt harmat- illetve dérképződés.

Abban az esetben, amikor nem volt harmat, illetve dér, az eloszlások maximuma a 0,6 – 2 m/s-es tartományba esett. Gyakori, hogy ezen tartományokban az esetszámok csak kis mértékben térnek el egymástól, 2-3 tartomány a maximum közeli értéket veszi fel. A maximumot követő tartományokban lassan, de többé-kevésbé egyenletesen csökkennek az esetszámok (16. ábra), egyenetlenség itt is a szelesebb állomásokon jelentkezik.

#### 4.1.4. A felhőzet szerepe a nem hulló csapadék képződésében

A harmat- és dérképződés egyik feltétele a derült, vagy legalábbis gyengén felhős égbolt. Korábbi megfigyelések és számítások alapján harmat- és dérképződés esetén az átlagos borultság mintegy 50%-a az évi átlagnak (Szász, 1972). A kijelentés okán megvizsgáltam az egyes állomások átlagos borultságát az elmúlt 10 évben. Az össz-, az alacsony-, és a közép magas szintű felhőzet éves mennyiségének átlaga a 17. ábrán látható.



17. ábra. A felhőzet éves átlagos mennyiségeinek alakulása 1999 és 2008 között a vizsgált állomásokon (N: összfelhőzet, NL: alacsony szintű felhőzet, NM: közép magas szintű felhőzet).

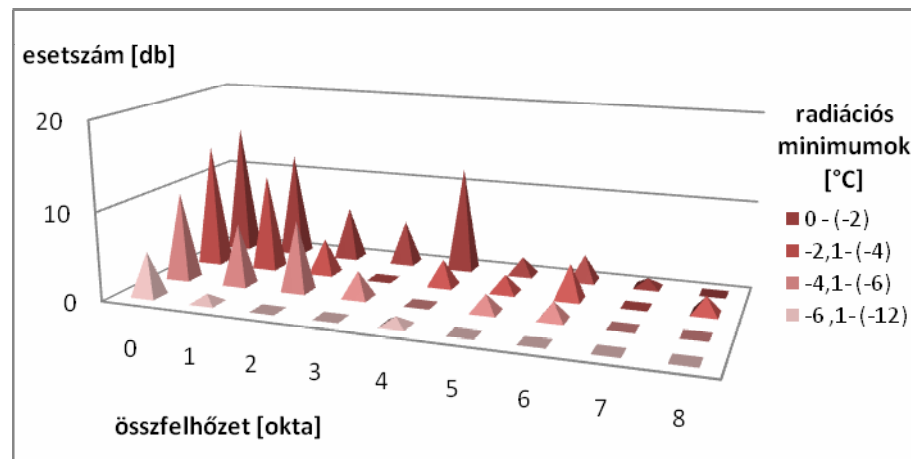
Általánosságban elmondható, hogy az összfelhőzet mennyisége minden állomáson 4 és 5 okta között alakult, néhány évben kevéssel ezen értékek alatt vagy fölött volt. Az alacsony és közép magas szintű felhőzet esetében állomásonként nagyobb különbségek adódtak. A közép magas szintű felhőzet mennyiségének éves átlaga 1 és 3 okta között alakult. Hasonló mértékű eltérés jelentkezett az alacsony szintű felhőzet mennyiségében is. A legkisebb éves átlagos mennyiség 2 oktánál kevéssel alacsonyabb, a legmagasabb pedig 3,5 okta volt. Érdekesség, hogy minden esetben, amikor a közép magas szintű felhőzet átlaga kisebb volt, akkor az alacsony szintű felhőzeté magasabb.

A felhőzet az egyik legmeghatározóbb paraméter a harmat- és dérkeletkezésben. A felhőzet mennyisége mellett annak magassága és típusa is nagy jelentőséggel bír. Az elemzés során mindhárom csoport esetében megvizsgáltam a különböző szinten elhelyezkedő felhőzet átlagos mennyiségét. Az átlag az egyes terminusokban (órás megfigyelésekkor) rögzített felhőzeti adatokból állt össze. Az óránként rögzített összfelhőzet, alacsonyszintű és közép magas szintű felhőzetek mennyiségét átlagoltam a radiációs minimum leolvasását megelőző 12 óra megfigyelései alapján. A magas szintű felhőzettel külön nem foglalkoztam, mivel az egyfelől megjelenik az összfelhőzetben, másfelől sugárzás-visszaverő képessége gyengébb, mint az alacsonyabb rétegekben elhelyezkedőké. Különböző radiációs minimumok mellett vizsgáltam az össz-, az alacsony és a közép magas szintű felhőzet eloszlását harmat- és dérképződéskor, illetve amikor nem történt kicsapódás. A kategóriákat oktánként határoztam meg.

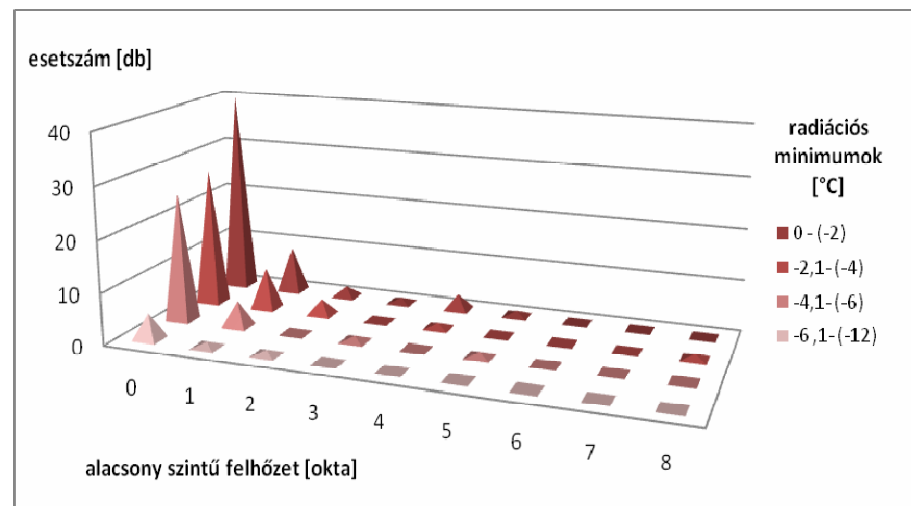
A radiációs minimumokat 4 tartományra osztottam mindhárom csoportban, az egyes tartományok határértékeit az esetszámoktól függően alakítottam ki. (Ezt az egységes felosztást alkalmazom a soron következő ábrákon.)

Harmatképződés esetén a radiációs minimumok tartományai  $-6\text{ °C}$ -ig 2 fokként kerültek kijelölésre,  $-6\text{ °C}$  alatt az eseteket kis számuk miatt egy tartományba tettem. Az összfelhőzet átlagmennyiségének eloszlása harmatképződés esetén állomásonként nem egyenletes képet mutat. Leggyakrabban 0 és 6 okta között változik az összfelhőzet átlagmennyisége; az összes vizsgált adatot tekintve átlagosan 2,2 okta felhőzet borítja az eget harmatképződés esetén. Paks és Siófok állomások kivételével mindenhol 8 okta, vagy azt megközelítő értékek is előfordultak. Szegeden és Nagykanizsán a legegyszerűsebb az eloszlás. Az összfelhőzet mennyisége  $-0,1$  –  $-2\text{ °C}$  közötti radiációs minimum hőmérséklet esetén a 0 és 8 okta közti felhőzeti értékek között arányosan oszlik el. A radiációs minimum csökkenésével ezeken az állomásokon is ritkábban

fordul elő teljes borultság. A többi állomásra jellemzőbb a kevésbé egyenletes eloszlás. Általában 0 és 1 okta környékén az eloszlás felveszi maximumát, a nagyobb mennyiségű összfelhőzet a  $-0,1 - -4^{\circ}\text{C}$  közötti tartományokban csak „rendsztelenül” fordul elő. A hidegebb tartományokra a majdnem teljesen derült égbolt a jellemző (18. ábra).



18. ábra. Az összfelhőzet mennyiségének eloszlása különböző radiációs minimum hőmérsékletek mellett harmatképződés esetén Győrben.

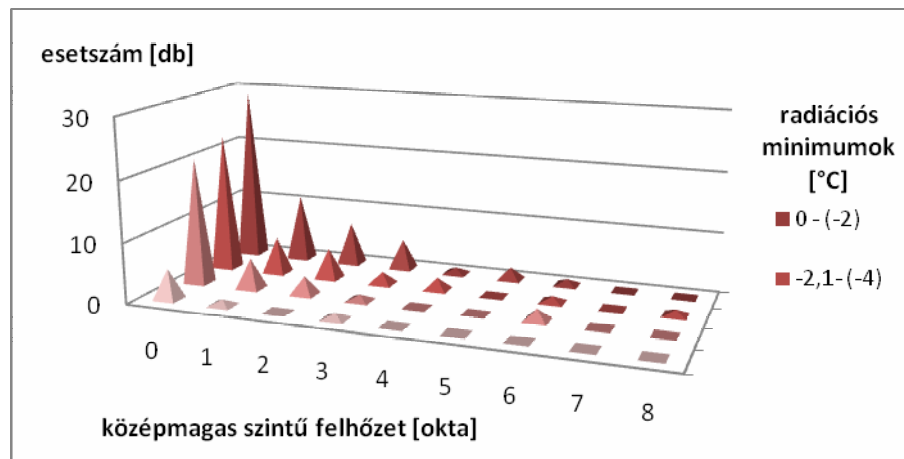


19. ábra. Az alacsony szintű felhőzet mennyiségének eloszlása különböző radiációs minimum hőmérsékletek mellett harmatképződés esetén Győrben.

