

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
FÖLDRAJZI ÉS FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET

PARSIVEL² cseppspektrum mérő adatainak elemzése



Témavezető: Dr. Sarkadi Noémi
egyetemi adjunktus

Készítette: Varga Enikő
Földtudományi BSC szak

Pécs, 2025

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	2
1.1. Általános áttekintés.....	2
1.2. Szakirodalmi áttekintés.....	3
1.2.1. Csapadék mennyiségi és minőségi megfigyelése	3
1.2.2. A csapadék méret szerinti eloszlásának mérése.....	7
1.2.3. A csapadék modellezése	8
2. Célkitűzések	10
3. Anyag és módszer	11
3.1. PTE TTK Meteorológiai állomás	11
3.2. Kiválasztott csapadékesemények bemutatása	13
3.2.1. 2020. március 23-25., havazás	13
3.2.2. 2018. május 24. és 2018. június 16., konvektív csapadék	15
3.2.3. 2020. november 09-11., alacsony intenzitású csapadék	16
3.2.4. 2024. szeptember 12-17., frontális csapadék	18
4. Eredmények.....	20
4.1. Havazás.....	20
4.2. Konvektív csapadék.....	23
4.2.1. Zápor	23
4.2.2. Zivatar	25
4.3. Alacsony intenzitású csapadék	28
4.4. Frontális csapadék	30
4.5. Csapadékmérő műszerek összehasonlítása.....	33
5. Összefoglalás, további kutatási irányok	35
Irodalomjegyzék.....	37
Ábrák és táblázatok jegyzéke	39

1. Bevezetés

1.1. Általános áttekintés

A légkörben található vízgőzből származó cseppfolyós és szilárd halmazállapotú vízmennyiséget, ami a földfelszínre hullik, vagy a talajfelszíni tárgyakon kicsapódik, csapadéknak nevezzük. Földünk vízkészlete mindössze 0,01%-a található meg légkörben, azonban vízalapú szárazföldi élet minimálisan, vagy csak kis mértékben létezne csapadék nélkül. Ennek okán fontos kiemelni a víz körforgásának a jelentőségét. A csapadék mind térben, mind pedig időben heterogén és sporadikus. Következésképpen a csapadék térbeli eloszlásának, és időbeli gyakoriságának megfigyelése elengedhetetlen.

A csapadék mennyisége meghatározó a földi ökoszisztémák, az emberi tevékenység és a vízgazdálkodás szempontjából. A mezőgazdasági termelés, természetes élőhelyek fennmaradása, továbbá felszíni és felszín alatti vízkészletek utánpótlása nagy mértékben függ tőle. A csapadékhiány komoly következményekkel jár. Következésképp az éghajlatra is kihatással van, hatásait változásait egyre jobban tapasztalhatjuk a csapadék eloszlásában, intenzitásában és egyre szélsőségesebbé válásában. A klimatológiai adatok szempontjából fontos paraméternek számít, ugyanakkor az éghajlati modellekben még mindig nehezen becsülhető a várható változás, éppen nagy térbeli-, és időbeli változékonysága miatt. Az elmúlt 150 évben körülbelül 1,1 °C-kal nőtt a hőmérséklet globálisan (NASA). Ennek egyik legjelentősebb oka az üvegházhatású gázok antropogén kibocsátás miatti koncentráció növekedése a légkörben. A csapadék mennyisége, intenzitása, térbeli és időbeli eloszlása egyre szélsőségesebbé válik. A jégtakarók olvadása és a tengerszint emelkedése, mely az elmúlt 100 évben 20 cm-rel emelkedett. Ide kapcsolódik a Sarkvidéki jégvesztesége, amely évente ~13%-kal csökken (NASA). A szélsőséges időjárási események, gyakorisága egyre jobban nő és így a mindennapi életben is szembetűnő problémákkal találkozunk. Ezek a problémák a világon mindenhol jelen vannak, de mértékük eltérő. Ezen okokból is adódóan nagyon fontos a csapadék mérése, az időjárási folyamatok megfigyelése és vizsgálata. Ezek ismerete elengedhetetlen abból a szempontból, hogy következtetni tudjunk arra, hogy a jövőben mire számíthatunk.

A csapadékmérés történelme nagyon régre nyúl vissza. Több civilizáció is használt kezdetleges eszközöket az eső mennyiségének mérésére. Eleinte mezőgazdasági célokhoz készültek ezek a megfigyelések a későbbiekben a fejlődéssel már mást is vizsgáltak ez által (Cambridge).

A korai feljegyzések szerint az ókori Indiában és Kínában (Korea) már Kr.e. 4. század körül használtak egyszerű mérőeszközöket, mint például különböző edényeket és tárolókat. A 15. században Koreában a királyi udvar rendelte el az esőmérés rendszeresítését, amit „cheugugi”-nak nevezet eszközzel végeztek. A készülék fémből készült mérőhengerként működött, és az egyik első hivatalos csapadékmérő eszközként tartják számon. A 19. században az európai országokban, szabványosították a mérőeszközöket, hogy összehasonlítható adatokat gyűjtsenek. Ez időtájtban jelent meg az úgynevezett szifonos mérőeszköz is, amely a modern eszközök alapjául szolgált (Cambridge).

Dolgozat fő központjában a csapadék megfigyelés egy modern eszközének, az OTT PARSIVEL-2 típusú diszdrométer adatainak vizsgálata állt. Különböző esetekben (havazás, front általi csapadékot, zápor/zivatar, szitálás) vizsgáltam a csapadékelemek méret szerinti eloszlását, és annak időbeli változását. Összehasonlítottam a mérőműszer által szolgáltatott összes lehullott napi csapadékmennyiséget más csapadékmérő műszerekkel. Ezzel a műszer pontosságát vizsgáltam. Cseppspektrum méréseket kevés helyen használnak, így felettébb érdekes számomra, az eszköz által gyűjtött adatokkal, hogy is lehet dolgozni. Szerencsés helyzetben vagyok, az egyetemen, ahol tanulok (Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar, továbbiakban PTE TTK) található meteorológiai állomáson (továbbiaknak PTE MET) telepítésre került egy ilyen műszer.

1.2. Szakirodalmi áttekintés

Több típusú csapadékmérő eszközt is kifejlesztettek, például a standard hengeres mérőt, a billenőedényes és a súlymérésen alapuló típusokat, hogy a mérés minél pontosabb legyen. A 20. század elején szabványosították az esőmérő eszközöket, amiket a mai napig használ az HungaroMet Nonprofit Zrt. Az automata és digitális mérők alkalmazása, amelyek elektronikus jeleket használnak a rögzítésére, a modern meteorológiai megfigyelések részévé váltak, így a mérési pontosság és gyakoriság jelentősen javult. (Kovács, 2015; Ablonczy, 2018)

1.2.1. Csapadék mennyiségi és minőségi megfigyelése

Hagyományos csapadékmérő:

Az egyik legelterjedtebb és legismertebb készülék. Az esőgyűjtők lehetnek kézi vagy automatikus kivitelűek, és a begyűjtött víz mennyiségét milliméterben határozzák meg. A kézi esőmérő egy henger alakú eszköz, ami az esőt gyűjti és rendelkezik mérőskálával, míg az automatikus változata elektronikus úton rögzíti az információkat. A standard hengeres esőmérő

típust globálisan használják, például az Egyesült Államok Nemzeti Meteorológiai Szolgálat is ezt a típusú csapadékmérőt alkalmazza (Kovács, 2022; Kovács, 2015, Mészáros, 2013).

Billenőedényes csapadékmérő:

Ez a készülék egy kis vödört alkalmaz, amely megtelik csapadékkal, és amikor eléri egy előre beállított mennyiséget, a vödör kibillen, majd kezdetét veszi a folyamat újra. A kibillenések mennyisége alapján automatikusan meghatározzák a lehullott csapadék mennyiségét, amit gyakran alkalmaznak automatikus állomásokon. Emellett a billenések számából a csapadék intenzitása is meghatározható (Kovács, 2022; Kovács, 2015, Mészáros, 2013).

Lambrecht – A meteorológiai műszerek közül a billenőedényes műszerek megszüntették a kézi mérések szükségességét, lehetővé téve a csapadék intenzitásának mérését és az adatok digitális alapon történő tárolását (1. ábra). Ugyanakkor átfogóbb és rendszeresebb karbantartást igényelnek, mint a hagyományos kézi csapadékmérők, mivel a különböző nagyméretű szennyeződések, például rovarok és ágak könnyen belegabalyodhatnak és befolyásolhatják a leolvasást, vagy eltömíthetik a kiömlőnyílást és megakadályozhatják az eső kiáramlását, eláraszta a műszer elektronikus részét. Ezért az adatok feldolgozása során elengedhetetlen az adatok kritikus értelmezése és validálása. Az esőmérők a jelentési automaták csoportjába tartoznak, amelyek előre meghatározott időközönként képesek méréseket továbbítani, a tárolt adatokat központilag lekérdezni, majd megjeleníteni, vagy közvetlenül számítógépre letölteni (Baros et al., 2006). A műszerek működési elve meglepően egyszerű. Ezek az esőmérők két billenő csészével rendelkeznek, és amikor esik az eső, a csapadék egy tölcseren keresztül az egyik csészébe („mérőedénybe”) esik, és amikor a csésze megtelt, a tartály felborul, és az ott összegyűjtött víz kifolyik a műszer alján, míg a másik csésze megtelik, és ez a folyamat megismétlődik. A felborult poharak száma jelzi a csapadék mennyiségét. A felborulást úgy rögzítik, hogy a tartályra erősített mágnes egy reed relé (megszakító kapcsoló) elé vezetik, és pillanatnyilag lezárják az áramkört. A billenési pontot általában 0,1 mm csapadéknál éri el (pl. a Lambrecht 15188 (LAMBRECHT Meteo GmbH) esetében, amely az OMSZ-hálózatban szabványos), de ez gyártónként változhat, pl. a Meteo Group által forgalmazott ECRN-100 esetében például ez az érték 0,2 mm (Kovács, 2022; Kovács, 2015, Mészáros, 2013).

Manapság a csapadék mérésére szolgáló meteorológiai eszközök között sok modern és klasszikus berendezés található, amelyek a különféle csapadéktípusok mennyiségének és intenzitásának meghatározására készültek.



1. ábra: Lambrecht csapadékmérő a PTE TTK Meteorológiai állomásán. (Forrás: saját felvétel)

Súlymérésen alapuló csapadékmérés:

Pluvio – A súlymérésen alapuló csapadékszenzorok szintén nagyon elterjedt és relatíve pontos automatikus csapadékmérők: a PTE-TTK és a BTK kampuszokon a súlyalapú csapadékmérő OTT Pluvio 2 L 200-as verziója található (gyártója OTT Hydromet, Kempten, Németország, lásd: 2. ábra). Ez a műszer lényegében egy nagy pontosságú, rozsdamentes acél mérleg, amelynek elektronikus alkatrészei le vannak zárva és időjárásállóak a környezeti károk megelőzése érdekében. Folyékony és szilárd csapadék mérésére is alkalmas, és a fent említett csapadékmérőkkel ellentétben a szilárd csapadékot nem kell felolvasztania; hat másodpercenként méri a tömeget, azaz a benne és a mérőedényben lévő csapadékot. A mért adatokból és az üres tartály tömegéből kiszámítható a csapadék mennyisége (OTT PLUVIO 2 kezelési útmutató). A készüléket nem kell személynek mérnie, de kézzel kell eltávolítani, ha a csapadékmennyiség eléri a 2000 mm-t, mivel nincs beépített ürítő rendszer (de a párolgást is figyelembe kell venni). Különböző szennyeződésekkel és térfogatnövelő anyagokkal óvatosan

kell bánni. Az apró gallyak könnyen áteshetnek a nagy nyíláson, de a mérleg pontossága és érzékenysége miatt még az apró rovarok is mérési hibát okozhatnak (Kovács, 2022; Kovács, 2015, Mészáros, 2013).



2. ábra: Pluvio csapadékmérő a PTE TTK Meteorológiai állomásán. (Forrás: saját felvétel)

Emellett még a radarok is használhatóak arra, hogy a csapadék mennyiségének és eloszlásának feltérképezését megtehessük a segítségükkel. A radarrendszer méri az atmoszférába kibocsátott mikrohullámú jelek visszaverődését, és különösen hasznos nagyobb területek, mint például zivatarok vagy esőzónák térképezésére, így segítve a pontosabb időjárás-előrejelzések elkészítését.

1.2.2. A csapadék méret szerinti eloszlásának mérése

Ez egy különleges optikai berendezés, amely a csapadékcseppek nagyságát és sebességét méri, értékes adatokat szolgáltatva a csapadék struktúrájáról. Kifejezetten ideális kutatási feladatokhoz és a precízebb csapadékkintenzitás-elemzéshez.

A német, OTT Hydromet által kifejlesztett PARSIVEL típusú diszdzrométer, a csapadék mérésének egyik korszerű eszköze, lézer optikai technológiát használ. A PARSIVEL elsődleges feladata a csapadékelemek méretének és sebességének precíz mérése. Az első generáció 2002-ben debütált, és azóta globálisan alkalmazzák meteorológiai állomásokon, főként automatikus időjárás-ellenőrzés és csapadék mérés céljából. Az eszköz képes az eltérő csapadékfajták (mint például eső, hó, jégeső) azonosítására és kategorizálására a részecskeméret és -sebesség információk alapján. Tokay et al. (2013) több mérőműszer összevetésével kimutatta, hogy ennek a műszernek a részben inhomogén lézersugara okozhatott jelentős alulbecslés a 0,76 mm-nél kisebb csapadékelemek; és felülbecslést a 2,4 mm-nél nagyobb csapadékelemek esetén különösen 2,5 mm/h-t meghaladó csapadékkintenzitás mellett.



3. ábra: OTT PARSIVEL-2 cseppspektrum mérő műszer a PTE TTK Meteorológiai állomáson. (Forrás: saját felvétel)

A 2011-ben megjelent továbbfejlesztett PARSIVEL-2 (3. ábra) magasabb pontosságot és megbízhatóságot nyújt. Ennek a műszer fejlesztése során kiemelt figyelmet fordítottak a

karbantartás-mentességre, a minimális energiafogyasztásra, és olyan érzékenységre, amely lehetőséget ad a rendkívül alacsony intenzitású csapadék észlelésére is. A PARSIVEL-2 akár 32 eltérő méret- és sebesség osztályra képes bontani a rögzített csapadék adatokat, így alapos áttekintést ad a csapadék méret szerinti eloszlásáról és annak intenzitásáról. Ez különösen lényeges lehet például a talajerózió modellezésében, vagy árvíz előrejelzéskor, amikor a csapadék energiája és intenzitása alapvető a pontos becsléshez.

A PARSIVEL második generációs lézer optikai műszere kapcsán is fontos limitáló tényező, hogy a mérést jelentősen befolyásolja a környező levegő áramlása. Ez elsősorban a mintavételi tartomány kis méretéből is adódik (54 cm^2). Lin et al. (2021) kimutatták, hogy a mérés akár $\sim 12\text{-}22\%$ hibával is terhelt, a nagyobb méretű csapadékelemek koncentrációját alulbecsüli, ha erős légáramlások vagy jelentős mértékű szélesebbesség jellemző.

1.2.3. A csapadék modellezése

A csapadék modellezése a mai napig az egyik legnehezebb meteorológiai feladat. A modellezés során a légköri folyamatok széles skáláját kell leírni. A nagytérségű áramlások, amelyek a légköri mozgásokat meghatározzák és a kis skálán lezajló folyamatok, mint amilyen a csapadékelemek kialakulása, növekedése is ugyanazon egyenletrendszeren keresztül kerülnek kiszámításra. Mivel azonban a csapadékelemek mérete jelentősen eltér a numerikus modellek által használt térbeli felbontástól, így azok leírása csak különböző parametrizációs egyenleteken keresztül lehetséges (Geresdi, 2004).

A csapadékelemek méretüktől és halmazállapotuktól (sűrűség) függően különböző sebességgel esnek ki a felhőzetből. Méretük egyben befolyásolja azt is, hogy milyen fizikai folyamatokban (ütközés, összeolvadás, csepprobbanás) vehetnek részt.

