

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

A rövid idejű intenzív csapadékok statisztikai vizsgálata

DIPLOMAMUNKA



Készítette:

Szentes László Olivér

Meteorológus MSc, időjárás-előrejelző szakirány

Témavezető:

dr. Lakatos Mónika



Országos Meteorológiai Szolgálat, éghajlati szakértő

Konzulens:

dr. Pongrácz Rita

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék, egyetemi adjunktus

Budapest, 2018

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Szakirodalmi áttekintés	4
3. Mérőeszközök, felhasznált adatok.....	17
3.1 Úszóhengeres csapadékírók	17
3.2 Billenőedényes csapadékmérő	18
3.3 Felhasznált adatok, a dolgozat szerkezete	19
4. Ombrográf szalagok feldolgozása	20
4.1 Hagyományos módszer.....	20
4.2 Digitalizáló program.....	23
5. Eredmények	24
5.1 Az 1997-es év ombrográf és automata méréseinek elemzése.....	24
5.1.1 Ombrográf és 10 perces automata mérések alapján számított maximális részösszegek összehasonlítása.....	24
5.2 Az 1997–2017-es időszak automata méréseinek elemzése	31
5.2.1 Részősszegek éves maximumai, trendek.....	31
5.2.2 Részősszegek éves menete	36
5.2.3 Csapadékhullás napi menete.....	40
5.2.4 Csapadékhullás órás menete.....	42
5.2.5 Az 1 és 10 perces automata adatsorok alapján számított maximális részösszegek összehasonlítása.....	47
5.2.5.1 Összes csapadékos időszak esetén	47
5.2.5.2 A 6 mm feletti csapadékösszegű időszakoknál.....	50
5.2.6 Rövid idejű intenzív csapadék aránya.....	54
5.2.6.1 Időtartam.....	58
5.2.6.2 Csapadékintenzitás	59
5.2.7 IDF (intenzitás–időtartam–gyakoriság) görbék.....	61
6. Esettanulmányok.....	66
6.1 Az 1997. június 19-ei esemény	66
6.2 A 2015. június 9-ei esemény.....	69
7. Összefoglalás	73
Köszönetnyilvánítás.....	75
Irodalomjegyzék	76
Mellékletek.....	80

1. Bevezetés

Az éghajlatváltozás következtében számos szélsőséges időjárási és éghajlati eseményben változások figyelhetők meg globálisan és régiókban egyaránt. Bizonyos csapadékhullással kapcsolatos intenzív események gyakoriságában tapasztalt tendenciák az éghajlat változásának jelei. A hőmérséklet-változással ellentétben a csapadékhoz kapcsolódó éghajlati mutatókban fellelhető trendek nagyobb bizonytalanságot hordoznak, de a Föld számos részén megfigyelhető a nagy csapadékot adó események és az ennek betudható árvizek gyakoriságának növekedése. Megfigyelhető sok térségben a csapadékhullás rövidebb időtartamba koncentrálódása, ami az aszályos időszakok gyakoriságának és időtartamának növekedését vonja maga után (*IPCC SREX, 2011*). Fontos megjegyezni, hogy az időjárási szélsőségek és a klímaváltozás közötti kapcsolat megállapítása ugyanakkor komoly kutatómunkát igénylő feladat, mert az éghajlati rendszerben fellépő természetes változékonyság is előidézhet az átlagostól lényegesen eltérő időjárási helyzeteket. A hőmérséklet emelkedésével nő a párolgás, s ezzel a légkörből kihullható víz mennyisége, ami megnöveli a felhőszerű csapadékhullás és a villámárvizek (flash flood) kockázatát.

A csapadék eloszlásában Magyarországon is megfigyelhetők változások. Főképp nyáron a csapadék egyre nagyobb hányada hullik záporok, zivatarok formájában. Miközben a nyári évszak csapadékösszegeiben lassú emelkedés tapasztalható [1 – met.hu], addig a csapadékos napok száma csökkent, ez pedig a csapadékintenzitás növekedését okozza. Nyáron a napi intenzitás országos átlagban növekedett, ezen belül Északnyugat-Magyarországon és a középső országrészben az emelkedés mértéke nagy területen meghaladja az 1 mm/nap-os értéket, a főváros térségében a 1,5 mm/nap-ot is. A napi csapadékoságban csökkenő tendencia nagyobb területen csak a Dél-Dunántúlon jelent meg az 1961–2015-ös időszakban (*Lakatos és Hoffmann, 2017*).

Az intenzív záporokhoz, illetve zivatarokhoz tartozó csapadékhullás időtartama általában nem haladja meg az 1–2 órát, ezért szükségessé válik a 24 órás (napi) intervallumoknál nagyobb felbontású adatok elemzése. Korábban a csapadékíró lapok kiértékelésével történt a legintenzívebb 5, 10, 20, 30 és 60 perces részösszegek megállapítása, míg jelenleg jellemzően az automata mérőeszközök 10 perces részösszegeit tárolják az OMSZ adatbázisában. A diplomamunka célja, hogy feltárja a rövid idejű csapadékösszegek mintavételezésének problematikáját, rámutasson az elmúlt évtizedekben a rövid idejű részösszegek soraiban megmutatkozó tendenciákra, és példát mutasson a mérnöki gyakorlatban használatos intenzitás–időtartam–gyakoriság görbék előállítására.

2. Szakirodalmi áttekintés

A XX. század előtt is előfordultak nagy pusztítással járó heves csapadékú időjárási események hazánkban. Egy 1875. június 24-ei budai felhőszakadásban 14-en vesztették életüket, este 7 és 8 óra között egy óra alatt 68 mm csapadék hullott, a napi csapadékösszeg elérte a 103 mm-t. 1878. július 31-én szintén Budán 108 mm csapadék esett egy felhőszakadással járó csapadékos eseménynél. 1878. augusztus 30-áról 31-ére virradó éjszaka Miskolcon és környékén egy villámárvízzel járó felhőszakadás során közel 500-an meghaltak és 700 ház romba dőlt (*Réthy és Bacsó, 1938*). Ez volt az elmúlt 200 év legtöbb halálos áldozatát követelő árvize Magyarországon. 1929. augusztus 13-án Pesthidegkúton 73 mm hullott, Óbudán (Dara utca) a legintenzívebb percben a csapadékíró szalagja alapján a csapadékrészösszeg megközelítette az 5 mm-t (300 mm/h-t). Ezek a heves események térben nagy változékonyságot mutatnak, amit az említett 1929-es eset is bizonyít, hiszen a főváros akkori délkeleti határa mentén (Ferencváros, Kispest) a csapadék összmenyisége csak 5 mm körül alakult. A budapesti műszeres mérések történetében az egyik legnagyobb felhőszakadás 1932. július 11-én lehetett. Azon a napon délután 2–3 óra körül Ferencvárosban (Ecséri út) 112 mm-t regisztráltak. Ha a főváros mai területét tekintjük, Pestszentlőrincen ennél is nagyobb összeget, 116 mm-t mértek. A csapadék ezen a napon Pestre koncentrált, Budán pl. a Kitaibel utcában csak 27 mm esett. 100 mm körüli csapadékot adó felhőszakadás által volt érintett Buda 1937. május 23-án délután 3 és 6 óra között. Ekkor a város déli és északi részén is hasonló extrém csapadékmennyiségeket (Budafok: 101 mm, Kitaibel utca: 94 mm) mértek. A Kitaibel utcában ez volt egyben a XX. század legnagyobb napi csapadékmennyisége is, ami egészen 2015. augusztus 17-éig tartotta a rekordot. 2015. augusztus 17-én a Kitaibel utcában levő állomás 115,4 mm-es napi, ezen belül 18:40 és 19:40 között 83,3 mm-es órás csapadékösszeget mért (*Kovács, 2015*). Egy-egy budapesti heves eseményről a XX. század első feléből is találunk cikkeket, tanulmányokat:

- Felhőszakadás Budapesten (1929. aug. 13.) (*Réthy, 1932*)
- Felhőszakadás Budapesten 1932. július 11-én (*Réthy, 1935*)
- Felhőszakadás Budapesten 1937. május 23-án (*Kakas, 1937*).

Néhány budapesti állomás csapadékíró szalag másolatát és fővárosi csapadéktérképet az 1929–1937-es időszakban előfordult felhőszakadásokról az 1. mellékletben közlöm.

Magyarországon legutóbb az 1990-es évek elején Váradi Ferenc és Nemes Csaba vizsgálták átfogóbban a rövid időtartamú csapadékösszegeket (Váradi és Nemes, 1992). Az ő kutatásuk az 1967–1990-es időszakra terjedt ki. Cikkükben az országosan előforduló havi és éves legnagyobb intenzitású 5, 10, 20, 30, 60 és 180 perces csapadékösszegekkel foglalkoztak. 1990 előtt természetesen csak ombrográfós mérések álltak rendelkezésükre.

A rövid időtartamú csapadékhozamok országos 1967–1990. évi maximumainak empirikus eloszlásából megállapították, hogy 10 évből átlagosan egyszer fordul elő olyan esemény, amikor az országos 60 perces csapadékmaximum meghaladja a 36,7 mm-t. Az 1990 utáni időszak napjainkig ettől egészen bizonyosan eltér a szélsőségek statisztikai tulajdonságai tekintetében, hiszen csak Budapest belterületén, azaz egyetlen állomás alapján az egy óras maximum a legutóbbi öt évből háromban meghaladta ezt az értéket (1. ábra).



1. ábra

Az óras csapadékösszegek éves maximumai
Budapest belterület állomáson (1998–2017 május)
(Lakatos és Hoffmann, 2017)

A budapesti automaták üzembe helyezése óta a legnagyobb 10 perces csapadékösszeg Budapest belterület állomáson mérték, ami 19,9 mm volt (Lakatos és Hoffmann, 2017). Az ombrográfós mérések alapján Budapest belterületen az 1967–1990-es időszakban a 10 perces maximális részösszeg 27,9 mm volt (Váradi és Nemes, 1992).

Köztudomású, hogy dinamikai okok miatt a konvektív csapadék a nyári félévben sokkal gyakoribb, mint télen. A rövid idő alatt lehullott legnagyobb csapadékösszegek konvektív csapadékhoz (zápor, zivatar) köthetők (Rulfová és Kysely, 2013). Az adott időtartamú csapadék-részösszegek havi maximumainak éves menete mutatkozik, téli minimummal, nyári maximummal. Az 1967–1990-es időszakban januárban az 1 óras maximum egyszer sem, júliusban viszont az esetek 60%-ban elérte a 10 mm-t (Váradi és Nemes, 1992).

Váradi és Nemes (1992) az éves országos intenzitás-maximumokkal extrémérték analízist is végeztek. Három különböző módszer eredményét mutatták be:

- kétparaméteres (Gumbel) momentum,
- kétparaméteres maximum-likelihood és
- háromparaméteres (Jenkinson) maximum-likelihood módszer.

Az eredményül kapott ún. csapadék-tervezési görbék a mérnöki területen fontosak, pl. víz-elvezető rendszerek tervezésénél kell figyelembe venni adott csapadékmennyiség visszatérési idejét. Az 1967–1990-es adatok alapján, ha egy víz-elvezető rendszer kapacitását úgy terveznék meg, hogy 500 éves visszatérési periódusú csapadék elszállítására is alkalmas legyen, akkor 5 perc alatt legalább 36 mm, 30 perc alatt minimum 80 mm csapadék befogadására kellene, hogy képes legyen (Váradi és Nemes, 1992). Figyelembe kell venni azonban a klíma változását is, mert az éghajlatváltozás és a szélsőséges események gyakoribbá válása miatt a rövid idő alatt lehulló extrém csapadékösszegek is gyakoribbá váltak (Lakatos és Hoffmann, 2017). A rövid idejű extrém időjárási események, a csapadékhullás esetén annak rövidebb időszakra koncentrálódása, ezzel párhuzamosan a száraz időszakok gyakoribbá válása a Föld számos pontján már a megfigyelt változások közé tartozik (IPCC SREX, 2011).

A tervezési (vagy méretezési) csapadék témakörében több információt találunk Gayer József és Ligetvári Ferenc „Települési vízgazdálkodás csapadékvíz-elhelyezés” című könyvében (Gayer és Ligetvári, 2006).

Időben állandó intenzitású csapadék esetén a tervezési csapadékot az ún. IDF (intenzitás-időtartam-gyakoriság) görbékből állapítják meg. Az IDF görbe megadja, hogy mekkora a valószínűsége egy adott ideig tartó, adott (időben állandó) intenzitású csapadékhullásnak. Az IDF görbéket leíró egyenletek országonként eltérhetnek. Gayer és Ligetvári (2006) nyomán Magyarországon (és Franciaországban) a Montanari képlet használatos:

$$i = at_d^{-c}$$

Svájcban és Németországban a Talbot formulát alkalmazzák:

$$i = \frac{a}{t_d + b}$$

Az Amerikai Egyesült Államokban az Eltinge–Towne formula terjedt el:

$$i = \frac{a}{t_d^c + b}$$

Svédországban pedig az alábbi formulát használják:

$$i = \frac{a}{t_d^c + b} + d,$$

ahol i a csapadék intenzitása, t_d a csapadék időtartama 10 perces időegységekben, a , b , c és d a helyi viszonyoktól függő konstans (Gayer és Ligetvári, 2006).

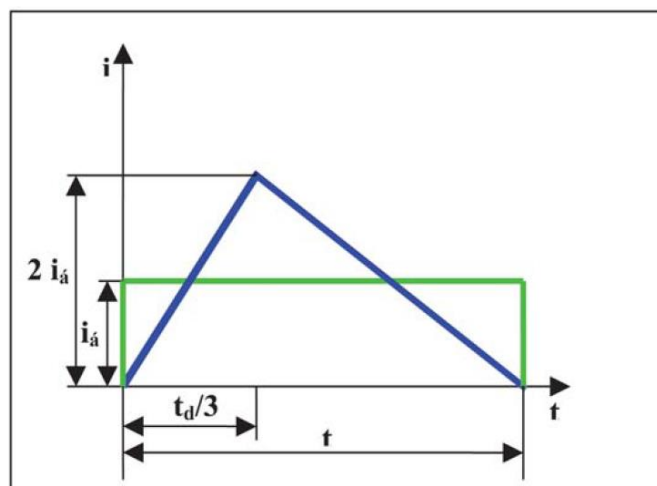
A ciklonális csapadékok esetén lehet egyenletes a csapadékhullás ideje alatt az intenzitás, de a legintenzívebb záporokhoz, zivatarokhoz köthető konvektív csapadékos eseményeknél azonban nem egyenletes a csapadékhullás ideje alatt az intenzitás. Mérnöki, gyakorlati szempontból nem az átlagos intenzitások az igazán érdekesek, hanem az előforduló maximális hozamok, amik rövid, 5-10 perces időtávon egy csapadékelvezető rendszert különösen meg tudnak terhelni.

Ha ismerjük a csapadékos időszakban hullott összes csapadék mennyiségét és a csapadékos időszak időtartamát, akkor a maximális intenzitás az alábbi összefüggést mutatja:

$$i_{max} = \frac{2P}{t_d} = 2i_{\text{átlag}},$$

ahol i a csapadék intenzitása, t_d a csapadék időtartama, P a csapadékos időszakban hullott összes csapadék mennyisége [mm].

A VITUKI¹-ban végzett kutatások alapján arra jutottak, hogy az intenzív csapadéku eseményeknél az intenzitás maximuma (i_{max}) az időtartam 1/3-nál található (2. ábra).



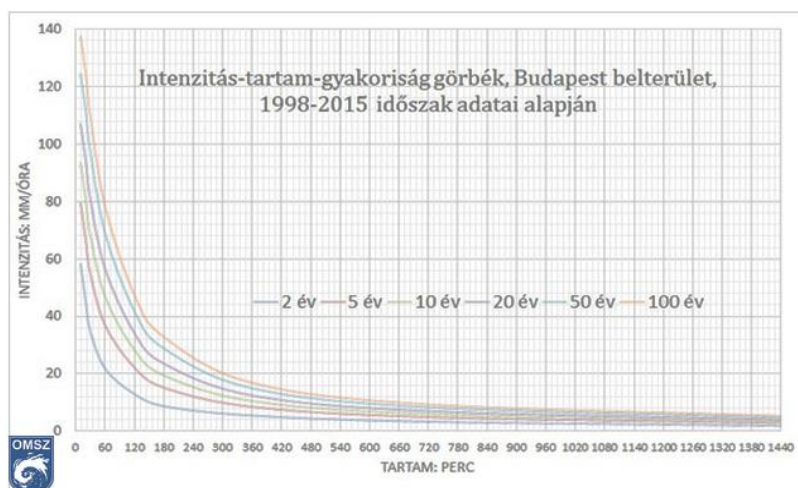
2. ábra

Háromszög alakú csapadékhullási görbe,
 i_a : átlagos intenzitás, t_d : a csapadékhullás időtartama
 (Gayer és Ligetvári, 2006)

¹ „VITUKI” Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Nonprofit Közhasznú Kft.

A rövid idejű intenzív csapadékú időszakoknál ezt az 1/3 időtáv körüli intenzitás-maximumot én is kimutattam, amikor Pécs-Pogány adatsoránál az órán belüli menetet elemeztem (ld. 5.2.4 alfejezet).

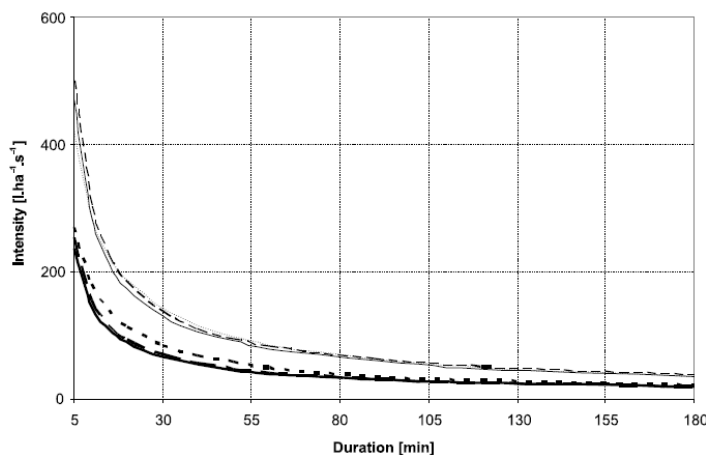
Budapest belterület állomásra az IDF görbék egy lehetséges megjelenítését a 3. ábra szemlélteti az OMSZ automata mérések (1998–2015) alapján. Az ábráról leolvasható, hogy pl. 5 órán át tartó 20 mm/h-s intenzitású csapadék átlagosan egyszer fordul elő 100 évente.



3. ábra

IDF görbék Budapest belterület állomásra az 1998–2015 időszak automata mérései alapján (Lakatos és Hoffmann, 2017)

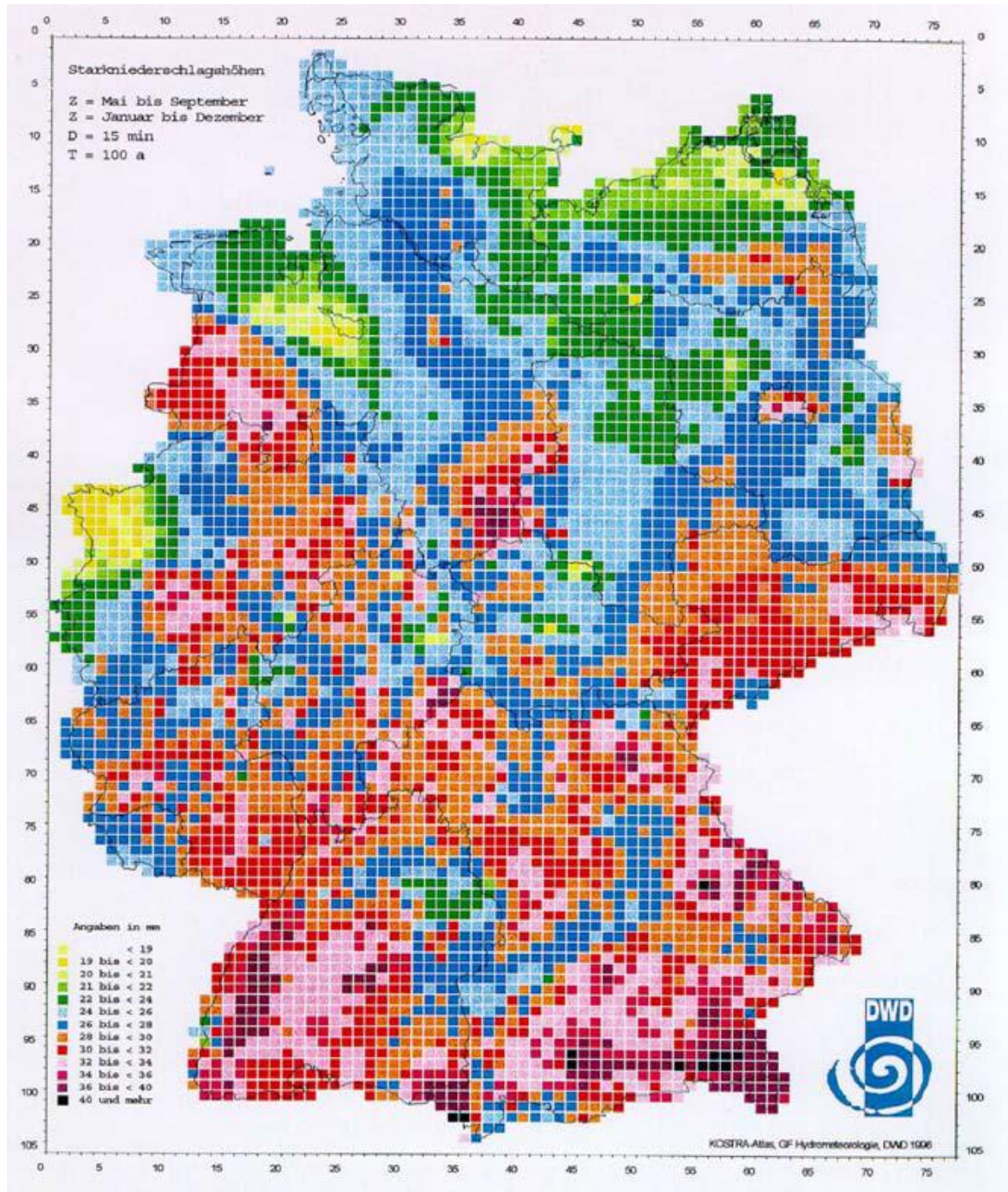
Ebben az esetben a különböző görbék az egyes visszatérési időket jelölik, a x tengelyen a csapadékos időszak időtartama, az y tengelyen a csapadékintenzitás szerepel mm/h-ban. A *Váradi és Nemes* (1992) Légkör folyóiratban megjelent cikkében az x tengely a visszatérési időt jelölte, az egyes görbék pedig a maximális részösszeget (5 perces, 30 perces). Külföldi cikkekben (pl. *Bara et al.*, 2009) az intenzitást mm/h helyett gyakran l/ha/s mértékegységben adják meg (4. ábra).



4. ábra

IDF görbék Liptóújfáradon; visszatérési idők: 2 év (fekete), 20 év (szürke) (Bara et al., 2009)

A német meteorológiai szolgálatnál (DWD: Deutscher Wetterdienst) minden évtizedben a KOSTRA-DWD jelentés keretében vizsgálják a 15 perces, 1, 24 és 72 órás legnagyobb csapadékösszegeket és azok visszatérési idejét (*Bartels et al.*, 2004). Példaként az 5. ábra a KOSTRA-Atlas-ból származik, ahol rácspontokba interpolált maximális 15 perces részösszeg értékek szerepelnek, jelen esetben 100 éves visszatérési idővel (*Bronstert*, 2004).



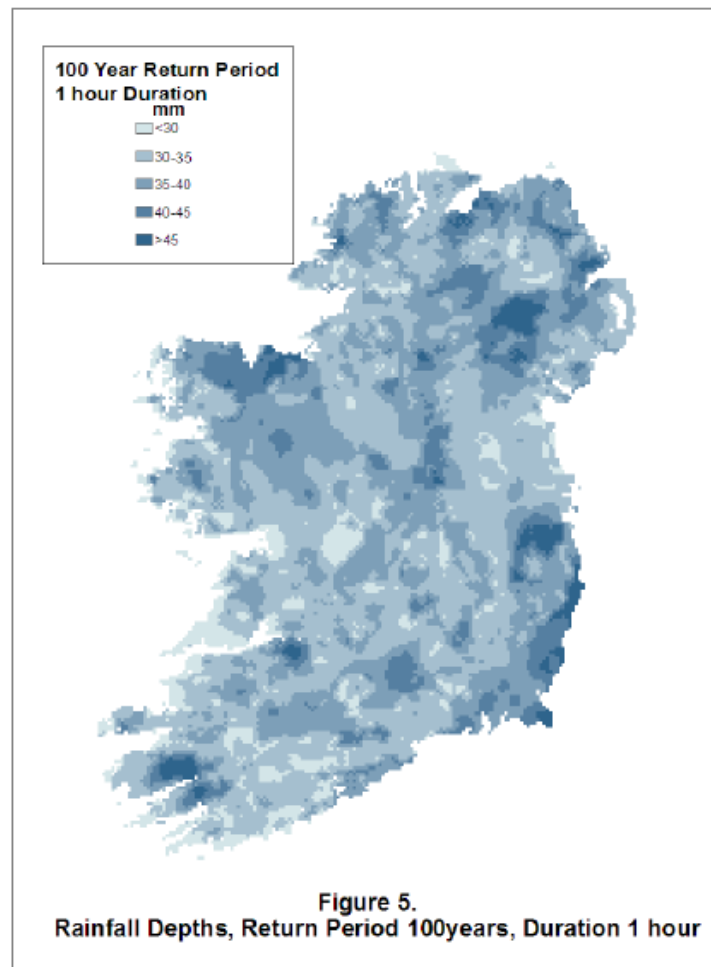
5. ábra

Évszázadonként egyszer előforduló 15 perces csapadékösszegek [mm] Németországban rácspontként a nyári időszakban (május-szeptember) az 1951–1996-os időszak alapján (*Bronstert*, 2004)

Németországban 100 évente egyszer az ország legnagyobb részén a 15 perces csapadékösszeg meghaladja a 30 mm-t. A magasabb értékeket a domb, illetve hegyvidékeken mutatták ki.

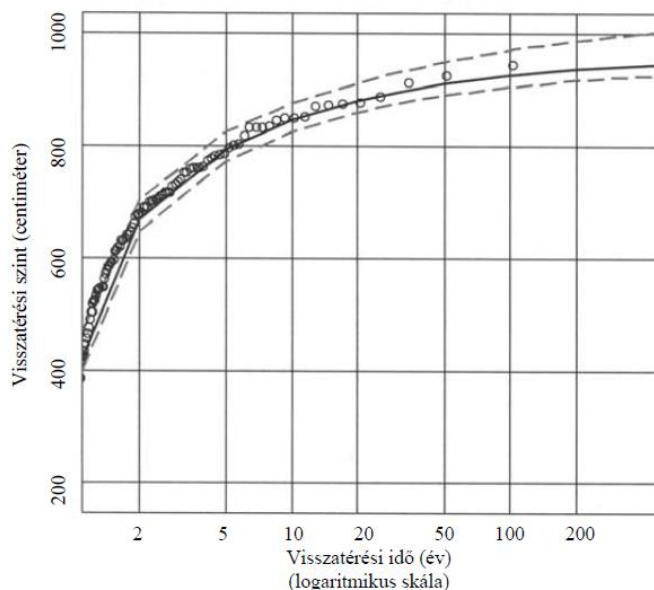
A 2010-es KOSTRA jelentésben kitértek már a változásokra is. Az 1981–2010-es időszakban kapott értékeket hasonlították az 1951–1980-as időszakhoz. Megállapították, hogy a 15 perces részösszegeket tekintve az ország csupán néhány százaléknyi területén csökkent a 15 perces maximális csapadékösszeg. 10 éves visszatérési idő esetén Németország legnagyobb részén néhány százalékos (<5%) emelkedést tapasztaltak a visszatérési értékekben, elsősorban a változás mértéke meghaladta az 5-15%-ot is (*Malitz & Ertel, 2015*).