Az alacsony- és közép magas szintű felhőzetek mennyiségének eloszlása hasonló képet mutat. Minden állomás minden hőmérsékleti tartományában 0 oktánál az eloszlás

felveszi maximumát. Ezután a csökkenés mindkét esetben egyenletes, az alacsony szintű felhőzet esetén azonban jóval meredekebb (19. ábra). Átlagos mennyisége 0,6 okta. 2 oktánál magasabb értékek csak nagyon ritkán fordulnak elő. 5 oktánál nagyobb mennyiségű alacsony felhőzet az állomások felénél volt csak. Szeged és Nagykanizsa esetében előfordult néhány alkalommal, hogy 8 okta alacsony szintű felhőzet mellett harmatot regisztráltak.

A középmagas szintű felhőzet átlaga 1,1 okta. Maximális értéke egyik állomáson sem érte el a 8 oktát, az esetszám többé-kevésbé egyenletesen csökken a felhőzet mennyiségének növekedésével, valamint a radiációs minimum hőmérséklet csökkenésével párhuzamosan csökken a felhőzet mennyisége is (20. ábra).

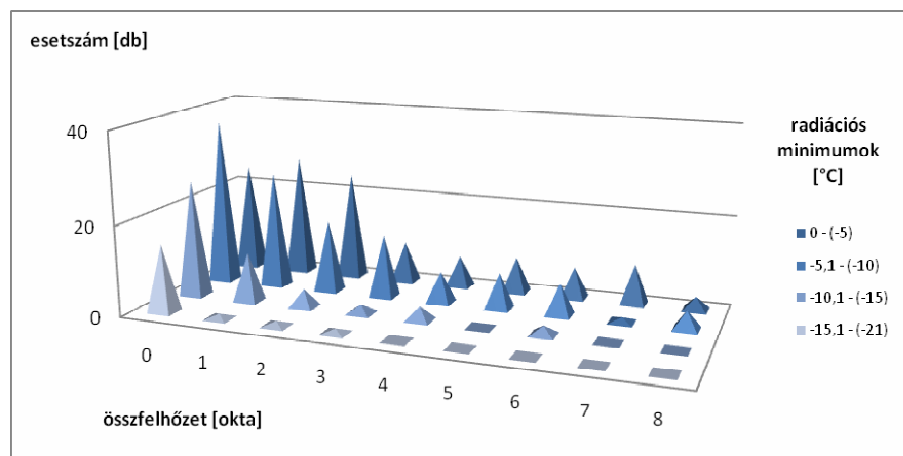


20. ábra. A középmagas szintű felhőzet mennyiségének eloszlása különböző radiációs minimum hőmérsékletek mellett harmatképződés esetén Győrben.

Déreképződéskor és abban az esetben, amikor nem keletkezett harmat, illetve dér, a radiációs minimumok tartományait  $-15\text{ °C}$ -ig 5 fokként jelöltem ki. A  $-15\text{ °C}$  alatti eseteket kis számuk miatt egy tartományba tettem.

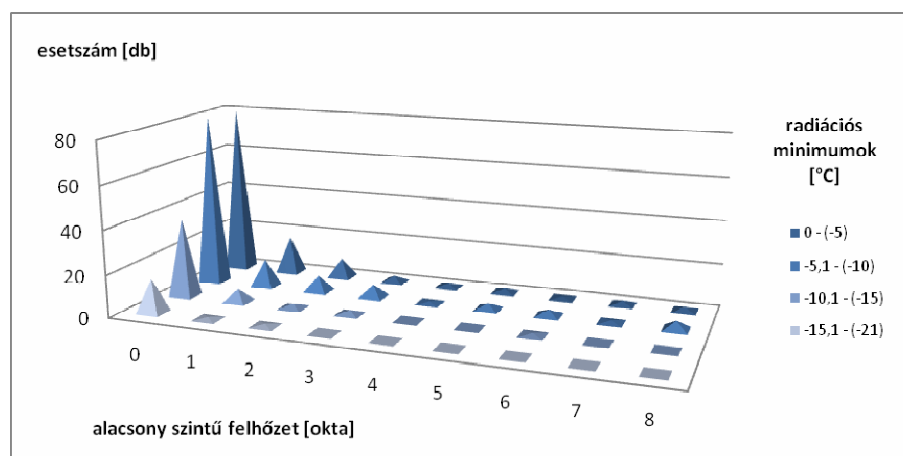
Az összfelhőzet 12 órás átlagmennyiségének eloszlása dérképződéskor két eltérő jelleget mutat. Az állomások többségében az esetszám lassan és egyenletesen csökken, ahogy a borultság növekszik (21. ábra). A többi állomáson is hasonló a borultság-esetszám viszonya, ám 8 oktánál az esetek száma hirtelen megugrik, legfőképpen a  $-0,1\text{ °C}$  –  $-10\text{ °C}$  közötti tartományban. Kivétel nélkül az összes állomáson 0 és 8 okta értékek is előfordultak. Az átlagos borultság csak kevéssel magasabb a harmatképződés esetén megfigyelteknél: 2,4 okta. A harmatképződéshez hasonlóan a radiációs minimum csökkenésével a borultság itt is egyenletesen csökken.





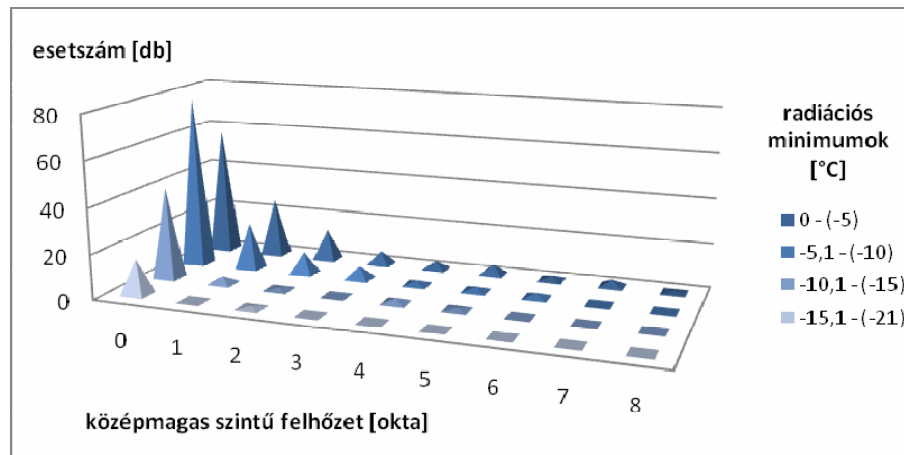
21. ábra. Az összfelhőzet mennyiségének eloszlása különböző radiációs minimum hőmérsékletek mellet dérképződés esetén Győrben.

Az alacsony- és középmagas szintű felhőzet eloszlásának is 0 oktánál van a maximuma. Mindkét felhőszint esetén a felhőzetek mennyiségének növekedésével az esetszámok csökkennek. A harmatképződéshez hasonlóan az alacsony szintű felhőzet növekedésével a csökkenés hirtelen következik be, míg a középmagas szintű felhőzet mennyiségének emelkedésével a deres helyzetek esetszámának csökkenése egyenletes (23. ábra). Különbség viszont, hogy az alacsony szintű felhőzet mennyiségének 8 oktánál másodmaximuma van (22. ábra). Kivétel nélkül az összes állomáson 8 okta alacsony szintű felhőzet mellett megfigyelhető volt dér. Ez az eltérés az összes állomás 10 éves átlagában is megmutatkozik: alacsony szintű felhőzetnél értéke 0,9 okta, a középmagasnál 1,0 okta. A radiációs minimum csökkenésével a felhőzetek mennyisége szintúgy egyenletesen csökken.

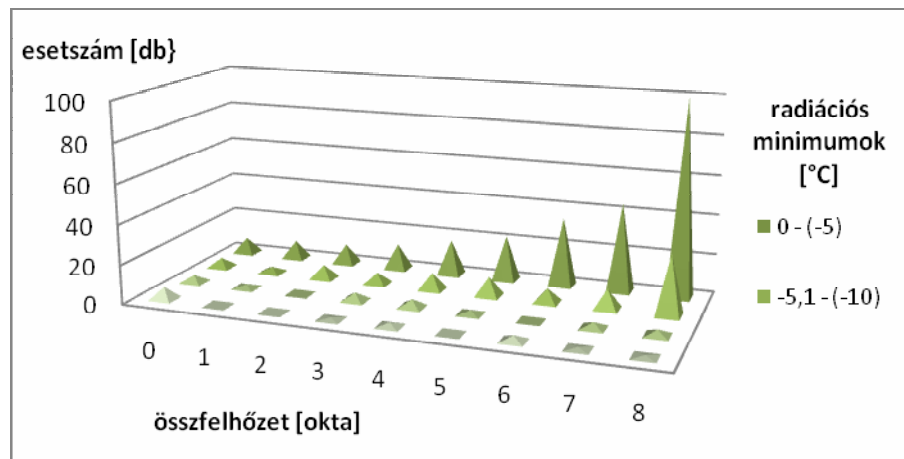


22. ábra. Az alacsony szintű felhőzet mennyiségének eloszlása különböző radiációs minimum hőmérsékletek mellet dérképződés esetén Győrben.