Mivel a hidrometeorok mérete többnyire mikrométeres, vagy néhány milliméteres nagyságrendű, így a csapadékelemek méret szerinti eloszlását, vagyis azt, hogy adott méretű csapadékelemből hány darab található 1 m^3 levegőben egyszerű, matematikailag könnyen kezelhető egyenletekkel írják le.

Általánosan viszonylag pontos leírást tesz lehetővé az ún. gamma-eloszlás (Geresdi, 2004; Zhang et al., 2001), amelynek általános egyenlete az alábbiak szerint néz ki:

$$n(D) = N_0 \cdot D^\mu \cdot \exp(-\lambda \cdot D)$$

ahol D (mm) a csapadékelemek mérete (térfogat ekvivalens méret), $n(D)$ a csapadékelemek koncentrációja egy mérettartományon ($[D, D+dD]$) belül, N_0 a metszési paraméter, μ és λ pedig rendre a függvény alakjára és a meredekségére vonatkozó paraméterek.

Az egyik leggyakrabban alkalmazott egyenlet a numerikus modellekben az úgy nevezett Marshall-Palmer-féle eloszlás (Marshall-Palmer, 1948), amely a fenti függvény, egyszerűsített alakja, ahol $\mu=0$:

$$n(D) = N_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot D)$$

A gamma eloszlás paramétereit a modellezés során az ún. momentum módszerrel határozhatjuk meg, ahol az egyes momentumok a hidrometeorok méretének adott hatványával arányosak (Fu et al., 2020).

Általánosan a méret szerinti eloszlás n-dik momentuma az alábbi integrállal fejezhető ki:

$$M_n = \int_{D_{min}}^{D_{max}} D^n \cdot n(D) dD$$

Ezek alapján meghatározható akár a radar reflektivitás (Z), intenzitás (RR), vagy a víztartalom (LWC) is (Fu et al., 2020). Egy példa a radar reflektivitás számításra:

$$Z = \sum_{i=1}^n D_i^6 \cdot n(D_i) \cdot \Delta D_i = M_6$$

Fu et al. (2020) kutatásukban az alábbi módszert alkalmazták, ahol különböző diszdrométerek mérést vetették össze réteges szerkezetű, valamint konvektív csapadékesemények során.

2. Célkitűzések

Jelen dolgozat célja, a PTE TTK Meteorológiai állomás OTT PARSIVEL-2 diszdrométerrel mért adatok vizsgálata, különböző csapadékesemények során, mint

- Havazás (2020.03.23-25.)
- Konvektív csapadék:
 - zápor (2018.06.16.)
 - jégesővel kísért zivatar (2018.05.24.)
- Alacsony intenzitású csapadék (2020.11.09-11.)
- Frontális csapadék (2024.09.12-17.)

Az alábbi feltevéseket szeretném igazolni:

1. A vizsgálat fókuszja a csapadékelemek méret szerinti eloszlásának vizsgálata. Azzal a feltevéssel élek, hogy ezek különböznek az eltérő felhőzet és időjárási viszonyok között.
2. Összevettem a billenőedényes csapadékmérővel mért adatokat, a diszdrométer adataival (összes csapadék mennyisége és intenzitása), annak érdekében, hogy igazoljam, az OTT-PARSIVEL-2 mérésének pontosságát.
3. Céлом megvizsgálni a csapadék átvonulás során a csapadékelemek méret szerinti eloszlásának változását.
4. A numerikus előrejelzési modellekben leggyakrabban alkalmazott eloszlások illesztését végeztem el a mérési adatokhoz, hogy igazoljam, hogy bizonyos időjárási helyzetekben ezek az egyszerű eloszlások nem megfelelően írják le a csapadékelemek méretét és azok időbeli változását.

3. Anyag és módszer

3.1. PTE TTK Meteorológiai állomás

A Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Karának Meteorológiai állomása az Országos Meteorológiai Szolgálat (HungaroMet Zrt.) hivatalos állomása (4. ábra). Az állomást 2008-ban telepítették a PTE TTK Sportpálya szomszédságába. 2015-ben a globálsugárzás mérő, valamint a szélirány- és szélsébség mérő műszereket áttelepítették a „D” épület tetejére (Cséplő et al., 2021).



4. ábra: Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Meteorológiai állomása. (Forrás: saját felvétel)

Az állomás klasszikus Väisälä-500 típusú automata mérőállomás, amely az alábbi meteorológiai paramétereket méri (Jóidő):

1. hőmérséklet,
2. relatív páratartalom,
3. légnyomás (állomásszinti, műszerszinti, és tengerszinti),
4. csapadékmennyiség,
5. csapadékintenzitás,

6. szélirány,
7. szélesség,
8. globálsugárzás,
9. levélnedvesség

A fentiekén kívül a PTE TTK Meteorológiai állomása egyedülálló abból a szempontból, hogy nem csak a hivatalos Lambrecht típusú csapadékmérővel, hanem emellett Decagon, Hellmann és Pluvio csapadékmérő berendezésekkel is felszerelt, valamint területén található még egy cseppspektrum mérő műszer, valamint egy ceilométer, vagyis felhőalap mérő is (Jóidő). Három mérőműszert szeretnék kiemelni, amelyek adatait jelen kutatás során használtam: PARSIVEL², Pluvio és Lambrecht.

A műszerek segítségével az alábbiakat használtuk fel a vizsgálataink során:

1. Ceilométer: a felhőalap-mérő adatait a kiválasztott időjárási helyzetek áttekintése során használtuk elsősorban szemléltetési céllal. Az adatok részletes vizsgálata nem képezte aktív részét a jelen kutatásnak.
2. Parsivel²: lézer optikai műszer, amely percenkénti adatokat készít. Csapadék intenzitást, csapadék fajtát detektál, folyékony halmazállapotú részecskék (vízcseppek) 0,2-8 mm mérettartományban, a szilárd halmazállapotú részecskék (pl. hópelyhek, hódara, jég szemek) 0,2-25 mm közötti mérettartományban mérhetőek. A részecskék esési sebessége 0,2-20m/s közötti tartományban mérhető. Ezeket a csapadék típusokat különíti el: szitálás, szitálás esővel, eső, eső- hó szitálással, hó, hódara, gyenge jégeső, jégeső (OTT Parsivel² Manual). A műszer által mért adatokból spektrográf, méreetszerinti eloszlást, csapadék intenzitást, csapadék mennyiséget lehet származtatni, számolni.
3. Lambrecht: csapadékmennyiség, csapadék intenzitás.
4. Pluvio: csapadék mennyisége, csapadék intenzitás. Az adatok 2018. júniustól álltak rendelkezésre, így az összevetés során 2018. 05. 24-i esetben Pluvio adatok nem szerepelnek.

Az adatok feldolgozása MS Excel, valamint Matlab 2024b alkalmazásával történtek. A PARSIVEL² adatok feldolgozása során Valdvia (2019) PARSIVEL² adatelemző kódjait dolgoztuk át, hogy a beolvasás illeszkedjen a rendelkezésünkre álló struktúrához. Az elemzéseknél az alábbi adatokat olvastuk be: csapadékintenzitás, csapadék SYNOP és METAR kódjai, a nyers adatokat, valamint a csapadékelemek átlagos méret szerinti eloszlását tartalmazó adatsort. A Lambrecht, illetve a Pluvio mérési adatait Excelben történő formázást követően szintén Matlab programmal vizualizáltuk.

Kovács (2022) tapasztalata az volt, hogy a PARSIVEL² szoftver időszakosan nap közbeni időpontban lenullázza az akkumulált csapadék mennyiségét. Ilyen eset 2024. szeptemberi csapadékesemény kapcsán a kiválasztott esetek közül nálunk is előfordult.

3.2. Kiválasztott csapadékesemények bemutatása

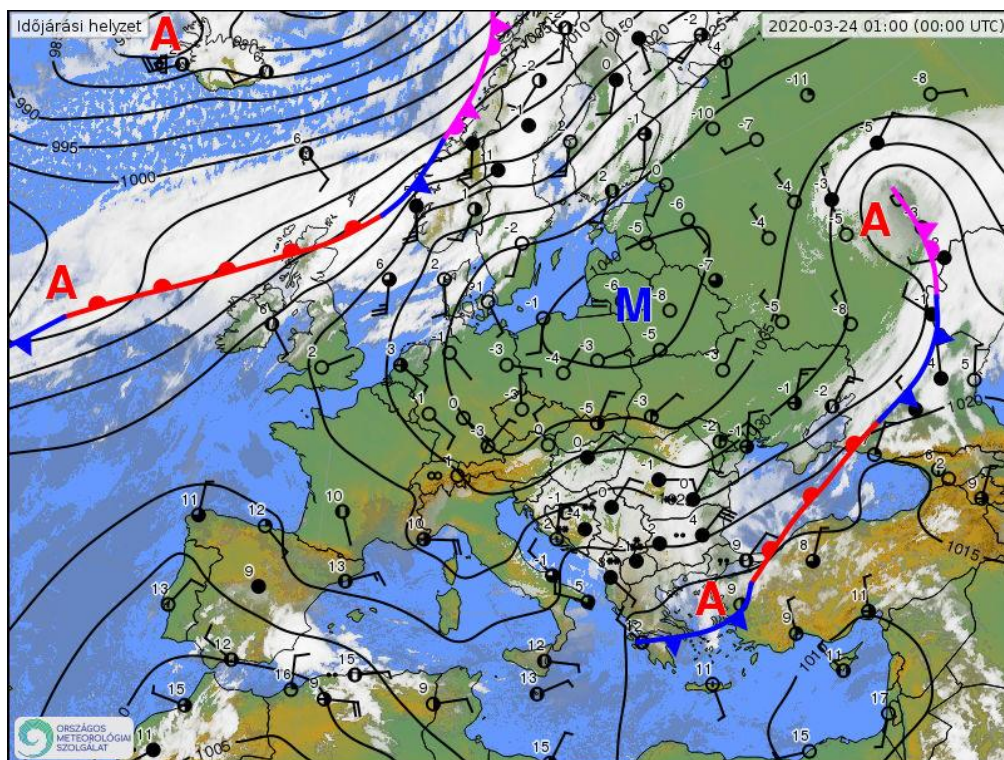
Az események kiválasztásánál a HungaroMet Nonprofit Zrt. Pécs-Pogány meteorológiai állomás archív feljegyzéseit vettem alapul. Adott csapadék típusára vonatkozó adatokat kerestem, ahol például havazást, jégesőt vagy éppen ködöt jelentettek arra a napra. Továbbá szerettem volna egy olyan több napos eseményt is, amely a közelmúltban történt. Fontos volt emellett, hogy az események jól elkülöníthetők legyenek akár intenzitásuk, akár a lehullott csapadék mennyisége szempontjából. Ezeken kívül, a kiválasztáskor azt is figyelembe vettem, hogy az adott napra történjen mérés a PTE TTK Meteorológiai állomásán is, vagyis ne legyen semmiféle technikai probléma az adott napon, hisz az itt dokumentált adatokat dolgoztam föl és azokkal végeztem el a számításokat. Az esetek bemutatása során a HungaroMet Zrt. archivált napi jelentéseit használtam fel az időjárási helyzetek összefoglalása során.

3.2.1. 2020. március 23-25., havazás

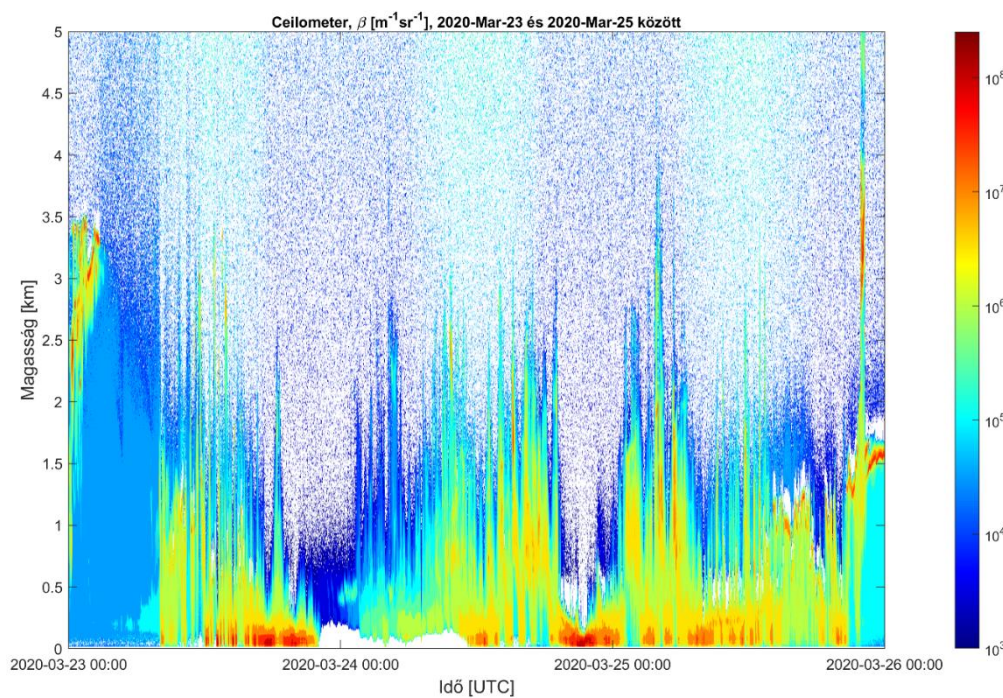
Az adott időszakban a Balti-tengernél található anticiklon volt a legmeghatározóbb jelenség, de déli peremén egy hullámzó frontrendszer elsősorban a Balkán és Románia térségében okozott jelentős havazást. Magyarország időjárását a megelőző időszakban egy magassági hidegörvény határozta meg, de a déli tájakon továbbra is felhős, havas idő volt a jellemző. 2020. 03. 23. délelőtt északkelet felől egyre jobban megnövekedett a felhőzet mennyisége, néhol havazás is előfordult (Napijelentés).

Az időjárási helyzet a következő napokban sem változott jelentősen, az egyre gyengülő, de még jelenlévő hideg légörvény, és a tőlünk északabbra elhelyezkedő magas nyomású anticiklon együttesen határozta meg hazánk időjárását (Napijelentés). Jelentős mértékű havazást inkább az ország déli tájain figyelhettünk meg (5. ábra).

Magyarország időjárása 23-án erősen felhős és hószállingózás, néhol hózápor is előfordult. Következő nap tartósan esett a hó. Március 25-én borult volt az ég, valamint gyenge esőzések, havazás és néhol hóesés is tapasztalható volt. A PTE TTK Meteorológiai állomáson rögzített adatok is igazolták, hogy szakaszosan megfigyelhető volt havazás, havas eső. Az időszak alatt a felhőalap mérő műszer az alábbi mérést végezte (6. ábra)



5. ábra: 2020. március 24. időjárási helyzetkép és frontok Európában. (Forrás: met.hu, HungeroMet Zrt.)