A DWD-hez hasonlóan adott időtartamú csapadék, adott éves visszatérési idejének térképes formában történő megjelenítésével az ír meteorológiai szolgálat (Met Éireann) is foglalkozott (6. ábra) (*Fitzgerald, 2004*).



6. ábra
Évszázadonként egyszer előforduló 60 perces csapadékösszegek [mm]
az Ír-szigeten az 1941–2004-es időszak alapján
(Fitzgerald, 2004)

IDF görbékét használják vízügyes területen adott vízállásértékek visszatérési idejének meghatározásához is (7. ábra).



7. ábra

Az éves maximális vízállás értékekre vonatkozó visszatérési szintek (Vásárosnamény) (Bozsó et al, 2005)

A különböző időtartamokban (10, 20, 30, 60, stb. perc) hullott csapadékösszegek visszatérési értékei becsülhetők az ún. GEV (General Extreme Value) szélsőérték eloszlás függvény paramétereinek maximum-likelihood közelítése alapján is. Sok tanulmány, többek között *Bonnin et al.* (2006), *Kysely & Picek* (2007) vagy *Alexandersson et al.* (2001) alátámasztja, hogy a GEV eloszlás nagyon jól illeszkedik, leírja a szélsőséges csapadékokat, s pontosabb az egyszerűbb kétparaméteres Gumbel eloszlást (*Dyrddal*, 2015).

Fisher–Tippett tétel

Legyenek X_1, X_2, \dots, X_n független, azonos eloszlású valószínűségi változók. Ha vannak olyan a_n, b_n normáló konstansok, amelyek esetén igaz az, hogy

$$[\max(X_1, X_2, \dots, X_n) - a_n]/b_n$$

nem-elfajuló határeloszláshoz közelít, akkor ez a határeloszlás szükségképpen max-stabilis vagy ún. extrémérték-eloszlás (*Bozsó et al.*, 2005).

A három extrémérték-eloszlás eloszlásfüggvénye:

1) Gumbel-eloszlás:

$$F_\alpha(x) = \exp(-\exp(-x))$$

2) Fréchet-eloszlás:

$$F_{\alpha}(x) = \exp(-x^{-\alpha}),$$

ha $x > 0$ és $\alpha > 0$ paraméter.

3) Weibull-eloszlás:

$$F_{\alpha}(x) = \exp(-(-x)^{-\alpha}),$$

ha $x < 0$ és $\alpha > 0$ paraméter.

A három extrémérték-eloszlás közös paraméteres formába írható. Az így létrehozott eloszlásfüggvényt nevezzük általános extrémérték-eloszlásfüggvénynek (GEV):

$$F_{\alpha}(x) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \frac{x - \mu}{\sigma} \right]^{-\frac{1}{\xi}} \right\},$$

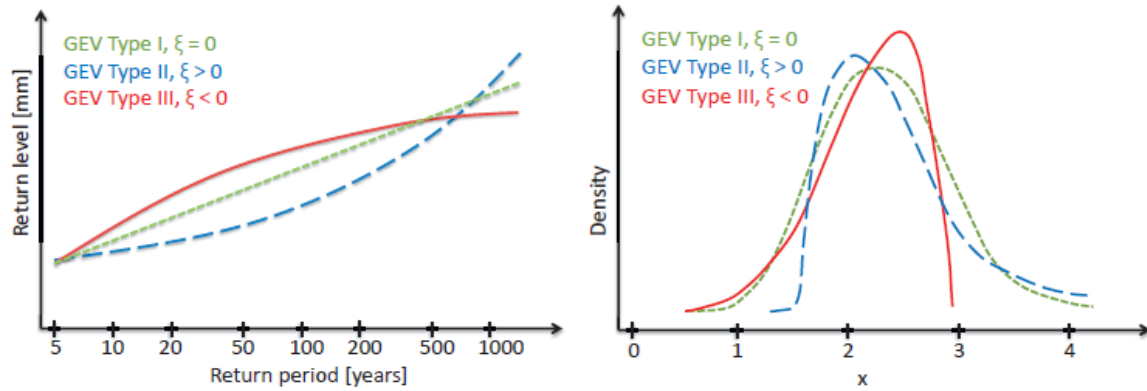
ahol μ a lokációs-, σ a skála-, és ξ az alakparaméter. Az α paraméter $1/\xi$ alakban van kifejezve.

A GEV-eloszlás az alábbi három típusba sorolható ξ alapján (Dyrddal, 2015):

1. típus / Type I / Gumbel, ha $\xi=0$,
2. típus / Type II / Fréchet, ha $\xi>0$,
3. típus / Type III / Weibull, ha $\xi<0$.

A GEV eloszlás paramétereinek becslésére elterjedt módszer a minta alapján készített maximum-likelihood becslés. A gyakorlatban a becsült eloszlások alapján leggyakrabban használt és ezáltal legfontosabb számított mennyiségek a különböző visszatérési periódusoknak (év) megfelelő visszatérési szintek. A mérnöki alkalmazásoknál ezeket gyakran tervezési értéknek nevezik. Ha megkaptuk pl. az éves maximális 30 perces csapadékösszegek adatsorára illesztett aszimptotikus szélsőérték eloszlást, akkor annak a magas kvantilisei (azok az értékek, amiket kis p valószínűséggel halad meg az adott meteorológiai paraméter) tekinthetők úgy is, hogy adott értéket meghaladó 30 perces maximális részösszeg $1/p$ éven belül átlagosan egyszer fordul elő. Például a 99/100 kvantilisnél $p=0,01$, vagyis a 100 évente egyszer előforduló értéket kapjuk meg a becsült eloszlásból (Bozsó *et al.*, 2005).

A különböző eloszlások (Gumbel, Fréchet, Weibull) esetén visszatérési szintekre eltérő eredményt kaphatunk (8. ábra).



8. ábra

Példa a visszatérési szintekre és a sűrűségfüggvény alakjára a háromféle altípusra a GEV eloszlás esetén (Dyrddal, 2015)

Az eddigieken kívül más eloszlást is lehet illeszteni rövid idejű csapadékadatsorokra. A bajai állomás 10 perces csapadék adataihoz illesztett általánosított Pareto- (GP) eloszlást Lakatos és Matyasovszky (2004). Az általánosított Pareto-eloszlás eloszlásfüggvénye, ahol az u magas küszöb feletti megfigyeléseket tekintjük:

$$P(X - u < y | X > u) \approx 1 - \left(1 + \frac{\xi y}{\tilde{\sigma}}\right)^{-\frac{1}{\xi}},$$

ha $y > 0$, $1 + \xi y / \tilde{\sigma} > 0$ és $\xi \neq 0$. Ha az alakparaméter (ξ) nulla, akkor exponenciális eloszlást kapunk.

A Pareto-eloszlás paraméterei a következő összefüggés alapján határozhatók meg a GEV-eloszlás paramétereiből (Bozsó et al., 2005):

$$\tilde{\sigma} = \sigma + \xi(\mu - u).$$

Azokhoz az elemzésekhez, tanulmányokhoz, amelyeknél IDF görbét készítettek, a mérési adatokat általában csak a felszíni megfigyelő hálózat (automata/csapadékmérő) állomásainak mérései szolgáltatták. Egy izraeli kutatásnál (Marra et al., 2017) azonban a felszíni csapadékmérők adatain kívül radar-, illetve műholdas mérésekből származtatott csapadékproduktumokat is felhasználtak az IDF görbék előállításához. A vizsgált területet a Lod városnál levő időjárás radar által lefedett terület volt, ami a radartól 185 km sugarú kört jelölt ki. Az érintett területen három különböző éghajlatú terület található: mediterrán, félsivatagi, sivatagi. A tanulmány a NOAA²-tól származó CMORPH³, valamint ennek felszíni állomási csapadék-mérésekkel korrigált műholdas produktumait is használta. Ezek a műholdas csapadékösszegek félórás becslések $0,073^\circ \times 0,073^\circ$ -os térbeli felbontás mellett (Joyce

² National Oceanic and Atmospheric Administration

³ NOAA–NCEP Climate Prediction Center (CPC) morphing technique (CMORPH) satellite-based rainfall product

et al., 2004). Az IDF görbékét az említett három eltérő éghajlatú területekre külön-külön készítették el. A visszatérési idők számítása során GEV eloszlást feltételeztek.

Kétség kívül a rövid időtartamú (és intenzív) csapadék adatsorok vizsgálatával foglalkozó tanulmányok jelentős részében kitértek a visszatérési időre vagy IDF görbékre, ezért is kapott ez egy hangsúlyosabb részt a szakirodalmi áttekintésben. Készültek azonban olyan cikkek is, amelyek más célból, más szempontok alapján vizsgálták a rövid idejű csapadékmennyiségeket.

Egy hamburgi tanulmányban (*Weder et al.*, 2017) az egyperces adatoktól a havi értékekig elemezték a szinoptikus időjárási helyzet függvényében a csapadékösszegeket az 1997–2014-es időszakban. Összesen 40 időjárási kategóriát határoztak meg a DWD-nél alkalmazott osztályozás alapján. A szinoptikus helyzet megállapításánál figyelembe vették:

- a) a szélirányt 700hPa-os szinten:
 - XX: nem beazonosítható (szélcsend vagy változó)
 - NO: északkeleti
 - SO: délkeleti
 - SW: délnyugati
 - NW: északnyugati
- b) az időjárási helyzetet 950 hPa-os szinten:
 - A: anticiklonális
 - Z: ciklonális
- c) az időjárási helyzetet 500hPa-os szinten:
 - A: anticiklonális
 - Z: ciklonális
- d) a kihullható csapadék alapján:
 - T: száraz
 - F: nedves

Így összesen $5 \times 2 \times 2 \times 2 = 40$ féle időjárási helyzetet lehet kapni. Abban az esetben, ha 950 hPa-on ciklonális, 500 hPa-on anticiklonális az időjárás jellege, akkor sekély ciklonról, fordított esetben hidegcseppről vagy magassági hidegörvényről beszélünk. A kihullható csapadék alapján megállapítható, hogy a légkör száraznak vagy nedvesnek tekinthető. A 40 szinoptikus helyzet közül az intenzív csapadékok esetén a leggyakoribbak az SWZAF (700 hPa-on DNy-i széllel, sekély ciklonális, nedves eset) és az SWZZF (700 hPa-on DNy-i széllel, ciklonális, nedves eset) időjárási helyzetek. Ezek az összes eset 19%-át, illetve 17%-át tették ki. Az évszakos elemzésekkor arra jutottak, hogy a nagyobb intenzitású csapadékok nyáron, azon belül júliusi maximummal fordulnak elő a leggyakrabban (*Weder et al.*, 2017).

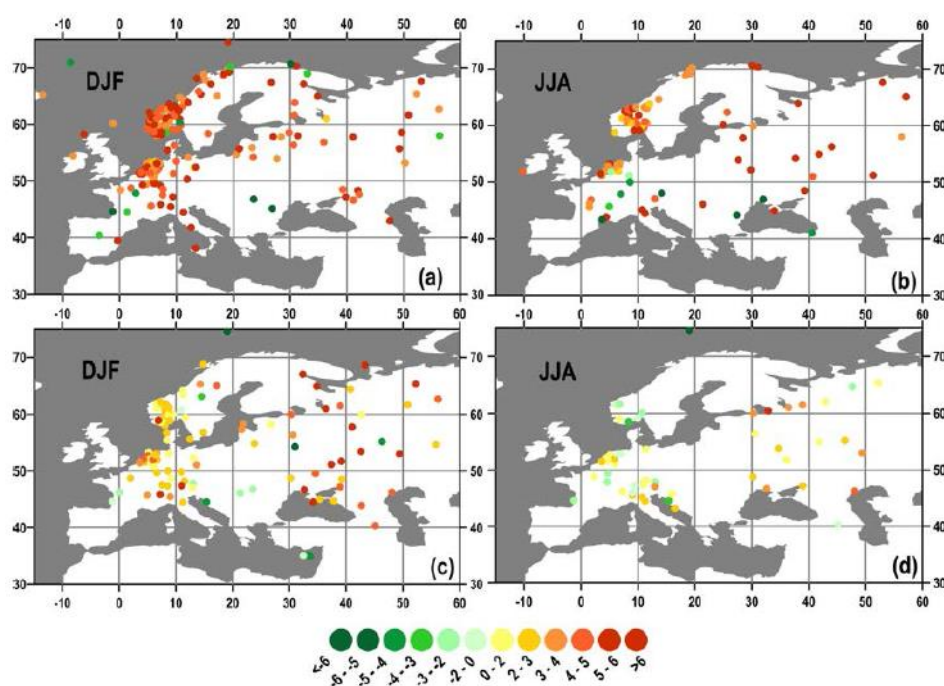
Nem csak a szinoptikus helyzettel, hanem az extrém csapadékok távkapcsolati rendszerekkel való viszonyát is vizsgálták már (*Casanueva et al.*, 2014).

Távkapcsolati rendszereket jellemző mérőszámok:

- AO: Arctic Oscillation (Arktikus oszcilláció)
- NAO: North Atlantic Oscillation Index (Észak-atlanti oszcilláció)
- SO: Southern Oscillation (Déli oszcilláció)
- AMO: Atlantic Multidecadal Oscillation (Atlanti többévtizedes oszcilláció)
- MJO: Madden–Julian Oscillation (Madden–Julian oszcilláció)

Casanueva et al. (2014) tanulmányukban az erősen csapadékos napokat (amikor a napi csapadékösszeg > 95. percentilis) és az egymást követő csapadékos/száraz napokat (CWD/CDD) vizsgálták. Egy napnál rövidebb időtartományban ugyan nem vizsgálták, de az extrém nagy csapadékok gyakoriságának növekedését egyértelműen kimutatták az 1951–2010-es időszakban. A távkapcsolatoknál Európára döntően a NAO van hatással. Mind az extrém csapadékoknál, mind pedig az egymást követő csapadékos/száraz napoknál is erős kapcsolatot mutattak ki, amely a télvel ellentétes irányú nyáron. Az átmeneti évszakokban Európa délnyugati területeinél a csapadékellátottságra a SOI (Déli Oszcillációs Index) van befolyással (*Casanueva et al.*, 2014).

Az erősen csapadékos napok gyakoriságának a növekedése Európában sokfelé szignifikáns. *Zolina* (2012) kutatásában az intenzív csapadékok változását vizsgálta (9. ábra).



9. ábra

Az erősen csapadékos napok számában (amikor a napi csapadékösszeg > 95. percentilis) bekövetkező lineáris trendek az elmúlt 110 évben (1901–2010) (a,b) és az utolsó 60 évben (1951–2010) (c,d) a téli (a,c) és nyári (b,d) évszakban. Csak azok a trendek szerepelnek az ábrán, amelyek 95%-os megbízhatósági szint mellett szignifikánsnak tekinthetők.

(*Zolina*, 2012)

Az elemzett 110 éves időszakban télen és nyáron egyaránt sokfelé jelentős gyakoriság-növekedést mutatott ki. Csökkenés irányába mutató trendet elvétele, Európa inkább délibb régióiban találunk (Zolina, 2012).

Az extrém csapadékokban már megfigyelt változások, trendek várhatóan a jövőben is folytatódni fognak, Európa-szerte az intenzív csapadékok és általuk okozott áradások gyakoriságának és intenzitásának növekedésével kell számolni (Kovats et al., 2014). Az áradások Magyarországot is súlyosan érintik, hiszen számos folyó folyik át országunkon, amelyeknél 2000 óta néhány évente dőlnek meg a korábbi rekordvízállások. Gondoljuk csak a 2002-es, 2006-os vagy 2013-as árvizekre. Az extrém mértékű árvizek gyakorisága egész Európában megfigyelt jelenség (Kundzewicz, 2005). Az egyre gyakoribb, súlyos károkozó időjárási események egyre nagyobb terhet jelentenek az egyes országok gazdaságára, valamint többletkiadásokat okoz az állami költségvetésre nézve (Chatterton et al., 2010).

Dániában Larsen et al. (2008) készítettek tanulmányt azzal kapcsolatban, hogy a rövid idejű (60 perces) csapadékok intenzitása a jövőben milyen mértékben változhat meg. A szélsőséges csapadékok változását 12 km-es felbontású RCM modellszimulációkból származó adatok alapján végezték. Két időszakot elemeztek, az 1961–1990-es referencia, valamint a 2071–2100-as időszakot az IPCC A2 forgatókönyvét (IPCC, 2000) követve. Eredményül egész Európára a szélsőséges csapadékmennyiségek növekedését kapták. Az óras maximális csapadékösszegek 1,5–2-szeres növekedése következhet be az évszázad végére Észak-, illetve Közép-Európa térségében, ugyanakkor az óras maximális csapadékintenzitás ennél kisebb mértékű emelkedése lehetséges Dél-Európában (Larsen et al., 2008).

Egy korábban említett izraeli tanulmány (Marra et al., 2017) esetében már utaltam rá, hogy a rövid idejű csapadékokat nem csak felszíni mérőállomások adatai alapján lehet vizsgálni, hanem radar vagy műholdas produktumok is felhasználhatók. Az említett tanulmányban IDF görbéket elemeztek. Wüest et al., (2010) a felszíni- és radarmérések felhasználásával készítettek óras rácsponti csapadék adatsort. Svájc egész területét nem tudták lefedni, mert a radarmérések a hegyvidéki területeken (DK– és DNy–Svájc) kevésbé pontosak. Voltak olyan régiók, ahol a radar alapú csapadékmérés több mint 25%-kal elmaradt a felszíni mérőállomásokétól. Az óras csapadék adatsor alapján vizsgálták az évszakos átlagos intenzitásokat, bizonyos küszöbérték feletti gyakoriságokat, valamint a napon belüli jellemző intenzitás-menteket télen, illetve nyáron. A napi menetek alakja megegyezik azzal, amire én is jutottam a pécs-pogányi adatsoron végzett számítások során (ld. 5.2.3 alfejezet). Télen nem figyeltek meg markáns napi menetet, nyáron kora délelőtti minimum, délutáni, kora esti maximum volt jellemző Svájcban, az 1992–2006-os időszakban (Wüest et al., 2010).

3. Mérőeszközök, felhasznált adatok

A napjainkban elterjedt csapadékmérő eszközöket részletesen ismertettem a BSc szakdolgozatomban (Szentes, 2015). Ezért itt, az MSc diplomamunkámban csak egy rövid összefoglaló szerepel a csapadékiróról, valamint a billenőedényes csapadékmérőről, melyek méréseit jelen elemzésben felhasználtam.

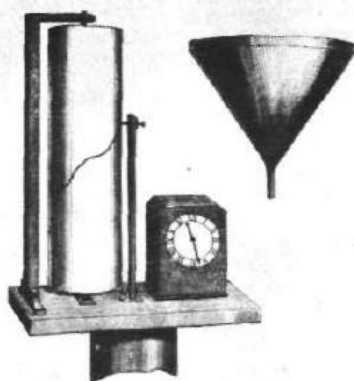
3.1 Úszóhengeres csapadékirók

A csapadékiró vagy ombrográf alkalmas a csapadék rövid idejű intenzitásának a meghatározására is az összegzen felül. A felfogóedény és a gyűjtőpalack felépítése hasonlít a hagyományos csapadékmérőhöz. A felfogóedényből a víz egy úszóhengerbe jut, ahol a vízszint emelkedése egy úszószelencét emel. A szelencéhez egy írókar csatlakozik, ami egy órahengerre elhelyezett papírszalagon jelöli a vízszint emelkedésének mértékét, amiből kiszámítható a csapadék intenzitása. A henger megteltével a benne levő vizet egy szifon kiüríti, és a mérés újraindul (Mészáros, 2013). Az ombrográfban a papírszalag jellemzően 24 órás időtartamot ölel fel. A legelterjedtebb a Hellmann-rendszerű típus (1897, Németország) volt, amit széles körben használtak a XX. század végéig (10. ábra). Azóta az automata állomások elterjedésével a csapadékirók használata háttérbe szorult.

Egyéb ombrográfok is léteznek. Ilyen többek között a Negretti-Zambra- (1900, Anglia), a Halliwell- (1901, Anglia) vagy Palazzo-féle (1905, Olaszország) csapadékiró. Angliában már több mint 200 évvel ezelőtt is használtak csapadékirót (11. ábra) (Kurtyka, 1953).



10. ábra
Hellmann-rendszerű
csapadékiró
Sopron-Kuruudombon



11. ábra
Bevan-féle csapadékiró
[1817, Anglia]
(Kurtyka, 1953)

3.2 Billenőedényes csapadékmérő

Napjainkban a billenőedényes csapadékmérő a legelterjedtebb az automata állomásokon, amit Magyarországon a XX. század végétől használnak. Külsőleg hasonlít a hagyományos felfogóedényes típushoz (12. ábra), de a felfogó részből itt nem egy gyűjtőpalackba jut a behullott víz, hanem egy kétoldalú billenőedénybe. Amikor az edény egyik fele megtelelik, átbillen, és a másikba folyik a csapadékvíz.

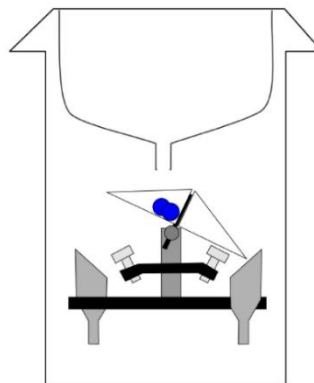
Az első kétoldalú billenőedényt Crossley készítette 1829-ben (Strangeways, 2007).



Az eszköz ezeket a billenéseket számolja, ami alapján csapadékösszeg és intenzitás határozható meg. Egy billenés általában 0,1 vagy 0,2 mm-nyi csapadéknak felel meg. A csapadékmérő működési elvét a 13. ábra mutatja. A mérés után nem tárolja magában a vizet a mérő, hanem kifolyik belőle. Nagy intenzitású csapadékhullásnál gyakran a tényleges mennyiségnél kevesebbet mér, mert nem tud elég gyorsan átbillenni az edény egyik oldalról a másikra (Lanza et al., 2010). Télen fűtött a rendszer a szilárd halmazállapotú csapadék méréséhez (Mészáros, 2013).

12. ábra
Automata billenőedényes
csapadékmérő Győr-Likócsen
vagy egyáltalán nem mér az eszköz csapadékot több órányi csapadékhullás után sem. Ennek oka, hogy a felolvasztás során a berendezés elpárologtathatja a behullott csapadékot. A billenőedényes csapadékmérők a hagyományos (kézi) mérésnél 10–15%-kal is kevesebb éves csapadékösszeget mérhetnek.

Gyenge intenzitású havazásnál előfordul, hogy alig, vagy egyáltalán nem mér az eszköz csapadékot több órányi csapadékhullás után sem. Ennek oka, hogy a felolvasztás során a berendezés elpárologtathatja a behullott csapadékot. A billenőedényes csapadékmérők a hagyományos (kézi) mérésnél 10–15%-kal is kevesebb éves csapadékösszeget mérhetnek.



13. ábra
Billenőedényes csapadékmérő működési elve
(Mészáros, 2013)

3.3 Felhasznált adatok, a dolgozat szerkezete

A rövid idejű csapadékok statisztikai vizsgálatát Pécs-Pogány állomásra végeztem el. Az elemzés az 1997–2017-es időszakra terjedt ki. A vizsgált időszakban a pécs-pogányi állomás nem ugyanazon a helyen működött végig, de a két mérési pont közel, mindössze 300 m-re van egymástól, mindkettő a repülőtérnél, a dombtetőn, 200 m-es tengerszint feletti magasságon. Így a különböző mérési helyszínek az idősorokban inhomogenitást nem okoznak. Az állomás helyzetét az 1997–2017-es időszakban az 1. táblázat tartalmazza.

Állomás neve	Földrajzi szélesség	Földrajzi hosszúság	Időszak kezdete	Időszak vége
Pécs-Pogány; repülőtér (adóház)	46°00'21"	18°13'58"	1997.01.01.	1998.03.24.
Pécs-Pogány; repülőtér	46°00'00"	18°14'00"	1998.03.24.	napjainkig

1. táblázat

A pécs-pogányi állomás helyzete az 1997–2017-es időszakban
(Bors, 2014)

Az adatsorokat a diplomamunkához az Országos Meteorológiai Szolgálat biztosította. A diplomamunka egyik célkitűzése volt a különböző mintavételezésekből származó eltérések vizsgálata, emiatt háromféle csapadék adatsorral is dolgoztam:

- úszóhengeres csapadékmérő mérései (1997)
- billenőedényes automata 10 perces mérései (1997–2017)
- billenőedényes automata 1 perces mérései (2009–2017)

A munka elején az 1997-es év csapadékmérő lapjait én dolgoztam fel (4. fejezet). A diplomamunkában az ombrográf és 10 perces automata, valamint 1 és 10 perces automata mérések alapján számított maximális részösszegek közötti eltérések elemzésére került sor. A maximális részösszegeknél a fellelhető hosszú távú trendek mellett vizsgáltam az éven belüli havonkénti, valamint a rövid idejű intenzív csapadékok napi, illetve órán belüli menetét. A dolgozat tartalmazza esettanulmány-szerűen két, szélsőségesen magas csapadékhullással járó esemény elemzését. Vizsgáltam továbbá az intenzív csapadékok teljes csapadékösszegegen belüli arányát, valamint a mérnöki gyakorlatban kiemelt fontosságú IDF (intenzitás-időtartam-gyakoriság) görbéket is elkészítettem a különböző részösszegekre. Az elemzéseknél több esetben külön vizsgáltam az 1997–2017-es időszak első és második felét, vagy a nyári és téli időszakot a változások, illetve az eltérések kimutatásához.

A számításokhoz és ábrák készítéséhez használt programozási nyelvek, szoftverek: Fortran, GetData Graph Digitizer, Google Earth, Microsoft Excel, R, Statistica.

4. Ombrográf szalagok feldolgozása

Az automata csapadékmérők 1990-es években történő megjelenéséig a rövid, akár 5-10 perces időszakokban előforduló csapadékösszegekről, csapadékintenzitásról kizárólag a csapadékiró szalagok szolgáltatottak információt. A dolgozat egyik célkitűzése volt, hogy a különböző mintavételezési módszerek közti eltéréseket elemezzük. Ennek a vizsgálatnak a helyszínéül Pécs-Pogány repülőtérrel választottuk. Az automata mérések 1996-ban kezdődtek az állomáson. Egy teljes naptári évről, az 1997-esről álltak rendelkezésre párhuzamos adatsorok csapadékiróból és automatából. Az eltérő mérési módszerből adódó különbségek elemzéséhez szükséges volt ombrográf szalagok (14. ábra) feldolgozására is, amit ennek a munkának a keretében elvégeztem. Ezen szalagok feldolgozása meglehetősen időigényes feladat, amit továbbiakban részletesen bemutatok, hogy az olvasó betekintést kapjon a folyamatba.