Abban az esetben, amikor nem történt harmat-, illetve dérképződés, az összfelhőzet mennyisége általában magas. A  $-0,1 - -5$  °C közötti tartományban az eloszlás maximuma 8 oktánál van, s a csökkenés egyenletes. A radiációs minimum csökkenésével az eloszlás egyre egyenletesebb lesz. A leghidegebb tartományban az eloszlás maximuma 0 oktánál jelentkezik (24. ábra).



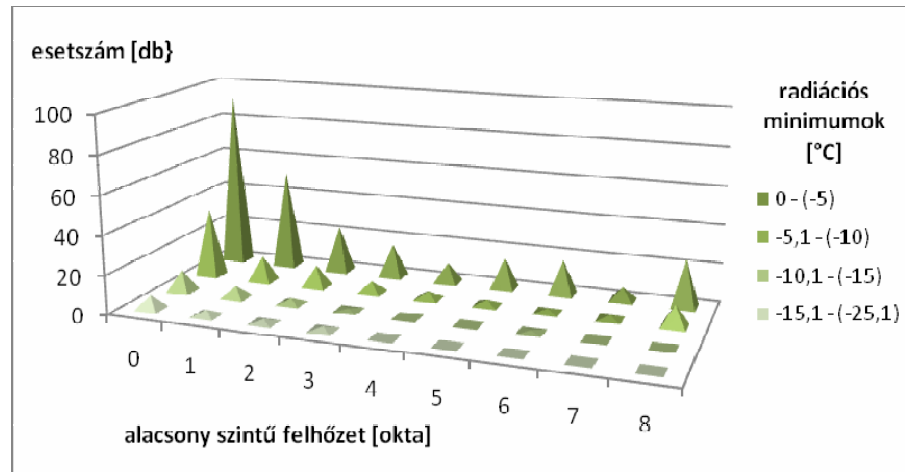
23. ábra. A középmagas szintű felhőzet mennyiségének eloszlása különböző radiációs minimum hőmérsékletek mellet dérképződés esetén Győrben.



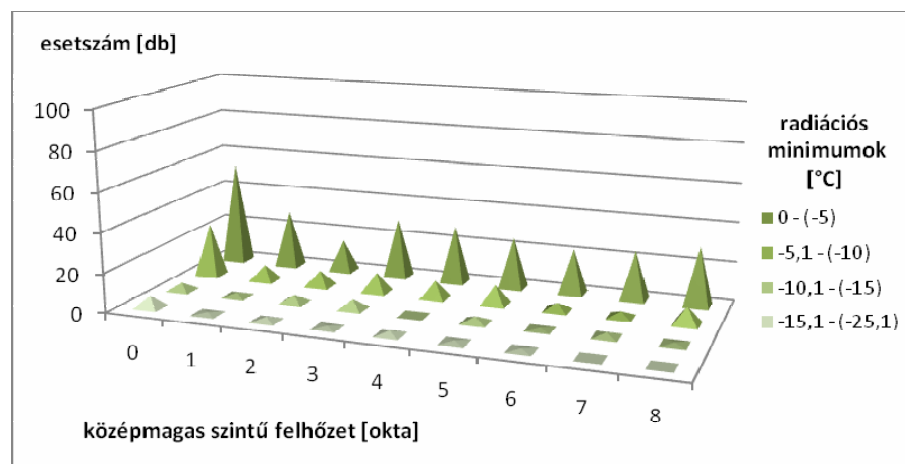
24. ábra. Az összfelhőzet mennyisége különböző radiációs minimum hőmérsékletek mellet Győrben, abban az esetben, amikor nem történt harmat, illetve dérképződés.

Az alacsonyszintű felhőzet eloszlása 0 oktánál veszi fel maximumát minden hőmérsékleti tartományban. A  $-0,1 - -10$  °C közötti tartományban a felhőzet mennyiségének növekedésével az esetszámok kezdetben csökkenő tendenciát mutatnak, majd

4-5 oktától kisebb mértékben ismét emelkednek, s 8 oktánál egy másodmaximum lép fel. A hidegebb tartományokban a csökkenő tendencia végig megmarad (25. ábra). A közép magas felhőzet eloszlása mind közül a legegyenletesebb (26. ábra). Mennyisége legtöbbször 0 okta, 1 és 8 okta között az esetek számában nincs jelentős eltérés.



25. ábra. Az alacsony szintű felhőzet mennyiségének eloszlása különböző radiációs minimum hőmérsékletek mellett Győrben, abban az esetben, amikor nem történt harmat- illetve dérképződés.

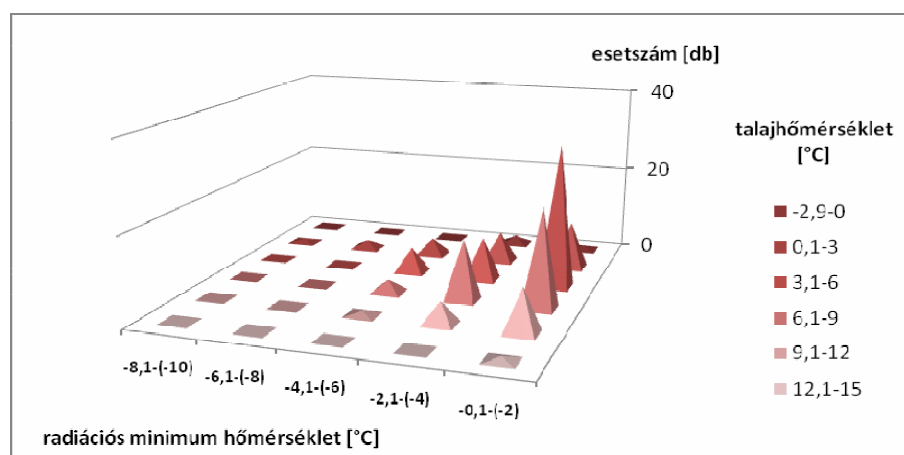


26. ábra. A közép magas szintű felhőzet mennyiségének eloszlása különböző radiációs minimum hőmérsékletek mellett Győrben, abban az esetben, amikor nem történt harmat- illetve dérképződés.

#### 4.1.5. Az 5 cm mélységben mért talajhőmérsékletek eloszlása

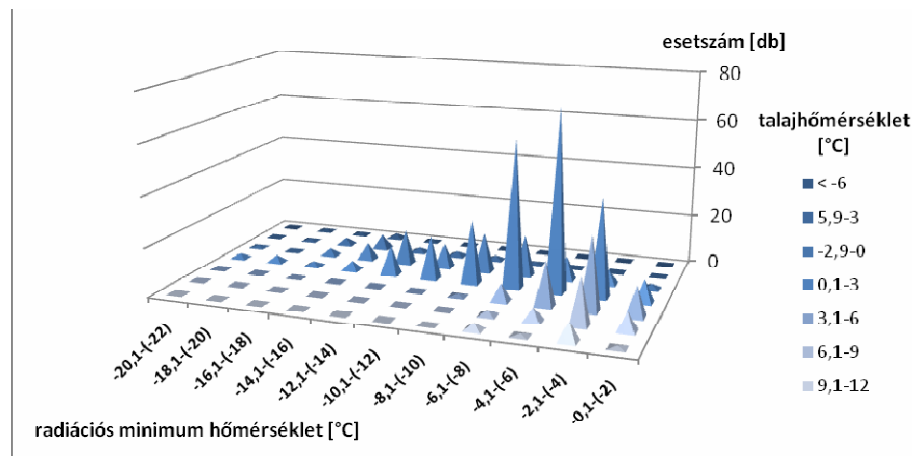
A harmat és a dér a talaj felszínén képződő mikrocsepdek, kialakulásukban a talaj és a levegő állapota egyaránt szerepet játszik. A talajhőmérséklet-ingadozás annál kisebb, minél mélyebbre hatolunk a talajban. Ennek oka, hogy a felszín feletti légréteg hatása már kevésbé érvényesül, a talajhőmérséklet lassabban reagál a léghőmérséklet változásaira (Ács *et al.*, 1991; Ács és Lőke, 2001).

A legfelső mérési szint az 5 cm. Itt a legszorosabb a kapcsolat a talaj – és felszín-hőmérséklet között. Ezért választottam vizsgálataimhoz ezt a réteget. Elsőként megvizsgáltam a megelőző 12 órában mért talajhőmérséklet átlagok és minimumok viselkedését. A radiációs minimum hőmérsékletek csökkenésével a talajhőmérséklet átlagok és minimumok eloszlásának jellegében jelentős különbségek nincsenek. Releváns eltérés érzékelhető azonban a 3 különböző esetben. Az összes állomás figyelembevételével, harmatképződéskor, a talajhőmérséklet átlagok  $-3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  és  $16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  között alakultak, a talajhőmérséklet minimumok pedig  $-3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  és  $13,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  közötti értékeket vettek fel. Harmatképződés esetében átlagosan  $1,5^{\circ}\text{C}$ -kal melegebb a talaj átlaghőmérséklete, mint a minimuma. Dérképződéskor a talajhőmérséklet átlagok  $-3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  és  $15,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  közötti, a minimumok  $-7,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  és  $13,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  közötti értékeket vettek fel. Az átlagos különbség  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Míg abban az esetben, amikor nem történt egyik elem kicsapódása sem, az átlagok és minimumok még közelebb esnek egymáshoz. A talajhőmérséklet átlagok  $-6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  és  $16,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  közötti, a minimumok  $-8,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  és  $13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  közötti értékeket vettek fel.