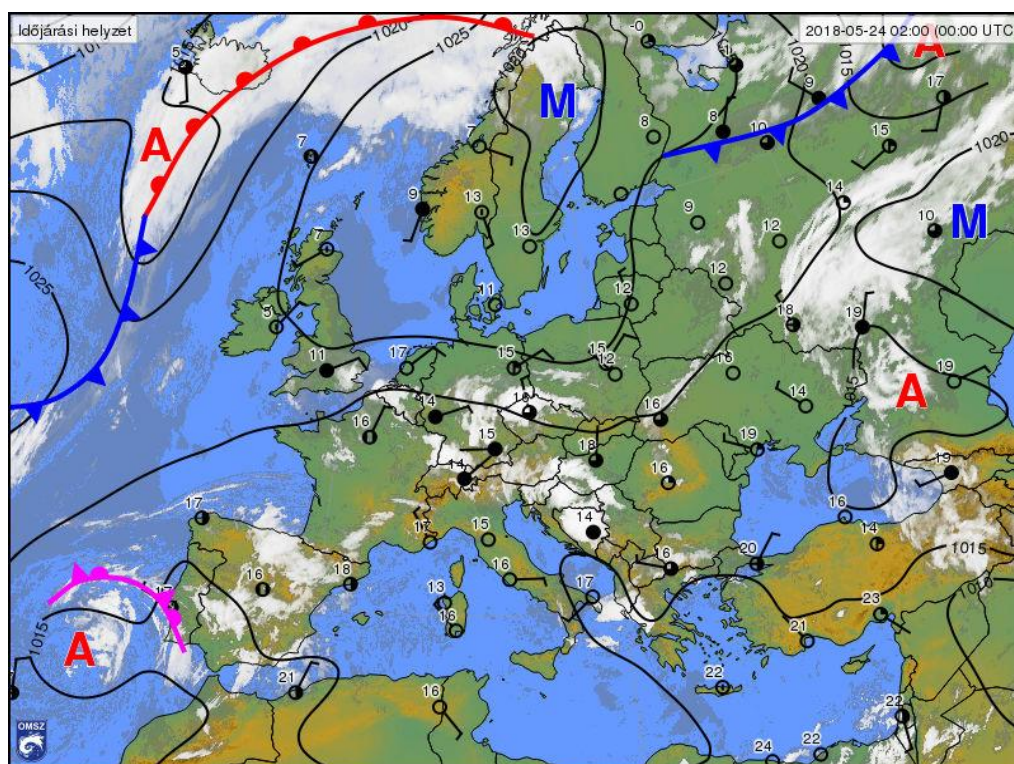
6. ábra: Ceilométer visszaszórási keresztmetszet mérési eredménye: 2020. 03. 23-25. (Készítette: Sarkadi Noémi)

3.2.2. 2018. május 24. és 2018. június 16., konvektív csapadék

Jégesővel kísért zivatar: 2018. 05. 24

Az adott napon, és a megelőző napokban Észak-Európa időjárását anticiklonok alakították, azonban Közép-Európában már több helyen fordult elő zápor, zivatar, néhol felhőszakadás is. Dinári-hegységben és attól délebbre ugyancsak jelentős csapadékmennyiség hullott (Napijelentés).

Magyarország területén jobbra napos idővel indult a nap, majd gomolyfelhőzet kezdett kialakulni. A Dunántúlon nagyobb számban és a Dunától keletre szórványosan zápor, zivatar is kialakult (Napijelentés). A ceilométer adatai alapján is látható volt, hogy a PTE Meteorológiai állomás környezetében is megnövekedett a felhőzet, csapadék a kora délutáni órákban. A PARSIVEL² csapadéktípusként többször jelentett jég részecskéket is.



7. ábra: 2018. május 24. időjárási helyzetkép és frontok Európában. (Forrás: met.hu, HungeroMet Zrt.)

Zápor: 2018. 06. 16.

2018. június 16-án a Brit-szigetektől nyugatra alacsony nyomású léghőri képződmények helyezkedtek el, néhol kialakult eső, záporosó. Skandináv-félsziget északnyugati részén szintén ciklonális hatás volt. Európa nyugati részén is alacsony nyomású léghőri képződmény hatására több helyen is kialakultak záporok és zivatarok (Napijelentés).

Hazánkban aznap eleinte erősen felhős volt az ég, később az ország középső részeit kivéve mindenhol felszakadozott a felhőzet. Néhol gyenge eső előfordult, a délutáni óráktól a délkeleti, keleti megyékben szórványosan záporok, zivatarok alakultak ki (Napijelentés). Ezen a napon Pécsen is a zápor volt megfigyelhető a kora esti órákban.



8. ábra: 2018. június 16. műholdkép Európa felhőborítottságáról. (Forrás: weather.us)

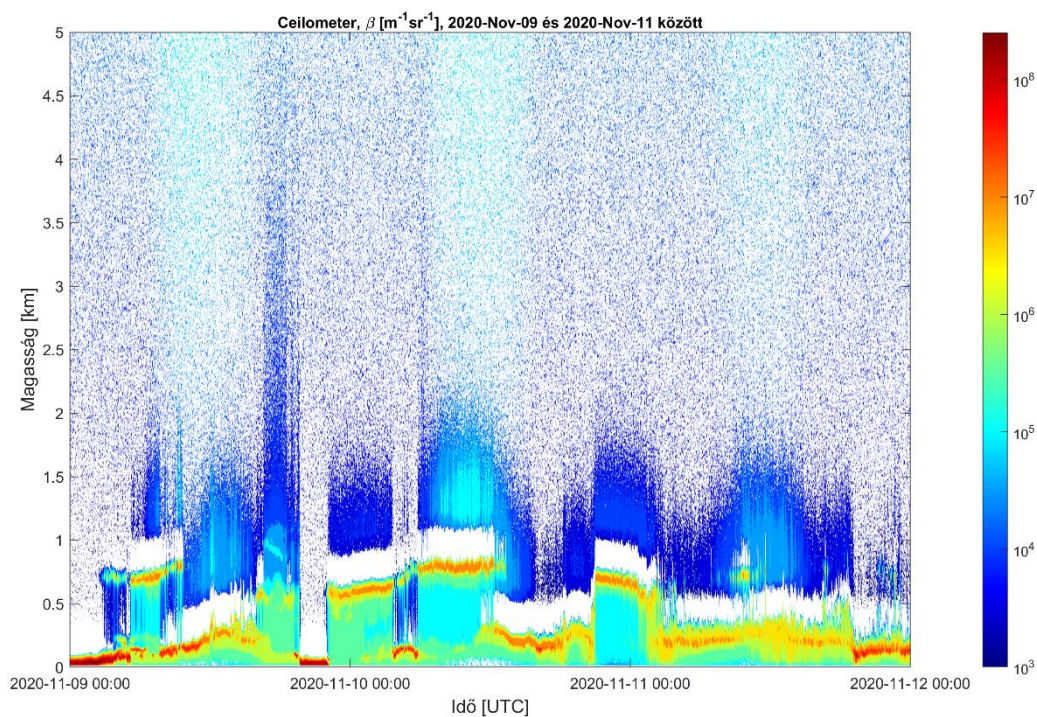
3.2.3. 2020. november 09-11., alacsony intenzitású csapadék

2020. november 09-én Közép-Európa fölött nagyméretű anticiklon helyezkedett el, ami egészen a Balkán-félszigetig húzódott. Számottevő csapadékról nem érkezett jelentés, de több helyen is borult volt az ég, és szitálás volt tapasztalható. Magyarországon, a legtöbb helyen túlnyomóan borult, párás, helyenként tartósa ködös volt az időjárás (Napijelentés). 2020. november 10-én túlnyomóan anticiklonális helyzet volt, elvéve napos tájak előfordultak, azonban mégis inkább rétegfelhőzettel borított, köd is több helyen megfigyelhető volt. Országunk területén maradt a borult, párás és több területen maradt a ködös időjárás (Napijelentés).

2020. november 11-én kontinensünk nyugati partjainál hosszan elnyúló hullámzó front érkezett (9. ábra). Európa többi területén ezen a napon is jellemzően erősen felhős vagy borult volt az ég. Magyarország területén változatlanul túlnyomóan borult, párás helyenként tartósan ködös idő volt (lásd PTE MET ceilométer 10. ábra). Helyenként ködszitálás is tapasztalható volt (Napijelentés).



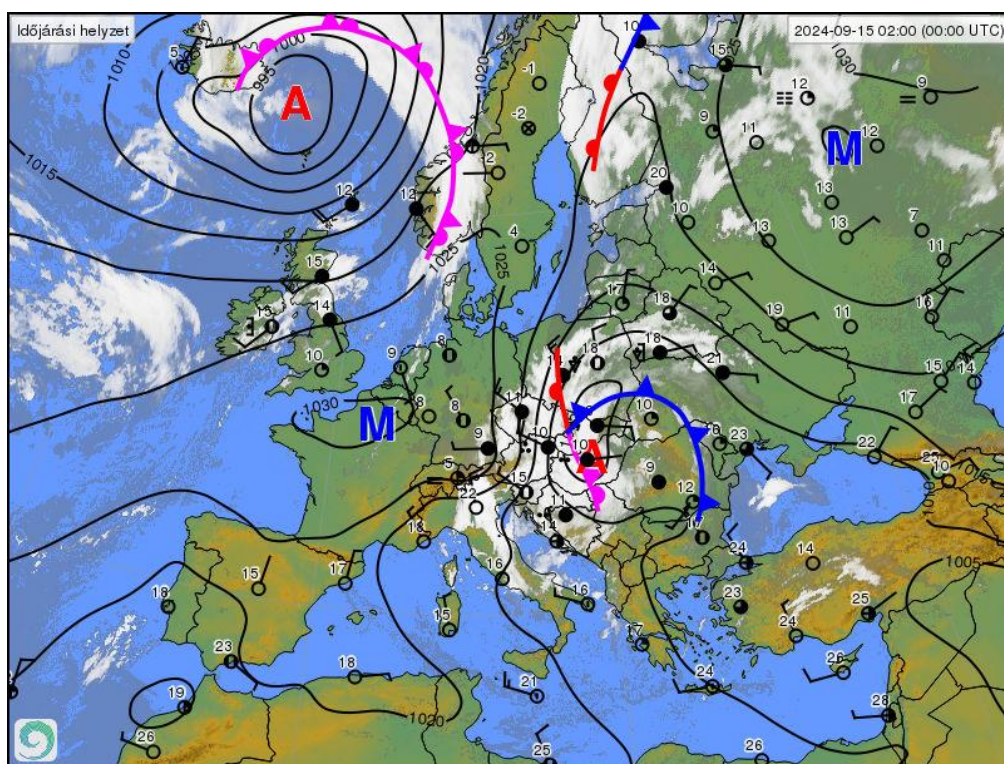
9. ábra: 2020. november 11. műholdkép Európa felhőborítottságáról. (Forrás: weather.us)



10. ábra: Ceilométer visszaszórási keresztmetszet mérési eredménye: 2020. 11. 09-11. (Készítette: Sarkadi Noémi)

3.2.4. 2024. szeptember 12-17., frontális csapadék

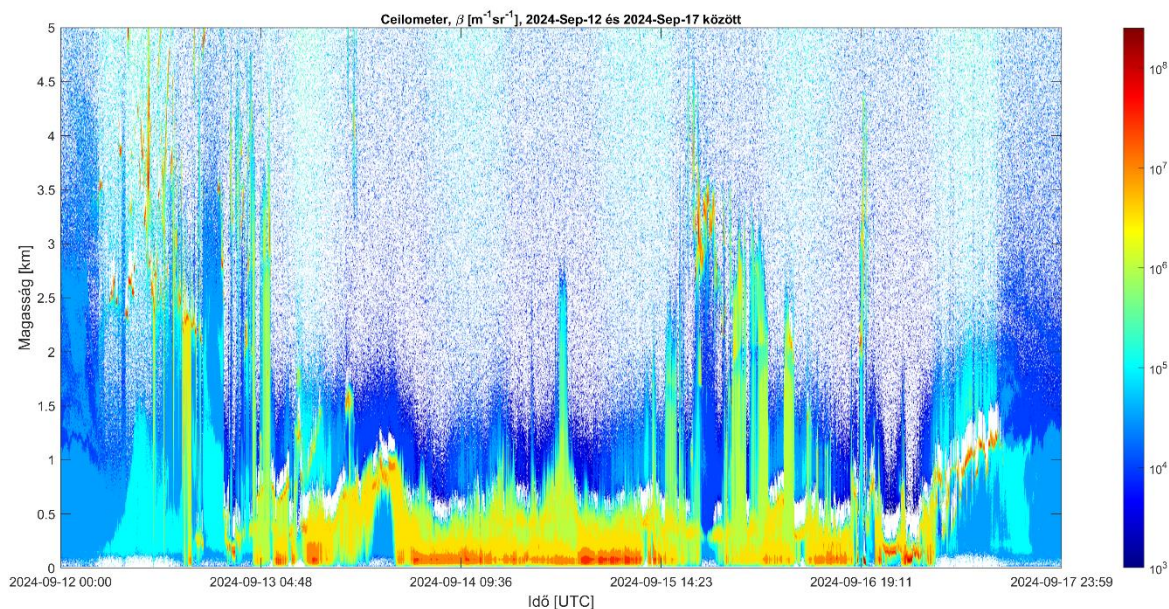
Európa nyugati részén többnyire száraz, napos idő volt. Skandinávia felett markáns ciklon örvénylett, amelynek frontrendszere egész Közép-Európát érintette. Erősen felhős vagy borult volt az ég, és többfelé nagy mennyiségű csapadék volt megfigyelhető. Szeptember 13-án a frontrendszer maradt a kontinens fölött, helyenként a nagy mennyiségű esőzések mellett az Alpokban havazás is tapasztalható volt. Mindeközben az északnyugat- és Közép-Európába a frontálzóna mögött jóval hűvösebb, sarkvidéki eredetű levegő áramlott. Szeptember 14-én továbbra is a Kárpát-medence fölött a Boris névre keresztelt ciklon volt megfigyelhető, amely borongós és csapadékos időjárást eredményezett Európa délkeleti-keleti részén. Szeptember 15-én kontinensünk középső tájain a korábbi napokban már tapasztalt időjárás volt tapasztalható. Szeptember 16-án a Kárpát-medence tágabb térsége fölött örvénylett tovább a Boris ciklon. Az elmúlt napokban időjárásunkat meghatározó Boris ciklon elmozdult délnyugat felé, de áramlási rendszere még ezen a napon is jól detektálható volt (Napijelentés).



11. ábra: 2024. szeptember 15. időjárási helyzetkép és frontok Európában. (Forrás: met.hu, HungeroMet Zrt.)

Magyarországon több napon át tartó frontális csapadék átvonulás ugyan úgy megfigyelhető volt. Szeptember 12-én Nyugat-Dunántúl fölé frontális felhőzet érkezett. 13-án ezen a napon a Duna vonaláig haladt tovább a hideg front, aminek következtében zivatarokat és záporokat

figyeltek meg. Szombaton országszerte megerősödött és viharossá fokozódott az északnyugati szél. Szeptember 15-én kiterjedtebb csapadékszónák a Dunántúl nyugati felére, valamint a délkeleti országrészre korlátozódtak. A Dunántúlon viharos, erősen viharos lökések kísérték a frontátvonulást. Szeptember 16-án a ciklonnak köszönhetően maradt a viharos, csapadékban gazdag időjárás. Szeptember 17-én már átvonulóban volt, így kisebb eső, zápor volt tapasztalható, északkeleten már erősen felhős vagy borult maradt az égbolt (Napijelentés).