4.1 Hagyományos módszer

Az ombrográf szalagok feldolgozásának kezdetén első lépésben megállapítjuk a csapadékos időszak kezdetének és végének az időpontját. Ez fogja meghatározni, hogy mekkora részösszegeket tudunk megállapítani. A szalagok kiértékelésekor az 5, 10, 20, 30, 60, 180 perces részösszegeket állapít meg az észlelő vagy a kiértékelést végző személy. Ha a csapadékos időszak hossza nem éri el egy adott részösszeg időtartamát, pl. a csapadékhullás ideje 54 perc, akkor a legnagyobb részösszeg a 30 perces lesz, a 60 perces már nem határozható meg. A következő lépésben minden órás csapadékösszeget leolvasunk a szalagról, amelyeket a csapadékos időszakok érintettek. Ezeknek az órás értékeknek a napi összege meg kell hogy egyezzen a hagyományos Hellmann-rendszerű csapadékmérő által mért napi csapa-



14. ábra

Csapadékiró szalag (1997.07.11 14:00 – 1997.07.12 7:00)

dékösszeggel. A feldolgozásban szerzett tapasztalataim alapján elmondható, hogy a két összeg a legtöbb esetben eltér. Ez a különbség azonban csupán néhány tizedmilliméter általában. Jelentősebb eltérés nagyobb intenzitások esetén jelentkezett. Ennek oka, hogy amikor a csapadéktartály kiürülése során az úszó lesüllyedése közben a behulló csapadék egy része lemeretlenül folyik át a csapadékíron. A feldolgozást végző személy ilyenkor mindig kissé korrigálta az órás értékeket, elsősorban a nagyobb intenzitású időszakoknál, ha eltért a két napi összeg egymástól. Ez a korrekció meglehetősen szubjektív módon történt. Az órás értékek ismerete után az esetleges módosítások figyelembevételével történt az egyes maximális részösszegek (5, 10, 20, 30, 60, 180 perces) meghatározása. A feldolgozást végző személy hatása az eredményekre itt is jelentős, mert ha több, közel hasonlóan intenzív periódus is volt egy csapadékos időszakon belül, akkor a végső eredményt jelentősen befolyásolhatja az is, hogy a szalagok feldolgozását végző személynek milyen a látása, vagyis mik azok az apró részletek, amiket még képes észrevenni. Ezt jól szemlélteti a 10. ábra, amin az 1997. július 11-12-ei csapadékíró szalag látszik.

A 14. ábrán szereplő időszakban négy különálló csapadékos periódus is megfigyelhető. Két rövidebb ideig tartó intenzívebb 15 és 16 óra között, valamint 18 óra körül, egy kisebb csapadékú időszak 19 és 21 óra között és egy szintén nagyobb csapadékösszeget produkáló esemény már július 12-én az éjszakai órákban. Megemlítendő, hogy egy tökéletes beállításokkal rendelkező csapadékíró esetén a tartály mindig 10,0 mm-nél ürül ki és az írókar a szalagon 0,0 mm-ig esik vissza. Az 1997-es pécs-pogányi feldolgozás során azonban a legtöbb esetben a tartály nem érte el a 10 mm-es szintet, korábban kiürült. Ez így volt a 14. ábrán szereplő napon is, ahol öt ilyen ürítés figyelhető meg és mindegyik különböző szintnél. Ez a feldolgozás folyamatát annyiban hátráltatta, hogy a csapadékösszeg meghatározásánál ezeket a kiürítési szinteket is meg kellett határozni, nem volt elég azok számát összegezni és beszorozni 10-zel. Továbbá, mivel jellemzően 10 mm-es szint alatt ürült az ombrográf tartálya, ezáltal az írókar a szalagon gyakrabban ment vissza a 0 mm-es szintre, ami az egyes maximális részösszegek meghatározását lassúbbá, nehezebbé tette.

A 2. táblázatban ezekből a július 11-12-ei eseményekből tüntettem fel kettőt. A táblázatban a már feldolgozott ombrográf szalag eredmények jelennek meg. Ahogy korábban említettem, az első csapadékos időszagnál azért nincs 60 és 180 perces maximális részösszeg, mert a csapadékos periódus hossza rövidebb, csupán 32 perces volt. A csapadékhullás mintegy fél óráig tartott, de a 10,4 mm csapadékösszeg közel $\frac{3}{4}$ -e egy 10 perces intervallumban esett, a szalag (14. ábra) alapján megállapítható, hogy ez a 10 perces intervallum 17:55-től 18:05-ig tartott.

Időszak		Időtartam (perc)	Összeg (mm)	Ombrográf – maximális részösszegek (mm)					
Kezdet	Vége			5 perc	10 perc	20 perc	30 perc	60 perc	180 perc
07.11 17:48	07.11 18:20	32	10,4	3,8	7,5	10,3	10,4	–	–
07.12 00:52	07.12 04:51	239	11,3	1,4	2,3	3,0	3,6	5,4	10,9

2. táblázat
Ombrográf maximális részösszegek (1997.07.11-12.)

Mivel az automata és az ombrográf is működött 1997-ben, így az alábbiakban egy példán keresztül rávilágítok a kétféle mérésből adódó eltérésekre. Az 1997-es évből csak 10 perces, annál nem sűrűbb mérésközzel álltak rendelkezésre automata csapadékadatok az OMSZ adatbázisában, vagyis a maximális részösszegek meghatározása is az alapján történt. Így az említett július 11. 18:00 körüli 10 perces legnagyobb részösszeg az automata esetében a 17:50–17:59 és 18:00–18:09-es értékek közül az egyik lett a maximális részösszeg. A csapadékíró szalag alapján azonban ezen tízperces értékek mindegyike több mm-rel elmaradt a 17:55–18:05-ös összegtől. Az automata adatok alapján a legnagyobb 10 perces csapadékmennyiség csupán 5,8 mm volt (3. táblázat), miközben a csapadékíró alapján ez az érték 7,5 mm-nek adódott, ami 1,7 mm-rel (29%-kal) magasabb.

Időszak		Időtartam (perc)	Összeg (mm)	Automata – maximális részösszegek (mm)					
Kezdet	Vége			5 perc	10 perc	20 perc	30 perc	60 perc	180 perc
07.11 17:50	07.11 18:19	30	9,7	–	5,8	7,9	9,7	–	–
07.12 01:00	07.12 04:59	240	11,3	–	2,1	2,8	3,5	5,3	11,0

3. táblázat
Billenőedényes automata maximális részösszegek (1997.07.11-12.)

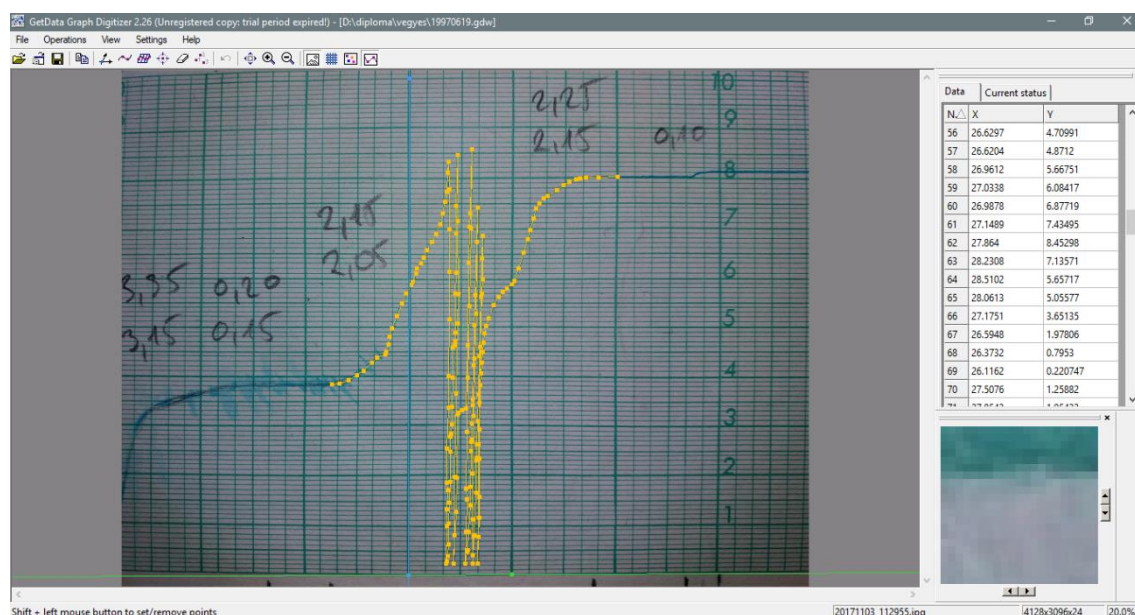
Az automata esetében ez a tízperces összeg az összes csapadék kevesebb mint 60%-át adta, az ombrográfnál ez az arány több mint 70% volt. A csapadékösszegben is van különbség, a csapadékíró 10,4 mm-es értéke 7%-kal (0,7 mm-rel) magasabb az automata által rögzítetténel. Ez a különbség vélhetően annak tulajdonítható, hogy a billenőedényes automata nagy intenzitásnál nem képes lemérni az összes csapadékot. Az ombrográf szalag alapján a legintenzívebb periódusokban a csapadékintenzitás valószínűleg meghaladta a 150 mm/h-s értéket is. Ekkora intenzitás mellett az automatában a billenések közti időtartam legfeljebb 2 másodperc és billenésenként ugyan jelentéktelen mennyiség, de a kanál mellé folyik. Ezek a minimális eltérések viszont kumulálódnak időben. Ebben a július 11-ei esetben a 0,7 mm eltérés 97 billenés alatt adódott össze, tehát billenésenként 0,0072 mm. A csapadékmérő felfogófelülete 200 cm² (0,02 m²), 1 mm-nyi csapadék 200 cm² felületen 20 ml víznek felel

meg, ami alapján a billenőedényes automata billenésenként csupán 0,0144 ml-rel mért kevesebbet, ami a csapadékhullás végére 0,7 mm-ig összegződött.

A 2. és 3. táblázatban feltüntetett másik (júl. 12-ei) csapadékos időszakban ugyan hasonló csapadékösszeg esett, de sokkal kisebb intenzitás volt a jellemző és a csapadékhullás időtartama 3,5 órával hosszabb volt. A csapadékíró és az automata által mért legnagyobb részösszegek csupán néhány tizedmilliméterrel térnek el egymástól.

4.2 Digitalizáló program

A grafikonok feldolgozására napjainkban már rendelkezésünkre lehetnek különböző digitalizáló szoftverek. Az 1997. június 19-ei esti felhőszakadással járó eseménynél az ombrográf szalagot a GetData Graph Digitalizer nevű programmal digitalizáltam (15. ábra). A művelet során először rögzíteni kell az x (idő [percben]) és y (vízoszlop magassága [mm-ben]) tengelyeket értékészlettel, majd meg kell adni a programnak a feldolgozandó görbét. Az adatpontok kijelölését automatikusan is képes megcsinálni, de itt manuálisan kellett felvennem 167 adatpontot, mert az ombrográf szalag rácozása és az író toll görbéje hasonlóan kékes-zöldes színű, amit a szoftver nem volt képes megkülönböztetni. A kapott értékeket letöltöttem Excelbe. Ezt követően az adatpontok közötti értékeket 0,01 perces időlépcsővel lineáris interpolációval közelítettem, majd meghatároztam a perces csapadékösszegeket egy tizedes jegyre kerekítve. Így 1 perces mérésközzel állt rendelkezésemre adatsor a csapadékos eseményről, ami alapján a maximális részösszegeket meghatároztam.



15. ábra

Az 1997.06.19-ei csapadékíró-szalag digitalizálása a GetData Graph Digitalizer szoftverrel

5. Eredmények

5.1 Az 1997-es év ombrográf és automata méréseinek elemzése

5.1.1 Ombrográf és 10 perces automata mérések alapján számított maximális részösszegek összehasonlítása

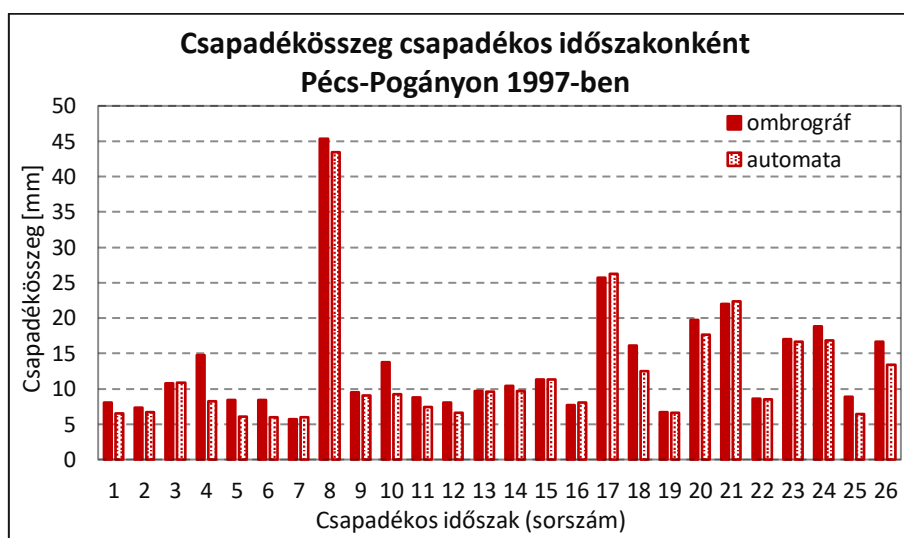
Az 1997-es évben az ombrográf szalagok feldolgozásának köszönhetően lehetőség nyílt egy teljes naptári évben a csapadékíró és automata mérések összehasonlítására, elemzésére Pécs-Pogány mérőhelyen. Először is az 1997-es évben kiszűrtük a kis csapadékösszegű időszakokat és csak a jelentősebbeket hagytuk meg, mert a dolgozatban az intenzív csapadékhullással járó eseményekre koncentrálunk. A határt az automata mérések 6 mm-es összegénél húztuk meg. A küszöb megállapításakor támpontot adott, hogy a 10 perces részösszegek éves maximumának a minimuma 6 mm az OMSZ éghajlati adatbázisában tárolt adatok szerint. Ennek a feltételnek 26 esemény felel meg 1997-ből. Minden esemény kapott egy sorszámot, a hivatkozás ebben a fejezetben mindig ezekre a sorszámokra történik, nem dátumokra. A 4. táblázat tartalmazza, hogy az egyes csapadékos időszakokhoz milyen sorszám tartozik. A dátumok az ombrográf feldolgozás eredményei. Ezekről az automata adatokhoz tartozó időpontok általában minimálisan ugyan eltérnek, de ennek nincs jelentősége, hiszen itt nem a csapadékos időszakok hosszát vizsgáljuk, hanem a részösszegeket, intenzitásokat, azokra pedig az időtartam esetleges minimális eltérései nem voltak hatással. A 4. táblázatban a dátumok jól mutatják, hogy ezeknek a nagyobb csapadékmennyiséget produkáló időszakoknak több mint $\frac{3}{4}$ -e a nyári félévben található.

Nr.	Csapadék kezdete	Csapadék vége	Nr.	Csapadék kezdete	Csapadék vége
1	01.03 05:47	01.04 00:00	14	07.11 17:48	07.11 18:20
2	02.13 21:22	02.14 04:57	15	07.12 00:52	07.12 04:51
3	02.26 19:03	02.27 00:20	16	08.24 18:48	08.24 20:30
4	04.20 18:38	04.21 13:41	17	08.29 09:28	08.29 13:34
5	04.21 18:39	04.22 07:33	18	09.09 21:47	09.10 01:11
6	04.30 13:35	04.30 19:50	19	09.14 13:19	09.14 19:33
7	06.14 23:11	06.15 01:39	20	10.02 18:54	10.02 23:30
8	06.19 22:20	06.20 00:45	21	10.11 02:26	10.11 06:09
9	06.20 23:20	06.21 00:45	22	10.12 09:27	10.12 13:00
10	07.06 11:22	07.07 07:30	23	10.12 13:49	10.12 19:30
11	07.07 10:15	07.07 23:40	24	12.03 12:47	12.04 03:30
12	07.08 05:46	07.08 23:30	25	12.12 07:58	12.12 16:50
13	07.11 15:12	07.11 16:40	26	12.26 23:55	12.28 04:30

4. táblázat

Csapadékos időszakok 6 mm feletti csapadékösszeggel Pécs-Pogányon 1997-ben

Az egyes eseményenként lehulló teljes csapadékmennyiséget bemutató ábra (16. ábra) is jól szemlélteti a június 19-ei (8. esemény) szélsőségességét. A 26 vizsgált időszakból 13 esetben 6 és 10 mm közötti csapadékösszeg hullott, 20 mm feletti csapadékmennyiség 3 eseménynél volt. A 4. és a 10. csapadékos időszaknál a 16. ábra alapján is jelentősebb eltérés figyelhető meg. Ennek az oka, hogy mindkét csapadékidőszaknál a jelentősebb esemény előtt vagy után nem sokkal volt egy kisebb mennyiséget adó másodlagos csapadékhullási időszak az automata adatsorban, ami az ombrográf mérések alapján egy csapadékhullási periódusnak volt tekinthető. A kettő között a csapadékíró szalagok feldolgozása során minimális mennyiségű, de folytonos csapadékhullás volt.



16. ábra

Csapadékösszegek csapadékos időszakonként Pécs-Pogányon 1997-ben

Ezzel szemben az automata ezt a nagyon gyenge és kevés csapadékot nem mérte le, így az automata adatoknál két különálló csapadékos időszakként jelenik meg. Ezért az 5. táblázatban, ahol a különböző értékű csapadékösszeg-eltérések vannak összesítve, ezt a két eseményt nem vettük figyelembe. A részösszegek vizsgálatánál már nincs szükség ezen események kihagyására, mert ugyanabból a nagyobb csapadékként intenzitású időszakból származnak a részösszegek mindkét mérőeszköz adatsora esetén.

< 0 mm	nincs eltérés	0,1 mm	0,2–1,0 mm	> 1 mm
5	1	3	4	11

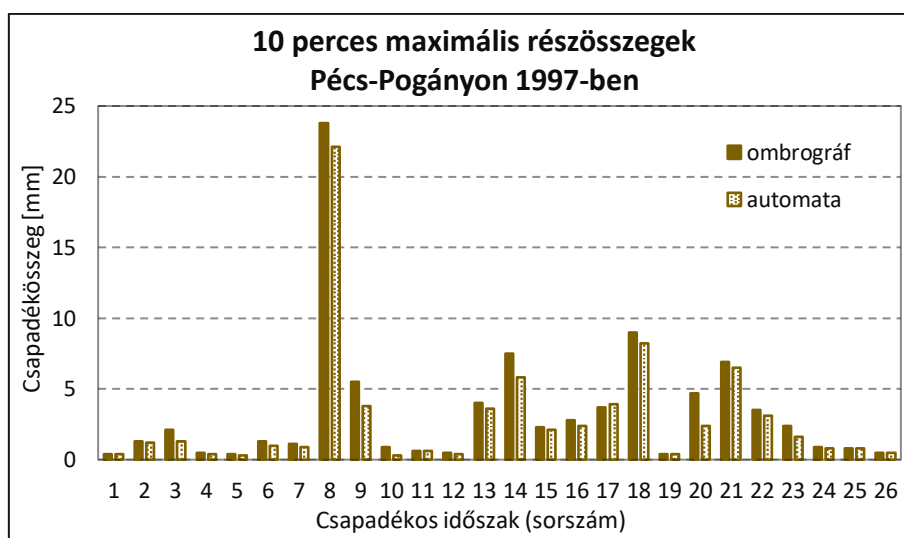
5. táblázat

Ombrográf és automata által mért csapadékösszegek közötti különbségek (kategóriák és esetszámok) Pécs-Pogányon 1997-ben

Az egyes események teljes csapadékösszegeit elemezve megállapítható, hogy az ombrográf a legtöbb esetben nagyobb csapadékmennyiséget mért az automatánál. Csupán 5

esetben fordult elő többlet az automatánál, de azok is 0 és 0,5 mm közöttiek voltak. Az események 45,8%-ában az ombrográf által mért csapadékösszeg több mint 1 mm-rel meghaladta az automata mérését. A nagyobb csapadékösszegek esetén fordultak elő a nagyobb különbségek, ami azzal magyarázható, hogy az automata billenőedénye nem képes teljes mértékben lekövetni a nagyobb intenzitású csapadékhullást.

Ebben a fejezetben bemutatjuk a 10, 20, 30 és 60 perces részösszegeket is. Az 5 perces részösszegek összehasonlítása nem volt lehetséges, mert az automatából csak 10 perces felbontású adatok álltak rendelkezésre.



17. ábra
10 perces csapadékhozamok maximumai csapadékos időszakonként Pécs-Pogányon 1997-ben

A 10 perces részösszegek átlaga a csapadékíró esetén 3,4 mm, az automata adatoknál 2,9 mm-nek adódott. Ez nem meglepő az ombrográf mérések kiértékelésnek szempontjait ismerve, ugyanis a legmeredekebb 10 percet kell kiválasztani egy eseményből a szalag feldolgozás során, s az adja a 10 perces részösszeget. Az esetek több mint felében a 10 perces részösszeg nem érte el a 2 mm-t, elsősorban az év első felét jellemezte ez. Júniusig egy időszagnál se jelentkezett 2 mm feletti 10 perces csapadékhozam, valamint hasonlóan alakult az év vége is. A legnagyobb 10 perces maximum június 19-én, a 8. számú eseménynél volt, automata 22,1 mm, ombrográf 23,8 mm-es összeggel (17. ábra). A kétféle mintavételezés közötti eltéréseket a 6. táblázat tartalmazza.

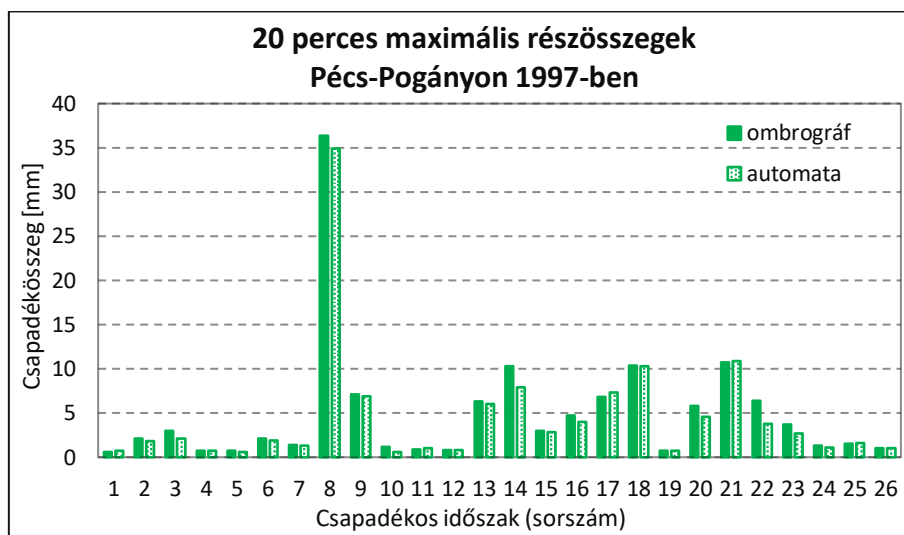
< 0 mm	nincs eltérés	0,1 mm	0,2–1,0 mm	> 1 mm
1	5	5	11	4

6. táblázat

Ombrográf és automata által mért 10 perces maximális részösszegek közötti különbségek (kategóriák és esetszámok) Pécs-Pogányon 1997-ben

A különbség a nagyobb, 10 mm feletti összcsapadékú időszakok esetén volt jelentősebb, ezeknél az átlagos eltérés 0,7 mm-nek adódott, 10 mm alatt 0,3 mm volt. A legjellemzőbb a 0,2–1,0 mm-es 10 perces részösszeg-eltérések voltak az 1997-es évben.

A 20 perces részösszegeket vizsgálva azt kaptuk, hogy az ide tartozó csapadékösszegek átlagai a 10 perces részzögekhez hasonló eltérést mutatnak, fél mm-rel az ombrográf értékek a magasabbak.



18. ábra
20 perces csapadékhozamok maximumai csapadékos időszakonként Pécs-Pogányon 1997-ben

A csapadékíró esetén 5,0 mm, az automata adatoknál 4,5 mm-nek adódott a 20 perces részösszegek átlaga. Ezek 1,6 mm-rel magasabbak a 10 perces átlagoknál. Az esetek több mint felében a 20 perces részösszeg nem érte el a 4 mm-t, elsősorban az év első felét jellemezte ez. Júniusig egy esetben se jelentkezett még 3 mm feletti 20 perces csapadékmennyiség, valamint hasonlóan alakultak az év utolsó hónapjai. A legnagyobb 20 perces maximum szintén június 19-én (8. esemény) volt, automata esetén 34,9 mm, ombrográf 36,4 mm-es értékkel (18. ábra). A második legnagyobb 20 perces hozam alig érte el a 10 mm-t. Öt olyan eseményt találunk, ahol a 20 perces részösszegre az automata-mérésekből nagyobb érték adódott (7. táblázat), de jellemzően az ombrográf adott magasabb részösszegeket. Az esetek 27%-ában nem vagy csak 0,1 mm-es eltérés adódott.

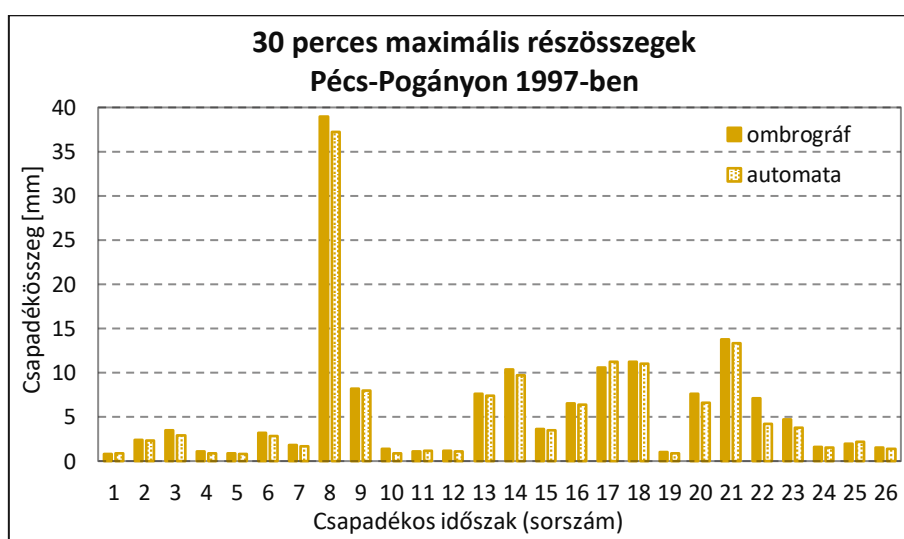
< 0 mm	nincs eltérés	0,1 mm	0,2–1,0 mm	> 1 mm
5	4	3	10	4

7. táblázat

Ombrográf és automata által mért 20 perces maximális részösszegek közötti különbségek (kategóriák és esetszámok) Pécs-Pogányon 1997-ben

A csapadékíróhoz tartozó részösszeg leggyakrabban 0,2–1,0 mm-re magasabb volt. A különbség a 10 perces maximális hozamokhoz hasonlóan itt is a nagyobb, 10 mm feletti csapadékösszegű időszakok esetén volt jelentősebb, ezeknél az átlagos eltérés 0,6 mm, 10 mm alatt 0,3 mm. A 14. (júl. 11.) és a 22. (okt. 22.) eseménynél a 2 mm-t is meghaladta a részösszegek közötti eltérés.