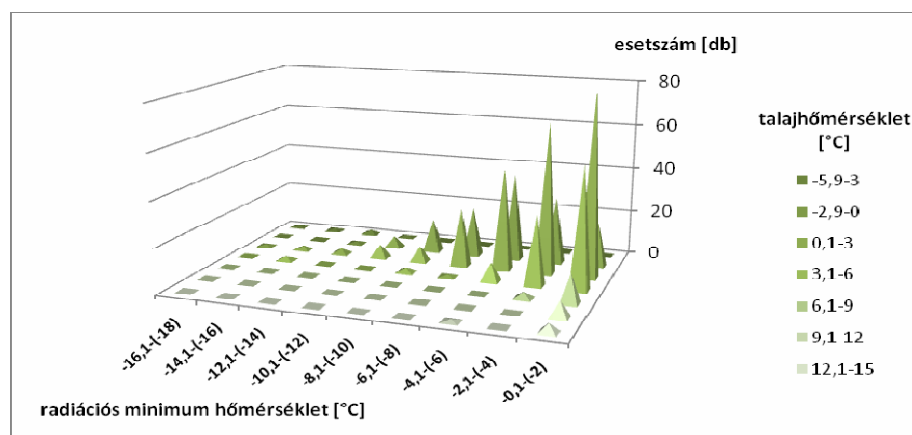


27. ábra. A radiációs minimumok és az 5 cm mélységben mért talajhőmérsékletek viszonya harmatképződés esetén Budapesten.

Különös hangsúlyt fektettem az azonos radiációs minimum hőmérsékletek melletti harmat-, illetve dérképződés esetében mért talajhőmérsékletekre. Összességében elmondható, hogy abban a tartományban ahol mindkét jelenség előfordult, harmatképződés esetén átlagosan 3 °C-kal melegebb volt a talaj, mint dérképződéskor. Harmat idején a legtöbb eset 3 °C és 9 °C közé (27. ábra), míg dér esetében 0 °C és 6 °C közé (28. ábra) esett. A másik jelentős különbség a hidegebb tartományban adódott. A –10 °C alatti tartományban a vizsgált mikrocsapadékok hiányában a talajhőmérséklet minimumok ritkán süllyedtek –3 °C alá (29. ábra) – kivételt képez Siófok, ahol arányaiban is kevesebbszer fordult elő dér. Megfigyelhető bizonyos fokú adatsűrűsödés a 0 °C körüli tartományban, ami a hófelszín szigetelő hatásával magyarázható.



28. ábra. A radiációs minimumok és az 5 cm mélységben mért talajhőmérsékletek viszonya dérképződés esetén Budapesten.



29. ábra. A radiációs minimumok és az 5 cm mélységben mért talajhőmérsékletek viszonya Budapesten, amikor nem volt harmat, illetve dérképződés.

## 4.2. A radiációs minimum hőmérséklet és a felszínhőmérséklet minimum kapcsolata

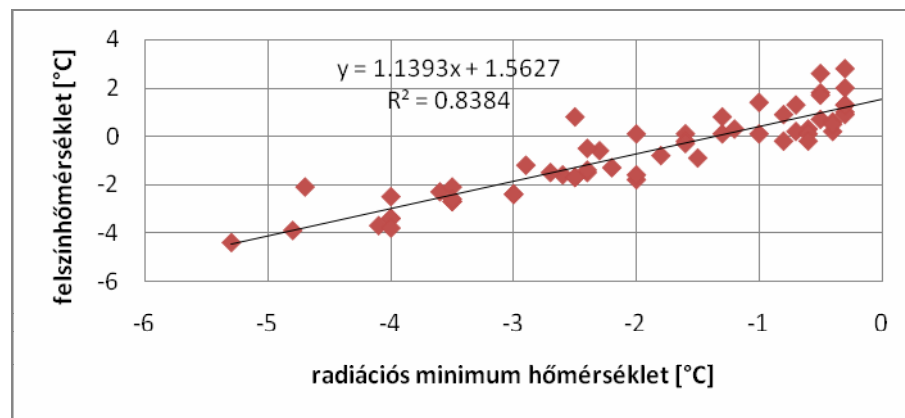
A radiációs minimum hőmérséklet és a felszínhőmérséklet mérése egyaránt 5 cm magasságban, egymáshoz közel történik, lényeges különbség azonban, hogy a radiációs minimum hőmérő árnyékolatlan, a felszínhőmérő viszont árnyékolt, így az nem a talajfelszín közvetlen kisugárzását méri. Jelen esetben a felszínhőmérséklet minimumának a 12 óra alatt felvett legalacsonyabb értéket tekintettem. A három csoportban állomásonként vizsgáltam a hőmérsékleti értékek közötti kapcsolatot. Debrecen esetében az adatsort két részre osztottam, ugyanis 2006. 05. 24-ig a hagyományos mérések a MILOS szenzorjaitól kb. 150 m távolságban, épület-közelben történtek. Az értékpárok között  $y = a x + b$  alakú lineáris elsőfokú függvényeket határoztam meg, ahol  $x$  a radiációs minimum hőmérséklet,  $y$  a felszínhőmérséklet,  $a$  meredekség mutatja a radiációs minimum és a felszínhőmérséklet minimumának arányát,  $b$  értéke pedig megmutatja, hogy mekkora a két hőmérsékleti érték átlagos eltérése. A 3. táblázatban a három csoport egyenletei és determinációs együtthatói láthatók állomásonként. A kapcsolatok erőssége csoportonként és állomásonként is mutat eltérést.

Állomás	Harmat	R <sup>2</sup>	Dér	R <sup>2</sup>	Nincs harmat és dér	R <sup>2</sup>
Budapest	$y = 0,80 x + 1,29$	0,59	$y = 0,68 x + 0,25$	0,70	$y = 0,73 x + 0,56$	0,76
Miskolc	$y = 0,65 x + 1,14$	0,47	$y = 0,55 x - 0,24$	0,52	$y = 0,44 x + 0,04$	0,51
Paks	$y = 1,14 x + 1,56$	0,84	$y = 0,91 x + 0,53$	0,95	$y = 0,81 x + 0,09$	0,85
Győr	$y = 0,93 x + 1,30$	0,89	$y = 0,86 x + 0,69$	0,94	$y = 0,72 x + 0,43$	0,80
Nagykanizsa	$y = 0,98 x + 0,67$	0,80	$y = 0,87 x + 0,07$	0,88	$y = 0,55 x - 0,85$	0,59
Szeged	$y = 0,90 x + 1,51$	0,71	$y = 0,72 x + 0,50$	0,84	$y = 0,80 x + 0,66$	0,85
Debrecen 1	$y = 0,97 x - 0,82$	0,84	$y = 0,87 x - 1,29$	0,83	$y = 0,83 x - 0,27$	0,78
Debrecen 2	$y = 0,89 x + 1,75$	0,60	$y = 0,93 x + 0,81$	0,81	$y = 0,82 x + 0,76$	0,80
Siófok	$y = 0,86 x + 0,95$	0,77	$y = 0,84 x + 0,40$	0,86	$y = 0,71 x + 0,20$	0,82

3. táblázat. A radiációs minimum hőmérséklet és a felszínhőmérséklet kapcsolata.

A hőmérsékleti értékek közötti kapcsolat Győr és Paks esetében a legszorosabb, Miskolcon pedig a leggyengébb. Megvizsgálva mindhárom csoportban a kapcsolatot, megállapítható, hogy az dérképződés esetén a legerősebb (31. ábra). R<sup>2</sup> értéke 0,81 és 0,9 körül alakul Miskolc és Budapest kivételével. A másik két csoportban R<sup>2</sup> értékei tágabb határok között, általában 0,8 körüli értéket vesznek fel.

A regressziós görbe meredeksége ( $a$ ) eltérő az egyes csoportokban. Harmatképződéskor esik legközelebb 1-hez, Paks kivételével alatta marad. Dérképződéskor 0,85 körüli az átlagérték, míg abban az esetben, amikor nem volt harmat vagy dérképződés még kisebb. Miskolc esetében pl. 0,44, ami a legalacsonyabb érték. Az alacsonyabb értékek a hófelszín szigetelő hatásának tulajdoníthatók. A radiációs minimum hőmérőt a hófelszín fölé kell helyezni, így az a hóréteggel borított felszín tényleges kisugárzási hőmérsékletét méri. A felszínhőmérő azonban fix telepítésű, ezért az a hóréteg alatt helyezkedik el, ami pedig szigetel. Így nagy negatív radiációs minimumok esetén is kevésbé alacsony értéket vesz fel a felszínhőmérséklet minimuma. Abban az esetben, amikor nincs hó, a hőmérsékletek közelebb állnak egymáshoz. A miskolci minimumot a magasabb földrajzi fekvésből adódó gyakoribb havas napok száma okozza.