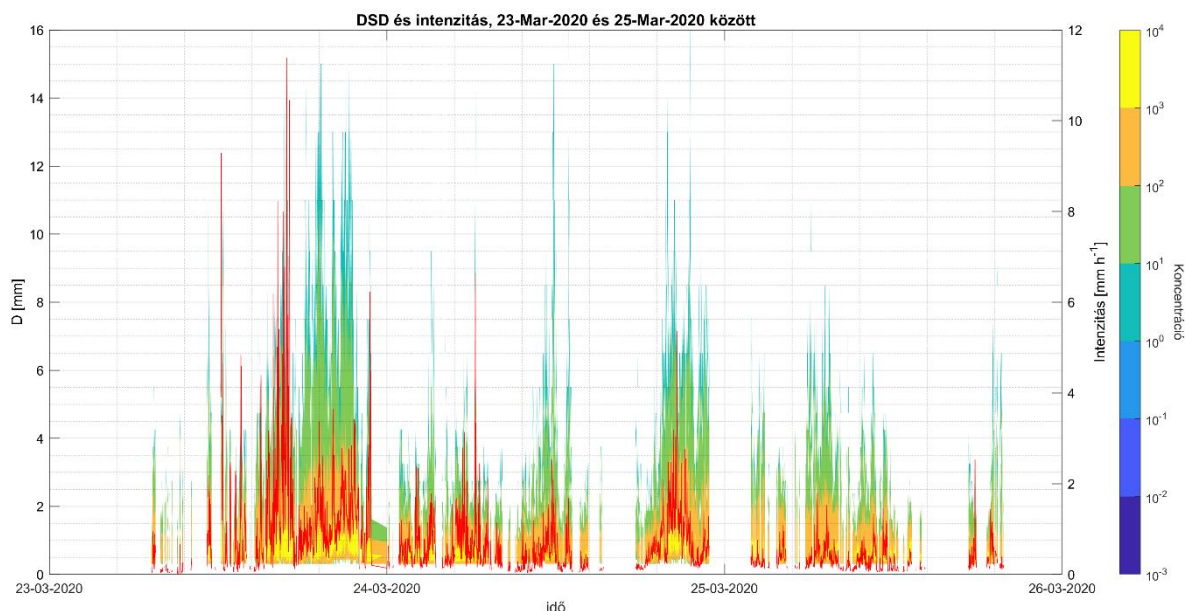


12. ábra: Ceilométer visszaszórási keresztmetszet mérési eredménye: 2024. 09. 12-17. (Készítette: Sarkadi Noémi)

4. Eredmények

4.1. Havazás

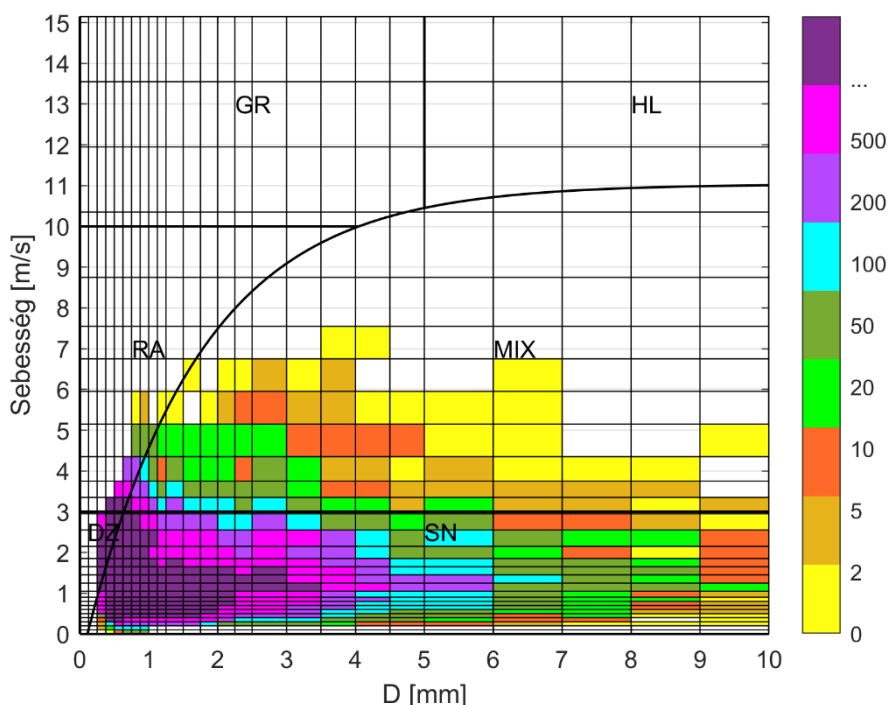
A 13. ábra a 2020. március 23 és 25 közötti havazásra vonatkozóan mutatja be a csapadékelemek átlagos méretét (bal oldali y-tengely), valamint a csapadék intenzitását (jobb oldali y-tengely), emellett a színezett területek az átlagos csapadékmérethez tartozó koncentrációváltozást mutatják az időben. Ebben az esetben a csapadék intenzitása 0-12 mm/h között változott. Március 23-án a mérés kezdeti időpontja 7:13 perckor volt, kisebb-nagyobb megszakításokkal egészen 22 óra 55 percig. Az átlagos intenzitás a teljes napra vonatkozóan 1,02 mm/h volt, bár az ábrán is látható, hogy ekkor volt a maximális intenzitás is 11,38 mm/h értékkel. Ezen a napon összesen a PARSIVEL² 13,66 mm csapadékot regisztrált. Ehhez képest a Lambrecht csapadékmérő 15,3 mm-t mért, míg a Pluvio 13,68 mm-t (lásd még 4.5. fejezet).



13. ábra: Az átlagos méret és az átlagos mérethez tartozó koncentráció időbeli változása a csapadékesemény során (színezett kontúrok), valamint az adott időszakhoz tartozó csapadékintenzitás változás (piros vonal). (Forrás: saját szerkesztés)

A vizsgálat során elkészítettem a méret-sebesség függvényeket is (spektrográf). A perces adatok mellett, az egész napra összesített értékeket is kiszámítottam és ábrázoltam. Az esetek bemutatása során ezeket az összesített ábrákat mutatom majd be. A 14. ábra ezek közül 2020.

március 24-i eredményeket mutatja be. A 2020. március 23. és 25-i állapot a szemléltetésre használt esethez nagyon hasonló, az eltérés elsősorban ott mutatkozik meg, hogy azokon a napokon a nagy méretű hópelyhek és a havas eső mindkét esetben kisebb koncentrációban van jelen.



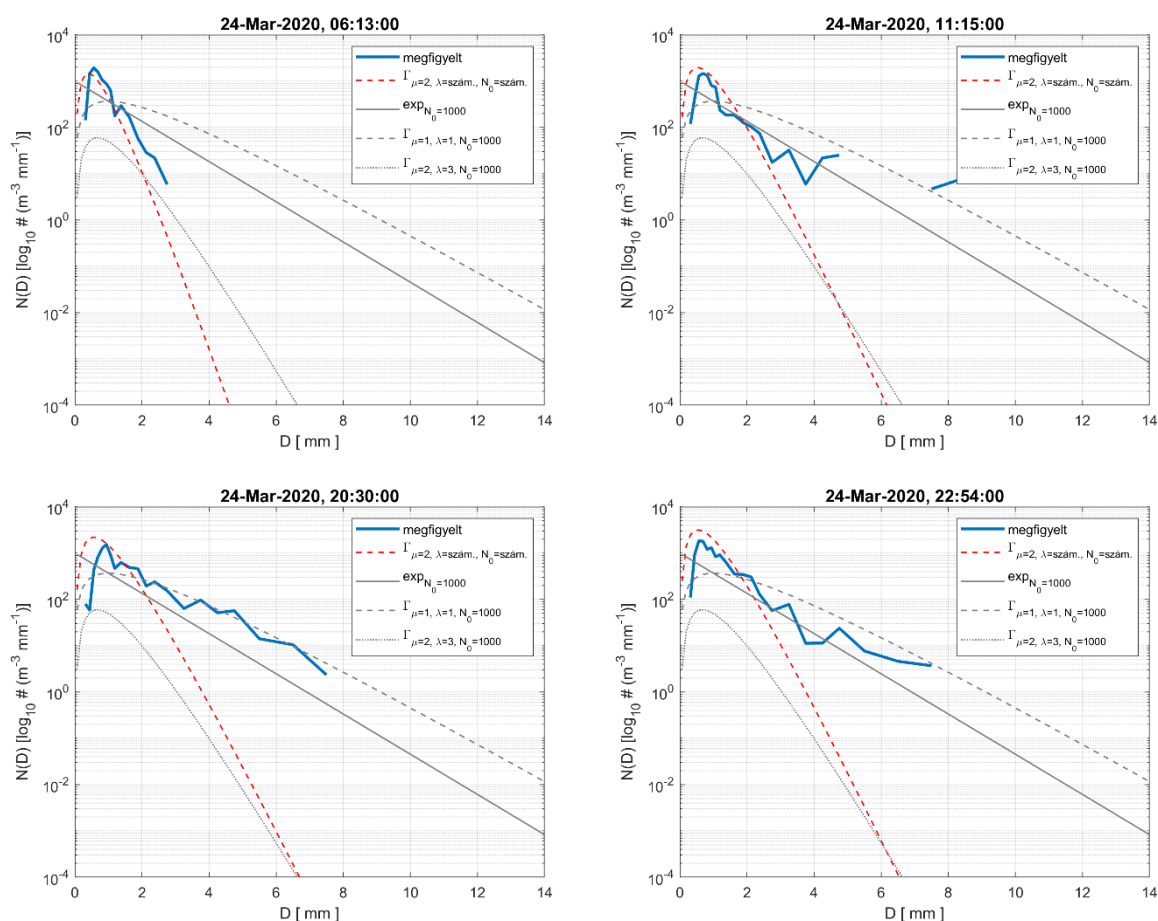
14. ábra: Spektrográf, vagyis a méret-sebesség-koncentráció függvény, napi összegzett csapadékkoncentráció értékekkel. A színezés az adott méretben, és sebességgel hulló csapadékelemek darabszámát szemlélteti. A fekete görbe vonal a Gunn-Kinzer függvény. Illetve a méret-sebesség alapján a csapadékelemek típus besorolása a következő: DZ – szitálás, RA – eső, SN – hó, MIX – havaseső, HL – jég és GR – hódara. (Forrás: saját szerkesztés)

A spektrográfról leolvasható, hogy a teljes napra összegzett csapadékelemek közül legnagyobb koncentrációban a 6 mm-nél kisebb, és 4 m/s esési sebességnél kisebb hópelyhek voltak jelen. A maximális érték (az ábrán sötétlilával jelölt terület) a néhány milliméteres, kis sebességgel hulló hópelyhek jelenlétére utal. De ezek mellett megjelennek akár centiméteres, vagy azt meghaladó méretű, kis sebességű aggregátok (összetapadt hópelyhek) is.

Az alábbi ábrák (15. ábra) a csapadékelemek méret szerinti eloszlását szemléltetik szintén 2020. március 24-én négy különböző időpontban. Az időpontok az intenzitás függvényében meghatározó időszakok alapján kerültek kiválasztásra.

Az ábrákon a megfigyelt (kék, egyenes vonal) mellett exponenciális (szürke, egyenes vonal), illetve gamma illesztett méret szerinti eloszlások (szürke szaggatott és pontozott vonalak

elméleti értékekkel; piros szaggatott vonallal két paraméter a mérésből lett származtatva) vannak feltüntetve. Látszik, hogy ha a gamma eloszlás paramétereit a mérésből származtatjuk, akkor a kis méretű csapadékelemek koncentrációját elég pontosan tudjuk visszaadni, ezzel szemben a nagyobb (2 mm átmérőnél nagyobb) csapadékelemek esetén az illesztett eloszlás alulbecsüli a csapadékelemek koncentrációját. Az is látszik az ábrákon, hogy az elméleti illesztések minden esetben pontatlanabbak, és rendre alulbecsülik a kisebb méretű csapadékelemek koncentrációját, és többnyire felülbecsülik a nagyobbakét. Meg kell jegyezni, hogy ebben az esetben a hulló hidrometeorok nagy része szilárd halmazállapotú csapadékelem volt, ahol az alkalmazott illesztési paraméterek, vagy függvények eleve pontatlanabbak.

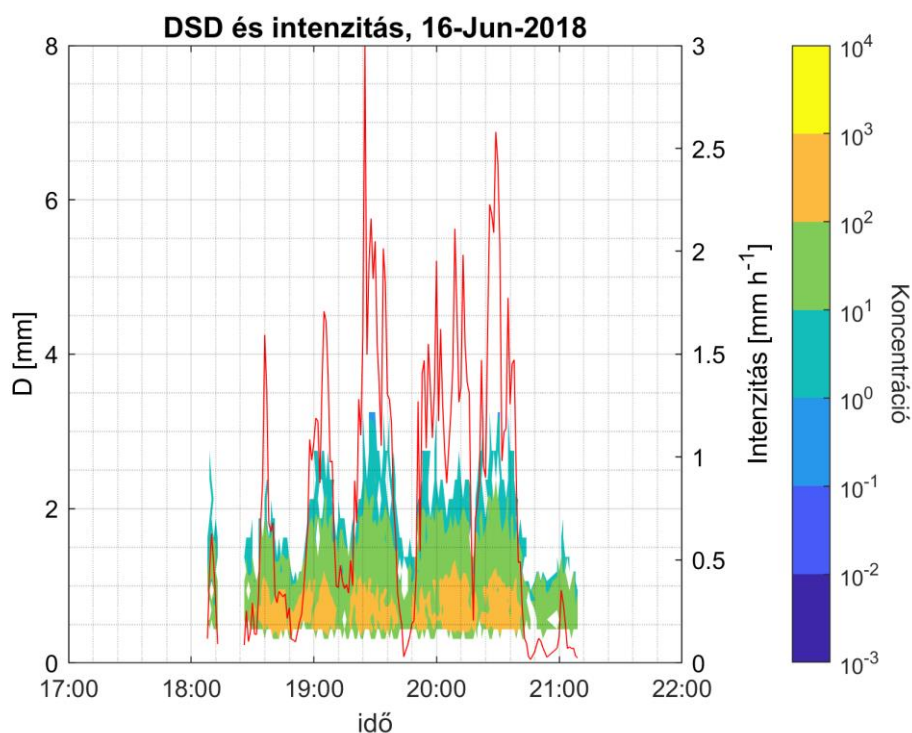


15. ábra: Csapadékelemek méret szerinti eloszlása 2020. 03. 24., különböző időpontokban. Az ábrákon a kék vonalak a megfigyelt értékeket mutatják (cseppspektrum mérő átlagolt értékei); a piros szaggatott vonal a momentum módszerrel (lásd 1.2.3. fejezet) illesztett gamma-eloszlást szemlélteti, míg a szürke egyenes (exponenciális), szaggatott és pontozott vonalak (gamma-eloszlások, különböző rögzített paraméterekkel) elméleti illesztett függvényeket ábrázolják. (Forrás: saját szerkesztés)

4.2. Konvektív csapadék

4.2.1. Zápor

A 16. ábra csapadékelemek átlagos méret, és intenzitás változás időbeli lefutását mutatják 2018. június 16-i záporos csapadék esetén. Ebben az esetben a csapadék intenzitása 0-3 mm/h között változott. Június 16-án a kora esti órákban kezdődött a csapadéktevékenység, amely egészen este valamivel 21:00 óra utánig tartott. Az átlagos intenzitás a teljes napra vonatkozóan 0,8265 mm/h volt, bár az ábrán is látható, hogy ekkor volt a maximális intenzitás is 2,99 mm/h értékkel. Tehát maga a csapadéktevékenység, bár a Pécs-Pogányi repülőtéri állomás záport jelzett erre a napra, valószínűleg a PTE TTK területén lévő csapadékmérőt csak részben érintette a konvektív felhőzet. Ezen a napon összesen a PARSIVEL² 2,285 mm csapadékot regisztrált. Ehhez képest a Lambrecht csapadékmérő 4,1 mm-t mért, míg a Pluvio 2,09 mm-t.

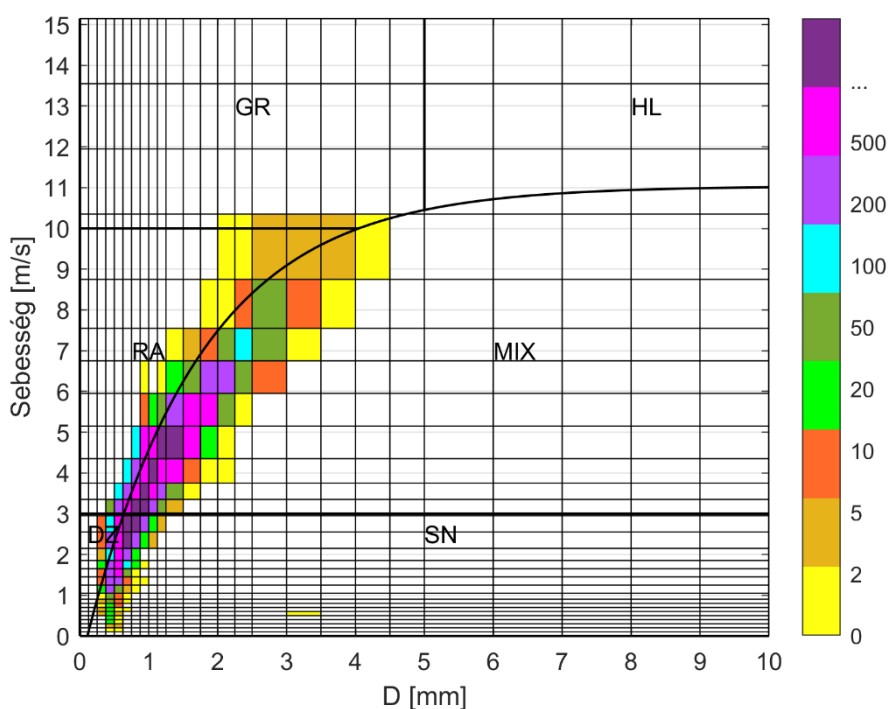


16. ábra: Az átlagos méret és az átlagos mérethez tartozó koncentráció időbeli változása a csapadékesemény során (színezett kontúrok), valamint az adott időszakhoz tartozó csapadékintenzitás változás (piros vonal). (Forrás: saját szerkesztés)

A 17. ábra a 2018. június 16-i állapot összegzett méret-sebességfüggvényét mutatja be. Jól látható, hogy ebben az esetben az elméleti Gunn-Kinzer görbe mentén csoportosulnak az

értékek. A legnagyobb csapadékelemek átlagos mérete elérte a közel 4,5 mm-t, amelyhez ~ 10 m/s esési sebesség tartozott, fontos azonban megjegyezni, hogy ezekből mindössze néhány darabot detektált a műszer a teljes esemény kapcsán.