A 20 perces részösszegekhez hasonlóan a fél órás legnagyobb csapadékhozamoknál is messze a 8. csapadékos időszak (jún. 19.) hozta a maximális részösszeget az 1997-es évben (19. ábra). Az automata által mért legnagyobb fél órás hozam a június 19-ei esti felhőszakadáskor 37,2 mm volt, ennél közel 2 mm-rel nagyobb részösszeg adódott az ombrográf mérések feldolgozásakor (39,0 mm).



19. ábra
30 perces csapadékhozamok maximumai
csapadékos időszakonként Pécs-Pogányon 1997-ben

Június közepéig a 30 perces hozamok egy eseménynél sem haladták meg az 5 mm-t. Az extrém 8. eseményhez hasonló értékkel nem találkozunk, az évben második legmagasabb részösszeget produkáló 22. csapadékos időszak is 15 mm alatt maradt. 5 és 15 mm között az események mintegy harmada található (9 db). A csapadékíró esetén 5,9 mm, az automata adatoknál 5,5 mm a 30 perces részösszegek átlaga. A 30 perces csapadékhozamoknál nem volt olyan esemény, amelynél az ombrográf és billenőedényes automata mérések megegyeztek volna, az esetek 34,6%-ában a csapadékíró részösszege 0,1 mm-rel több volt (8. táblázat).

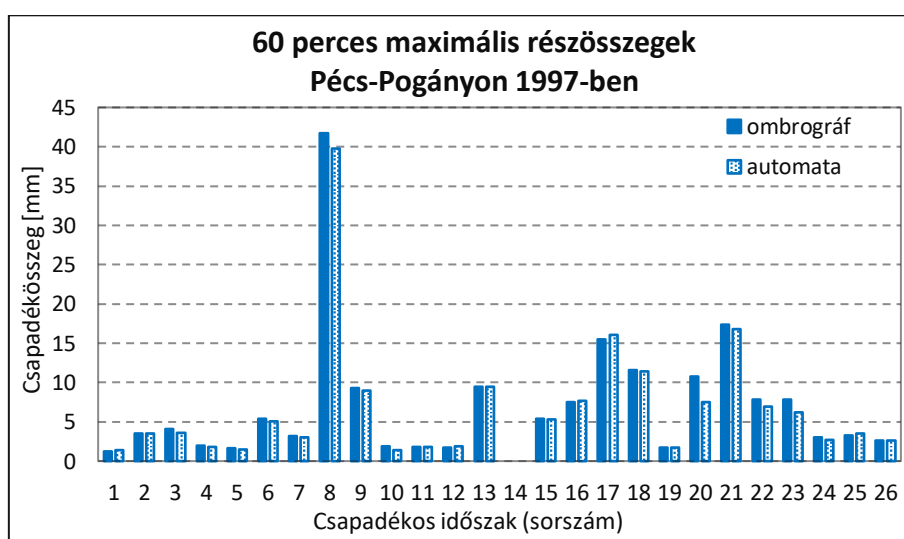
< 0 mm	nincs eltérés	0,1 mm	0,2–1,0 mm	> 1 mm
4	0	9	11	2

8. táblázat

Ombrográf és automata által mért 30 perces maximális részösszegek közötti különbségek (kategóriák és esetszámok) Pécs-Pogányon 1997-ben

Néhány csapadékos esemény itt is előfordult, ahol az automata adatsorából számított hozam volt a magasabb. Csak kettő eseményt találunk (8. és 22.), ahol a részösszeg-különbség meghaladta az 1 mm-t, jellemzően 0,2–1,0 mm-es értékek fordultak elő. Az eltérések a fél órás hozamoknál is a 10 mm feletti csapadékösszegű időszakok esetén voltak jelentősebbek, ezeknél az átlagos különbség a csapadékiró és automata között 0,5 mm, 10 mm alatt 0,3 mm.

A 10, 20, valamint 30 perces részösszegek után a 60 perces maximális hozamoknál is kiemelkedő a június 19-ei (8.) esemény. Az automata alapján megközelítette (39,8 mm), a csapadékiró szerint meg is haladta az egy órás maximális részösszeg a 40 mm-t (41,7 mm) (20. ábra). A 14. esemény helye azért üres, mert annak a csapadékos időszaknak a hossza nem érte el a 60 percet, így 60 perces maximális részösszeget se lehetett ott számítani.



20. ábra
60 perces csapadékhozamok maximumai
csapadékos időszakonként Pécs-Pogányon 1997-ben

A június 19-ei felhőszakadáson kívül még két esemény (17. és 21.) során haladta meg az óras legnagyobb hozam a 15 mm-t. Csak öt csapadékos időszaknál érte el a maximális 60 perces részösszeg a 10 mm-t, az esetek több mint felében, 52%-ában 5 mm alatt maradt. A csapadékiró esetén 5,9 mm, az automata adatoknál 5,5 mm a 60 perces maximális részösszegek átlaga. Az ombrográf és automata alapján számított részösszegek közötti különbség általában itt is 0,2–1,0 mm közötti, három időszaknál haladta meg az 1 mm-t (9. táblázat).

< 0 mm	nincs eltérés	0,1 mm	0,2–1,0 mm	> 1 mm
5	5	2	10	3

9. táblázat

Ombrográf és automata által mért 60 perces maximális részösszegek közötti különbségek (kategóriák és esetszámok) Pécs-Pogányon 1997-ben

Ahogy eddig az összes részösszegnél, az eltérések a 60 perces csapadék-részösszegeknél is a 10 mm feletti csapadékösszegű időszakok esetén voltak jelentősebbek, amelyeknél az átlagos különbség a csapadékiró és automata között 0,7 mm, 10 mm alatt viszont mindössze 0,1 mm.

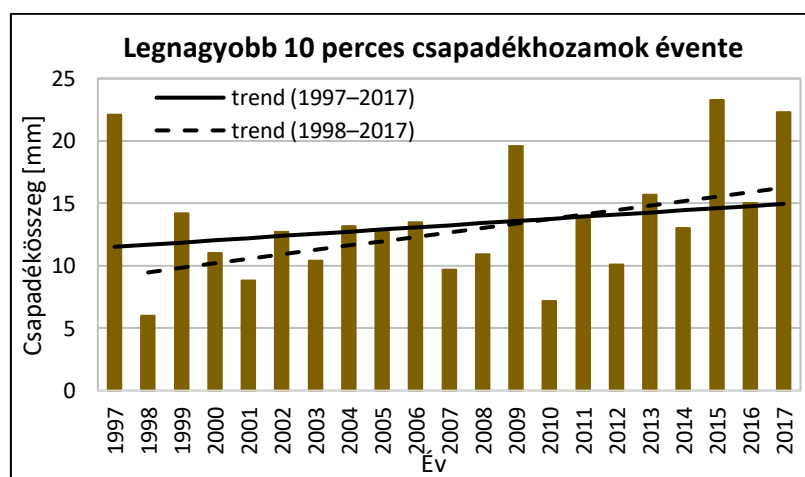
A továbbiakban az 1997–2017-es időszak automata méréseinek elemzésével foglalkozunk, kitérünk a részösszegben fellelhető hosszútávú trendekre, maximális részösszegekre, különböző menetekre (éves, napi, órás), vizsgáljuk az 1 és 10 perces mérésközű adat-sorokból számított maximális részösszegek közötti eltéréseket. Majd ezek után elemezzük a rövid idejű csapadékok összes csapadékon belüli arányát, valamint az IDF (intenzitás–idő-tartam–gyakoriság) görbéket.

5.2 Az 1997–2017-es időszak automata méréseinek elemzése

5.2.1 Részösszegek éves maximumai, trendek

Ebben a fejezetben az egyes részösszegek éves maximumait és az ott fellelhető trendeket elemeztem a 10 perces legnagyobb csapadékhozamoktól a 60 percesekig. A számításokhoz a 10 perces mérésközzel rendelkezésre álló csapadék adatsorból azokat az eseményeket használtam, amikor a csapadékos időszak eleje és vége között, tehát a teljes esemény alatt a csapadékösszeg elérte a 6 mm-t. A trendek szignifikanciájáról t-próbával döntöttem 95%-os szignifikancia szint ($\alpha=0,05$) mellett. Trendeket minden részösszegegnél két időszakra vizsgáltam, egyrészt a teljes időszakra, ami 21 évet ölel fel 1997-től, másrészt az elmúlt 20 évre, azaz az 1997-es év nélküli évekre, rámutatva ezzel, hogy egyetlen kiugró év is jelentős hatással lehet a megfigyelt trendre. Az 1997-es maximumok minden részösszegegnél az 1997. június 19-ei eseményhez köthetők (5.1 alfejezet).

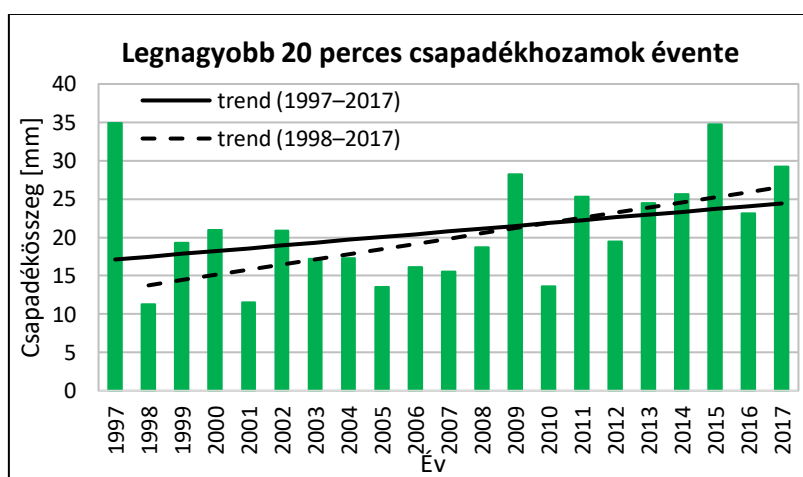
A 10 perces csapadékhozamok éves maximuma jellemzően 10 és 15 mm közé esik, a legalacsonyabb érték (6 mm) 1998-ban, a legmagasabb (23,3 mm) 2015-ben lépett fel (21. ábra). 20 mm feletti 10 perces maximális csapadékhozam három évben volt, vagyis három olyan év is volt, amikor az adott évben volt olyan intenzív csapadéku időszak (felhőszakadás), amikor egy 10 perces időszakban az átlagos csapadékintenzitás meghaladta a 120 mm/h-t. A vizsgált időszak első felében csupán a már említett 1997-es évben alakult 15 mm felett az éves maximális 10 perces összeg, az elmúlt 10 évben nem lépett fel ilyen érték, továbbá 2011 óta nem volt egy olyan év se, amikor nem érte el a 10 mm-t. Az illetett lineáris trend 1997-től a 2017-ig 3,4 mm-es emelkedést mutat. 1998-tól a trend alapján a változás mértéke 6,8 mm. Utóbbi 95%-os megbízhatósági szint mellett szignifikáns változás.



21. ábra

Legnagyobb 10 perces csapadékhozamok évente Pécs-Pogányon (1997–2017)

A legnagyobb 20 perces részösszegek már nagyobb változékonyságot mutatnak, 10 és 35 mm közötti értékek fordultak elő az egyes években 1997 óta. A legmagasabb (34,9 mm) az első évben, 1997-ben (szintén az említett júniusi eseményen), a legalacsonyabb itt is, a 10 perces részösszegekhez hasonlóan, 1998-ban jelentkezett (22. ábra). Abban az évben mindössze 11,3 mm volt a maximális 20 perces csapadékhozam, de hasonlóan alacsonyan alakult 2001-ben is (11,5 mm). Az időszak eleje és vége jelentősebb eltérést mutat, mint amit a 10 perces összegeknél figyelhettünk meg. A vizsgált időszak első felében csupán az 1997-es év maximuma haladta meg a 25 mm-es értéket, a legtöbb esetben 20 mm alatt maradt. Ezzel szemben az elmúlt 10 évnek a felében (5 év) haladta meg a 25 mm-t, 2011 óta csak egy évben maradt 20 mm alatt, 2012-ben, de akkor is csak 0,5 mm-rel. Ennek megfelelően a lineáris trend is jelentősebb. Az illesztett trend 1997-től 7,3 mm-es növekedést mutat, 1998-tól az emelkedés mértéke 12,9 mm, ami szignifikáns változás 95%-os megbízhatósággal.

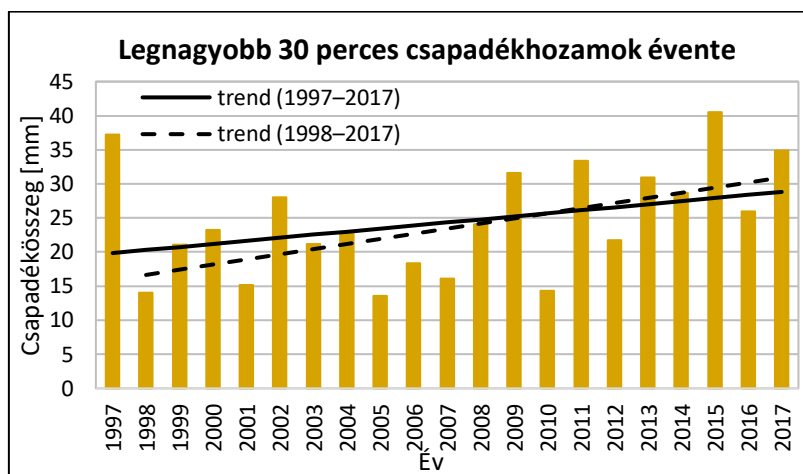


22. ábra

Legnagyobb 20 perces csapadékhozamok évente Pécs-Pogányon (1997–2017)

A maximális 30 perces részösszegek esetében a 10 percesekhez hasonlóan ismét a 2015-ös évhez köthető a legnagyobb érték, ami meghaladja 0,5 mm-rel a 40 mm-t is. Ez az egyetlen 40 mm feletti részösszeg, 35 mm-t is ezen kívül csak egyszer, az 1997-es évben érte el (37,2 mm) (23. ábra). A vizsgált időszak eleje és vége között is tekintélyes kontrasztot figyelhetünk meg. Míg 2007-ig két évben érte el a 25 mm-es értéket a fél órás maximális csapadékhozam, addig ebben az évtizedben (2011 óta) csak egy volt, amikor nem, a 2012-es. Ha alacsonyabb küszöbérték pl. 20 mm feletti és alatti évek számát vizsgáljuk, még számottevőbb változásról adnak bizonyosságot az adatok. 2007-ig az esetek felében nem érte el az éves legnagyobb 30 perces érték a 20 mm-t, 2011 óta viszont minden esetben meghaladta azt. Ezek alapján a lineáris trendek is jelentősek, az emelkedés mértéke 1997-től 9 mm,

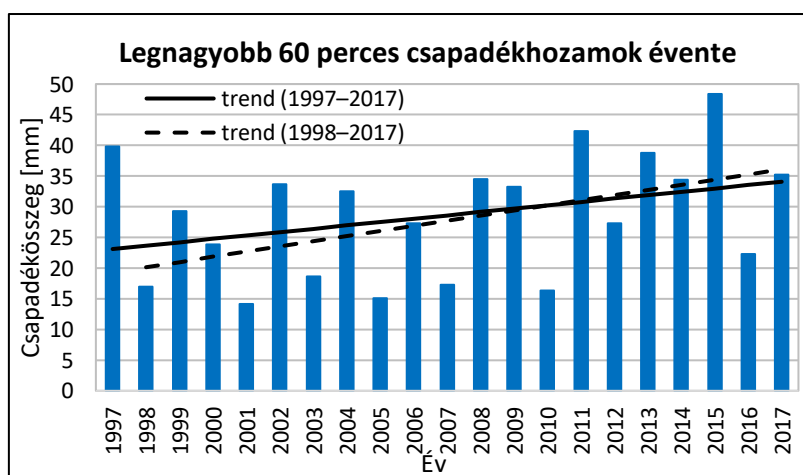
1998-tól 14,3 mm. Itt is az utóbbi tekinthető szignifikánsnak 95%-os megbízhatósági szint mellett.



23. ábra

Legnagyobb 30 perces csapadékhozamok évente Pécs-Pogányon (1997–2017)

Az utolsó elemzett részösszeg a 60 perces. A legnagyobb órás csapadékhozamok esetében is az időszak végén jellemzőek a magasabb, az első felében az alacsonyabb értékek (24. ábra). A legalacsonyabb (14,2 mm) 2001-ben, a legmagasabb (48,4 mm) itt is a 2015-ös évben. Az időszak első felében 5 év esetén a 25 mm-t nem érte el a 60 perces maximum, 2011 óta egy ilyen év volt, a 2016-os (22,3 mm). 2011 óta 4 évben meghaladta a 35 mm-t az éves legnagyobb órás részösszeg. 2010-ig csak az 1997-es évben, a bizonyos június 19-ei esemény során érte ezt el. Az illesztett lineáris trend az 1997–2017-es időszakban 11,0 mm-es, 1998-tól 16,0 mm-es növekedést mutat, utóbbi szignifikáns változás 5%-os szignifikancia szint mellett.

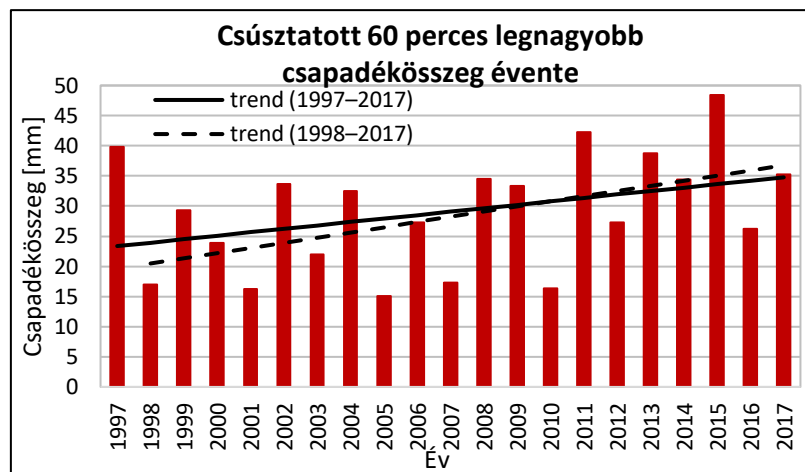


24. ábra

Legnagyobb 60 perces csapadékhozamok évente Pécs-Pogányon (1997–2017)

A különböző részösszegeknél a lineáris trendekről megállapítható, hogy a nagyobb részösszegek felé haladva egyre meredekebb a trend, jelentősebb a részösszegekben bekövetkezett emelkedés az elmúlt két évtizedben. A 60 perces részhozamoknál megállapítható néhány esetben, hogy az óras maximális részösszeg alacsonyabb volt a 30 percesnél. Ilyen év volt például a 2016-os, ahol a 30 perces részösszeg 26,0 mm-nek adódott, viszont az óras maximális csapadékhozam csupán 22,3 mm volt. Ezt az okozza, hogy ezeknek a részösszegeknek a megállapítása történelmi megszokásból, az ombrográf mérésekkel való folytatóság végett csapadékos időszakonként történik. Ebből adódóan 60 perces részösszeg csak ott keletkezik, ahol a csapadékhullás időtartama elérte az egy órát. A legnagyobb részösszegeket produkáló intenzív csapadékhullással járó időszakok kivétel nélkül a nyári félév konvektív időjárási eseményeihez kapcsolódnak. Ezeknél a csapadékhullás időtartama a vizsgált időszakban elérte a fél órát, legtöbb esetben az egy órát is. Az intenzív rész az 50. percig viszont befejeződött. Ezt követően a zivatarfelhő üllőjéből még akár 0,5–1 órán át is hulló gyenge intenzitású folytonos csapadék miatt érte el az intenzív csapadékú időszakok hossza a legtöbbször az egy órát, de a legnagyobb 60 perces részösszeget az első óra adta (lásd: 5.2.4 és 6.2 alfejezet). Ahogy már jeleztem, néhány esetben a 30 perces éves maximum meghaladta a 60 perceset. Ezeknél a teljes csapadékhullás nem tartott egy óráig, aminek köszönhetően a 30 perces részösszeg nagyobb volt az egy órásnál. Ily módon kiestek nagy intenzitású 30, 40, sok esetben 50 perces csapadékos időszakok. Mindezek alapján több információval szolgál, ha minden 60 perces időszakban számolunk, a 10 perces adatok miatt 10 perces lépésközzel óras összegeket, függetlenül attól, hogy tartott-e a csapadékos időszak 60 percig vagy sem és azok éves maximumaiból készítünk statisztikát. A kétféle módon számított 60 perces csapadékösszegek éves maximumai három helyen térnek el egymástól. Az így kapott eredmények a 25. ábrán láthatók, ami már jobban hasonlít a korábban 10, 20 és 30 perces részösszegeknél látottakra.

A legnagyobb óras csapadékösszegben, ami előfordult, nincs változás, ha a csúsztatott 60 perceset tekintjük, továbbra is a 2015-ös 48,4 mm a legmagasabb érték. A minimum viszont nem a 2001-es 14,2 mm, hanem a 2005-ös évben mért 15,1 mm. Minden 60 perces időszak figyelembevételével 2011 óta minden év 25 mm felett zárt. A másik esetben a 2016-os a 25-ös érték alatt maradt. Itt is a vizsgált időszak első felében fordultak elő alacsonyabb értékek, több esetben 20 mm alatti is. 2010-ig mindössze egy év, az 1997-es jelenik meg 35 mm feletti óras csapadékösszeggel. Az illesztett lineáris trend kissé magasabb, 1997-től 2017-ig 11,4 mm-es, 1998-ról 2017-re 16,3 mm-es növekedést mutat, utóbbi szignifikáns változás.



25. ábra

Legnagyobb 60 perces csapadékhozamok évente minden 60 perces időintervallum alapján Pécs-Pogányon (1997–2017)

A számított trendek a 10. táblázatban találhatóak. A szignifikáns változások 95%-os megbízhatósági szint mellett szürke háttérrel vannak jelölve. A táblázat tartalmazza a szignifikancia-vizsgálat során a t-próbastatistikánál kapott p-értékeket. A p-érték azt adja meg, hogy mi az a valószínűségi érték, ami mellett még elfogadható a nullhipotézis (H_0). A nullhipotézis jelen esetben azt jelenti, hogy a változás nem szignifikáns. Amennyiben a választott α szignifikancia szint értéke meghaladja a p-értéket, akkor a nullhipotézist elvetjük és elfogadjuk az ellenhipotézist (H_1) és a változást szignifikánsnak tekintjük. Itt a dolgozatban a szignifikancia szint, $\alpha=0,05$.

	Részösszegek				
	10 perces	20 perces	30 perces	60 perces	60 perces*
trend (1997–2017)	3,4	7,3	9,0	11,0	11,4
p-érték (teljes időszaknál)	0,125	0,084	0,067	0,116	0,093
trend (1998–2017)	6,8	12,9	14,3	16,0	16,3
p-érték (1997 nélküli időszak)	0,007	0,001	0,003	0,025	0,017

*: minden 60 perces időszak figyelembevételével, független a csapadékos időszak hosszától

10. táblázat

Különböző időszakokra számított lineáris trendek (mm) és a t-próbáknál kapott p-értékek részösszegeként Pécs-Pogányon, a 95%-os megbízhatósági szint mellett szignifikáns változások szürke háttérrel jelölve

A számított trendeken látszik, hogy a nagyobb részösszegek felé haladva nagyobb értéket vesznek fel. Megfigyelhető az 1997-es év jelentős hatása a trendekre, valamint azok szignifikáns voltára, ugyanis a lineáris trend értéke nagyban függ a vizsgált időszak kezdő és végpontjától. Az 1997-es év figyelmen kívül hagyásával, 1998-tól kezdődően az emelkedés mértéke minden részösszeg esetében 3,4–5,6 mm-rel magasabbnak adódott. Az 1997–2017-es időszakra számított lineáris változások sehol sem tekinthetők szignifikánsnak 95%-

os megbízhatósági szint mellett. Ezzel szemben az 1998–2017-es időszakban minden változás szignifikánsnak mondható. Megjegyezném, hogy az 1998-tól megfigyelt trendek többsége még 99%-os megbízhatósági szint mellett is szignifikáns, csak a 60 perces részösszegeknél nem.

5.2.2 Részösszegek éves menete

Az intenzívebb, nagyobb csapadékot adó események a nyári konvektív időjáráshoz kapcsolódnak, a zivatarok gyakoriságának és a maximális részösszegeknek az éven belüli eloszlása jól korrelálnak. A zivatarok gyakoriságának jellegzetes éven belüli eloszlása van, nyári maximummal, téli minimummal. A zivatarok havi gyakoriságának vizsgálatához egy környező mecseki csapadékmérő állomás megfigyeléseit használtam fel. A 11. táblázatban látható, hogy a nyári hónapokban több mint 30-szoros a gyakoriság a télihez képest. Szeptembertől ápriliséig nyolc hónap alatt összesen annyiszor fordult elő zivataros nap, mint csak júniusban (Szentés, 2015).

JAN	FEB	MÁR	ÁPR	MÁJ	JÚN	JÚL	AUG	SZEP	OKT	NOV	DEC
1	6	13	39	134	143	127	114	51	25	6	5

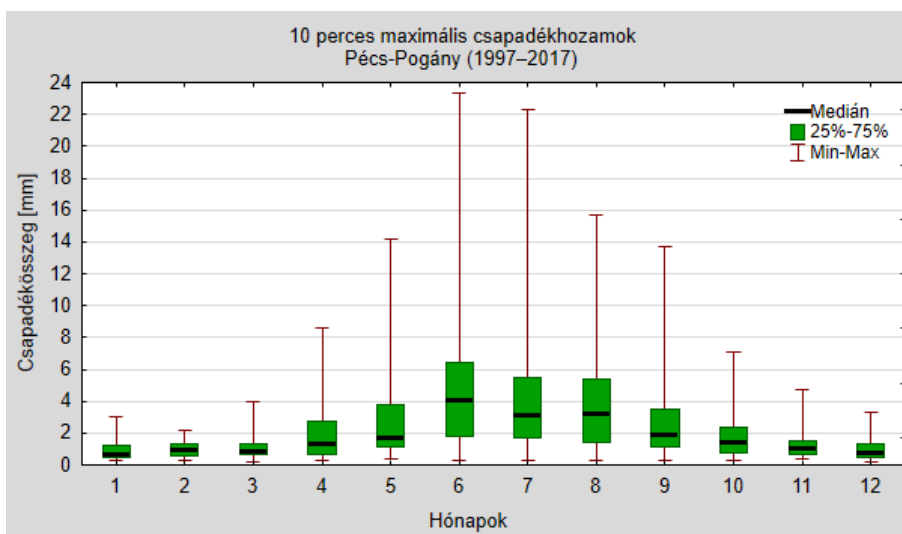
11. táblázat

Zivataros napok száma havonta Váralján az 1997–2017-es időszakban
(adatok forrása: OMSZ, DDVIZIG csapadékmérő állomás)

A zivatarok gyakoriságának maximuma nyár elejére, illetve májusra esik, de ahogy azt alább a különböző részösszegeknél tapasztalni fogjuk, a legnagyobb részösszegek éven belüli súlypontja júniusra és inkább a nyár második felére esik. Amiből következtethetünk arra, hogy ugyan sok a zivatar májusban is, de ezek kevésbé hevesek, mint a nyáriak. Az egyes részösszegek éves menetének elemzése során is a 10 perces mérésközzel rendelkezésre álló és 6 mm-es teljes csapadékösszeget elérő időszakok lettek felhasználva. A box-whisker diagramokon szerepelnek a 25. és 75. percentilisek mellett a medián, valamint a szélsőértékek. A jellegzetes éves menet szépen látszik a 10 perces részösszegek esetén is, különösen jelentős az eltérés a téli és nyári hónapok között, ami a maximális értékeket illeti (26. ábra).