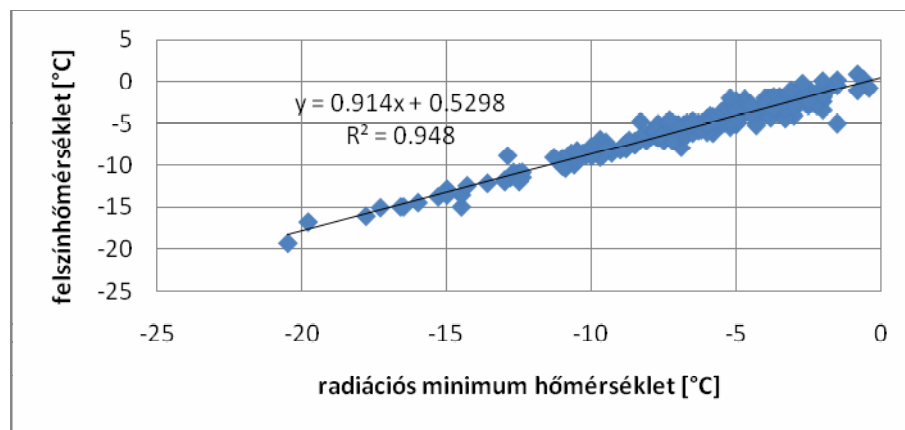
30. ábra. A radiációs minimumok és a felszínhőmérő kapcsolata Pakson harmatképződés esetén.

Nagyobb eltérések jelentkeznek  $b$  értékében. Az előjelet tekintve Debrecen állomás radiációs minimum hőmérőjének áthelyezése előtti adatsora (Debrecen1) esetén negatív, utána  $b$  pozitív értéket vesz fel. Az első esetben a felszínhőmérséklet minimuma mindhárom csoportban alacsonyabb volt, mint a radiációs minimum. A legnagyobb különbségek harmatképződés esetén adódtak, az eltérések átlaga 2.5 °C. Az áthelyezést követően, a radiációs minimum hőmérő nyíltabb területre került, mérési eredményeit nem befolyásolták az épületek, illetve az aszfalt közelsége, s így már a többi állomáshoz hasonlóan, a felszínhőmérő mért magasabb értéket.

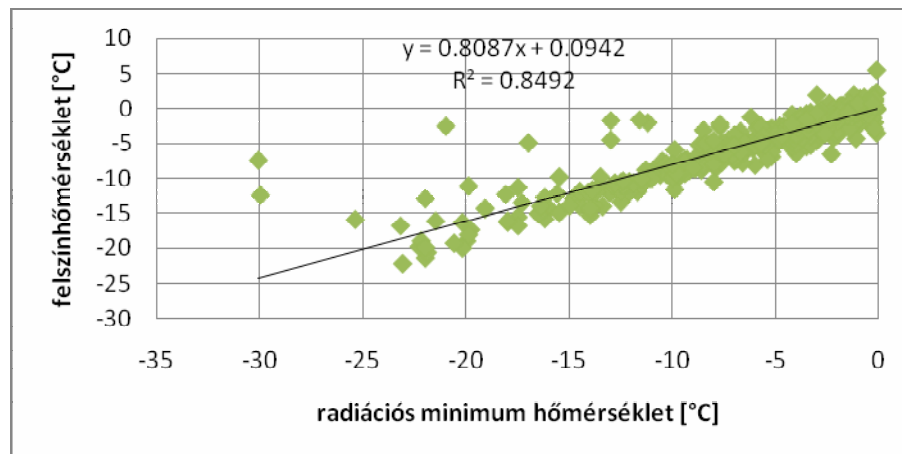
A két mérőhely adatainak elemzéséből jól látható, milyen fontos a műszerkert megfelelő kialakítása. A meteorológiai méréseknél törekedni kell a környezeti feltételek

hosszú távú megtartására, hogy kizárhassuk a környezetváltozástól fakadó „éghajlatváltozásra utaló” hatásokat.

A felszínhőmérséklet minimuma a többi állomás esetében harmatképződéskor átlagosan 1–1,5°C-kal volt magasabb, mint a radiációs minimum (30. ábra). A másik két csoport esetén (31. és 32. ábrák) ez az érték 1°C alá csökkent.



31. ábra. A radiációs minimumok és a felszínhőmérő kapcsolata Pakson dérképződés esetén.



32. ábra. A radiációs minimumok és a felszínhőmérő kapcsolata Pakson abban az esetben, amikor nem történt harmat- illetve dérképződés.



### 4.3. Harmat és dérképződés közel azonos radiációs- és felszínhőmérséklet minimum esetén

Az adatok vizsgálatánál felfigyeltem arra a jelenségre, hogy viszonylag alacsony radiációs minimum hőmérséklet mellett is gyakran képződik harmat, ugyanakkor hasonló, sőt magasabb radiációs minimum mellett a dér jelensége sem ritka. Az okok felderítése érdekében további vizsgálatokat tartottam szükségesnek. *(Emlékeztetünk, hogy a nemhulló csapadék halmazállapota a felszín hőmérsékletétől függ: 0 °C alatti vagy feletti.)* Megnéztem a jelenségek fennállásának és a felszínhőmérséklet negatív tartományban tartózkodásának időtartamát. A felszín feletti hőmérséklet dérképződés esetén hosszabb ideig tartózkodik a negatív tartományban. Azonban többször előfordult, hogy a felszínhőmérséklet a 12 óra folyamán végig negatív volt, mégis 4–8 órán keresztül harmat jelensége volt megfigyelhető.

Erre a jelenségre próbáltam magyarázatot találni, ezért kiválasztottam néhány esetet, ahol a különböző paraméterek napi menetét elemeztem. Olyan eseteket kerestem, ahol közel azonos radiációs – és felszínhőmérséklet minimumok mellett egyszer dér, máskor pedig harmat (és dér) jelensége állt fenn viszonylag hosszabb ideig. A 4. táblázatban láthatóak a későbbiekben részletezett két nap adatai, amelyek alapján a kiválasztás történt. A felszínhőmérsékletek minimuma azonos volt, s a radiációs minimum hőmérsékletek között is csak 0,3 °C különbség volt. Mindkét esetben kevés középmagas szintű felhőzet volt.

Győr	radiációs minimum	felszínhőmérséklet minimuma	Harmatpont minimuma	dér jelenség időtartama	harmat jelenség időtartama
2003. 12. 11.	-5,4	-3,8	-3,4	10	0
2004. 12. 05.	-5,1	-3,8	-3	6	6

4. táblázat. 2003. 12. 11. és 2004. 12. 05. radiációs minimum hőmérsékletei, és a leolvasást megelőző 12 órában a felszínhőmérséklet minimuma, a harmatpont minimuma, valamint a dér, illetve harmat jelenségének időtartama Győrben.

A jelenségek a radiációs minimum leolvasását megelőző 12 órán kívül is fennálltak, ezért nemcsak a 12 órában, hanem az előtte és utána következő 6 órában is vizsgáltam a paramétergörbéket, amelyek a 33-36. ábrákon láthatók, kezdeti és befejező időpontjuk a következő:

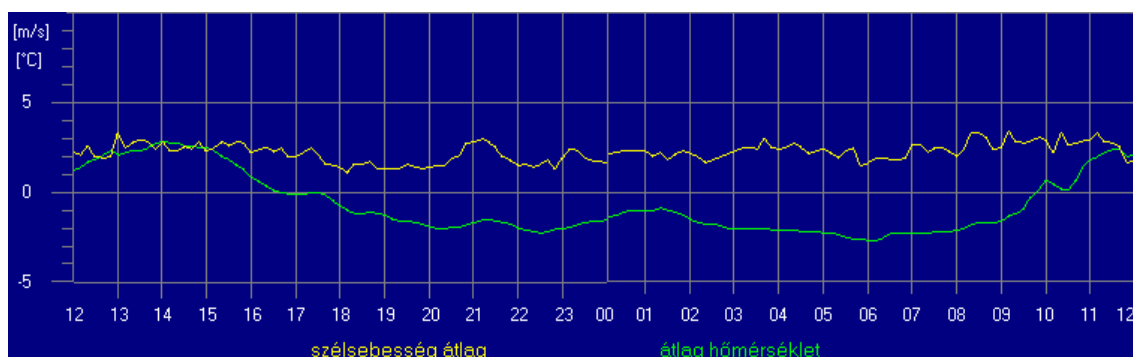
- 2003. 12. 10-én 20 30 CET (Central European Time, közép-európai idő) és másnap 11 30 CET között dér képződött (1. eset);
- 2004. 12. 04-én 18 00 CET és másnap 00 40 CET között harmat, 00 40 CET és 09 20 CET között dér képződött (2. eset).

A 1. esetben a relatív nedvesség 70%-ról kisebb mértékben emelkedett, az éjszaka folyamán 90% körül ingadozott, maximumát reggel 7 óra körül érte el. A szél sebessége átlagosan 2–3 m/s között ingadozott. A hőmérséklet délután 5 órától másnap délelőttig  $-1\text{ °C}$  és  $-3\text{ °C}$  között alakult (33. ábra).