A spektrográfról leolvasható, hogy a teljes napra összegzett csapadékelemek közül legnagyobb koncentrációban a 2-2,5 mm-nél kisebb, és 6-7 m/s esési sebességnél kisebb vízcseppek voltak jelen. A maximális érték (az ábrán sötétlilával jelölt terület) az 1-2 milliméteres, ~ 5 m/s sebességgel hulló vízcseppeknél volt megfigyelhető. Az elméleti beosztás alapján 1-2 esetben akár könnyen lehet, hogy kisebb hódara részecskék is jelen lehettek.

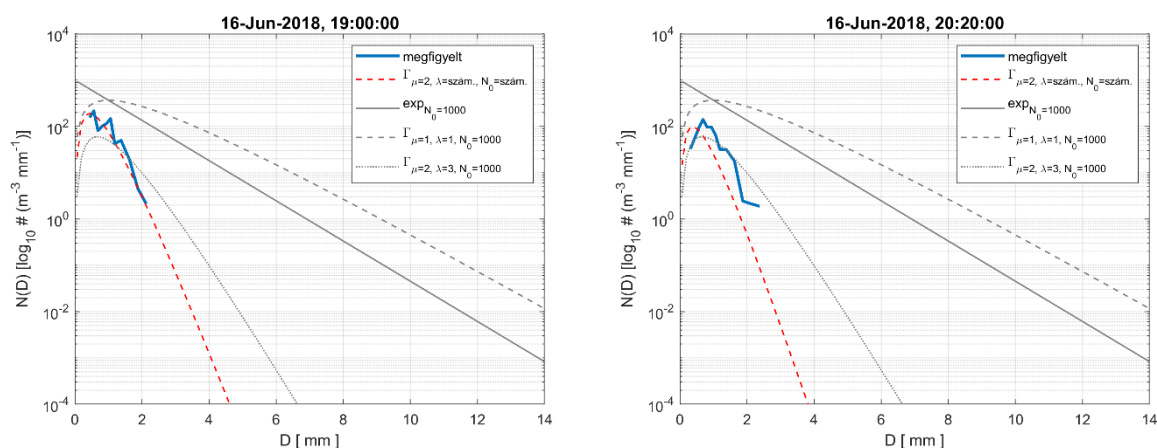


17. ábra: Spektrográf, vagyis a méret-sebesség-koncentráció függvény, napi összegzett csapadékkoncentráció értékekkel. A színezés az adott méretben, és sebességgel hulló csapadékelemek darabszámát szemlélteti. A fekete görbe vonal a Gunn-Kinzer függvény. (Forrás: saját szerkesztés)

A csapadékelemek méret szerinti eloszlását 2018. június 16-án két különböző időpontban (az esemény kezdetén, és végén) a 18. ábra mutatja be.

Az ábrákon a megfigyelt (kék, egyenes vonal) mellett exponenciális (szürke, egyenes vonal), illetve gamma illesztett méret szerinti eloszlások (szürke szaggatott és pontozott vonalak elméleti értékekkel; piros szaggatott vonallal két paraméter a mérésből lett származtatva) vannak feltüntetve. Látszik, hogy ha a gamma eloszlás paramétereit a mérésből származtatjuk, akkor a kis méretű csapadékelemek koncentrációját elég pontosan tudjuk visszaadni a teljes időszakra vonatkozóan, ezzel szemben a nagyobb (2 mm átmérőnél nagyobb) csapadékelemek

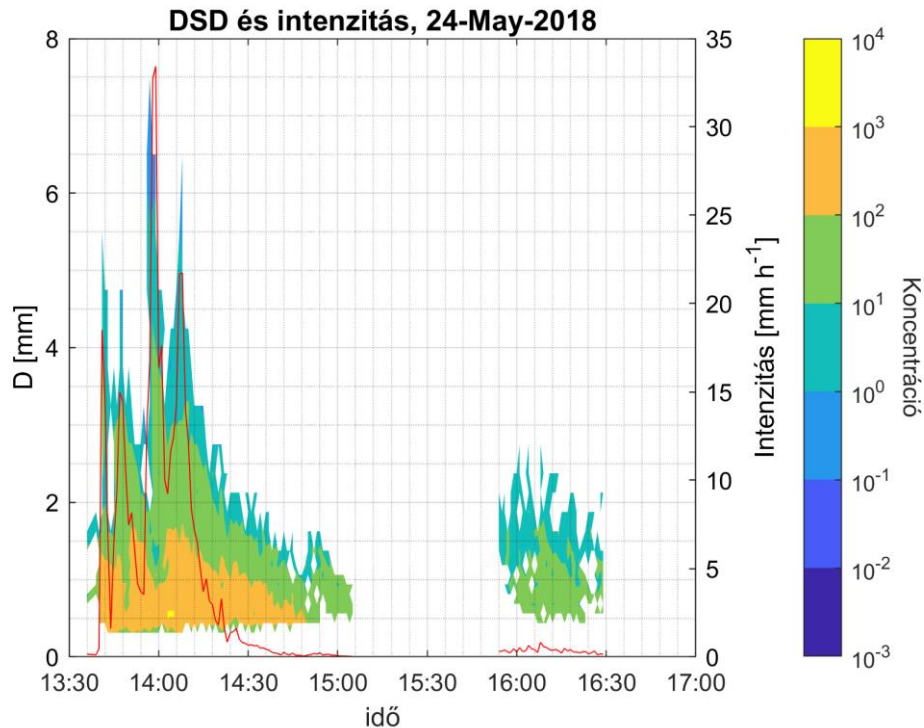
esetén az illesztett eloszlás alulbecsüli a csapadékelemek koncentrációját. Az esemény kezdeti szakaszán a mérésből származtatott illesztés bizonyult jobbnak, míg az esemény végén, ugyan némileg alulbecsülte a ~ 1 mm-es csapadékelemek koncentrációját, de egy rögzített paraméterekkel rendelkező gamma-eloszlás jobban leírta a csapadékelemek méret szerinti eloszlását.



18. ábra: Csapadékelemek méret szerinti eloszlása 2018. 06. 16., különböző időpontokban. Az ábrákon a kék vonalak a megfigyelt értékeket mutatják (cseppspektrum mérő átlagolt értékei); a piros szaggatott vonal a momentum módszerrel (lásd 1.2.3. fejezet) illesztett gamma-eloszlást szemlélteti, míg a szürke egyenes (exponenciális), szaggatott és pontozott vonalak (gamma-eloszlások, különböző rögzített paraméterekkel) elméleti illesztett függvényeket ábrázolják. (Forrás: saját szerkesztés)

4.2.2. Zivatar

A 2018. május 24-ig zivatar esetében már jelentősen eltérő képet kapunk. A 19. ábra alapján jól látható, hogy a kora délutáni órákban egy nagy intenzitású csapadékeseményt (13:30-15:00), a későbbiekben egy igen alacsony intenzitású csapadékesemény követ, kb. 30 perc terjedelemben. Az átlagos intenzitás a teljes napra vonatkozóan $3,73$ mm/h volt, bár az ábrán is látható, hogy a maximális intenzitás majd 35 mm/h értékkel jelent meg ($33,44$ mm/h). A PARSIVEL² cseppspektrum mérő ezen a napon jeget is detektált. Ezen a napon összesen a PARSIVEL² $7,8$ mm csapadékot regisztrált, míg a Lambrecht csapadékmérő valamivel többet: $8,6$ mm-t.



19. ábra: Az átlagos méret és az átlagos mérethez tartozó koncentráció időbeli változása a csapadékesemény során (színezett kontúrok), valamint az adott időszakhoz tartozó csapadékintenzitás változás (piros vonal). (Forrás: saját szerkesztés)

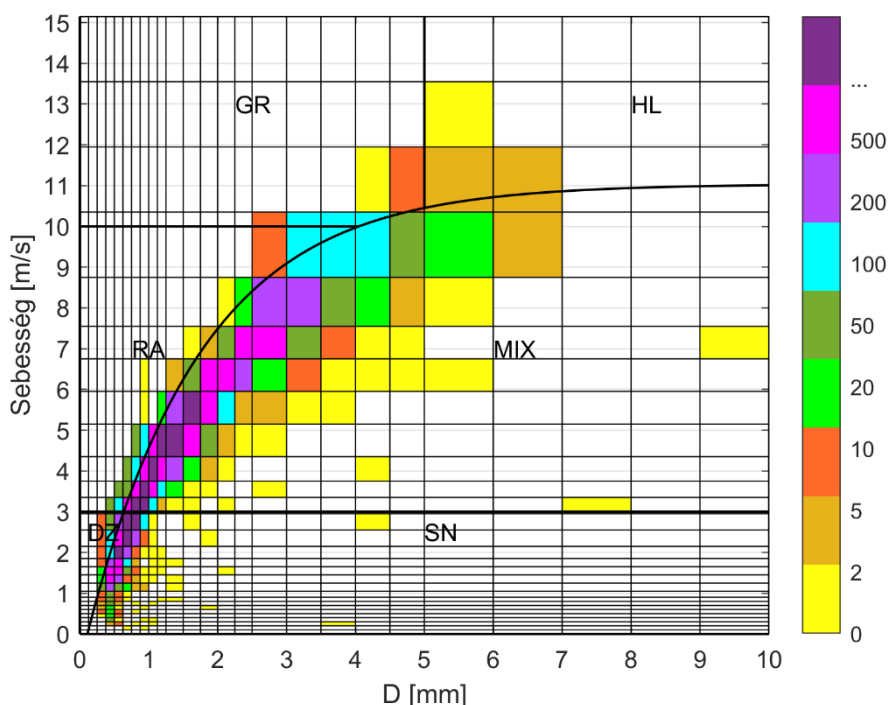
Az esetre vonatkozó spektrográfot az alábbi ábra szemlélteti (20. ábra). Az ábra nagyon hasonló összességében a 2018. június 16-i konvektív csapadékesemény sebesség-méret függvényéhez, és az ahhoz kapcsolódó eloszláshoz. Ami jól látható, hogy ebben az esetben megjelennek a nagyobb méretű és esési sebességű jég szemek is. Az ábra alapján az is elmondható, hogy ha a klasszikus Gunn-Kinzer görbe mentén soroljuk be a csapadékelemeket típusokba, akkor ebben az esetben pontatlan eredményt kapnánk.

A spektrográfról leolvasható, hogy a teljes napra összegzett csapadékelemek közül legnagyobb koncentrációban a 3,5 mm-nél kisebb, de viszonylag nagy esési sebességű vízcseppek voltak jelen. A maximális érték (az ábrán sötétlilával jelölt terület) kb. 1,5 milliméteres, közepes sebességgel hulló vízcseppek voltak a meghatározóak.

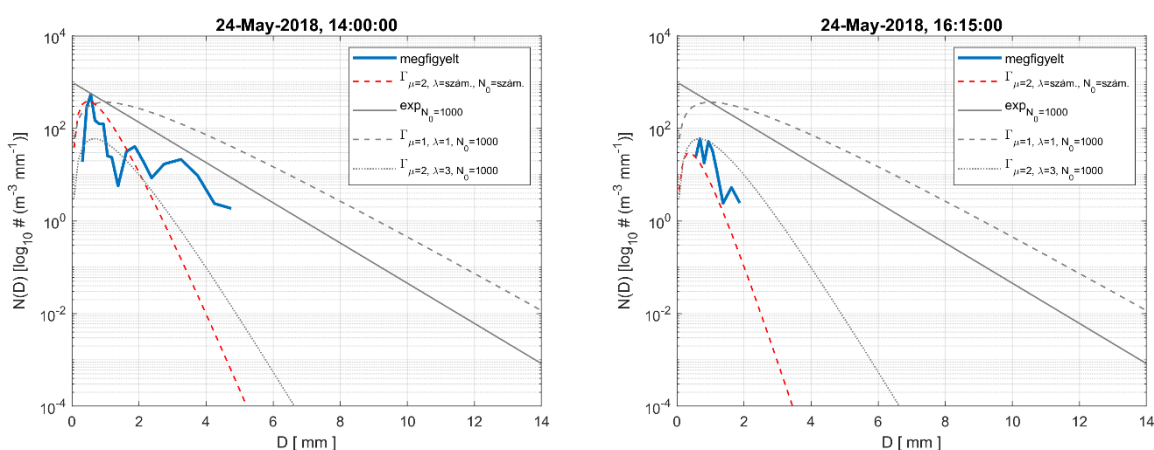
A legintenzívebb és a legkisebb intenzitású periódusokból 1-1 méret szerinti eloszlást szemléltet a 21. ábra.

Látszik, hogy ha a gamma eloszlás paramétereit a mérésből származtatjuk, akkor a kis méretű csapadékelemek koncentrációját elég pontosan tudjuk visszaadni az intenzív csapadékú szakaszban, és némileg alulbecsüljük az alacsony intenzitású időszakban. Ezzel szemben a nagyobb (2 mm átmérőnél nagyobb) csapadékelemek esetén az illesztett eloszlás alulbecsüli a

csapadékelemek koncentrációját mindkét időszakban. Az is látszik az ábrákon, hogy az elméleti illesztések minden esetben pontatlanabbak, és rendre alulbecsülik a csapadékelemek koncentrációját az intenzív periódusban, és felülbecsülik azt az alacsony intenzitású időszakban.