Novembertől márciusig a részösszegeknek nagyon kicsi a szórása, a 10 perces részösszegek fele kevesebb, mint egy 1 mm-es sávba esik. A medián ezekben a hónapokban 1 mm körüli. Márciusban és novemberben ugyan éppen eléri a megfigyelt maximum az 1997–2017-es időszakban a 4 mm-t, télen azonban ezen érték alatt maradt mindig. Februárban a

vizsgált időszakban előfordult legnagyobb 10 perces maximális csapadékhozam csak 2,2 mm volt.



26. ábra

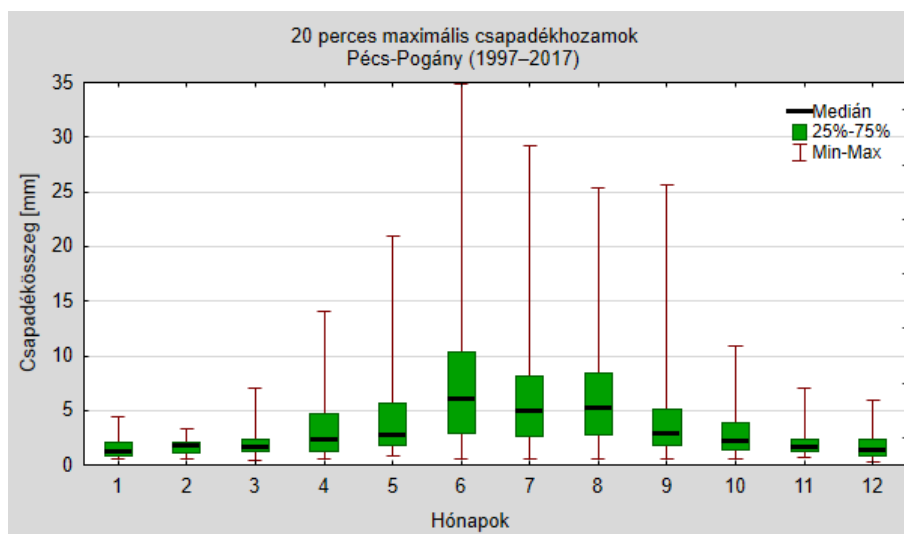
10 perces maximális csapadékhozamok éves menete Pécs-Pogányon (1997–2017)

Áprilisban és októberben már kicsit magasabb értékek is előfordulnak. A medián ugyan még ezekben a hónapokban is 2 mm alatt marad, de a 25. és 75. percentilisek már kb. 2 mm-re esnek egymástól. A 10 perces részösszegeknél a májusi jellemzők, hozzávetőlegesen egyeznek a szeptemberivel. A szórás már nagyobb, az adatok fele egy 3 mm-es intervalluma esik (1 és 4 mm közé). Májustól szeptemberig minden hónapban előfordult már 10 mm feletti 10 perces részösszeg. Júniusban a medián is meghaladja a télen detektált legnagyobb részösszeget. Nyáron ezek a részhozamok 50%-ban 2 és 6 mm közé esnek. 100 mm/h feletti átlagos intenzitás, ami 10 percnél 16,7 mm-t meghaladó részösszeget jelent, csak júniusban és júliusban jelentkezett. Ebben a két nyári hónapban nem csak a 16,7 mm-t meghaladó részösszegű esemény fordult elő, hanem 22 mm-t is átlépő, vagyis olyan extrém intenzív csapadékú időjárási események is voltak ezekben a hónapokban, amikor az átlagos csapadékintenzitás meghaladta a 132 mm/h-t is tíz perc alatt.

A 20 perces maximális csapadékhozamoknál az éves menet alapjaiban véve meg- egyezik a 10 perces részösszegnél megfigyeltekkel, de van némi különbözőség. A minimum a 20 perces részösszegeknél is februárban, a maximum júniusban jelentkezik. Az év első és második fele viszont kevésbé tekinthető szimmetrikusnak (27. ábra).

A téli hónapokban a 20 perces legnagyobb csapadékhozamoknál is minimális az ada- tokban a szórás, az adatok fele 1-1,5 mm-en belül található, a medián télen 2 mm körüli, a maximum decemberben lépi csak át az 5 mm-t, februárban még a 4 mm-t sem éri el. A medián csak a nyári hónapokban haladja meg az 5 mm-es értéket, természetesen a 20 perces

részösszegeknél is a nyári hónapoknál a legnagyobb a szórás, az adatok 50%-a 5-7 mm-es intervallumba esik.



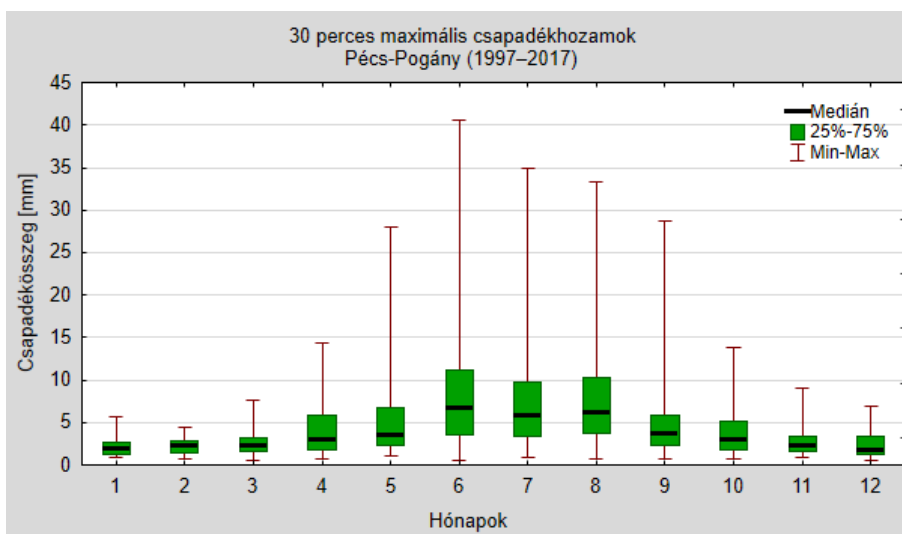
27. ábra

20 perces maximális csapadékhozamok éves menete Pécs-Pogányon (1997–2017)

A 10 perces csapadékhozamokkal ellentétben itt a 20 perces hozamoknál a májusi és szeptemberi maximumok viselkedése eltér. A májusi legnagyobb 20 perces részösszeg épp-hogy eléri a 20 mm-t, a szeptemberi viszont a 25 mm-es értéket is meghaladja. A maximumokon kívül, hasonló itt is ez a két hónap, mivel a nyári hónapoknál levő mediánértékeknél mindkét hónap 75%-os percentilise alacsonyabb, a medián értéke 4 mm körüli májusban és szeptemberben egyaránt. Áprilisban és októberben már előfordult 10 mm-t meghaladó 20 perces részösszeg, a maximum májustól szeptemberig meghaladja a 20 mm-t, május kivételével a 25 mm-t is. 30 mm feletti, azaz 90 mm/h feletti átlagos csapadékin tenzitással rendelkező 20 perces maximális csapadékhozam csak júniusban volt a vizsgált időszakban.

A 30 perces maximális részösszegek éves menete a 20 perceseknél megfigyeltékhez hasonlít. Itt is júniusi a maximum, valamint a nyár végén, szeptemberben magasabb a legnagyobb érték, mint májusban. A júniusi maximum a többi eddig bemutatott részösszeghez hasonlóan több mint 10-szerese a februárinak, ahol a minimumot találjuk (28. ábra). Télen általában a maximumok kevéssel haladják meg az 5 mm-t, februárban erre 1997 óta nem volt példa. A medián csak nyáron haladja meg az 5 mm-t, 6-7 mm körüli, júliusban kissé alacsonyabb, mint júniusban vagy augusztusban. A szórás kicsi a téli hónapokban, november-től márciusig a részösszegek 50%-a 2 mm-en belüli tartományban van. Áprilisban és októberben már előfordulnak 10 mm feletti, 15 mm-t megközelítő fél órás csapadékhozamok. A legnagyobb fél órás maximum májustól szeptemberig minden hónapban meghaladta a 25

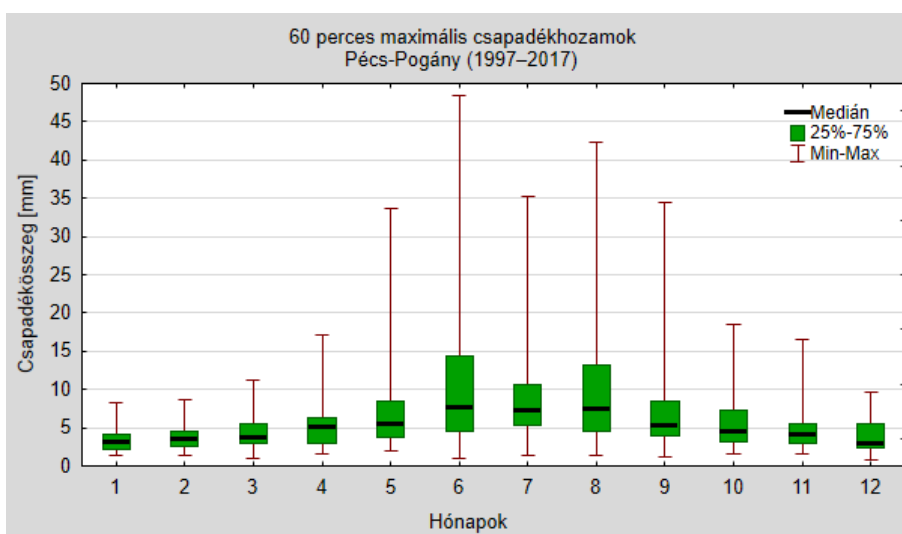
mm-t, nyáron a 30 mm-t, azon belül júniusban a 40 mm-t is, ami fél órán át átlagosan 80 mm/h feletti intenzitást jelent.



28. ábra

30 perces maximális csapadékhozamok éves menete Pécs-Pogányon (1997–2017)

A 60 perces részösszegek esetében a maximális csapadékhozamok éves alakulása jelentősebben eltér a többi részösszeg éves menetétől, már a fél órásnál is megjegyeztem, hogy a nyár középső hónapját egy kicsit alacsonyabb értékek jellemzik, ez az óras hozamoknál már sokkal látványosabb. Az alapvető éves menet természetesen itt is fenn áll. A maximum júniusban található, a minimum viszont nem februárban. Akár a medián alapján, akár a percentiliseket vagy az abszolút havi maximumot alapul véve tekintjük a legalacsonyabb értékeket, minden esetben ez a januárra teljesül (29. ábra). A medián novembertől márciusig 2–5 mm közötti, nyáron 5 mm feletti, a többi hónapban 5 mm körüli.



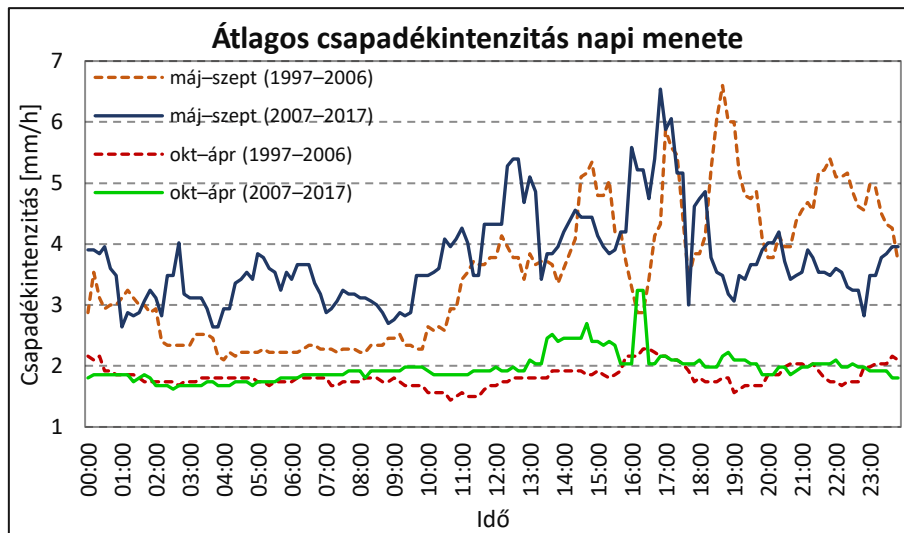
29. ábra

60 perces maximális csapadékhozamok éves menete Pécs-Pogányon (1997–2017)

Az előforduló maximumok viszont jelentősen eltérnek, áprilisban és októberben egyszer sem haladta meg a 20 mm-t, májusban és szeptemberben viszont találunk olyan extrém intenzitású csapadékos időszakokat, ahol az órás legnagyobb csapadékhozam megközelítette a 35 mm-es értéket is. Míg télen a részösszegek fele 2-3 mm-es tartományon belül található, addig augusztusban megközelíti, júniusban el is éri a 10 mm-t. Júliusban ezzel szemben visszaesés tapasztalható, kisebb a szórása az adatoknak, a maximum is sokkal alacsonyabb, a májusihoz és szeptemberihez hasonlóan alakul. Ennek köszönhetően a 60 perces maximális csapadékhozamoknál a kisebb részösszegektől eltérően megjelenik egy másodlagos maximum augusztusban.

5.2.3 Csapadékhullás napi menete

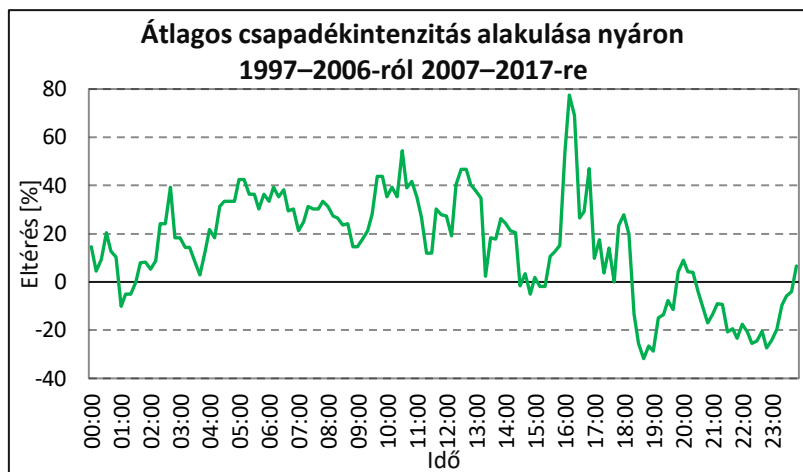
Eddig vizsgáltuk a különféle részösszegek maximumainak évenkénti, valamint havi bontásban az éves menetét. Ebben a fejezetben a csapadékhullás jellemző átlagos napi menetét elemezzük. A számítások során itt is csak az olyan csapadékos időszakokat vettem figyelembe, ahol a teljes időszak csapadékösszege elérte a 6 mm-t, valamint a 10 perces mérésközzel rendelkezésre álló adatsort használtam fel. Maguk az átlagolt értékek nem az egyes időpontokban mért 10 perces csapadékösszegek számtani közepeként álltak elő, hanem először is minden csapadékos időszaknál kiszámoltam az adott időszakot jellemző átlagos 10 perces csapadékösszegeket. Ezt követően minden csapadékos eseménynél a 10 perces csapadékösszegeket az adott időszakban átlagos 10 perces értékekre cseréltem. Ezzel előállt egy olyan új adatsor, ahol az egyes csapadékos időszakok elejétől a végéig ugyanaz az érték szerepelt, majd az egyes időpontokra (összesen 144) ezen átlagos értékeket összegeztem és leosztottam az adott időpontban (pl. 17:10) előfordult csapadékos események számával, azaz átlagos csapadékindenzitást számoltam, amit a 30. ábrán mm/h-ban adtam meg. Ahogy azt már a korábbi fejezetekből is tudhatjuk, a téli és nyári maximális részösszegek nagyon eltérnek egymástól. Ezért célszerű volt az évet ketté bontani. Ahogy azt a részösszegek éves meneténél láthattuk havi szinten a május és a szeptember jelöli ki a nyári időszak két szélét a többi pedig sokkal inkább a télihez áll közelebb, legalábbis amire a számított maximális részösszegekből következtethetünk. Továbbá a teljes 21 éves vizsgált időszakot is kettébontottam, hogy az első, valamint második évtized közötti esetleges különbségekre rá lehessen mutatni. Előzetesen az átlagos napi menetben nem volt várható érdemi különbség, pedig ahogy azt a 30. ábrán is láthatjuk, a nyári időszakban a két évtized több tekintetben is eltér egymástól.



30. ábra

Átlagos csapadékinintenzitás napi menete Pécs-Pogányon [mm/h]

A téli időszakban, ami jelen esetben most az októbertől áprilisig tartó hónapokat takarja, semmilyen napi menet nem figyelhető meg. Önmagában a konvektív események és zivatarok nagyon ritkák télen (11. táblázat), heves zivatarok pedig egyáltalán nincsenek. Amennyiben a csapadékösszeg el is érte egy csapadékos periódus ideje alatt a 6 mm-t, az abban hulló csapadék intenzitása egyenletesnek mondható, mert túlnyomórészt a téli félévben ezek a csapadékok ciklonokhoz, főleg mediterrán ciklonokhoz köthetők, azokban pedig 1-2 mm/h a jellemző intenzitás a nap bármely szakában. Nyáron, amikor nagyobb részt konvektív események a dominánsak és a csapadék több mint felét rövidebb időszakokban hulló, intenzívebb események adják (42. ábra), akkor már beszélhetünk napi menetről, hiszen a konvektív felhők, amikből a csapadék hullik napközben alakulnak ki, kialakulásukat segíti az erős besugárzás. Ezért is sokkal gyakoribbak nyáron, mert a magas napállás miatt sokkal nagyobb a besugárzás nyáron, mint télen. Az 1997–2006-os időszakban nyáron a napi minimum a hajnali és reggeli órákban 2,2–2,4 mm-es érték körül volt, 10 óra után kezdett növekedni az átlagos intenzitás, a maximum 18 és 19 óra között állt be 6,6 mm/h-s értékkel, majd ezt követően lassan csökkenésnek indult. A 2007–2017-es időszakban a 3 mm alatti értékek ritkák, még hajnalban és délelőtt is ritkán ment ezen érték alá. Míg nyáron a nap első felében jelentős, 20–40%-os növekedés tapasztalható, addig az esti órákban 20% körüli csökkenést vehetünk észre (31. ábra), az elmúlt 10 évben hasonlóan alakult az átlagos csapadékinintenzitás az esti órákban, mint hajnalban, reggel, ami nem várt eredmény.



31. ábra

Átlagos csapadékkéntesség alakulása nyáron,
Pécs-Pogányon 1997–2006-ról a 2007–2017-es időszakra [%]

A téli időszakban az egyes napszakok között nincs jelentős változás és az időszakok között sem, végig 1,7 és 2,1 mm közötti az átlag. Nyáron a nap második felében 0,3 mm/h-s csökkenés, a nap első felében jelentős, 0,8 mm/h-s (30%-os) átlagos intenzitás-növekedés mutatható ki.

5.2.4 Csapadékhullás órás menete

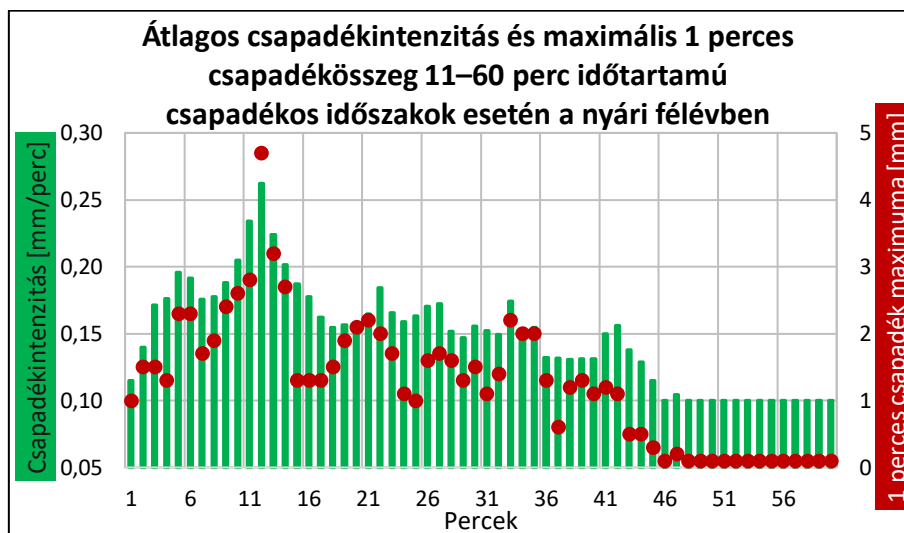
Korábban, a részösszegek éves maximumainál láttuk, hogy a 30 perces részösszegekig, a rövidebb időtartamú részösszegek adott éves legnagyobb értékeinél mindig nagyobbak voltak a hosszabb időtávú részhozamok maximumai. Tehát a 10 perceseknél minden 20 perces, 20 percesnél minden fél órás részösszeg éves maximuma nagyobb volt. Az órás részösszegeknel viszont ez már nem igaz, mert voltak nagy csapadékot adó események, amelyek nem tartottak egy óráig se. Olyan viszont nem fordult elő 1997 óta, ahol pl. 20 perces részösszeg olyan intenzív záporhoz, zivatarhoz volt köthető, aminek az időtartama a fél órát se érte el. Az éves legnagyobb órás értékeknél minden csapadékos időszak hossza elérte legalább a 30 percet. Általában meghaladta a csapadékhullás időtartama az egy órát is, de az esetek közel 80%-ában, az olyan 60 perces maximális részösszegek esetében, ahol a csapadékösszeg meghaladta a 30 mm-t kivétel nélkül a csapadékhullás kezdetétől vett első órában hullott a legtöbb a csapadék (lásd: 6.2 alfejezet). Csak azért tart általában több mint egy óráig egy intenzív csapadékú esemény, mert a zivatarhoz köthető intenzív csapadékot adó szakasz után az zivatarfelhő üllőjéből még akár egy órán át is hullhat gyenge intenzitású csapadék, ahol a 10 perces csapadékösszeg már ritkán haladja meg a 0,2 mm-t. Ez a gyenge csapadék azonban annyit se tud hozzá tenni az órás csapadékösszeghez, hogy ne az 1-60. percig legyen

a maximum, hanem a 11-70. percig, mert az első tíz percben több csapadék hullik mindig, mint az üllőből összesen akár egy óra alatt. A maradék ~20%-ban, amikor nem az első óra adja az 60 perces maximumot, olyan eseményekhez köthetők, ahol több zápor alakul ki egymást követően, vagy ami gyakoribb, hogy multicellás zivatarokhoz köthetők, ahol nem az első cella volt a legintenzívebb. Persze, ha szétbontjuk ezeket a multicellás eseményeket, akkor azoknál is az intenzív szakasz kezdetétől számított 60 perces időtartam adja a legnagyobb értéket. Ezek alapján, és mivel az esetek túlnyomó többségében az első óra adja a maximumot, az elemzés során elegendő volt legfeljebb az első 60 perces időtartamban vizsgálni a csapadékos időszakokat. Csak olyan időszakokat használtam fel a számítások során, amik legalább 11 percig, legfeljebb 60 percig tartottak. Azért 60 perc a maximum, mert így az üllőhöz köthető jelentéktelen intenzitású szakasz jól elkülöníthető nyáron, valamint a hosszabb, 2-3 órás időtávon már bezavarnak a ciklonális csapadékok, amik jellemzően tovább tartanak (Rulfová és Kysely, 2013; Rulfová és Kysely, 2014), valamint a közel állandó intenzitásuk miatt eltüntetik a menetet, ami rövidtávon a konvektív csapadékoknál kimutatható. Télen, amikor kevés a zivatar (11. táblázat) - ami utal arra is, hogy kevesebb a konvektív csapadék, ezáltal a ciklonális eredetű nagyobb arányt képvisel - télen a napi menet is eltűnik (30. ábra), nem csak az órás (34. ábra). Mivel itt perces adatokról beszélünk, az egyperces mérésökkel rendelkezésre álló adatsorral dolgoztam, ahol csak 2009-től vannak adatok, így a kevesebb vizsgálható időszak (adat) miatt minden időszakot figyelembe vettem, nem csak a 6 mm összes csapadékot elérőket. Itt is külön vizsgáltam a két félévet. A nyári félévet áprilistól szeptemberig, a téli októbertől márciusig tekintettem.

A nyári félév fontosabb, mint minden eddigi elemzésünk során, mivel akkor a konvektív események a dominánsok. Az átlagos intenzitás a 2009–2017-es időszakban a csapadékhullás első percében még épphogy meghaladja a 0,1 mm/percet, majd 10 és 15 perc között éri el a maximumát. A 11-13. percekben még az átlag is meghaladja a 0,2 mm/percet (12 mm/h-t) (32. ábra).

A maximum a 12. percnél található, amikor az átlagos intenzitás 0,26 mm/perc. A legnagyobb mért egy perces csapadékösszeget is ekkor volt a vizsgált időszakban, ami megközelíti az 5 mm-t (4,7 mm). Ezt követően az átlag gyorsan csökken a 20. percig, ahol már csak 0,15 mm/perc körüli. Ez az érték számottevően nem változik, majd a 45. perc környékén hamar leesik 0,1 mm/percre és a maradék negyed órában végig e körül marad. Ez az időszak az, amit a zivatarfelhő üllőjéhez köthető jelentéktelen csapadékú időszaknak neveztem. A maximális egyperces csapadékösszegek alakulása az átlag menetéhez igazodik. Az 1. percben megfigyelt legnagyobb érték 1,0 mm volt. A maximum a már említett 4,7 mm,

ami 282 mm/h-ás intenzitásnak felel meg. Az extrém intenzitásra tekintettel, ha lett volna ombrográf megfigyelés, azon méréseknél minden bizonnyal a 300 mm/h-t is meghaladta volna. 2009 óta összesen 11 olyan perc volt, melyben a csapadékösszeg nagyobb volt 2 mm-nél (intenzitás > 120 mm/h), ebből csak kettőt találunk a 20. perc után. A 42. percig a maximális egy perces összeg egy perc kivételével mindenhol elérte az 1 mm-t, majd a 42. percet követően hirtelen lecsökken és az utolsó negyed órában egyszer sem haladta már meg a 0,2 mm-es értéket sem.



32. ábra

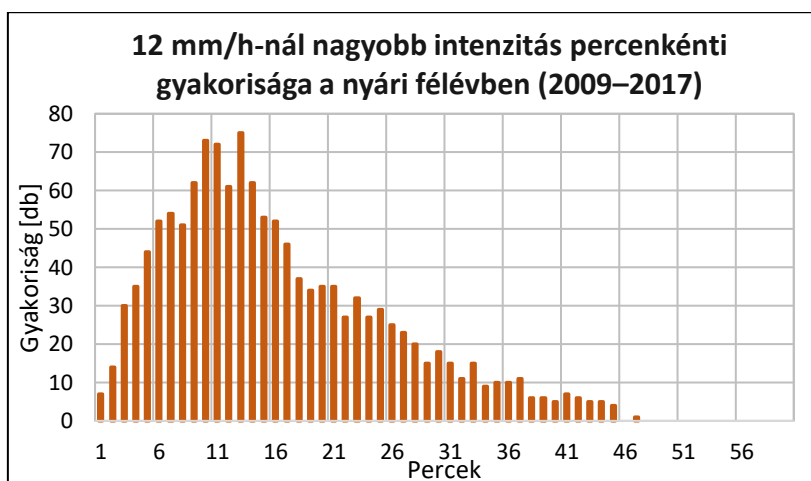
Átlagos csapadékintenzitás és maximális 1 perces csapadékösszeg
11–60 perc időtartamú csapadékos időszakok esetén
a nyári félévben Pécs-Pogányon (2009–2017)

Összefoglalva, a legfeljebb egy órás csapadékos időszakoknál az első háromnegyed órában kereshetők a legintenzívebb csapadékot adó periódusok és a maximális részösszegekhez is ez járul hozzá elsődlegesen.