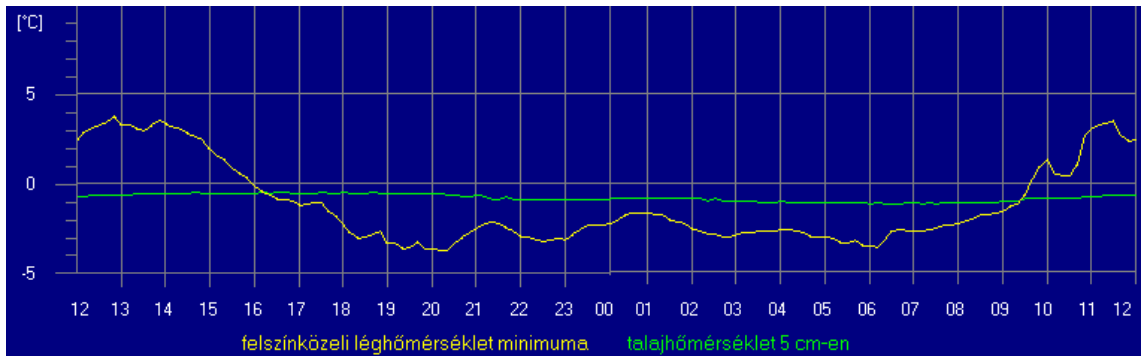
Az 2. esetben a relatív nedvesség 62%-os, 14 órás minimumról intenzíven emelkedni kezdett, s 20 óra körül elérte 97%-os maximumát, a későbbiekben már nem változott. A szélesség a harmatképződés alatt 0-1 m/s között alakult, 23 óra és 1 óra között teljes szélcsend volt, ezután 2 m/s körül ingadozott. A hőmérséklet 20 óra körül 0 fok alá csökkent,  $-2\text{ °C}$ -os minimumát 1 óra körül érte el, ezután intenzíven a pozitív tartományig emelkedett, majd a hajnali órákban újra csökkent (35. ábra). A hőmérséklet gyors emelkedés egybe esett a szélcsend megszűnésével, a szélesség növekedésével.

A felszínhőmérséklet menete (34. és 36. ábrák) a 2 méteres hőmérsékletéhez (33. és 35. ábrák) hasonló mindkét esetben, a két érték közötti különbség azonban eltérő. Az 2. esetben a harmatképződés ideje alatt, nagy a differencia ( $2\text{--}4\text{ °C}$ ), ami a dér megjelenése környékén mérséklődik ( $1\text{ °C}$ ).

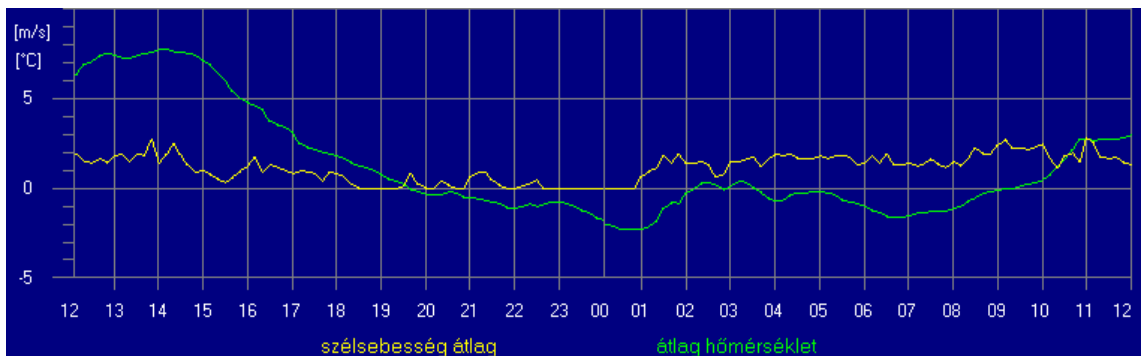
Az 1. esetben a különbség végig  $1\text{ °C}$  körüli. A talajhőmérséklet az 2. esetben  $5\text{ °C}$ -ról egyenletesen süllyedve éri el  $1\text{ °C}$ -os minimumát, a 1. esetben értéke állandó ( $-1\text{ °C}$ ) (34. és 36. ábrák).



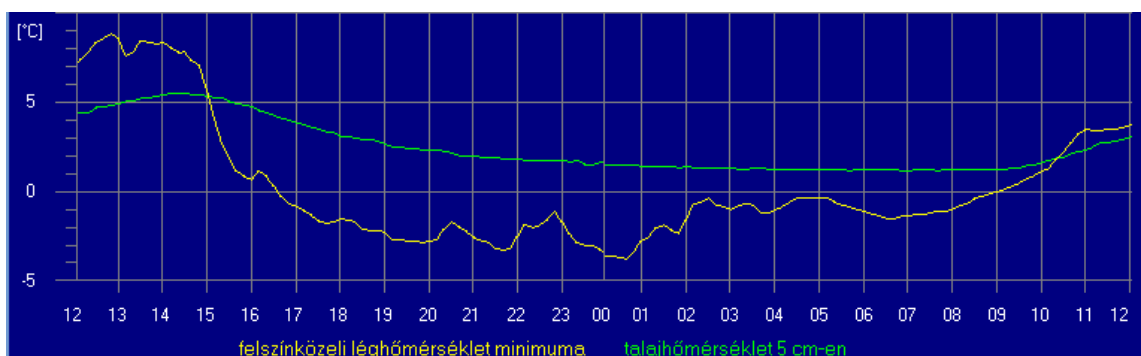
33. ábra. A hőmérséklet (2 m) és a szélesség (10 m) alakulása 2003. 12. 10. 12 00 és 2003. 12. 11. 12 00 között (CET) Győrben.



34. ábra. Az 5 cm mélységben mért talajhőmérséklet és a felszínhőmérséklet alakulása 2003. 12. 10. 12 00 és 2003. 12. 11. 12 00 között (CET) Győrben.



35. ábra. A hőmérséklet (2 m) és a szélsébség (10 m) alakulása 2004. 12. 04. 12 00 és 2004. 12. 05. 12 00 között (CET) Győrben.



36. ábra. Az 5 cm mélységben mért talajhőmérséklet és a felszínhőmérséklet 2004. 12. 04. 12 00 és 2004. 12. 05. 12 00 között (CET) Győrben.

Összességében elmondható, hogy a harmat kialakulásában és fennállásában több tényező együttes hatása érvényesült. Az, hogy a felszín-hőmérséklet  $-2\text{ °C}$  körüli értéke ellenére több órán keresztül harmat volt, a magasabb talajhőmérsékletnek köszönhető. A hirtelen beállt szélcsend miatt fellépő további hőmérséklet csökkenés vezethetett a harmat megfagyásához, amikor már a talajfelszín is kellően kihűlt. Ugyanakkor közel hasonló léghőmérsékleti és szélviszonyok esetén a tartósan negatív talajhőmérséklet következtében nem képződik harmat.

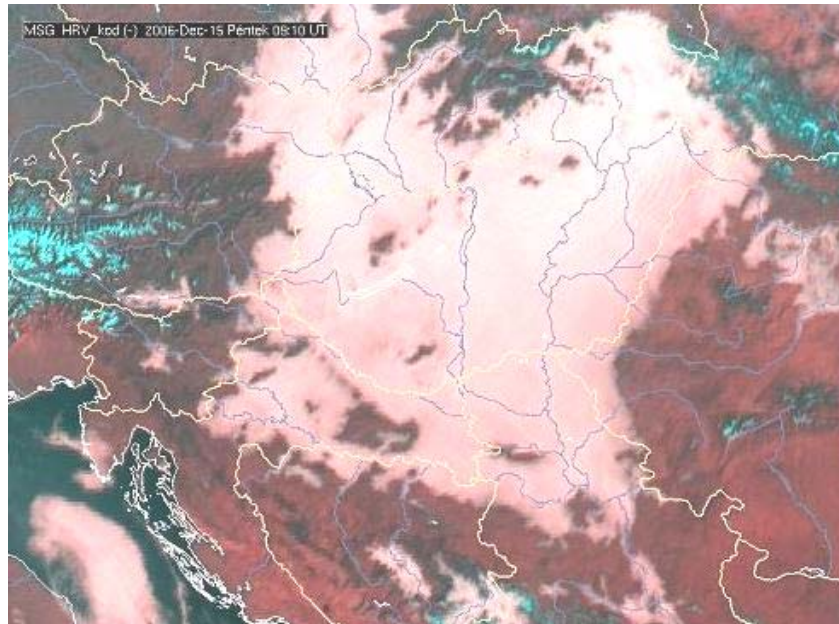
Megállapítható, hogy a harmat, illetve dér előfordulását alapvetően meghatározza a talaj felső néhány cm-es rétegének hőmérséklete, pozitív talajhőmérsékletnél (5 cm-en) az egyéb meteorológiai tényezők függvényében egyaránt megfigyelhetünk harmatot és deret, míg negatív talajhőmérsékletnél a harmatképződésnek kicsi a valószínűsége.