20. ábra: Spektrográf, vagyis a méret-sebesség-koncentráció függvény, napi összegzett csapadékkoncentráció értékekkel. A színezés az adott méretben, és sebességgel hulló csapadékelemek darabszámát szemlélteti. A fekete görbe vonal a Gunn-Kinzer függvény. (Forrás: saját szerkesztés)

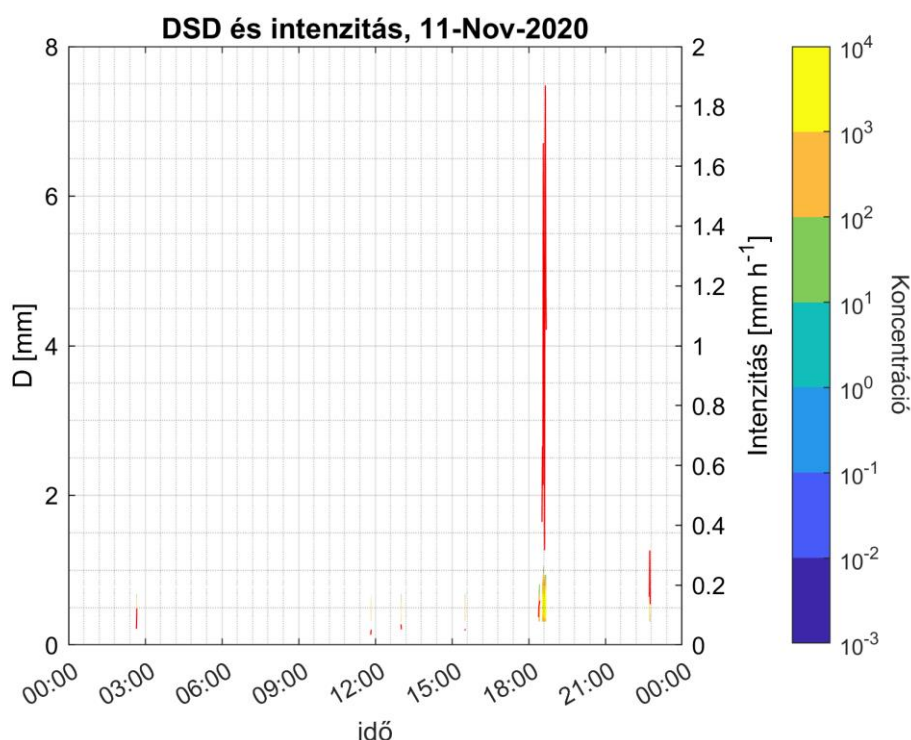


21. ábra: Csapadékelemek méret szerinti eloszlása 2018. 05. 24., különböző időpontokban. Az ábrákon a kék vonalak a megfigyelt értékeket mutatják (cseppspektrum mérő átlagolt értékei); a piros szaggatott vonal a momentum módszerrel (lásd 1.2.3. fejezet) illesztett gamma-eloszlást szemlélteti, míg a szürke

egyenes (exponenciális), szaggatott és pontozott vonalak (gamma-eloszlások, különböző rögzített paraméterekkel) elméleti illesztett függvényeket ábrázolják. (Forrás: saját szerkesztés)

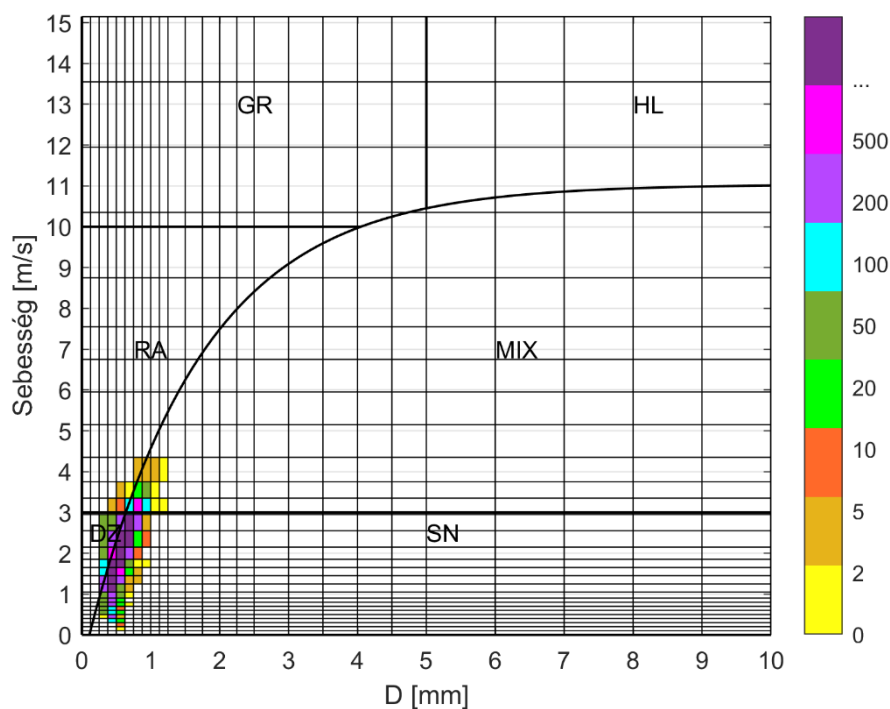
4.3. Alacsony intenzitású csapadék

A 22. ábra a csapadékelemek átlagos méretének és intenzitásának időbeli változását mutatja 2020. november 11-én. Az említett eset napját megelőzően több napon keresztül ködös idő volt jellemző az állomás környékére. Azokon a napokon sem a Lambrecht, sem a Pluvio nem detektált csapadékot. A 2020. november 11-i napon a köd megemelkedésével alacsony szintű felhőzetből kis intenzitással (kevesebb, mint 2 mm/h) gyenge szitálás volt megfigyelhető.

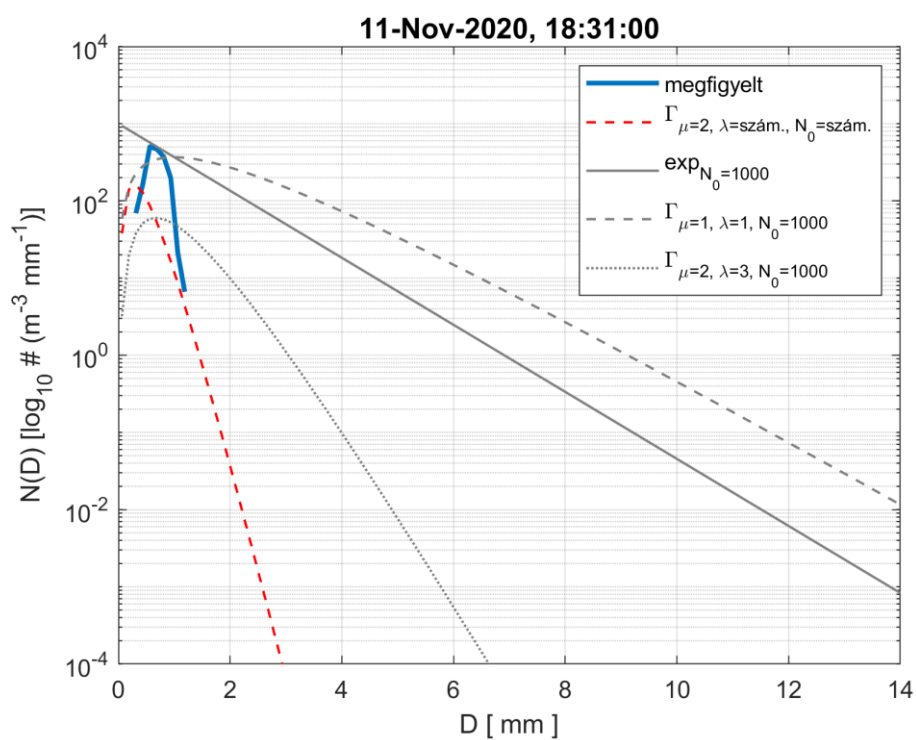


22. ábra: Az átlagos méret és az átlagos mérethez tartozó koncentráció időbeli változása a csapadékesemény során (színezett kontúrok), valamint az adott időszakhoz tartozó csapadékintenzitás változás (piros vonal). (Forrás: saját szerkesztés)

A 23. ábra a sebesség-méret függvény ábrázolja a szitálás esetében. Nagyon jól látható, hogy a vízcseppek mérete alig haladta meg a teljes napra vonatkozóan összegezve is az 1 mm-es méretet. Legnagyobb koncentrációban a kb. 0,5 mm-es vízcseppek voltak jelen, amelyek esési sebessége átlagosan 1-2 m/s volt.



23. ábra: Spektrográf, vagyis a méret-sebesség-koncentráció függvény, napi összegzett csapadékkoncentráció értékekkel. A színezés az adott méretben, és sebességgel hulló csapadékelemek darabszámát szemlélteti. A fekete görbe vonal a Gunn-Kinzer függvény. (Forrás: saját szerkesztés)

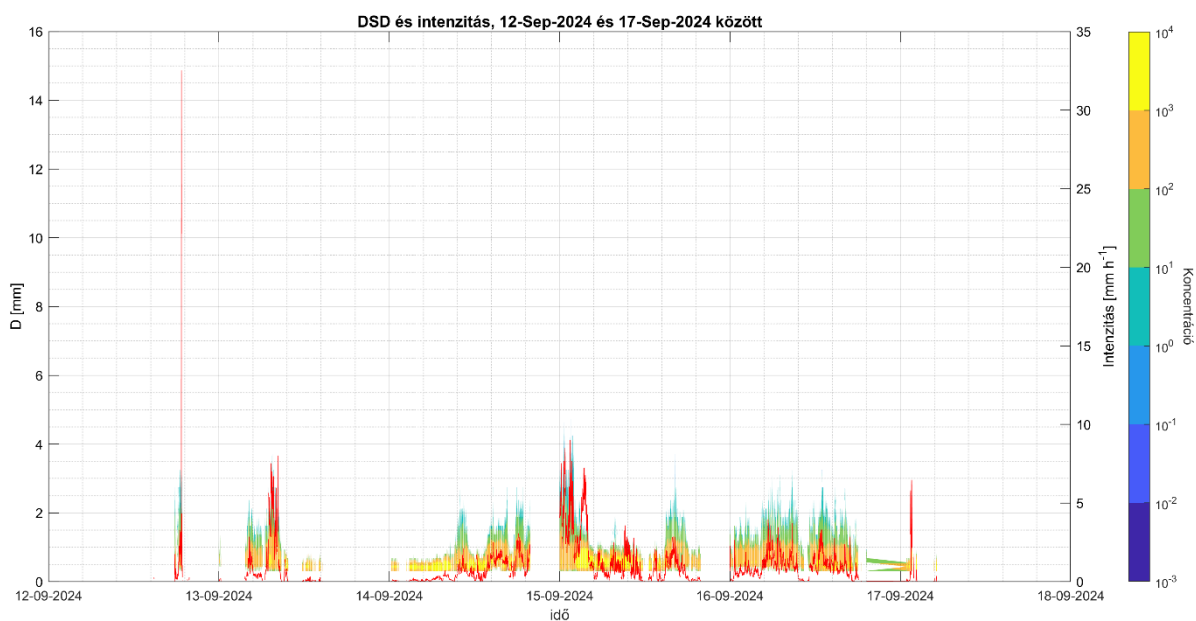


24. ábra: Csapadékelemek méret szerinti eloszlása 2020. 11. 11., 18:31 (óra:perc) időpontokban. Az ábrán a kék vonal a megfigyelt értéket mutatja (cseppspektrum mérő átlagolt értéke); a piros szaggatott

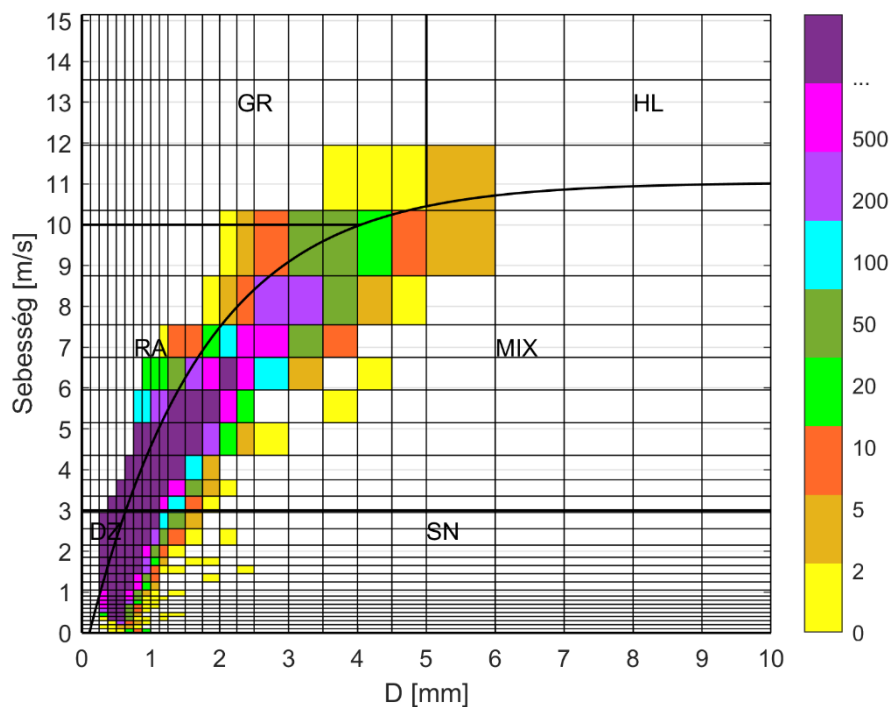
vonal a momentum módszerrel (lásd 1.2.3. fejezet) illesztett gamma-eloszlást szemlélteti, míg a szürke egyenes (exponenciális), szaggatott és pontozott vonalak (gamma-eloszlások, különböző rögzített paraméterekkel) elméleti illesztett függvényeket ábrázolják. (Forrás: saját szerkesztés)

4.4. Frontális csapadék

A 4.2.4. fejezetben már ismertetett csapadékeseménnyel kapcsolatban, az előző fejezetek szerkezetének megfelelően az alábbiakat tudjuk elmondani. A csapadékelemek átlagos méretének és intenzitásának időbeli változását mutatja 2024. szeptember 12 és 17 közötti időszakban a 25. ábra. Az ábra alapján elmondható, hogy a csapadék intenzitása alapvetően néhány mm/h-10 mm/h között változott átlagosan (a teljes időszakra vonatkozó átlagos intenzitás ~ 1 mm/h volt). A maximális csapadékindenzitás közel 32.5 mm/h-val az első nap végén volt megfigyelhető. A legintenzívebb periódus 2024. szeptember 15-én volt megfigyelhető, de az azt megelőző és azt követő napokon is szinte megállás nélkül volt valamilyen csapadéktevékenység (szitálás, eső). A csapadékelemek átlagos mérete nem haladta meg a 4 mm-es átmérőt, de legnagyobb koncentrációban az egész időszak alatt a kisebb, mintegy 1 mm átmérőjű részecskék voltak jelen.



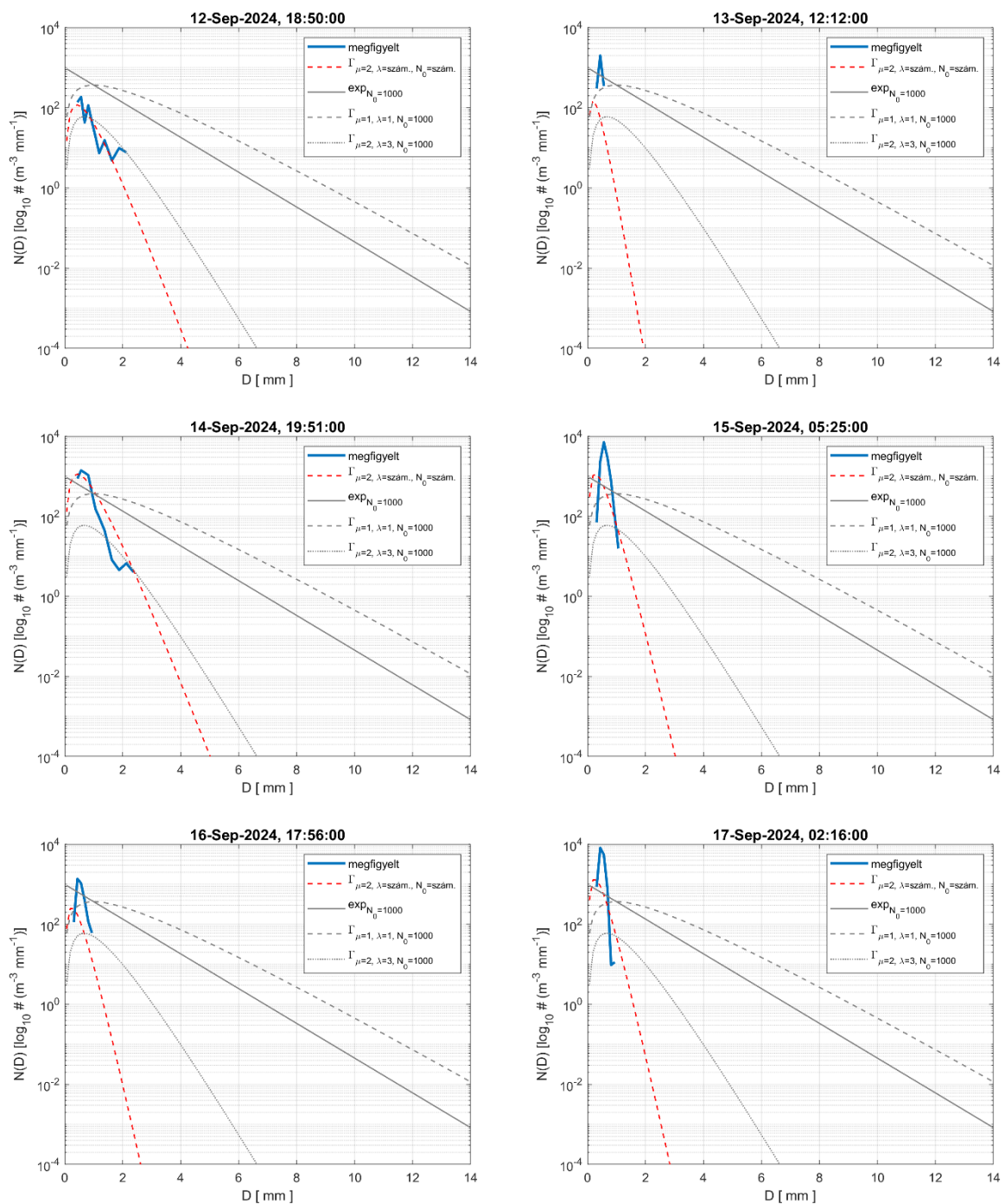
25. ábra: Az átlagos méret és az átlagos mérethez tartozó koncentráció időbeli változása a csapadékesemény során (színezett kontúrok), valamint az adott időszakhoz tartozó csapadékindenzitás változás (piros vonal). (Forrás: saját szerkesztés)



26. ábra: Spektrográf, vagyis a méret-sebesség-koncentráció függvény, napi összegzett csapadékkoncentráció értékekkel (2024. 09. 15.). A színezés az adott méretben, és sebességgel hulló csapadékelemek darabszámát szemlélteti. A fekete görbe vonal a Gunn-Kinzer függvény. (Forrás: saját szerkesztés)

A 26. ábra a 2024. szeptember 15-i eredményeket mutatja be. A spektrográfról leolvasható, hogy a teljes napra összegzett csapadékelemek közül legnagyobb koncentrációban a 2,5 mm-nél kisebb, és < 6 m/s esési sebességnél kisebb vízcseppek voltak meghatározóak. A maximális koncentráció ebben az esetben nagyon jól egybevágtott a Gunn-Kinzer görbével.