Az átlagos perces csapadékintenzitás alapján kiemelkedőnek tekinthető az az időszak, ahol az átlag is meghaladta a 12 mm/h-ás értéket. A számtani középérték a tizedik perctől a tizennegyedikig eléri a 0,2 mm/percet és további 25 percben 0,15 mm/perc felett alakul. A 0,2 mm feletti egyperces csapadékösszeg a 45. percig a legnagyobb egy perces összegekre is teljesül. A 33. ábrán látható, hogy a vizsgált 2009–2017-es időszakban, a nyári félévben és az egyes percekben hányszor fordult elő 0,2 mm-t (12 mm/h-t) meghaladó egy perces csapadékösszeg.

Az időszak elején még 10 alatti az esetszám, majd meredeken növekszik a gyakoriság a 10. percig. A 3. percnél a 12 mm/h-nál nagyobb intenzitású egy perces csapadéknak a gyakorisága már eléri a 30-at. A maximum a 13. percnél található. Abban a percben 75-ször

haladta meg a 12 mm/h-t a csapadékintenzitás az egy perces csapadékmérések alapján. A 13. percen kívül, még a 10. és 11. percben látunk 70 fölötti gyakoriságot (33. ábra). A gyakoriság a 3. perctől a 28. percig elérte a 20-at is. 10 feletti értékek a nyári félévben a 2. és 37. percek között volt a 2009–2017-es időszakban. A téli félévnél csak egy olyan perc volt a téli időszakban, amikor 12 mm/h-nál nagyobb perces intenzitás gyakorisága elérte a 10-et.



33. ábra
12 mm/h-nál nagyobb intenzitás percenkénti gyakorisága a nyári félévben Pécs-Pogányon (2009–2017)

A maximumot követően a 20. percig a gyakoriság gyorsan a felére esik, ez is azt mutatja, hogy a legnagyobb intenzitás a 10. perc környékén jellemző. A 20. perc után a csökkenés mértéke percről-percre kisebb, de lényegében folyamatosnak tekinthető, majd a 45. perc után a kritériumnak megfelelő értéket már csak egyet találunk a 47. percnél.

Még a fejezet elején említettem, hogy a legnagyobb óras részösszegek az első órából kerülnek ki általában. Kis kitérőként megjegyzem, mert külön ezzel nem foglalkozunk itt a dolgozat keretei között, hogy a 30 perces részösszegek maximuma pedig jellemzően az első fél órából kerül ki, ami nem meglepő a 33. ábra alapján, hiszen az intenzív csapadékú percek 90,5%-a az első fél órában lép fel. A 30 perces maximális részösszegek esetén, ha 10 perces mérésükkel áll rendelkezésre csapadék adatsor, akkor, ha a legnagyobb fél óras összeget nem a csapadékos időszak eleje adja, második leggyakoribbként a 11-40 perces időszakból származik. A vizsgált 1997–2017-es időszakban a 30 mm csapadékot meghaladó időjárási események mindegyikénél e két fél óras blokk egyike adta a 30 perces maximális részösszeget. A 20 perces, valamint 10 perces részösszegek esetében már nem feltétlen igaz, hogy az időszak eleje adja a legnagyobb értékeket. A 20 perces összegeknél még az esetek nagyjából felében igen, de a 10 perces részhozamoknál már általában a 11–20. perc, ha 10 perces mérésükkel vannak adatok és a 6–15. perc, ha 1 perces felbontású az adatsor.

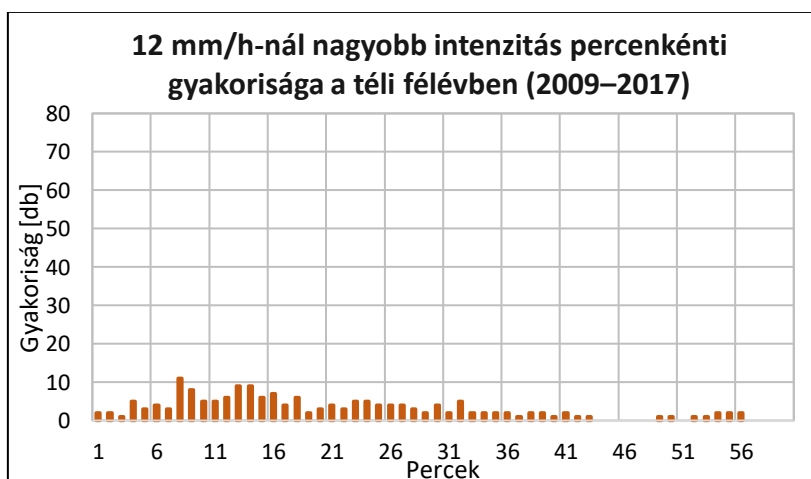
Ahogy az várható is volt, a sokkal kevesebb konvektív és több ciklonális jellegű csapadék miatt a téli félében nem beszélhetünk órán belüli menetről az átlagos csapadékin-
 tenzítés és a maximális egyperces csapadékösszegek esetén sem (34. ábra).



34. ábra

Átlagos csapadékin-tenzítés és maximális 1 perces csapadékösszeg
 11–60 perc időtartamú csapadékos időszakok esetén
 a téli félében Pécs-Pogányon (2009–2017)

Az átlagos intenzitás végig 0,1 mm közelében marad, 2009 óta a maximális egy per-
 ces összeg a 2 mm-t egyszer sem, az 1 mm-t is csak négy percnél érte el, általában néhány
 tized milliméteres érték a meghatározó. A 0,2 mm-t meghaladó perces csapadékösszeg is
 csak néhányszor fordul elő az egyes percekben. A kevés intenzív csapadék miatt nagyon
 minimális menet figyelhető meg 10 és 15. perc közötti maximummal (35. ábra).



35. ábra

12 mm/h-nál nagyobb intenzitás percenkénti gyakorisága
 a téli félében Pécs-Pogányon (2009–2017)

5.2.5 Az 1 és 10 perces automata adatsorok alapján számított maximális részösszegek összehasonlítása

A dolgozat egyik célkitűzése a különböző mintavételezésből származó maximális részösszegek közötti különbségek elemzése. Az 5.1 fejezetben az ombrográf mérésekből számított részösszegeket vizsgáltuk a 10 perces mérésükkel rendelkező álló automata adatsorból előállt legnagyobb részösszegekkel. Ebben a fejezetben a különböző mintavételezést a billenőedényes automata által eltérő mérésükkel (1 és 10 perces) mért csapadék jelenti. Az itt közölt vizsgálatokat az indokolja, hogy különösen kisebb részösszegeknél egyáltalán nem biztos, hogy a maximum egy egész 10 perces intervallumba (pl. 1-10. perc (10 perces részösszeg) vagy 11-30. perc (20 perces részösszeg)) esik. A 10 perces részösszegeknél konkrétan a legintenzívebb szakasz az 5. és 15. perc közé esik általában (33. ábra), így a 10 perces maximális hozamoknál jelentősebb különbségekre is számíthatunk. Az elemzés a 2009–2017-es időszakot foglalja magába. Egyrészt a különbségeket az összes csapadékos időszak, másrészt a csak 6 mm feletti csapadékösszegű események figyelembevételével elemeztem.

5.2.5.1 Összes csapadékos időszak esetén

A vizsgált időszakban összesen 5763 csapadékos esemény (önálló időszak) fordult elő. Ezek több mint felénél, 56,4%-ánál az időtartam nem haladta meg a 10 percet, 70,5%-ánál nem tartott tovább 20 percnél.

Ha minden csapadékos időszakot figyelembe veszünk, akkor azt várhatjuk a 10 perces részösszegeknél, hogy a legtöbb esetben az 1 perces adatokból számított maximális részösszegek megegyeznek a 10 perces adatsor részösszegeivel, mivel több mint a fele a csapadékos időszakoknak amúgy se tartott 10 percnél tovább. Ez így is van, az időszakok több mint háromnegyedénél (78,7%) nincs eltérés (12. táblázat).

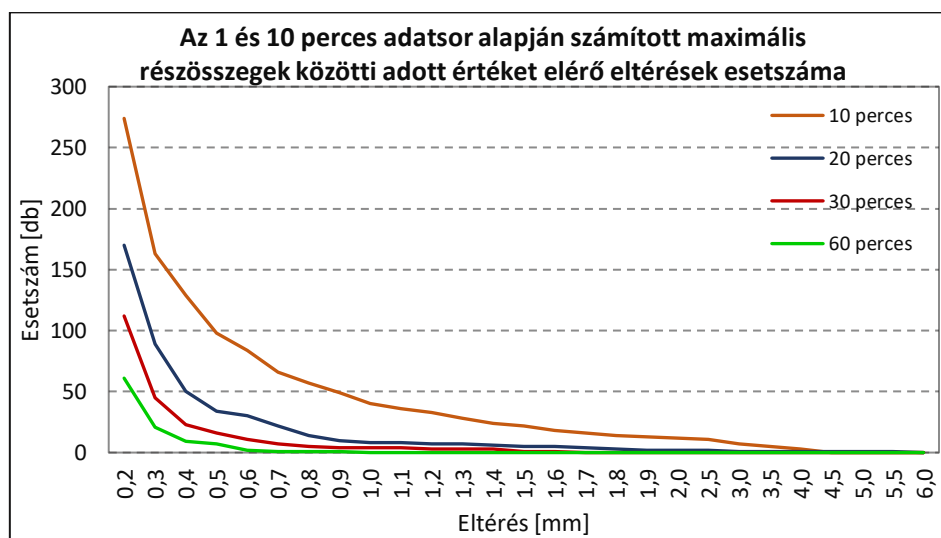
Eltérés	Részösszegek			
	10 perces	20 perces	30 perces	60 perces
0,0 mm	78,7	64,8	60,8	57,0
0,1 mm	16,5	28,4	32,6	35,6
≥0,2 mm	4,8	6,8	6,6	7,4

12. táblázat

Az 1 és 10 perces adatsor alapján számított maximális részösszegek közötti eltérések aránya [%]

A 10 perces részösszegeknél 16,5%-nál 0,1 mm-es a különbség, és mindössze 4,8%-nál érte el a különbség a 0,2 mm-t. A nagyobb részösszegeknél az egyezések aránya fokozatosan csökken, de még a 60 perces részösszegeknél is 50% feletti azon esetek részaránya, ahol nem volt különbség. Összesen 823 olyan időszak (az összes 14,3%-a) volt 2009 óta, amikor a csapadékos időszak hossza elérte az egy órát. Ezen időszakok mintegy $\frac{3}{4}$ -ében ugyanakkor csak legfeljebb néhány mm csapadék esett. A 0,1 mm-es eltérés részaránya fokozatos növekszik a nagyobb részösszegek felé haladva, egészen az órás részösszegeknél levő 35,6%-ig. Minden részösszeg esetében több mint 90%-ban a csapadékos időszakoknál 0,2 mm alatti eltérés mutatható csak ki.

Ha a 0,2 mm-nél nagyobb eltéréseket nézzük, akkor azt tapasztaljuk, hogy minden részösszegnél az előfordulási gyakoriságok gyorsan tartanak a nullához (36. ábra). Valamelyest kisebb mértékű a csökkenés a 10 perces részösszegeknél. A kisebb részösszegek felé haladva nagyobb különbségek fordulnak elő, a 60 perces részösszegeknél a 2009–2017-es időszakban nem volt 1 mm-t meghaladó eltérés. Korábról azért találunk erre példát, pl. az 1997 június 19-ei eseménynél (ld. 6.1 alfejezet).



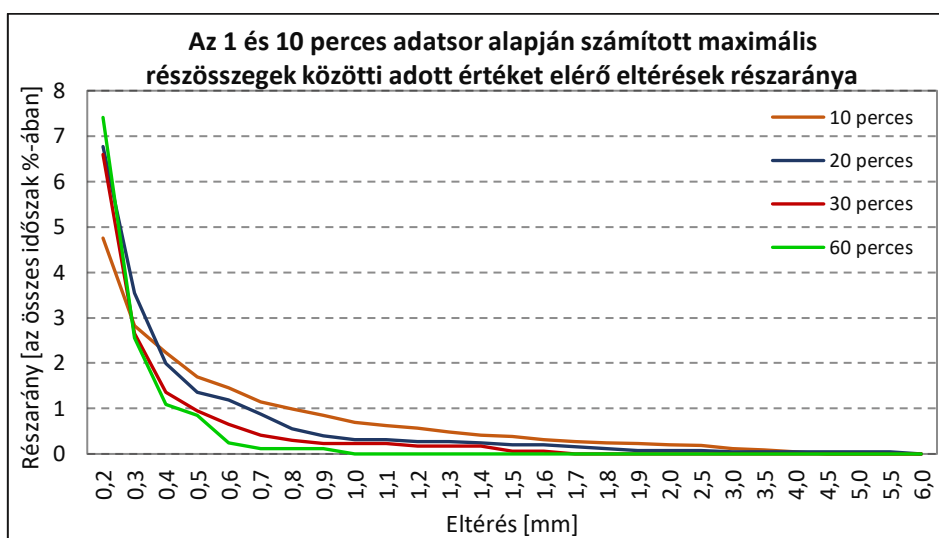
36. ábra

Az 1 és 10 perces adatsor alapján számított maximális részösszegek közötti adott értéket elérő eltérések esetszámjai Pécs-Pogányon (2009–2017)

A 10 perces részösszegeknél a legnagyobb különbség az 1 perces és 10 perces adatsorok alapján kaptunk 4,0 mm volt. Nem a 10 perces részösszegeknél volt viszont a legnagyobb eltérés, mert az a 2009 utáni időszakban a 20 perces részösszegeknél fordult elő (5,2 mm). A 10 perces részhozamoknál 0,2 mm-t elérő eltérés még 274 db (4,8%), 0,4 mm-nél nagyobb viszont már csak 98 eset volt. Ugyanez a 20 perces részösszegeknél 170, illetve 50,

a 30 perceseknél 112 és 16, az egy órás részösszegeknél 61, valamint 7. Az egy órás részösszeg az egyetlen, ahol nem találunk 1 mm-t elérő különbséget, a 10 perces csapadékhozamoknál még 40 van.

Ha ezeknek a gyakoriságoknak az összes időszak relatív részaránya alapján vizsgáljuk a különböző értékeket elérő különbségeket, azt tapasztaljuk, hogy a 0,1 mm-nél nagyobb eltérések aránya sehol sem éri el a 10%-ot. Továbbá, ha a 0,1 mm-nél nagyobb összes eltérés arányát nézzük, az nem a 10 perces részösszegeknél a legnagyobb, hanem a 60 perceseknél, sőt a 10 perces hozamoknál a legkisebb ez az arány (37. ábra). Ennek oka, hogy a legtöbb 10 perces részösszegeknél nem tartott maga a csapadékos időszak sem 10 percnél tovább.



37. ábra

Az 1 és 10 perces adatsor alapján számított maximális részösszegek közötti adott értéket elérő eltérések részaránya Pécs-Pogányon (2009–2017) [%]

Ez az állapot a 0,4 mm-t elérő eltéréseknél már megfordul és a 36. ábrán a gyakoriságokhoz hasonlóan 0,4 mm-től a nagyobb értékek (részarányok) a kisebb részösszegeknél fordulnak elő. A 0,5 mm-t elérő különbségek aránya sehol nem éri el a 2%-ot, a 30, illetve 60 perces részösszegeknél 1% alatti. 1% feletti relatív gyakoriság a 10 perces részhozamoknál is csak 0,8 mm-es eltérésekig van abban az esetben, ha minden csapadékos időszakot figyelembe veszünk.

5.2.5.2 A 6 mm feletti csapadékösszegű időszakoknál

Eddig minden csapadékos esemény alapján készült a részösszegek eltéréseinek összehasonlító elemzése. A további vizsgálatokhoz kiszűrtem a korábbiakhoz hasonlóan azokat az eseményeket, amelyeknél a 6 mm-t elérte csapadékösszeg. Ezeket a csapadékos időszakokat nevezhetjük most is rövid idejű intenzív csapadékú időszakoknak, mert azon időjárási események, ahol a 6 mm-t elérte a teljes csapadékösszeg, a csapadékhullás ideje az esetek 87,4%-ában nem haladta meg a 6 órát. Összesen 231 db, 6 mm-t elérő csapadékmenyiségű esemény fordult elő Pécs-Pogányon a 2009–2017-es időszakban.

A rövid idejű intenzív csapadékoknál már lényegesen kevesebbszer egyezik az 1 perces adatsorból származtatott maximális részösszeg a 10 perces adatsoréval. Amíg az összeg csapadékos időszakot megtartottuk, több mint 50% felett volt az arány. Most ez minden részösszeg esetén 50, sőt 40% alatti és ellentétben a korábbiakkal a részarány a nagyobb részösszegek felé növekszik, ami az előzetes várakozásoknak megfelelő. Hiszen pl. egy nagyobb, 60 perces intervallumnál az óras csapadékösszegben az nem okoz már számottevő eltérést, ha nem pl. az 1–60. perc adja a maximumot, hanem a 2–61., főleg, ha figyelembe vesszük azt is, hogy az igazán extrém, 30 mm feletti teljes csapadékösszegű eseményeknél a csapadék közel 80%-a az első órában hullik. Ebből pedig következik, hogy az ilyen extrém csapadékösszegeknél az óras maximális részösszegek közel 80%-ban megegyeznek az 1 és 10 perces adatsornál.

A 10 perces részösszegek negyedében sincs egyezés, ami szintén nem meglepő, mert a 33. ábrából is arra következtethetünk, hogy a legintenzívebb 10 perces szakaszok nem egész tíz perces (1-10. vagy 11-20. percbe) tartományba esnek, hanem a kettő közé. Az esetek alig felében marad a 10 perces hozamoknál 0,2 mm alatt a különbség (13. táblázat).

Eltérés	Részösszegek			
	10 perces	20 perces	30 perces	60 perces
0,0 mm	24,7	31,7	37,9	38,5
0,1 mm	31,6	33,9	31,3	39,5
0,2–0,9 mm	28,6	31,4	29,0	22,0
≥1,0 mm	15,1	3,0	1,8	0,0

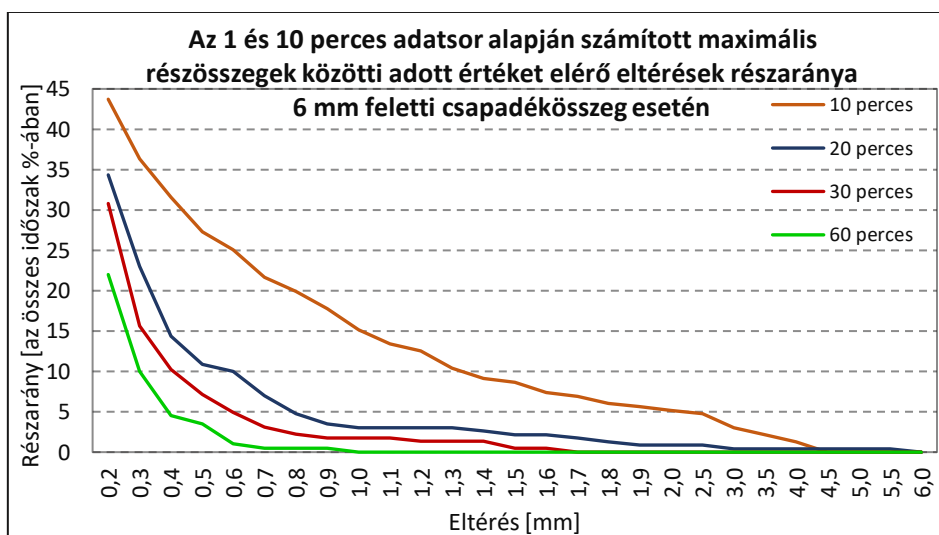
13. táblázat

Az 1 és 10 perces adatsor alapján számított maximális részösszegek közötti eltérések aránya, ha a csapadékösszeg elérte a 6 mm-t Pécs-Pogányon (2009–2017) [%]

28,6%-ban 0,1 és 1,0 mm közötti eltéréseket kaptunk eredményül. A 10 perces részösszegeknél 15%-ban elérte az 1 mm-t is ez az érték. Ameddig minden időszakot bevontunk az elemzésbe, a 10 perces hozamoknál is csak tized milliméterekről beszéltünk. A nagyobb

részösszegek felé haladva a nagyobb eltérések aránya csökken, nő a 0 közelik aránya. A 60 perces csapadékhozamoknál már egyszer se éri el az 1 mm-t a különbség. Míg a 10 perces hozamoknál alig 50%-ot tesz ki, addig az órás összegeknél már közel 80% a legfeljebb 0,1 mm-es eltérések részaránya. Az 1 mm-t meghaladó részösszeg-eltérések 92,4%-a olyan eseményhez tartozik, ahol a csapadékösszeg elérte a 6 mm-t, tehát nagyobb különbségeket a rövid idejű intenzív csapadékú időszakok esetén találunk.

A 20, 30, valamint 60 perces maximális részösszegnél a nagyobb eltérések felé haladva gyorsan tart a relatív gyakoriság a 0-hoz. Ez a 10 perces hozamokról nem mondható el. (38. ábra) A 20, 30 és 60 perces részösszegeknél a 0,1 mm feletti eltérések aránya még 20-35% közötti, a 0,5 mm-t meghaladóké viszont már egyik részösszeg esetén sem haladja meg a 10%-ot, 1 mm-nél pedig már a 20 perces maximális csapadékhozamoknál is csak 3% az arány. A 10 perces részösszegeknél még az esetek 15%-ban eléri az 1 és 10 perces adatsorokból számított részösszegek közötti különbség az 1 mm-t, 5%-ban a 2,5 mm-t is.



38. ábra

Az 1 és 10 perces adatsorból számított maximális részösszegek közötti különbségek alapján, ha a csapadékösszeg elérte a 6 mm-t, az adott értéket elérő eltérések részaránya Pécs-Pogányon (2009–2017) [%]

A 10 perces részösszegeknél minden tízedik esetben az eltérés eléri az 1,3 mm-t, az órás hozamoknál a 2009–2017-es időszakban 90%-os relatív gyakorisággal 0,3 mm alatt maradt a részösszeg-különbség (14. táblázat). A 20 perces részösszegeknél 0,6 mm-es relatív gyakoriság a 10%-os előfordulásnál volt, ugyanez az érték a fél órás hozamoknál már csak 5%-os, egy órás összegeknél csak 1%-os relatív gyakorisággal volt jellemző a vizsgált időszakban. Minden 20. részösszegnél a 10 perces csapadékhozamok közötti eltérés mértéke elérte a 2,5 mm-t, a húsz perces összegeknél az 5%-os gyakoriság az 1 mm-t sem éri el. Száz

rövid idejű intenzív csapadékú időszakból egyszer 4,0 mm-es különbség is megfigyelhető a 10 perces csapadékhozamoknál. 20 perces részösszegeknél 1%-os előfordulása a legalább 1,8 mm-es, 30 perces maximális hozamoknál a minimum 1,4 mm-es eltéréseknek van.

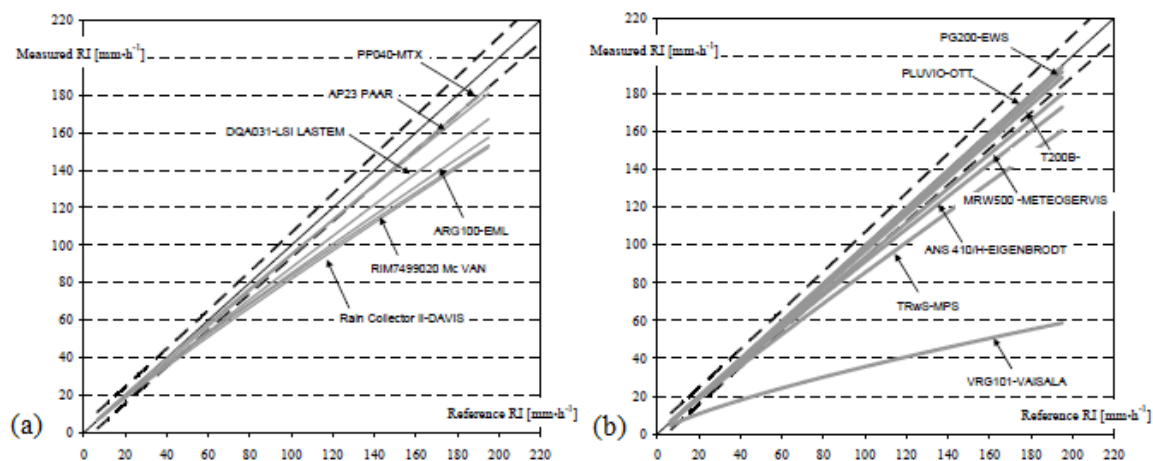
Relatív gyakoriság	Részösszegek			
	10 perces	20 perces	30 perces	60 perces
10 %	1,3	0,6	0,4	0,3
5 %	2,5	0,8	0,6	0,4
1 %	4,0	1,8	1,4	0,6

14. táblázat

Az 1 és 10 perces adatsorból számított maximális részösszegek közötti eltérések alapján, ha a csapadékösszeg elérte a 6 mm-t, adott relatív gyakorisággal legalább mekkora részösszegek közötti eltérés fordult elő Pécs-Pogányon a 2009–2017-es időszakban [mm]

Ezzel a végre értünk egy nagyobb fejezetnek, melyben a részösszegben fellelhető hosszútávú trendeket, maximális részösszegeket, a különböző meneteket (éves, napi, órás), valamint az 1 és 10 perces mérésközű adatsorokból számított maximális részösszegek közötti eltéréseket elemeztük.

Többször említettem, hogy a nagyobb intenzitásoknál a billenőedényes csapadékmérő a csapadékot nem képes maradéktalanul lemérni. Ezt kísérleti telepeken, ahol különböző típusú csapadékmérőkkel végeznek vizsgálatokat, kimutatták (*Lanza et al., 2010*). A WMO egyik kísérleti telepén (Vigna di Valle, Olaszország) megállapították, hogy a legtöbb billenőedényes típusú csapadékmérő már 70 mm/h körüli intenzitásnál is 10% közeli alámérést produkál a referencia intenzitáshoz képest (39. ábra). A nagyobb intenzitások felé haladva ez az arány nő, 180 mm/h felett több mérőeszköz esetén a mért intenzitás a referenciaértéktől több mint 20%-kal elmaradt. Az ombrográf mérésekkel való összehasonlítások során én is azt tapasztaltam, hogy a nagyobb intenzitásoknál a csapadékos időszakokban lezuhalt csapadékmennyiségekben jelentősebb az eltérés az ombrográf és billenőedényes automata mérések között. A súlymérés elvén alapuló csapadékmérő típusoknál viszont jellemzően 10% alatti, több ilyen elven működő csapadékmérő esetén 5%-ot sem éri el az eltérés a referenciától. A legjobban ezen az olasz teszten a német OTT Pluvio csapadékmérő szerepelt, ami még extrém (>150 mm/h) intenzitásnál is 2-3%-on belül maradt a referenciától.