#### **4.4. Dér megfigyelése hideg légpárnás helyzetben**

Dér előfordulásakor, az alacsony szintű felhőzet mennyiségének eloszlásában jelentkező másodmaximum további vizsgálatokat tett indokolttá. Ennek megfelelően azon napok időjárási helyzetét, amikor az alacsony szintű felhőzet mennyiségének átlaga megközelítette, vagy elérte a 8 oktát, részletesebben elemeztem. Elsődlegesen megvizsgáltam az óras látástávolság és a felhőalap magasság értékeket, hogy az esetlegesen téves észlelésből származó zúzmara jelenség fennállásának lehetőségét ki tudjam zárni. Néhány esetben nagy valószínűséggel valóban volt zúzmara kicsapódás, mivel a látástávolság értékek kevéssel, de 1000 m alá csökkentek, emellett az észlelők a nap folyamán zúzmarát is feljegyeztek. Az esetek nagyobb százalékában azonban 3–600 m közötti felhőalapok és 3–6000 méteres látástávolság mellett történt a kicsapódás vagy kifagyás. A felhőzet típusát tekintve stratus, néhol stratocumulus volt.

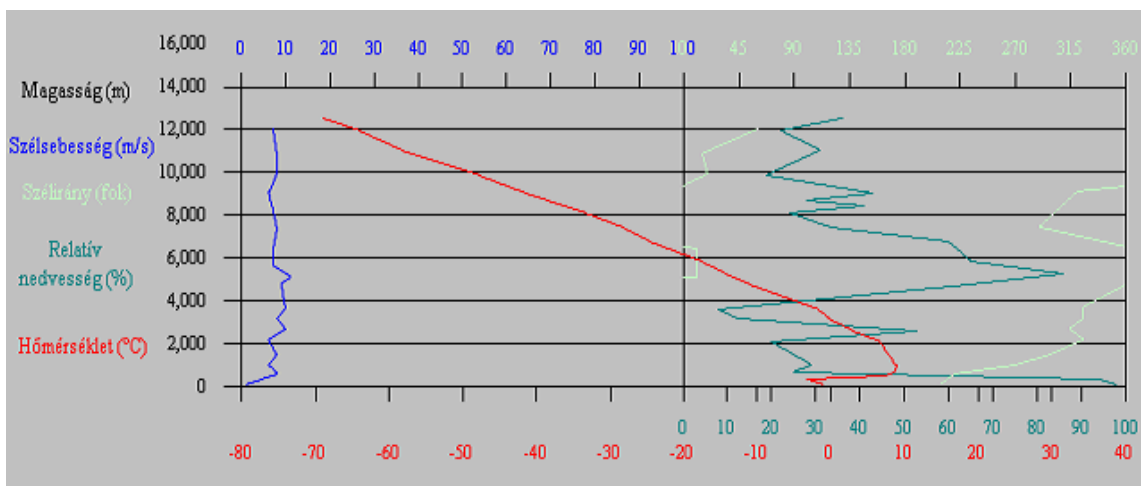
Az NCEP reanalízise (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsreaur.html>), műholdképek (37. ábra), valamint a budapesti és szegedi rádiószondás felszállások adataiból (38. ábra) hideg légpárna jelenlétére következtettem az esetek többségében.

A Kárpát-medence felett elhelyezkedő hideg légpárna fennállásakor a légmozgás gyenge, vagy szélcsend uralkodik, ami a kisugárzási ködök és a finom zúzmara képződésének kedvez a téli időszakban (Otta, 1953).



37. ábra. MSG-HRV műholdkép (2006. 12. 15. 0910 UTC).

A zúzmaraképződés megindulásának egyik feltétele azonban a köd vagy felhő jelenléte. A hideg légréteg vastagodásával, annak nedvességtartalma az inverzió alatt koncentrálódik, a köd pedig gyakran fel is oszlik, de a párásság megmarad. Ilyen helyzetekben a magasabb állomásokon (amelyek benne vannak a felhőben) gyakori a finom zúzmaraképződése (Lambert, 1983).



38. ábra. Vertikális hőmérséklet, szélesség, szélirány és relatív nedvesség profilok a szegedi rádiószondás felszállás alapján (2006. 12. 15. 00 UTC).

Jelen esetben a felhő alatti párás levegőben, a talaj szintjén történt a kicsapódás vagy kifagyás, amiről nem lehet egyértelműen megmondani, hogy dér vagy zúzmara, mivel az általánosan elfogadott zúzmara- vagy dérképződési feltételek csak részlegesen teljesülnek. Mindez az észlelést is megnehezíti.

## 5. Összefoglalás

Dolgozatom célja az volt, hogy részletesen bemutassam a negatív radiációs minimum melletti harmat és dérképződés esetén fennálló meteorológiai körülményeket a magyarországi mérések és megfigyelések alapján.  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  alatti radiációs minimum hőmérsékletek általában október – április hónapokban fordulnak elő, de kora ősszel (szeptember) és késő tavasszal (május) is megfigyelhetők. A dolgozatban a téli félév elnevezés alatt a legkorábbi és a legkésőbbi negatív radiációs minimum hőmérséklettel rendelkező napok közötti időszakot kell érteni. A felhasznált adatbázis tíz téli időszakot (1999 ősze –2009 tavasza) tartalmaz az OMSZ 8 állomásáról, ahol 24 órás folyamatos megfigyelést végeztek.

Negatív radiációs minimum hőmérséklet esetén vizsgáltam a harmat- és dérképződés gyakoriságát. Emellett megvizsgáltam a relatív nedvesség, a szélsébség, a különböző magasságokban előforduló felhőzetek és az 5 cm mélységben mért talajhőmérsékletek eloszlását. Külön elemeztem a radiációs minimum hőmérséklet és a felszínhőmérséklet minimum kapcsolatát. Részletesen elemeztem az azonos radiációs- és felszínhőmérséklet minimumok mellett huzamosabb ideig fennálló dér-, illetve harmatképződés körülményeit, valamint a hideg légpárna helyzetekben megfigyelt dér időjárási körülményeit. Mivel a radiációs minimum hőmérséklet az éjszaka folyamán 18 00 és 06 00 UTC között áll be, e két időpont közötti értékekkel dolgoztam.

Elmondható, hogy negatív radiációs minimum hőmérséklet esetén is gyakori a harmatképződés. Olyan esetekben is előfordult harmat, amikor a felszínhőmérséklet hosszú ideig kellően negatív (akár  $-2$  –  $-4^{\circ}\text{C}$ ) értékű volt. Dér leggyakrabban  $-5$  –  $-8^{\circ}\text{C}$  között keletkezik, de ha a talaj közeli légréteg huzamosabb ideig kevéssel van csak fagypontra alatt, már le tudja hűteni a felszínt, hogy a dérképződés meginduljon. Természetesen a dérképződés feltétele az, hogy a felszín – a mi esetünkben a zúzmaryamérő korong – hőmérséklete nulla fok alatti legyen. *(Megjegyezzük, hogy a harmatpont ennél magasabb is lehet.)*

Déreképződés esetén, a 2 méteren mért relatív nedvesség sűrűségfüggvényeinek átlagos maximuma 91–95% közötti, harmatképződéskor, illetve amikor nem képződik egyik sem, a maximumok a 100 %-ot közelítik. Mindez arra utal, hogy dérképződéskor még erősebb a különbség a talajfelszín és a felsőbb légrétegek közti hőmérsékleti és

nedvesség viszonyokban. Ennek igazolásához profil-mérésekre van szükség, ami további kutatást tesz indokoltá.

Az átlagos szélesség többnyire 0–2,5 m/s között alakul, de 6–7 m/s-os értékek mellett is megfigyelhető mindkét jelenség. Dér esetében a nagyobb szélességek gyakoribbak, aminek az lehet az oka, hogy a deret kevésbé befolyásolja a szél szárító hatása.

A felhőzet mennyisége az egyik legfontosabb meteorológiai elem a harmat- és dérkeletkezés megindulása és fennmaradása szempontjából. Kedvező a kevés, általában < 5 okta összfelhőzet és < 2 okta alacsony szintű felhőzet. Nagy különbségek dér- és harmatképződés között nincsenek, kivéve talán a hideg légpárnás helyzeteket, amikor is 8 okta alacsony szintű felhőzet mellett is megfigyelhető dér.

Természetesen a talaj hőmérséklete a legfontosabb abból a szempontból, hogy a dér vagy harmat közül, melyik fog keletkezni, az egyéb időjárási körülmények hasonlósága esetén. Az 5 cm mélységben mért talajhőmérséklet átlagosan 3°C-kal melegebb harmatképződés esetén, mint abban az esetben, amikor hasonló körülmények között dér keletkezik. Fontos azonban megjegyezni, hogy sajnos ez a mérőpont nem ad elegendő információt ahhoz, hogy a dérképződéshez szükséges, de nem elégséges feltételének mondható 0°C-os hőmérsékletet mikor éri el az adott felszín. Ahhoz, hogy meg tudjuk mondani a két jelenség pontos képződési feltételeit további – mikrofizikai – kutatásokra van szükség.

A sajátos mikroklíma különösen a Balaton mellett fekvő siófoki- és a magasabban elhelyezkedő miskolci állomásokon mutatkozik meg. Az adatok feldolgozása során a debreceni műszer áthelyezése miatt tapasztalt eltérések rávilágítanak a műszerek megfelelő elhelyezésének fontosságára is.