A 27. ábra a csapadékelemek méret szerinti eloszlását szemlélteti a különböző napokon 1-1 időpontban. Az ábra alapján elmondható, hogy igen változatos képet kapunk. A kis méretű, de nagy intenzitású csapadékhullással összefüggésben gyakran volt megfigyelhető, hogy az illesztések rendre alulbecsülték a csapadékelemek koncentrációját. Míg a nagyobb átlagos mérettel és intenzívebb esetekben az illesztés jobbnak bizonyult.



27. ábra: Csapadékelemek méret szerinti eloszlása 2024. 09. 12-17., különböző időpontokban. Az ábrákon a kék vonalak a megfigyelt értékeket mutatják (cseppspektrum mérő átlagolt értékei); a piros szaggatott vonal a momentum módszerrel (lásd 1.2.3. fejezet) illesztett gamma-eloszlást szemlélteti, míg a szürke egyenes (exponenciális), szaggatott és pontozott vonalak (gamma-eloszlások, különböző rögzített paraméterekkel) elméleti illesztett függvényeket ábrázolják. (Forrás: saját szerkesztés)

4.5. Csapadékmérő műszerek összehasonlítása

A PARSIVEL² cseppspektrum mérő műszer sajátossága, hogy többek között, a csapadék intenzitása, mérete, sebessége vagy koncentrációja mellett az összes lehullott csapadékot is kiszámítja. A mérőműszer megbízhatóságának vizsgálata érdekében összevetettük a Lambrecht, Pluvio és PARSIVEL² mérőműszerek által detektált összes lehullott csapadékot, illetve intenzitás értékeket is.

Hasonló összevetést évszakos bontásban Kovács Anna (2022) már elvégzett a PTE TTK Meteorológiai Állomás adataiból. Jelen dolgozatban nem megismételni, hanem kiegészíteni szándékozunk a mérési eredményeit, amely azt mutatta, hogy a PARSIVEL² is viszonylag megbízható eredményeket szolgáltat a csapadéokra vonatkozóan.

Az 1. Táblázat a különböző esetekre vonatkozóan, napi bontásban mutatja meg a PARSIVEL², Pluvio és Lambrecht által mért napi csapadékösszegeket. A 2. Táblázat a 2024. szeptemberi esemény regisztrált csapadékösszegeit foglalja össze napi bontásban. Látható, hogy a PARSIVEL² megbízható műszer, és a Pluvio-val összehasonlítva erősebb egyezést tapasztaltunk, ami abból a szempontból nem meglepő, hogy a Pluvio is az OTT Hydromet gyártja.

1. Táblázat: PARSIVEL², Lambrecht és Pluvio csapadékmérő műszerek által regisztrált napi csapadékösszeg (mm). (Forrás: saját szerkesztés)

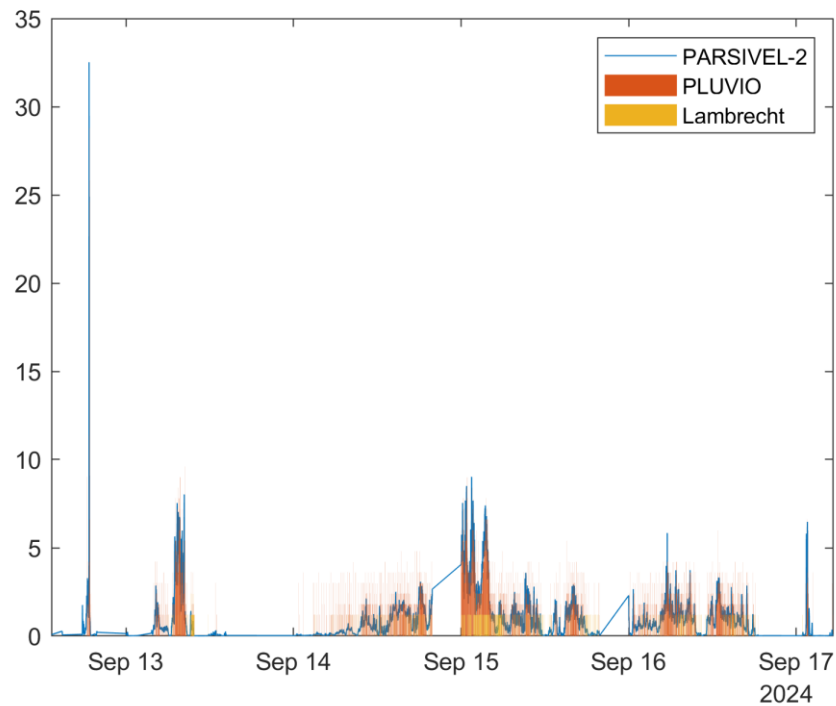
Csapadékösszeg (mm)	2020. 03. 23.	2020. 03. 24.	2020. 03. 25.	2018. 05. 24.	2018. 06. 16.	2020. 11. 11.
PARSIVEL ²	13,66	10,06	3,675	7,775	2,285	0,25*
Lambrecht	15,3	9,4	1,8	8,6	4,1	0,2
Pluvio	13,68	6,83	2,01	Üzemen kívül volt.	2,09	0,24*

* A PARSIVEL-2 és Pluvio esetében csak 2020. november 11-i nap regisztráltak csapadékot.

2. Táblázat: PARSIVEL², Lambrecht és Pluvio csapadékmérő műszerek által regisztrált napi csapadékösszeg (mm) a 2024. szeptemberi ciklonális helyzetben. (Forrás: saját szerkesztés)

Csapadékösszeg (mm)	09. 12.	09. 13.	09. 14.	09. 15.	09. 16.	09. 17.
PARSIVEL ²	2,5	8,735	11,685	28,145	17,35	1,04
Lambrecht	2,5	9,4	18,4	34,1	18,9	1,5
Pluvio	2,56	9,32	14,74	41,85	19,44	2,2

Az intenzitásértékek alapján is látható, hogy a PARSIVEL² és Pluvio mérőműszerek nagyon hasonló intenzitásértékeket detektáltak, míg a Lambrecht esetében sokszor volt tapasztalható alulbecslés az intenzitásban a másik két mérőműszerhez képest. Hasonló volt a helyzet minden más esetben is, kivéve 2018. június 16-i esetet, amikor a PARSIVEL² jelentősen alulbecsülte a csapadékinтенzitást a Pluvio és Lambrecht mérőműszerekhez képest. A szakirodalomnak megfelelően megvizsgáltam ezen a napon



28. ábra: A Parsivel², Pluvio és Lambrecht csapadékmérők intenzitásértékei, 2024. szeptember 12-17.
(Forrás: saját szerkesztés)

5. Összefoglalás, további kutatási irányok

Jelen dolgozatban különböző csapadékesemények során vizsgáltam a csapadékelemek méret szerinti eloszlását, valamint azok időbeli változását. A célkitűzéseim az alábbiak voltak:

1. Csapadékelemek méret szerinti eloszlásának vizsgálta:

Különböző esetekben megvizsgáltam a csapadékelemek méret szerinti eloszlását a PARSIVEL² cseppspektrum mérő adatai alapján. Azzal a feltevessel éltem, hogy az esőcseppek, és egyéb szilárd halmazállapotú csapadékelemek méret szerinti eloszlása eltér egymástól réteges szerkezetű felhőzetben és konvektív felhőzet esetén. Emellett időbeli változékonyságukat is megvizsgáltam.

Ennek bizonyítására kiválasztottam két konvektív esetet, valamint egy alacsony intenzitású csapadékeseményt, köd során a felhőalap megemelkedésével kihulló csapadék vizsgálatát, valamint egy több napos ciklonális csapadékú esetet. Kiegészítésként havazás során is megvizsgáltam a csapadékelemek méret szerinti eloszlását.

Az alábbi megállapításokat tehetjük:

- Havazásnál viszonylag alacsonyabb koncentráció értékek voltak megfigyelhetők.
- „Ködös” esetben a nagyon kisméretű részecskék nagy koncentrációja volt detektálható. Itt meg kell említenem, hogy csak akkor volt mért adat, amikor a ködből kicsapódás/szítálás ment végbe. Tehát ködnél/ködszítálásnál fontos, hogy a műszer a nagyon kisméretű csapadékelemeket nem látja.
- Zápor/zivataros esetről: mind a nagyméretű, mind a kisebb vízcseppek viszonylag nagy koncentrációban megfigyelhetők voltak. Meg kell említeni még fröccsenéses effektust, ami a mérőműszerről beeső/”átpattanó” csapadékelem más kategóriában érzékelte a műszer ezeket nem nagymértékben fordultak elő. Jég detektálására is sort került a zivataros esetben, ami a méret-sebesség függvényen is jól megfigyelhető.
- Havazásos eseményeknél megfigyelhető volt, hogy az aggregátok (azaz összetapadt hópelyhek) is megjelennek a műszeren (viszonylag nagyméretű, kis esési sebességű hidrometeorokként).
- Frontális csapadék esetről figyelembe kellett venni a front áthaladását és lefolyását. Jól megfigyelhető volt, hogy több napon is nagyon hasonló időjárás volt jelen.

A különböző csapadékelemek koncentrációjában jelentős eltérések voltak, attól függően milyen esetről volt szó.

2. Csapadékösszeg és intenzitás vizsgálata:

Összevettem a billenőedényes csapadékmérővel (Lambrecht), valamint egy súlymérésen alapuló mérőműszer (Pluvio) mért adataival a cseppspektrum mérőből származó csapadékösszegeket és a csapadék intenzitás értékeit. Azt tapasztaltam, hogy bizonyos csapadékesemények során (konvektív, havazás, szitálás, kisebb intenzitású csapadék) a cseppspektrum mérő jó egyezést mutat mindkét másik műszerrel. Ez az eredmény megegyezik Kovács (2022) tapasztalataival, napi bontásban. Ugyanakkor a ciklonális, váltakozó intenzitású és jelentősen változékonyabb szélsőségekű esetben (2024. szeptember) a cseppspektrum mérő jelentősen alulbecsülte az akkumulált csapadék mennyiségét.

3. Numerikus modellekben alkalmazott illesztett függvények összevetése a mérési adatokkal:

A kapott illesztések sok esetben pontatlannak bizonyultak az elméleti értékek alapján, ugyanakkor a mérési adatokból származtatott illesztés sem minden esetben volt megfelelő. Meg kell említeni azonban, hogy a görbe alakja jobban illeszkedett a megfigyelt értékekhez, ugyanakkor a nagyobb méretű csapadékelemek koncentrációját gyakran alulbecsülte az illesztés.

Kutatás során a továbbiakban szeretném vizsgálni a reflektivitás és csapadék intenzitás kapcsolatát (Z-R). Ehhez a vizsgálathoz nem csak a cseppspektrum mérő adatait, de radar képekkel való összevetést is tervezek, mint a PARSIVEL² származtatható radar reflektivitásnak és a radar által mért reflektivitás értékek összevetése.

Tervezem, hogy a vizsgálatot más esetekre is kiterjesztem, így hosszabb időszakra vonatkozóan tudnám megnézni a csapadékelemek méret szerinti eloszlását, és annak változását, eltéréseit konvektív és réteges szerkezetű csapadék esetén, ezek alapján pedig átlagos méret szerinti eloszlást számítanék.

Irodalomjegyzék

1. Ablonczy D. (2018). Hogyan mérjük az esőt? Mennyire süt most a nap? Hogyan működik a szélmérő? (meteorológiai érzékelők egyszerűen, a hétköznapiakban). *Léggör*, 63, 163-177.
2. Allan, R. P., & Soden, B. J. (2008). Atmospheric Warming and the Amplification of Precipitation Extremes. *Science*, 321(5895), 1481-1484.
3. Baros, Z., Bíró, K. A., Szegedi, S., Tóth, T., 2006: A csapadék mennyiségének mérése. In: *Meteorológiai műszerek*. Debreceni Egyetem Kossuth Egyetemi Kiadója, Debrecen. 145-154.
4. Cambridge: https://www.cambridge.org/core/books/abs/precipitation/measuring-precipitation-with-raingauges/8FBDFCECAA18FCD1C64E4BD813E0241F?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTEAAR1NwNC6Mv-KOORkCq0fNwtKGOWzEAiechaw7QpHOH1ay6KE-KXWbxy8yE_aem_Ity68DtNaHJKiEY8LdW9ug (Utolsó látogatás: 2024.11.06.)
5. Coumou, D., & Rahmstorf, S. (2012). A decade of weather extremes. *Nature Climate Change*, 2(7), 491-496.
6. Cséplő A., Schmeller G., Czigány Sz., Sarkadi N., Pirkhoffer E., J. K. Bodaballa és Geresdi I. (2021). Még nem nagykorú, de már adatbázis: meteorológiai állomás A botanikus kert szélárnyékában. *Léggör*, 66, 11-18.
7. Fu, Z., Dong, X., Zhou, L., Cui, W., Wang, J., Wan, R., et al. (2020). Statistical characteristics of raindrop size distributions and parameters in Central China during the Meiyu seasons. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125, e2019JD031954. <https://doi.org/10.1029/2019JD031954>
8. Geresdi, I. (2004): *Felhőfizika*, Dialóg Campus Kiadó, 272 o.
9. IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
10. Jóidő: <https://joido.ttk.pte.hu> (utolsó felkeresés: 2025. 01. 06.)
11. Kovács Anna (2022): Melyik csapadékmérőnek higgyünk? – Három csapadékmérési technika összehasonlítása. PTE TTK, Földtudományi BSC szak, Szakdolgozat, 41 o.
12. Kovács Dorottya (2015): Csapadék cseppspektrum adatok elemzése az OMSZ mérőhálózatában. ELTE TTK, Földtudományi szak, Meteorológus szakirány, Szakdolgozat, 44 o.
13. Lin, L., Bao, X., Zhang, S., Zhao, B., & Xia, W. (2021). Correction to raindrop size distributions measured by PARSIVEL disdrometers in strong winds. *Atmospheric Research*, 260, 105728.
14. Marshall, J. S., & Palmer, W. M. K. (1948). The distribution of raindrops with size. *Journal of Meteorology*, 5(4), 165–166. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1948\)005%0165:TDORWS%e2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1948)005%0165:TDORWS%e2.0.CO;2)
15. Mészáros, R. (2013): *Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek*. Eötvös Loránd Tudományegyetem, 204. o.
16. Napijelentés: https://arviz.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes_2005-2019/