39. ábra

A mért és referencia csapadékintenzitás összehasonlítása billenőedényes (a) és tömegméréses (b) csapadékmérők esetén (Lanza et al., 2010)

Magyarországon az OMSZ automata állomáshálózatában az állomások több mint felén súlyméréses csapadékmérőt használnak. Mind a 141 OVF hidrometeorológiai állomáson és az elmúlt években létesült néhány OMSZ állomáson is OTT Pluvio csapadékmérő található (40. ábra).

Itt a diplomamunkában a vizsgált időszak rövidsége ellenére is az elmúlt két évtizedben a maximális részösszegeknek a jelentős, szignifikáns növekedését mutattam ki (ld. 5.2.1 alfejezet). Amennyiben ez a trend a jövőben is folytatódik, a csapadékintenzitás növekedésével a billenőedényes automatáknál a csapadékintenzitás miatt előforduló hibák (alámérés) gyakorisága és mértéke is növekedhet. A súlyméréses csapadékmérők sokkal jobban teljesítenek extrém nagy intenzitás esetén is. Ezért, ha a jövőben az intenzívebb csapadékot adó időjárási események gyakorisága tovább fog növekedni, megfontolandó a még billenőedényes csapadékmérők fokozatos leváltása a súlyméréses típusra.



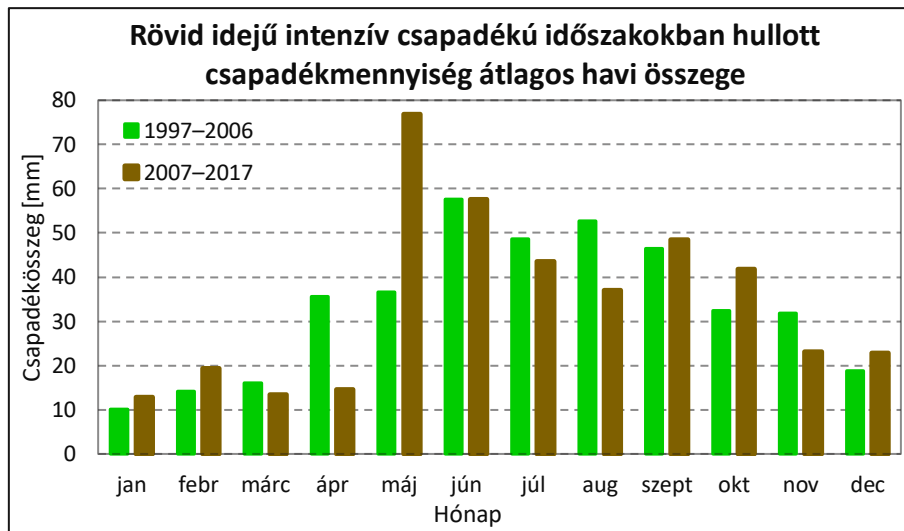
40. ábra
OTT Pluvio csapadékmérő
Sopronhorpácson

A továbbiakban is maradunk az 1997–2017-es időszak automata méréseinél, a rövid idejű intenzív csapadék teljes csapadékösszegegen belüli arányának elemzésével foglalkozunk.

5.2.6 Rövid idejű intenzív csapadék aránya

Ebben a fejezetben vizsgáljuk, hogy a rövid idejű intenzív csapadékok mekkora részét teszik ki a teljes havi, évszakos, valamint éves csapadékösszegnek, illetve az egyes évszakok esetén elemezzük a fellelhető különbségeket az időszak első és második dekádja között. A számítások egy részéhez a 10 perces mérésközzel rendelkezésre álló adatsorból csak azokat az időszakokat használtam fel (1997.01–2017.11), ahol a csapadékos időszak teljes csapadékösszege elérte a 6 mm-t.

Az intenzív csapadékok átlagos havi összegének éves menete alapvetően a teljes csapadékösszege éves menetéhez igazodik, a szárazabb téli időszakban vannak az alacsonyabb értékek, a nyári félévben pedig a magasabbak. Minden csapadék figyelembevételével a vizsgált 1997–2017-es időszakban a legszárazabb hónap a március (32,8 mm), a legcsapadékosabb a május (84,3 mm) a vizsgált időszakban. Utóbbi mindenképp meglepő, hiszen itt Magyarországon a június általában a legcsapadékosabb hónap, noha az időszak rövidege, és a 2010-es év rendkívüli csapadéka részben magyarázza ezt. A 1997–2017-es júniusi átlag egyébként 84,2 mm, szinte tized mm-re megegyezik a májusival. A legcsapadékosabb hónap 1997 óta Pécs-Pogányon a 2010-es május volt a 227,0 mm-es havi összegével. Abban a hónapban extrém nagy csapadékot adott a Zsófia ciklon a hónap közepén, valamint az Angéla ciklon május végétől. Ezekből a ciklonokból a csapadék döntő része konvergenciavonalak mentén hullott, lényegében intenzív csapadékú időszakok sorozatairól beszélhetünk, amihez még hozzájött, hogy az orográfia szerepe is, ami végső soron a hegységeknél több 100 mm-es csapadékot eredményezett. A 41. ábrán az intenzív csapadékú időszakokban hullott csapadékmennyiség átlagos havi összegei szerepelnek külön a vizsgált időszak első és második felében átlagos értékekkel, így jól szemléltetve esetenként a két dekád közötti különbségeket. A legelső, amit észrevehetünk, hogy a májusi átlag sokkal magasabb az időszak második felében, 76,9 mm, ami 211%-a az 1997–2006-os átlagnak. 2010 májusában az intenzív csapadékú időszakokból hulló csapadék mennyisége megközelítette a 200 mm-t, Gondolhatnánk, hogy ez csak a 2010-es extrém csapadékos hónap miatt van, de ez nem teljesen igaz, mert a 2010-es év nélküli átlag is 64,8 mm, amely bármely másik hónap átlagánál magasabb. A 2010-es évig egyetlen májusban se érte el az intenzív csapadékok havi összege a 100 mm-t. Azóta viszont négy évben is meghaladta azt.



41. ábra

Rövid idejű intenzív csapadékú időszakokban hullott csapadékmennyiség átlagos havi összege Pécs-Pogányon (2009–2017)

A teljes csapadékösszeg és 21 év alapján a májust és júniust, ha csak az átlagot nézzük, akkor ugyanolyannak mondhatjuk, de 2011 óta, vagyis ebben az évtizedben miközben a májusi átlag 106,3 mm, addig a júniusi ennek csak 64%-a, 67,7 mm. Ezen belül az intenzív csapadékok esetén a júniusi átlagos összeg a 2011–2017-es időszakban a májusinak csak 62%-a. A június az egyetlen hónap viszont, ahol az átlag a vizsgált időszak minkét felében meghaladta az 50 mm-t. Az első évtizedben még augusztusban is 50 mm felett alakult, de a 2007–2017-es időszakban jóval kisebb érték figyelhető meg, ugyanis az átlagos összeg csak 37,0 mm. Szeptemberben továbbra is közel 50 mm az intenzív csapadék összege. Októberben is a második dekádban láthatjuk a magasabb átlagot, de a májusinál lényegesen kisebb mértékű eltérés figyelhető. Télen az egyébként is 10-20 mm-es havi összegekben csak minimális, néhány mm-es eltérések tapasztalhatók. A második dekádban alacsonyabb átlagokat azonosíthatunk augusztusban, júliusban és áprilisban. Áprilisban a legjelentősebb a negatív előjelű eltérés az intenzív csapadékú időszakok csapadékösszegeiben. Az 1997–2006-os időszakban az átlagos érték még 35,6 mm volt, a 2007–2017-es átlag ennek csak 40,9%-a, 14,5 mm. Ennek a jelentős visszaesésnek az oka, hogy az április ezen bő két évtized alatt szárazabbá vált. Az áprilisi havi csapadékösszegekre illesztett lineáris trend 65%-os csökkenést mutat, ami 95%-os megbízhatósági szint mellett szignifikánsnak tekinthető.

Az évszakos átlagos összegekben az időszak második felében általában magasabb értékeket kapunk. Ez igaz a télre (+20,8%), tavaszra (+18,9%) és őszi (+3,7%). Csak nyáron kevesebb az átlagos csapadékösszeg a második dekádban, 13,0%-kal. Az egész évben +1,8%-nak adódott az eltérés a vizsgált időszak második felére.

A 15. táblázat tartalmazza az 1997–2006-os és a 2007–2017-es időszak átlagaiban jelentkező eltéréseket százalékban kifejezve.

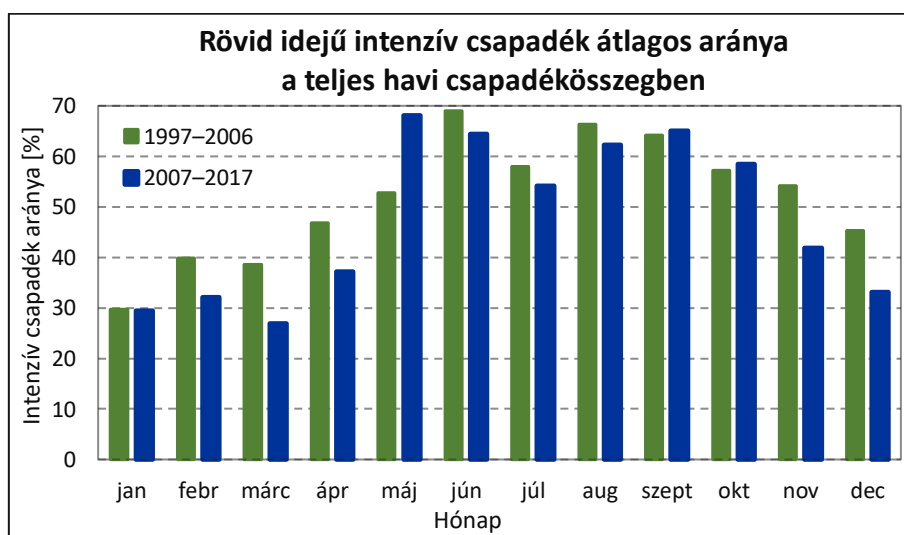
JAN	FEB	MÁR	ÁPR	MÁJ	JÚN	JÚL	AUG	SZEP	OKT	NOV	DEC
26,3	37,3	-16,5	-59,1	110,5	-0,1	-10,2	-29,7	4,5	29,4	-27,5	21,3

15. táblázat

Rövid idejű intenzív csapadékú időszakokban hullott csapadékmennyiség átlagos havi összegének relatív eltérése Pécs-Pogányon 1997–2006-ról a 2007–2017-es időszakra

A relatív eltérés (pozitív) télen a legnagyobb, meghaladja a 20%-ot minden hónapban (összeg alapján a tavasz volt), a visszaesés nyáron, áprilisban és novemberben számottevő.

Mivel az egyes hónapokban hulló csapadék összege nem egyenletes az év során, ezért az összegekből nem tudjuk meg, hogy pl. a szárazabb téli hónapokban hulló 20 mm-nyi intenzív csapadék sok vagy kevés-e és az intenzív jellegű csapadék a meghatározó az adott hónapban vagy sem. Ezért vegyük az intenzív csapadékú (6 mm-es küszöb feletti) időszakból hulló havi csapadékösszegek és a teljes havi csapadékösszegek hányadosát. Amit így eredményül kapunk (42. ábra), az alapján el tudjuk dönteni, hogy adott hónapban milyen gyakorisággal lép fel rövid idejű intenzív csapadék. Ahogy korábban már többször említettem, ezekre az intenzív csapadékokra úgy is tekinthetünk, mint konvektív csapadék, mert konvektív időjárási eseményeknél fordul elő általában, a legnagyobb részösszeget produkáló események pedig kivétel nélkül konvektívek is egyben. A konvektív csapadék (záporok, zivatarok) gyakoriságának maximuma nyáron van, ezért ahhoz hasonló éves menetet várhatunk az intenzív csapadék arányának éves menetében is.



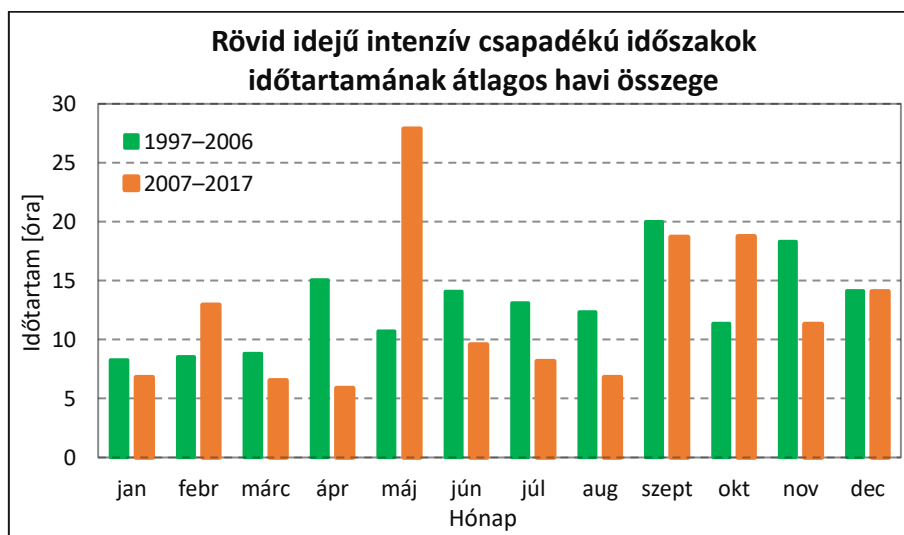
42. ábra

Rövid idejű intenzív csapadék átlagos aránya a teljes havi csapadékösszegben Pécs-Pogányon

Az éves menet pl. a zivatarok gyakoriságának éves menetével ellentétben, ahol csak egy nyári eleji maximum van, itt a csapadék arányoknál található a nyár eleji (május-júniusi) mellett egy nyár végi (augusztus-szeptemberi) másodlagos maximum. Az éves menet a 60 perces maximális részösszegek éves menetéhez hasonló, ahol szintén két maximumot állapíthatunk meg, nyár elején, illetve végén (29. ábra). Ezeknél a hónapoknál a 2007–2017-es időszakban meghaladta az intenzív csapadék aránya a 60%-ot, a legnagyobb részesedés az összes csapadékból májusban volt (68,1%). Megjegyezném, hogy a 2010-es év nélkül is májusban van a legnagyobb havi arány. Az 1997–2006-os időszakban a maximumot még júniusban találjuk (69,0%). Nyár közepén, júliusban kisebb visszaesés látható, de még akkor is a teljes havi csapadékösszeg több mint fele rövid idejű intenzív csapadék teszi ki. A vizsgált két évtized első felében még májustól novemberig 50% felett volt az intenzív csapadék átlagos aránya. Az időszak második felében is maradt a május első hónapnak, de novemberben 50% alá esett az arány, így ott csak az év felében (6 hónap) gyakoribb a rövid idejű intenzív csapadék. A minimális részarányokat az év első három hónapjában találjuk. A január az egyetlen hónap az évben, ahol egyik évtizedben sem éri el a 30%-ot az intenzív csapadék részesedése. A legkisebb értéket 26,9%-kal azonban nem a január, hanem a március adja a 2007–2017-es időszaktól. A legtöbb hónap esetén visszaesett a rövid idejű intenzív csapadékok részesedése a teljes havi csapadékösszegekből a vizsgált időszak második dekádjára. Csak májusban (+15,3%), szeptemberben (+0,9%) és októberben (+3,2%) volt megfigyelhető pozitív előjelű eltérés. Márciusban, novemberben és decemberben több mint 10%-kal visszaesett az intenzív csapadékok aránya. Lineáris trend alapján tavasszal 5%-os növekedés, a többi évszakban néhány százalékos a csökkenés. Az egész évet tekintve a rövid idejű intenzív csapadékok a teljes éves csapadékmennyiség 60%-át teszik ki, ebben a trend alapján minimális, 2%-os csökkenés tapasztalható.

5.2.6.1 Időtartam

Vizsgáltam továbbá az arányok mellett azt is, hogy ezeknél a rövid idejű intenzív csapadékú időszakoknál az egyes hónapokban mennyi ideig tartanak ezek a csapadékhullások, tehát az időtartamokat, valamint ezeknél az időtartamoknál megfigyelhetők-e eltérések (43. ábra).



43. ábra

Rövid idejű intenzív csapadékú időszakok időtartamának átlagos havi összege Pécs-Pogányon [óra]

Ahogy az intenzív csapadék aránya a legtöbb hónapban kisebb a 2007–2017-es időszakban, úgy ezeknek a rövid idejű intenzív csapadékoknak az időtartama is a hónapok többségében a vizsgált időszak második felében alacsonyabb. A legszembetűnőbb azonban a májusi nagy különbség, ahol több mint másfélszeres eltérést kaptam. A május mellett még februárban és októberben volt magasabb a második dekád átlaga (16. táblázat). A hónapok többségénél 5 és 15 óra közötti az időtartamok átlagos havi összege.

JAN	FEB	MÁR	ÁPR	MÁJ	JÚN	JÚL	AUG	SZEP	OKT	NOV	DEC
-17,3	52,0	-25,8	-61,1	160,4	-32,0	-37,7	-45,0	-6,3	65,2	-38,2	-0,5

16. táblázat

Rövid idejű intenzív csapadékú időszakok időtartamának átlagos havi összegének relatív eltérése 1997–2006-ról a 2007–2017-es időszakra Pécs-Pogányon

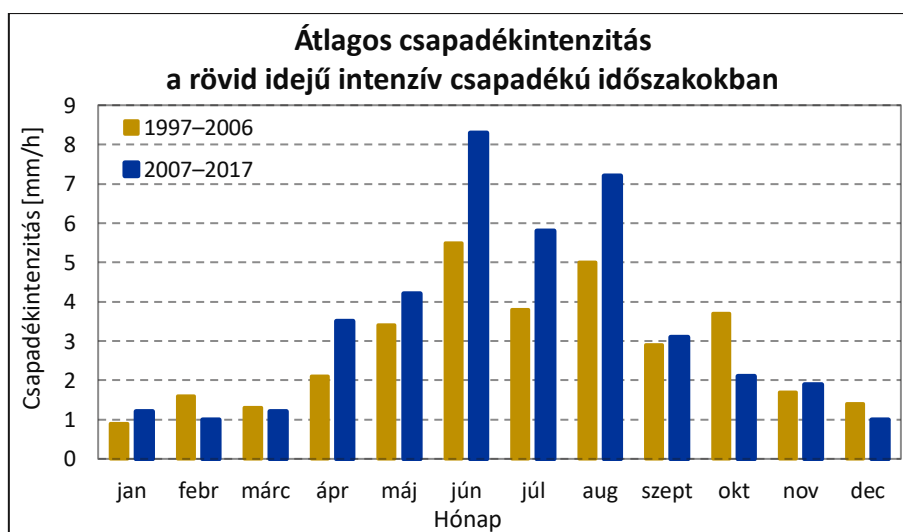
A legjelentősebb különbség májusban van, ez már a 43. ábra alapján is jól látszott, hogy májusban van, értéke 160%. Ez a nagy eltérés abból is következik, hogy az intenzív csapadékú időszakok aránya is ebben a hónapban lett magasabb 2007–2017-ben. Több mint 50%-os a különbség februárban és októberben is. A legnagyobb visszaesés a vizsgált időszak második felére áprilisban következett be (-61%), ami azzal magyarázható, hogy ez a hónap

sokkal szárazabb lett ezekben az évtizedekben. A nyári hónapok mindegyikében több mint 30%-kal rövidebb ideig tartottak az intenzív csapadékú időjárási események a 2007–2017-es időszakban.

Az illesztett lineáris trend alapján a teljes évben 2,3%-kal növekedett az intenzív csapadékú időszakok hossza. Télen és tavasszal növekedést tapasztalunk, aminek mértéke télen 11,6%-os, tavasszal a május miatt markánsabb, 49,0%. Nyáron jelentősebben rövidült (41,8%-kal) az intenzív csapadékú események hossza, ősszel 3,6%-os csökkenést mutat a trend. Ezen változások sehol sem szignifikánsak 95%-os megbízhatósági szint mellett.

5.2.6.2 Csapadékintenzitás

Az átlagos csapadékösszegek és időtartamok ismeretében elemezhetjük a csapadékintenzitást (mm/h) is. A csapadékintenzitásnak határozott éves menete van, nyári maximummal (44. ábra). Áprilistól a vizsgált időszak második felében már meghaladta a 3 mm/h-t az átlagos intenzitás. A nyári félév hónapjainál a vizsgált időszak második felében sokkal magasabb az átlagos csapadékintenzitás. Mindkét dekádban júniusban a legnagyobb az átlagos intenzitás, majd augusztusban, aztán júliusban. A nyári hónapok értékei a 2007–2017-es időszakban sokkal nagyobbak. Hiába kevesebb (13%-kal) a 2007–2017-es időszakban nyáron a rövid idejű intenzív csapadékú időszakokban a csapadékösszeg, ezeknek a csapadékos eseményeknek a hossza ennél sokkal jobban, 41,8%-kal rövidült. Ennek eredményeképpen a csapadék intenzitása sokkal magasabb.



44. ábra

Átlagos csapadékintenzitás [mm/h] havonta a rövid idejű intenzív csapadékú időszakokban Pécs-Pogányon

Az eltérés mindhárom nyári hónapban eléri a 2,0 mm/h-t. A többi hónapnál mindenhol 2 mm/h alatt marad a különbség. Jelentősnek mondható, 1 mm/h-s értéket meghaladó visszaesés az átlagos intenzitásban csak októberben figyelhető meg (–1,6 mm/h). A nyári hónapoknak itt épp az ellenkezője történt, a csapadékösszeg magasabb ugyan, de az átlagos időtartam annál jobban emelkedett, így az átlagos intenzitás értelemszerűen kisebb lett.

A csapadékintenzitás relatív havi különbségeit tartalmazza a 17. táblázat 1997–2006-ról a 2007–2017-es időszakra.

JAN	FEB	MÁR	ÁPR	MÁJ	JÚN	JÚL	AUG	SZEP	OKT	NOV	DEC
33,3	–37,5	–7,7	66,7	23,5	50,9	52,6	44,0	6,9	–43,2	11,8	–28,6

17. táblázat

Rövid idejű intenzív csapadékú időszakok átlagos intenzitásának relatív eltérései 1997–2006-ról a 2007–2017-es időszakra Pécs-Pogányon

A téli félévben 1 mm/h alatti csapadékintenzitás-eltérések is tekinthetők jelentősnek, mert a téli hónapokban pár tizedmilliméteres különbség is lehet relatíve nagy az alacsony átlagos értékek miatt. A hónapok harmadánál mutatható ki, hogy a 2007–2017-es időszakban alacsonyabb az átlagos intenzitás. Több mint 25%-os a visszaesés februárban, októberben és decemberben. A legnagyobb relatív növekedést nem nyáron találjuk, hanem áprilisban, ahol 66,7%-os, de júniusban és júliusban is meghaladja az eltérés az 50%-ot.

Lineáris trend alapján a teljes évben a rövid idejű intenzív csapadékú időszakok átlagos csapadékintenzitásának 24%-os emelkedése mutatható ki. Az évszakoknál télen 40%-kal, ősszel 33%-kal csökkent az átlagos intenzitás. A trend alapján tavasszal és nyáron figyelhető meg növekedés, ami tavasszal 23%-os, nyáron sokkal jelentősebb, 83%-os, de 95%-os megbízhatósági szint mellett még ez sem tekinthető szignifikáns változásnak. A rövid idejű intenzív csapadékos időszakokban előforduló átlagos csapadékintenzitás nyári jelentős növekedése ugyanakkor arra utal, hogy az elmúlt pár évtizedben sokkal gyakoribbak lettek a hirtelen lehulló extrém nagy csapadékot adó időjárási események. Ezen szélsőséges események a klímaváltozás hatására a jövőben várhatóan még gyakoribbak és intenzívebbek lesznek.

5.2.7 IDF (intenzitás–időtartam–gyakoriság) görbék

Az IDF (intenzitás–időtartam–gyakoriság) görbék a mérnöki gyakorlatban kiemelt fontosságúak. A számítások során eredményül kapott IDF vagy ún. csapadék-tervezési görbék nagy jelentőséggel bírnak, mivel pl. vízelvezető rendszerek tervezésénél kell figyelembe venni adott csapadékmennyiség visszatérési idejét/szintjét. Az IDF görbékhez lényegében a 10, 20, 30, 60, 180 perces csapadékösszegek visszatérési szintjeit kell kiszámolni, ehhez a Visual Basics for Applications (VBA) programozási nyelven alapuló RainIDF nevű Excel bővítményt használtam (Chang *et al.*, 2013). Az IDF görbék elkészítettem általánosított extrémérték (GEV) és általánosított Pareto (GP) eloszlások illesztésével egyaránt. Az eloszlások paramétereinek becslése L-momentumok módszerével történt (Hosking, 1990; Hosking és Wallis, 1997).

L-momentumok (λ):

$$\lambda_1 = \beta_0$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0,$$

ahol $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ súlyozott momentumok (PWM: probability weighted moments) (Greenwood *et. al.*, 1979; Van Gelder és Pandey, 2005).

L-momentum hányadosok (τ):

L-variációs koefficiens (L-CV):

$$\tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

L-ferdeség (L-skewness):

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2}$$

L-lapultság (L-kurtosis):

$$\tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2}$$

A fentiek alapján becsülhetők az általánosított extrémérték (GEV) és általánosított Pareto (GP) eloszlások (ξ) alak-, (σ) skála- és (μ) lokációs-paraméterei (Stedinger *et al.*, 1993).

GEV-eloszlás paraméterbecslése:

Alakparaméter (ξ):

$$\xi = 7,859c + 2,9554c^2,$$

ahol

$$c = \frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2} - \frac{\ln(2)}{\ln(3)}$$

Skálaparaméter (σ):

$$\sigma = \frac{\lambda_2 \xi}{\Gamma(1 + \xi)(1 - 2^{-\xi})}$$

Lokációs-paraméter (μ):

$$\mu = \lambda_1 - \frac{\sigma[1 - \Gamma(1 + \xi)]}{\xi}$$

GP-eloszlás paraméterbecslése:

Alakparaméter (ξ):

$$\xi = \frac{1 - 3\tau_3}{1 + \tau_3}$$

Skálaparaméter (σ):

$$\sigma = (1 + \xi)(2 + \xi)\lambda_2$$

Lokációs-paraméter (μ):

$$\mu = \lambda_1 - (2 + \xi)\lambda_2$$

A paraméterbecslést követően kiszámíthatók a csapadékintenzitás különböző visszatérési időhöz tartozó visszatérési szintjei.