## **6. Köszönetnyilvánítás**

Köszönetet mondok témavezetőmnek, Nagy Józsefnek, hogy támogatta témaválasztásomat és ötleteivel segítette munkámat. Megköszöném tanszéki konzulensemnek, Dr. Weidinger Tamásnak a szakirodalom felkutatásában nyújtott segítségét, valamint türelmét és bizalmát.

Köszönettel tartozom Hercsényi Lászlónak, aki az adatleválogatásban működött közre. Köszönetet mondok az Országos Meteorológiai Szolgálatnak az adatbázishoz való hozzáféréseért.

Külön köszönöm családom és barátom megértő támogatását.

## 7. Irodalomjegyzék

- Acs, F., Mihailovic, D.T. and Rajkovic, B., 1991: A coupled soil moisture and surface temperature model. *Journal of Applied Meteorology* **30**, 812–822.
- Ács F. és Lőke Zs., 2001: Biofizikai modellezés az agrometeorológiában. *Légkör* **46**(1), 2–8.
- Aitken, J. 1880: On Dust, Fog and Clouds. *Nature* **23**, 34–35
- Anda, A. és Dunkel, Z., 2000: Agrometeorológia. *Veszprémi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely*, 142 oldal.
- Antal, E., 1956: A harmat, a dér, és a zúzmara megfigyelésének jelentősége. *Légkör* **1**(4), 9. oldal.
- Aujeszky, L., 1950: A harmat agrometeorológiája. *Agrártudomány* **2**, 179–183.
- Aujeszky, L., 1956: A harmatképződés előrejelzése. *Időjárás* **1**, 26–35.
- Bacsó, N., 1959. Magyarország éghajlata. *Akadémiai Kiadó, Budapest*, 302 oldal.
- Beysens, D., 1995: The formation of dew. *Atmospheric Research* **39**, 215–237.
- Beysens, D., Lekouch, I., Mileta, M., Milimouk, I. and Muselli, M., 2009: Dew and Rain Water Collection in South Croatia. *International Journal of Environmental Science and Engineering* **1**(2), 64–70.
- Chen F. and Dudhia, J., 2001: Coupling an Advanced Land Surface–Hydrology Model with the Penn State–NCAR MM5 Modeling System. Part II: Preliminary Model Validation. *Monthly Weather Review* **129**(4), 587–604.
- Chowdhury, A., Idas, H.P. and Mukhopadhyay, R.K., 1990: Distribution of dew and its importance in moisture balance for rabi crops in India. *Mausam* **41**, 547–554.
- Côté, J. and Konrad, J.M., 2002: A field study of hoarfrost formation on insulated pavements. *Canadian Geotechnical Journal* **39**(3), 547–560.
- Domonkos, P., (átdolgozta: Szudár, B. és Jákfalvi, M.), 2008: Előírás földfelszíni meteorológiai megfigyelésekre. *Országos Meteorológiai Szolgálat kiadványa*.
- Garatt, J.R., Segal, M., 1988: On the contribution of atmospheric moisture to dew formation. *Boundary-Layer Meteorology* **45**, 209–236.
- Geresdi I., 2004: Felhőfizika. *Dialóg-Campus Kiadó, Pécs-Budapest*.
- Grób, Z., 2000: MILOS 500, QLC 50 adatgyűjtők és érzékelők. *Országos Meteorológiai Szolgálat kiadványa*.
- Gustavsson T., 1991: Analysis of local climatological factors controlling risk of road slipperiness during warm-air advections, *International Journal of Climatology* **11**, 315–330.
- Jacobs, A.F.G. and Nieveen, J.P., 1995: Formation of dew and the drying process within crop canopies. *Meteorological Applications* **2**, 249–256.

- Janssen, L.H.J.M. and Römer, F.G., 2002: The frequency and duration of dew occurrence over a year. Model results compared with measurements. *Tellus B* **43**(5), 408–419.
- Karlsson M., 2001: Prediction of hoar-frost by use of a Road Weather Information System. *Meteorological Applications* **8**, 95-105.
- Kidron, G.J., 2000: Dew moisture regime of endolithic and epilithic lichens inhabiting limestone cobbles and rock outcrops, Negev Highlands, Israel. *Flora* **195**, 146–53.
- Lambert, K., 1983: A zúzmaraképződés szinoptikus klimatológiai feltételei. *Légkör* **38**(1), 17–19
- Madeira, A.C. Kim, K.S., Taylor, S.E. and Gleason, M.L., 2002: A simple cloud-based energy balance model to estimate dew. *Agricultural and Forest Meteorology* **111**(1), 55–63.
- Monteith, J.L., 1963. Dew: facts and fallacies. In: Rutter, A.J. and Witehead, F.H. (Eds.), *The Water Relations of Plants. John Wiley and Sons, New York*, 37–56.
- Möller, D., 2008: On the History of the Scientific Exploration of Fog, Dew, Rain and Other Atmospheric Water. *Die Erde* **139**, 11–44.
- Mooney, H.A., Gulmon, S.L., Ehleringer, J. and Rundel, P.W., 1980: Reports. Atmospheric water uptake by an Atacama Desert shrub. *Science* **209**, 693–694.
- Nagy J. és Nagy Z., 2002: Hazai időjárás megfigyelések az előrejelzés szolgálatában. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek* **17**. (Szerkesztette: Weidinger T., Bartholy J., Mészáros R. és Pintér K.) 62–69.
- Norrman, J., Eriksson, M. and Lindqvist, S., 2000: Relationships between road slipperiness, traffic accident risk and winter road maintenance activity. *Climate Research* **15**, 185–193.
- Otta, E., 1953: A zúzmarára előrejelzése. *Időjárás* **57**(1), 8–19.
- Perry, K.B., 2001: Frost/freeze protection for horticultural crops. *Horticultural Information Leaflet*, 705 3/94.  
<http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/hil/pdf/hil-705.pdf>
- Péczeley, Gy., 2002: Éghajlattan. *Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest*, 340 oldal.
- Rajvanshi, A.K., 1981: Large Scale Dew Collection as a Source of Fresh Water Supply *Desalination* **36**(3), 299–306.
- Ráth, A., 1987: 100 éve történt. *Légkör* **32**(3), 34. oldal
- Richards, K., 2004: Observation and simulation of dew in rural and urban environments *Progress in Physical Geography* **28**(1), 76–94.
- Schnelle, F. (Ed.), 1963: *Frostschutz im Pflanzenbau*. (Frost Protection in Agriculture). *München, BLV-verlagsgesellschaft mbH*, Vol. **1**, 480+ pp.
- Severini, M. and Olivieri, B., 1980: Experimental evaluation of Latent heat flux during night-time radiative hoarfrost. *Boundary-Layer Meteorology* **19**, 119–124.
- Sharan, G. Shah, R. Milimouk-Melnytchouk, I. and Beysens, D., 2007: Roofs as dew collectors: I. Corrugated galvanized iron roofs in Kothara and Suthari (NW

India). *Proceedings of the 4th Conference on Fog, Fog Collection and Dew (La Serena, Chile, 23-27 July 2007)*, p. 301.

- Scherm, H., Koike, S.T., Laemmlen, F.F. and van Bruggen, A.H.C., 1995: Field evaluation of fungicide spray advisories against lettuce downy mildew (*Bremia lactucae*) based on measured or forecast morning wetness. *Plant Disease* **79**, 511–516.
- Steiner, L. és Fleischmann, R., 1936: Harmatmérések Kompolton a Nagy Magyar Alföld Északi Szegélyén. *Meteorológiai és Földmágnasségi Intézet Hivatalos Kiadványa*. **12**.
- Szász, G., 1972: A talajfelszín közelében képződő csapadékmennyiség meghatározása. *Időjárás* **76**, 208–220.
- Takle E.S., 1990: Bridge and roadway frost occurrence and prediction by use of an expert system, *Journal of Applied Meteorology* **29**, 727–735.
- Thompson, J.M. and Bentley, W.A., 1997: Water wonders every child should know: little studies of dew, frost, snow ice and rain. *Doubleday Page Company*.
- Tóth, K., 2007: Zúzmaraképződés előrejelezhetőségének vizsgálata numerikus modell-outputok alapján. *Diplomamunka ELTE TTK Meteorológiai Tanszék*.
- Tuller, S.E. and Chilton, R., 1973. The role of dew in the seasonal moisture balance of a summer dry climate. *Agricultural Meteorology* **11**, 135–142.
- Varga-Haszonits, Z., 1977: Agrometeorológia. *Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest*, 223 oldal.
- Wells, W. C., 1814: An Essay on Dew and Several Appearances Connected with it. *Taylor & Hessay, London*.
- Zárbok Zs., Gili B., Takács L., Zsoldos E. és Gordon L., 2005: Az automata mérőhálózat felépítése, területi eloszlása. Intenzív Meteorológiai Megfigyelések. 30. *Meteorológiai Tudományos Napok előadásai* (Szerkesztette: Gyuró Gy. és Nagy J.), *Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest*, 47–58

#### ***Internet-es hivatkozások***

<http://www.pointernet.pds.hu/ujsagok/agaragazat/2004-ev/05/agarag-09.html>

<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsreaur.html>