17. NASA: Global Climate Change: Vital Signs of the Planet. <https://climate.nasa.gov>
18. Oki, T., & Kanae, S. (2006). Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, 313(5790), 1068-1072.
19. OTT Parsivel² Manual: Operating Instructions, Present Weather Sensor OTT PARSIVEL², OTT HydroMet GmbH, Document number: 70.210.002.B.E 05-0224 (<https://otthydromet.com>)
20. Tokay, A., W. A. Petersen, P. Gatlin, and M. Wingo, 2013: Comparison of Raindrop Size Distribution Measurements by Collocated Disdrometers. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **30**, 1672–1690, <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-12-00163.1>.
21. Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1-2), 123-138.
22. Jairo M. Valdvia. (2019, October 3). JValdivia23/parsivel2: OTT Parsivel2 toolbox (Version v1.1). Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3471885> (letöltés dátuma: 2024. 11. 7.)
23. Zhang, G., Vivekanandan, J., & Brandes, A. E. (2001). A method for estimating rain rate and drop size distribution from polarimetric radar measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(4), 830–841. <https://doi.org/10.1109/36.917906>

Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ÁBRA: LAMBRECHT CSAPADÉKMÉRŐ A PTE TTK METEOROLÓGIAI ÁLLOMÁSÁN. (FORRÁS: SAJÁT FELVÉTEL)	5
2. ÁBRA: PLUVIO CSAPADÉKMÉRŐ A PTE TTK METEOROLÓGIAI ÁLLOMÁSÁN. (FORRÁS: SAJÁT FELVÉTEL)	6
3. ÁBRA: OTT PARSIVEL-2 CSEPPSPEKTRUM MÉRŐ MŰSZER A PTE TTK METEOROLÓGIAI ÁLLOMÁSON. (FORRÁS: SAJÁT FELVÉTEL)	7
4. ÁBRA: PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR METEOROLÓGIAI ÁLLOMÁSA. (FORRÁS: SAJÁT FELVÉTEL)	11
5. ÁBRA: 2020. MÁRCIUS 24. IDŐJÁRÁSI HELYZETKÉP ÉS FRONTOK EURÓPÁBAN. (FORRÁS: MET.HU, HUNGEROMET ZRT.)	14
6. ÁBRA: CEILOMÉTER VISSZASZÓRÁSI KERESZTMETSZET MÉRÉSI EREDMÉNYE: 2020. 03. 23-25. (KÉSZÍTETTE: SARKADI NOÉMI).....	14
7. ÁBRA: 2018. MÁJUS 24. IDŐJÁRÁSI HELYZETKÉP ÉS FRONTOK EURÓPÁBAN. (FORRÁS: MET.HU, HUNGEROMET ZRT.)	15
8. ÁBRA: 2018. JÚNIUS 16. MŰHOLDKÉP EURÓPA FELHŐBORÍTOTSÁGÁRÓL. (FORRÁS: WEATHER.US).....	16
9. ÁBRA: 2020. NOVEMBER 11. MŰHOLDKÉP EURÓPA FELHŐBORÍTOTSÁGÁRÓL. (FORRÁS: WEATHER.US).....	17
10. ÁBRA: CEILOMÉTER VISSZASZÓRÁSI KERESZTMETSZET MÉRÉSI EREDMÉNYE: 2020. 11. 09-11. (KÉSZÍTETTE: SARKADI NOÉMI).....	17
11. ÁBRA: 2024. SZEPTEMBER 15. IDŐJÁRÁSI HELYZETKÉP ÉS FRONTOK EURÓPÁBAN. (FORRÁS: MET.HU, HUNGEROMET ZRT.).....	18
12. ÁBRA: CEILOMÉTER VISSZASZÓRÁSI KERESZTMETSZET MÉRÉSI EREDMÉNYE: 2024. 09. 12-17. (KÉSZÍTETTE: SARKADI NOÉMI).....	19
13. ÁBRA: AZ ÁTLAGOS MÉRET ÉS AZ ÁTLAGOS MÉRETHEZ TARTOZÓ KONCENTRÁCIÓ IDŐBELI VÁLTOZÁSA A CSAPADÉKESEMÉNY SORÁN (SZÍNEZETT KONTÚROK), VALAMINT AZ ADOTT IDŐSZAKHOZ TARTOZÓ CSAPADÉKINTENZITÁS VÁLTOZÁS (PIROS VONAL). (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	20
14. ÁBRA: SPEKTROGRÁF, VAGYIS A MÉRET-SEBESSÉG-KONCENTRÁCIÓ FÜGGVÉNY, NAPI ÖSSZEGZETT CSAPADÉKKONCENTRÁCIÓ ÉRTÉKEKKEL. A SZÍNEZÉS AZ ADOTT MÉRETBEN, ÉS SEBESSÉGGEL HULLÓ CSAPADÉKELEM DARABSZÁMÁT SZEMLÉLTETI. A FEKETE GÖRBE VONAL A GUNN-KINZER FÜGGVÉNY. ILLETVE A MÉRET-SEBESSÉG ALAPJÁN A CSAPADÉKELEM TÍPUS BESOROLÁSA A KÖVETKEZŐ: DZ – SZITÁLÁS, RA – ESŐ, SN – HÓ, MIX – HAVASESŐ, HL – JÉG ÉS GR – HÓDARA. (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS).....	21
15. ÁBRA: CSAPADÉKELEM MÉRET SZERINTI ELOSZLÁSA 2020. 03. 24., KÜLÖNBÖZŐ IDŐPONTOKBAN. AZ ÁBRÁKON A KÉK VONALAK A MEGFIGYELT ÉRTÉKEKET MUTATJÁK (CSEPPSPEKTRUM MÉRŐ ÁTLAGOLT ÉRTÉKEI); A PIROS SZAGGATOTT VONAL A MOMENTUM MÓDSZERREL (LÁSD 1.2.3. FEJEZET) ILLESZTETT GAMMA-ELOSZLÁST SZEMLÉLTETI, MÍG A SZÜRKE EGYENES (EXPONENCIÁLIS), SZAGGATOTT ÉS PONTOSZOTT VONALAK (GAMMA-ELOSZLÁSOK, KÜLÖNBÖZŐ RÖGZÍTETT PARAMÉTEREKEL) ELMÉLETI ILLESZTETT FÜGGVÉNYEKET ÁBRÁZOLJÁK. (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	22
16. ÁBRA: AZ ÁTLAGOS MÉRET ÉS AZ ÁTLAGOS MÉRETHEZ TARTOZÓ KONCENTRÁCIÓ IDŐBELI VÁLTOZÁSA A CSAPADÉKESEMÉNY SORÁN (SZÍNEZETT KONTÚROK), VALAMINT AZ ADOTT IDŐSZAKHOZ TARTOZÓ CSAPADÉKINTENZITÁS VÁLTOZÁS (PIROS VONAL). (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	23
17. ÁBRA: SPEKTROGRÁF, VAGYIS A MÉRET-SEBESSÉG-KONCENTRÁCIÓ FÜGGVÉNY, NAPI ÖSSZEGZETT CSAPADÉKKONCENTRÁCIÓ ÉRTÉKEKKEL. A SZÍNEZÉS AZ ADOTT MÉRETBEN, ÉS SEBESSÉGGEL HULLÓ CSAPADÉKELEM DARABSZÁMÁT SZEMLÉLTETI. A FEKETE GÖRBE VONAL A GUNN-KINZER FÜGGVÉNY. (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)24	

18. ÁBRA: CSAPADÉKELEMEK MÉRET SZERINTI ELOSZLÁSA 2018. 06. 16., KÜLÖNBÖZŐ IDŐPONTOKBAN. AZ ÁBRÁKON A KÉK VONALAK A MEGFIGYELT ÉRTÉKEKET MUTATJÁK (CSEPPSPEKTRUM MÉRŐ ÁTLAGOLT ÉRTÉKEI); A PIROS SZAGGATOTT VONAL A MOMENTUM MÓDSZERREL (LÁSD 1.2.3. FEJEZET) ILLESZTETT GAMMA-ELOSZLÁST SZEMLÉLTETI, MÍG A SZÜRKE EGYENES (EXPONENCIÁLIS), SZAGGATOTT ÉS PONTOZOTT VONALAK (GAMMA-ELOSZLÁSOK, KÜLÖNBÖZŐ RÖGZÍTETT PARAMÉTEREKKEL) ELMÉLETI ILLESZTETT FÜGGVÉNYEKET ÁBRÁZOLJÁK. (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	25
19. ÁBRA: AZ ÁTLAGOS MÉRET ÉS AZ ÁTLAGOS MÉRETHEZ TARTOZÓ KONCENTRÁCIÓ IDŐBELI VÁLTOZÁSA A CSAPADÉKESEMÉNY SORÁN (SZÍNEZETT KONTÚROK), VALAMINT AZ ADOTT IDŐSZAKHOZ TARTOZÓ CSAPADÉKINTENZITÁS VÁLTOZÁS (PIROS VONAL). (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	26
20. ÁBRA: SPEKTROGRÁF, VAGYIS A MÉRET-SEBESSÉG-KONCENTRÁCIÓ FÜGGVÉNY, NAPI ÖSSZEGZETT CSAPADÉKKONCENTRÁCIÓ ÉRTÉKEKKEL. A SZÍNEZÉS AZ ADOTT MÉRETBEN, ÉS SEBESSÉGGEL HULLÓ CSAPADÉKELEMEK DARABSZÁMÁT SZEMLÉLTETI. A FEKETE GÖRBE VONAL A GUNN-KINZER FÜGGVÉNY. (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	27
21. ÁBRA: CSAPADÉKELEMEK MÉRET SZERINTI ELOSZLÁSA 2018. 05. 24., KÜLÖNBÖZŐ IDŐPONTOKBAN. AZ ÁBRÁKON A KÉK VONALAK A MEGFIGYELT ÉRTÉKEKET MUTATJÁK (CSEPPSPEKTRUM MÉRŐ ÁTLAGOLT ÉRTÉKEI); A PIROS SZAGGATOTT VONAL A MOMENTUM MÓDSZERREL (LÁSD 1.2.3. FEJEZET) ILLESZTETT GAMMA-ELOSZLÁST SZEMLÉLTETI, MÍG A SZÜRKE EGYENES (EXPONENCIÁLIS), SZAGGATOTT ÉS PONTOZOTT VONALAK (GAMMA-ELOSZLÁSOK, KÜLÖNBÖZŐ RÖGZÍTETT PARAMÉTEREKKEL) ELMÉLETI ILLESZTETT FÜGGVÉNYEKET ÁBRÁZOLJÁK. (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	27
22. ÁBRA: AZ ÁTLAGOS MÉRET ÉS AZ ÁTLAGOS MÉRETHEZ TARTOZÓ KONCENTRÁCIÓ IDŐBELI VÁLTOZÁSA A CSAPADÉKESEMÉNY SORÁN (SZÍNEZETT KONTÚROK), VALAMINT AZ ADOTT IDŐSZAKHOZ TARTOZÓ CSAPADÉKINTENZITÁS VÁLTOZÁS (PIROS VONAL). (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	28
23. ÁBRA: SPEKTROGRÁF, VAGYIS A MÉRET-SEBESSÉG-KONCENTRÁCIÓ FÜGGVÉNY, NAPI ÖSSZEGZETT CSAPADÉKKONCENTRÁCIÓ ÉRTÉKEKKEL. A SZÍNEZÉS AZ ADOTT MÉRETBEN, ÉS SEBESSÉGGEL HULLÓ CSAPADÉKELEMEK DARABSZÁMÁT SZEMLÉLTETI. A FEKETE GÖRBE VONAL A GUNN-KINZER FÜGGVÉNY. (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	29
24. ÁBRA: CSAPADÉKELEMEK MÉRET SZERINTI ELOSZLÁSA 2020. 11. 11., 18:31 (ÓRA:PERC) IDŐPONTOKBAN. AZ ÁBRÁN A KÉK VONAL A MEGFIGYELT ÉRTÉKET MUTATJA (CSEPPSPEKTRUM MÉRŐ ÁTLAGOLT ÉRTÉKE); A PIROS SZAGGATOTT VONAL A MOMENTUM MÓDSZERREL (LÁSD 1.2.3. FEJEZET) ILLESZTETT GAMMA-ELOSZLÁST SZEMLÉLTETI, MÍG A SZÜRKE EGYENES (EXPONENCIÁLIS), SZAGGATOTT ÉS PONTOZOTT VONALAK (GAMMA-ELOSZLÁSOK, KÜLÖNBÖZŐ RÖGZÍTETT PARAMÉTEREKKEL) ELMÉLETI ILLESZTETT FÜGGVÉNYEKET ÁBRÁZOLJÁK. (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	29
25. ÁBRA: AZ ÁTLAGOS MÉRET ÉS AZ ÁTLAGOS MÉRETHEZ TARTOZÓ KONCENTRÁCIÓ IDŐBELI VÁLTOZÁSA A CSAPADÉKESEMÉNY SORÁN (SZÍNEZETT KONTÚROK), VALAMINT AZ ADOTT IDŐSZAKHOZ TARTOZÓ CSAPADÉKINTENZITÁS VÁLTOZÁS (PIROS VONAL). (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	30
26. ÁBRA: SPEKTROGRÁF, VAGYIS A MÉRET-SEBESSÉG-KONCENTRÁCIÓ FÜGGVÉNY, NAPI ÖSSZEGZETT CSAPADÉKKONCENTRÁCIÓ ÉRTÉKEKKEL (2024. 09. 15.). A SZÍNEZÉS AZ ADOTT MÉRETBEN, ÉS SEBESSÉGGEL HULLÓ CSAPADÉKELEMEK DARABSZÁMÁT SZEMLÉLTETI. A FEKETE GÖRBE VONAL A GUNN-KINZER FÜGGVÉNY. (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	31
27. ÁBRA: CSAPADÉKELEMEK MÉRET SZERINTI ELOSZLÁSA 2024. 09. 12-17., KÜLÖNBÖZŐ IDŐPONTOKBAN. AZ ÁBRÁKON A KÉK VONALAK A MEGFIGYELT ÉRTÉKEKET MUTATJÁK (CSEPPSPEKTRUM MÉRŐ ÁTLAGOLT ÉRTÉKEI); A PIROS SZAGGATOTT VONAL A MOMENTUM MÓDSZERREL (LÁSD 1.2.3. FEJEZET) ILLESZTETT GAMMA-ELOSZLÁST	

SZEMLÉLTETI, MÍG A SZÜRKE EGYENES (EXPONENCIÁLIS), SZAGGATOTT ÉS PONTOZOTT VONALAK (GAMMA-ELOSZLÁSOK, KÜLÖNBÖZŐ RÖGZÍTETT PARAMÉTEREKSEL) ELMÉLETI ILLESZTETT FÜGGVÉNYEKET ÁBRÁZOLJÁK. (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	32
28. ÁBRA: A PARSIVEL ² , PLUVIO ÉS LAMBRECHT CSAPADÉKMÉRŐK INTENZITÁSÉRTÉKEI, 2024. SZEPTEMBER 12-17. (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	34
1. TÁBLÁZAT: PARSIVEL ² , LAMBRECHT ÉS PLUVIO CSAPADÉKMÉRŐ MŰSZEREK ÁLTAL REGISZTRÁLT NAPI CSAPADÉKÖSSZEG (MM). (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	33
2. TÁBLÁZAT: PARSIVEL ² , LAMBRECHT ÉS PLUVIO CSAPADÉKMÉRŐ MŰSZEREK ÁLTAL REGISZTRÁLT NAPI CSAPADÉKÖSSZEG (MM) A 2024. SZEPTEMBERI CIKLONÁLIS HELYZETBEN. (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS)	33