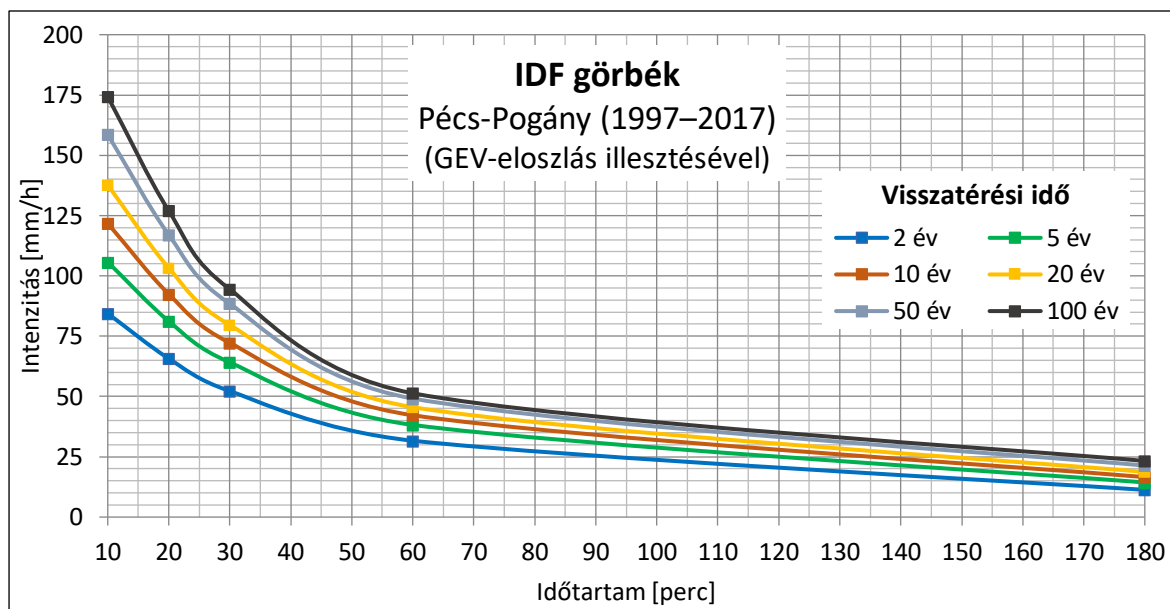
Visszatérési szintek (X_T) számítása:

GEV- és GP-eloszlásnál egyaránt a visszatérési-szintek (X_T) mm/h-ban (*Chang et al.*, 2013):

$$X_T = \left\{ \mu + \frac{\sigma}{\xi} \left[1 - \left(1 - \left(1 - \frac{1}{\frac{n}{t} T} \right) \right)^\xi \right] \right\} \frac{60}{RR_t},$$

ahol μ a lokációs-, σ a skála-, ξ az alakparaméter, n a mintaelemszám, t a vizsgált évek száma, T a visszatérési idő évben, RR_t a csapadék-részösszeg időtartama percben ($RR_t = 10, 20, 30, 60$ vagy 180).

Az IDF (intenzitás–időtartam–gyakoriság) görbék számításához GEV-eloszlásnál az éves maximális részösszegeket használtam fel a vizsgált 1997–2017-es időszakból. A 45. ábra azokat az IDF görbéket mutatja, amik GEV-eloszlás (általánosított extrémérték) feltételezésével, L-momentumok becsléssel készültek.



45. ábra

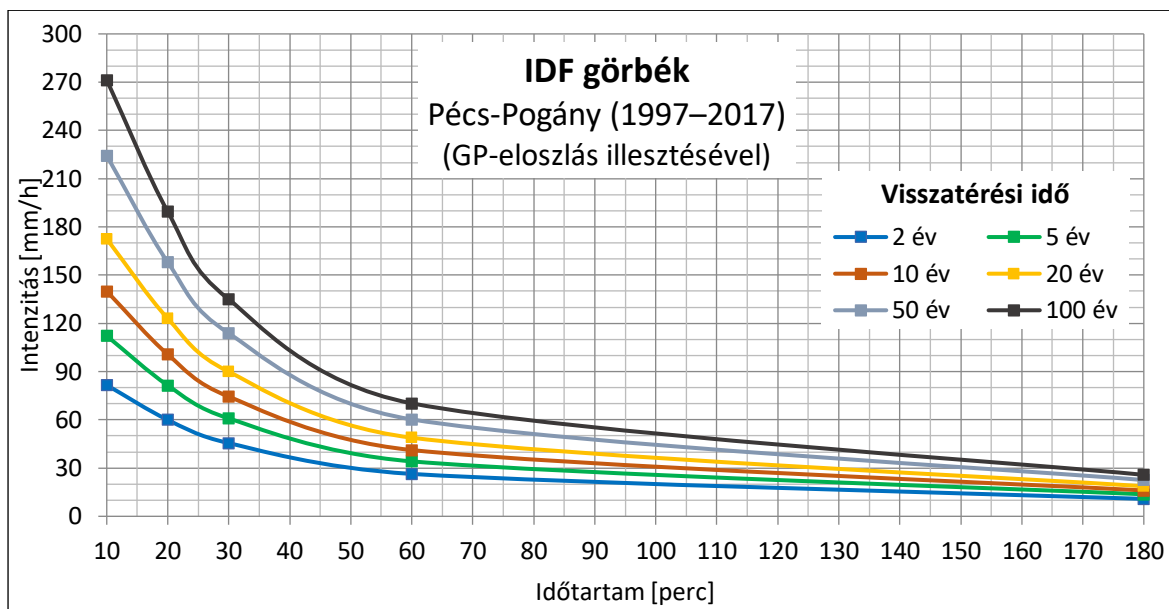
IDF görbék (GEV-eloszlás illesztésével) Pécs-Pogányon az 1997–2017-es időszak alapján. Az IDF görbékéből megállapítható, hogy míg tízévente egyszer 20 perc alatt előfordul Pécs-Pogány állomáson 30 mm feletti csapadékösszeg, addig a 10 perces részösszegeknél 30 mm-es visszatérési szintet 100 éves visszatérési időnél se látunk (18. táblázat). A 10 perc alatt hulló maximális részösszeg évtizedenként egyszer lépi át a 20 mm-t, a 20 perces hozamoknál ez minden 2. évben bekövetkezik. 40 mm-es érték fél órás csapadékösszegeknél ~20 évente, egy óra alatt ~7 évente mérhetünk. GEV-eloszlás illesztésével, L-momentumok becsléssel az éves maximális részösszegek alapján 50 mm feletti szint 100 éves visszatérési időig csak a 60 perces hozamoknál figyelhető meg.

Részösszeg	Visszatérési idő					
	2 év	5 év	10 év	20 év	50 év	100 év
10 perces	14,1	17,6	20,3	22,9	26,4	29,0
20 perces	21,9	27,1	30,8	34,4	39,0	42,3
30 perces	26,1	32,1	36,1	39,8	44,2	47,2
60 perces	31,7	38,2	42,2	45,6	49,1	51,3

18. táblázat

Különböző részösszegű csapadékok éves maximumának visszatérési szintjei [mm] adott visszatérési idő mellett Pécs-Pogányon (1997–2017) GEV-eloszlás illesztésével

Az IDF görbék számításához GP-eloszlásnál 639 olyan csapadékos esemény maximális csapadék-részösszegeit használtam fel a vizsgált 1997–2017-es időszakból, amelyeknél az időszak teljes csapadékösszege meghaladta a 6 mm-t. A 46. ábra azokat az IDF görbéket mutatja, amik GP-eloszlás (általánosított Pareto) feltételezésével, L-momentumok becslésével készültek.



46. ábra

IDF görbék (GP-eloszlás illesztésével) Pécs-Pogányon az 1997–2017-es időszak alapján

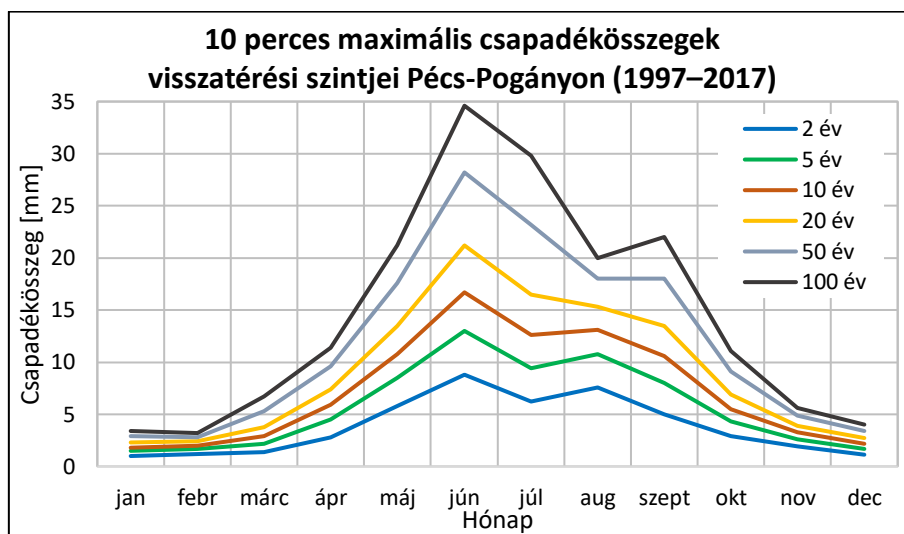
A 46. ábrán is jól látszik, hogy a GP-eloszlás illesztésénél magasabb visszatérési szinteket kapunk a nagyobb visszatérési idők esetében. Hozzávetőleg 10 évnél egyeznek az értékek a 18. táblázatban hasonló visszatérési időnél levőkkel. 10 év alatt a GP-eloszlásnál alacsonyabb, afelett magasabb visszatérési szintek adódnak. A különböző visszatérési időhöz tartozó visszatérési szinteket a 19. táblázat foglalja össze. GEV-eloszlásnál a 10 perces részösszegeknél a 30 mm-es szintet még 100 évnél se éri el, itt egy évszázados időtávon 45,2 mm-es visszatérési szintet kaptam eredményül. A 60 perces csapadékösszegeknél évszázadonként egyszer 70 mm-t elérő hozam is előfordul.

Részösszeg	Visszatérési idő					
	2 év	5 év	10 év	20 év	50 év	100 év
10 perces	13,6	18,7	23,3	28,8	37,4	45,2
20 perces	20,0	27,1	33,6	41,0	52,7	63,1
30 perces	22,8	30,4	37,2	45,0	56,9	67,5
60 perces	26,4	34,2	41,2	48,9	60,3	70,3

19. táblázat

Különböző részösszegű csapadékok éves maximumának visszatérési szintjei [mm] adott visszatérési idő mellett Pécs-Pogányon (1997–2017) GP-eloszlás illesztésével

Az éves maximumok mellett a havi legnagyobb részösszegekre is készítettem IDF görbéket, így vizsgálhatóvá vált az éves menet (47. ábra).



47. ábra

10 perces csapadék-részösszegek havi maximumának visszatérési szintjei [mm] adott visszatérési idő mellett Pécs-Pogányon (1997–2017) GEV-eloszlás illesztésével

Megfigyelhető a már korábban is látott éves menete a részösszegeknek, téli minimummal, nyári (május-szeptember), azon belül is júniusi maximummal. Télen a 100 éves visszatérési időnél is 5 mm alatt vannak az értékek. Eközben nyáron minden 2. évben meghaladja az 5 mm-t, 50 évente egyszer 25 mm feletti csapadék-részösszegek is előfordulnak (20. táblázat).

Hónap	Visszatérési idő					
	2 év	5 év	10 év	20 év	50 év	100 év
január	1,0	1,5	1,8	2,3	2,9	3,4
február	1,2	1,7	2,0	2,4	2,8	3,2
március	1,4	2,2	2,9	3,8	5,3	6,7
április	2,8	4,5	5,9	7,4	9,6	11,4
május	5,8	8,5	10,8	13,5	17,6	21,2
június	8,8	13,0	16,7	21,2	28,2	34,6
július	6,2	9,4	12,6	16,5	23,2	29,8
augusztus	7,6	10,8	13,1	15,3	18,0	20,0
szeptember	5,0	8,0	10,6	13,5	18,0	22,0
október	2,9	4,3	5,5	6,9	9,1	11,1
november	1,9	2,6	3,3	3,9	4,9	5,6
december	1,1	1,7	2,2	2,7	3,4	4,0

20. táblázat

10 perces csapadék-részösszegek havi maximumának visszatérési szintjei [mm] adott visszatérési idő mellett Pécs-Pogányon (1997–2017) GEV-eloszlás illesztésével

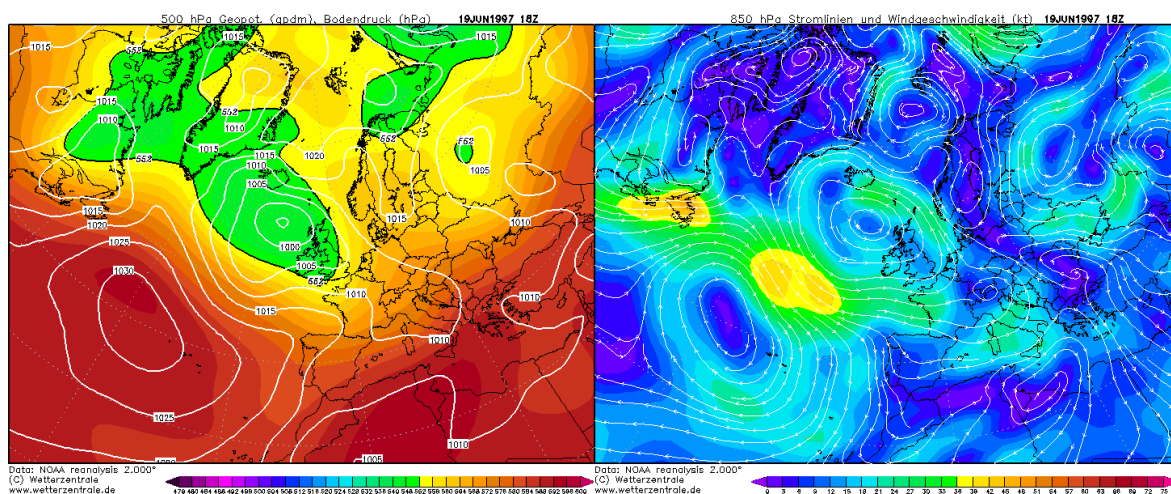
A 10 perces részösszegek mellett a 20, 30 és 60 perces csapadékhozamok havi maximumának visszatérési szintjeit is kiszámítottam, azokat a 2. melléklet tartalmazza.

6. Esettanulmányok

Ebben a fejezetében esettanulmányként két intenzív csapadékú, felhőszakadással járó eseményt mutatok be. A kiválasztott két csapadékos időszak egyben az 1997–2017-es időszak legnagyobb részösszegeit eredményező eseményei. Kitérek az adott nap időjárási helyzetére, a környező állomásokon mért csapadékösszegekre, vizsgálom a csapadékos esemény időbeli lefolyását és összehasonlítom a különböző mintavételezésből származó maximális részösszegeket.

6.1 Az 1997. június 19-ei esemény

A két vizsgált csapadékos időszakból az első az 1997-es évben volt, amelyik évből az ombrográf méréseket feldolgoztam. Az 1997-es év legjelentősebb, felhőszakadással járó időjárási eseménye június 19-én este lépett fel Pécs-Pogányon. Ezen a napon Európa jelentős részén ciklon és anticiklon sem volt található, a légnyomás jobbra 1005 és 1015 hPa között alakult. Egy ciklon csupán Izland és a Brit-szigetek időjárására volt hatással. Magyarország térségében gyenge délies áramlás volt a jellemző (48. ábra).



48. ábra

500 hPa-os szint geopotenciál magassága, tengerszinti légnyomás (balra) és szélesség, áramvonalak 850 hPa-os szinten (jobbra) 1997. június 19-én 18 UTC-kor [2 – NOAA reanalysis]

A reggeli 8–14 fokról általában 22°C és 27°C közé melegedett a levegő, az Alföldön haladta meg a csúcshőmérséklet a 25°C-ot. Az ország szinte egész területén előfordultak záporok, zivatarok, amiket lokálisan jelentős (>20 mm) csapadékösszeg kísért, elsősorban a Dunántúlon és a Dél-Alföldön [3 – Napijelentés].

Néhány Pécs környéki állomás napi csapadékösszegeit tartalmazza a 21. táblázat.

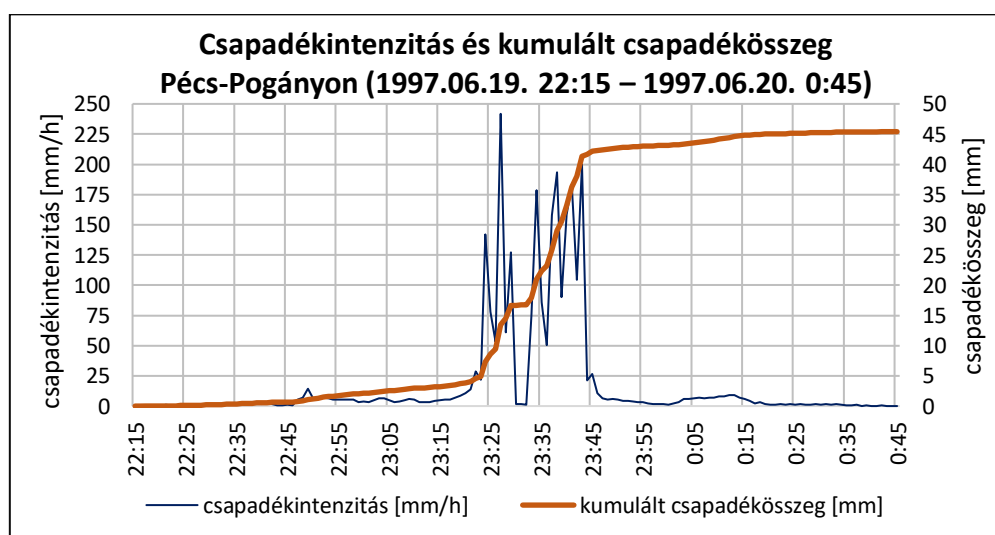
Állomás	Napi csapadékösszeg [mm]
Pécs-Pogány	49,4
Szigetvár	58
Siklós	36
Pécsvárad	46,6
Magyaregregy	33,1
Kárász	35,2
Váralja	36,3

21. táblázat

Napi csapadékösszegek néhány Pécs környéki állomáson 1997. június 19-én
(forrás: OMSZ, DDVIZIG, Napijelentés)

Ezen a napon Pécs kb. 50 km-es környezetéből felsorolt állomások mindegyikén meghaladta a csapadékösszeg a 30 mm-t, Pécs-Pogányon megközelítette az 50 mm-t, Szigetváron meg is haladta azt (58 mm).

Pécs-Pogányon ennek a 49,4 mm-nek a 91,9%-a, 45,4 mm egy 19-éről 20-ára éjszaka bekövetkező heves csapadékú eseményhez köthető. A 49. ábrán jól látható ennek a csapadékos időszaknak a lefolyása és az, hogy a lehullott 45,4 mm egy jelentős része (84,4%-a) 25 perc alatt hullott le. A legintenzívebb szakaszok 23:23–23:29 és 23:32–23:43 között voltak, amikor az egyperces intenzitás értékek 9 perc esetében meghaladták a 120 mm/h-t, azaz ezekben a percekben több mint 2 mm csapadék esett. Ebből a 9 percből 7-nél a 150 mm/h-t is meghaladta a csapadékintenzitás, a maximális értéket 23:26 és 23:27 perc között vette fel 241,8 mm/h-s értékkel, azaz abban a percben 4,0 mm csapadék esett a csapadékmérőbe.

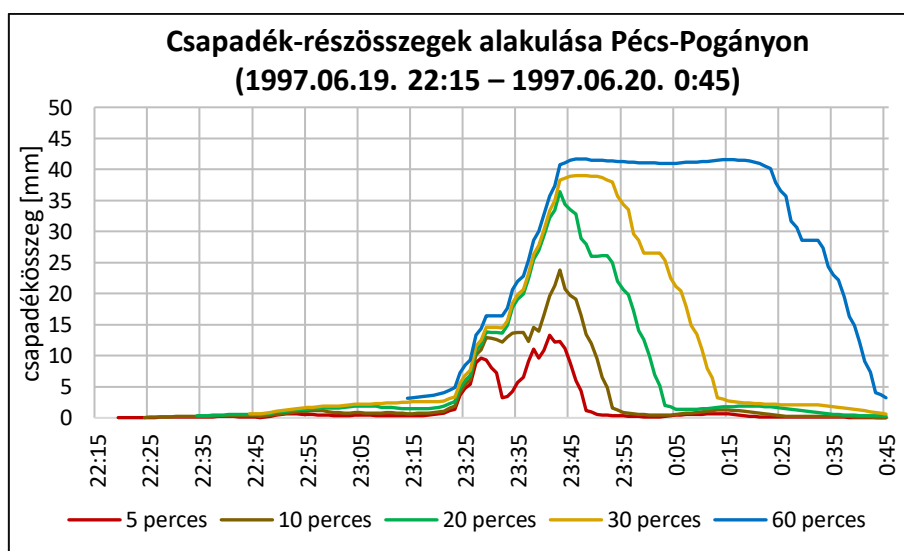


49. ábra

Egyperces adatokból számított csapadékintenzitás [mm/h] és kumulált csapadékösszeg Pécs-Pogányon az 1997. június 19-ei eseménynél

Ez volt az az egyetlen esemény az ombrográf mérések közül, amit nem hagyományosan, hanem digitalizáló programmal dolgoztam fel (ld. 4.2 alfejezet).

Az egyes részösszegek csapadékos időszakon belüli alakulását mutatja be az 50. ábra. 23:20 előtt csupán minimális csapadéktevékenység következett be, majd 23:20 után a megnövekvő intenzitás (felhőszakadás) miatt a részösszegek jelentősen megnőttek. A rövid idejű részhozamok esetén, különösen az 5 percesnél látszik, hogy 23:30 környékén átmenetileg gyengült a csapadék intenzitása, így visszaesés következett be. Az összes részösszeg a maximumát 23:40 és 23:45 között érte el.



50. ábra
Egyes csapadék-részösszegek időbeli alakulása
Pécs-Pogányon az 1997. június 19-ei esemény idején

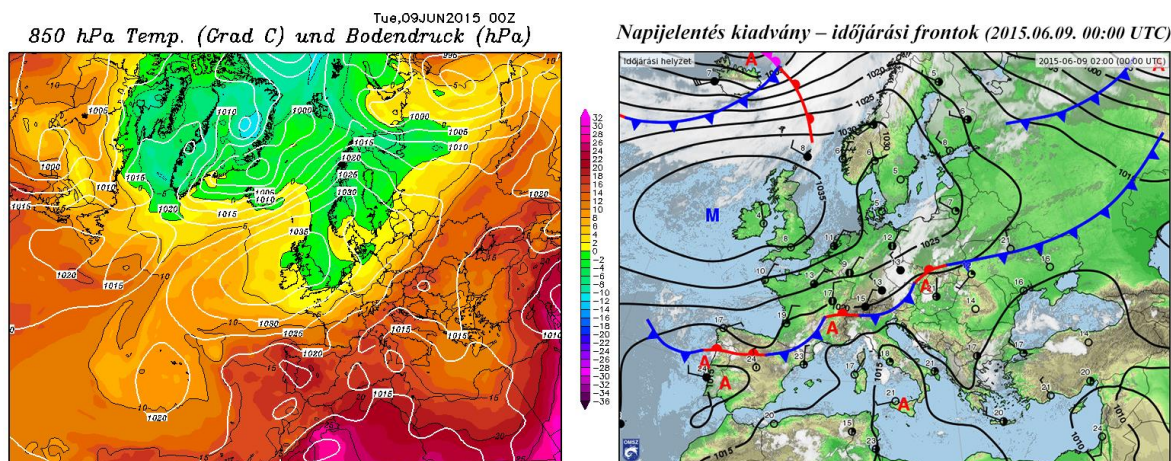
A maximális részösszegek mindenhol magasabbak az ombrográf méréseknél, az eltérés 1,5–2,0 mm. Az órás legnagyobb csapadék-részösszeg automata esetén megközelíti, a csapadékirónál át is lépi a 40 mm-t. 5 perces részösszegekről csak ombrográf esetén beszélhetünk, hiszen az automata csak 10 perces méréskezzel mért csapadékot (22. táblázat).

Mérőeszköz	Részösszegek				
	5 perces	10 perces	20 perces	30 perces	60 perces
Ombrográf	13,3	23,8	36,4	39,0	41,7
Automata	–	22,1	34,9	37,2	39,8

22. táblázat
Ombrográf és billenőedényes automata 10 perces méréseiből számított
maximális részösszegek [mm] Pécs-Pogányon az 1997. június 19-ei eseménynél

6.2 A 2015. június 9-ei esemény

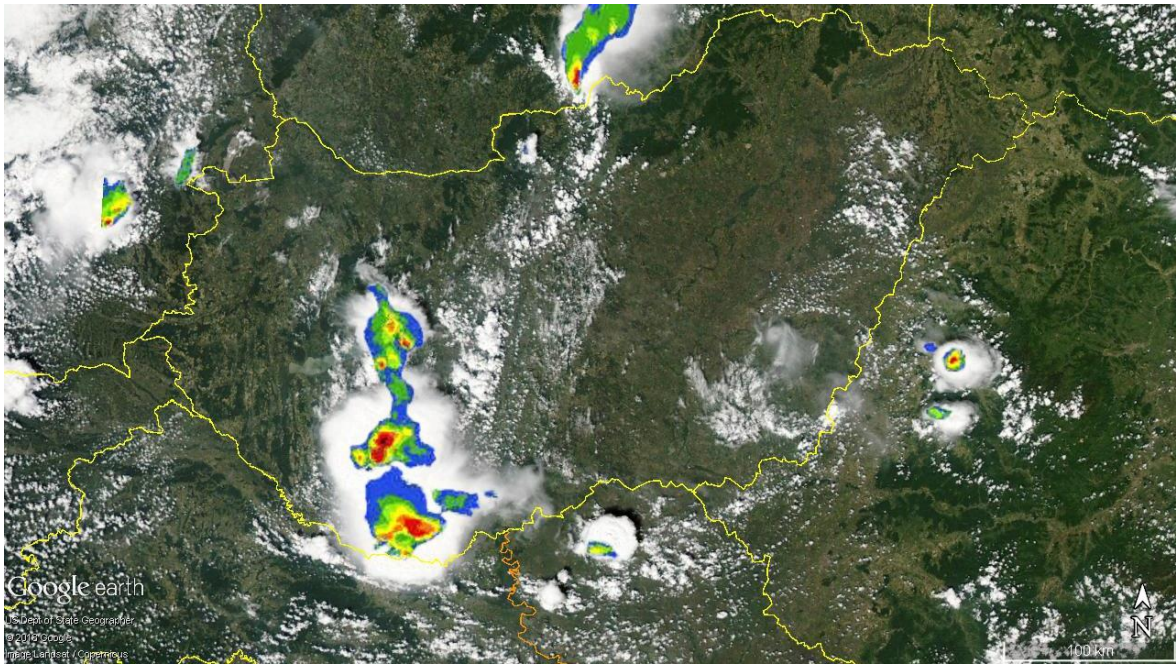
A másik vizsgált extrém csapadékhullással járó esemény 2015 június 9-én volt. Az európai időjárási helyzet jelentősen eltért az 1997. június 19-eitől. Ezen a napon a Brit-szigetekenél egy ciklon helyett, anticiklon helyezkedett el, középpontjában 1035 hPa feletti légnyomással. Az anticiklon benyúlt egészen Oroszországig. A ciklonok egészen északon voltak, valamint az anticiklon déli peremén egy hullámzó frontrendszer volt megfigyelhető, amitől délre meleg, északra hűvösebb időjárás uralkodott (51. ábra).



51. ábra

850 hPa-os szint hőmérséklete, tengersizti légnyomás (balra) és napijelentés kiadvány – időjárási frontok (jobbra) 2015. június 9-én 0 UTC-kor [4 – CFS reanalysis]; [5 – Napijelentés]

Magyarország a hullámzó frontrendszer előoldalán helyezkedett el. A meleg, labilis levegő kedvezett a zivatarok kialakulásának, már a délelőtti órákban is. A hajnali 15–20°C-ról délutánra 26°C és 32°C közé melegedett fel, az Alföldön volt hőség. Elszórtan alakultak ki záporok, zivatarok. Nagy változatosságot mutat a csapadék eloszlása, egy-egy hevesebb, felhőszakadással járó zivatar szűk környezetében 30 mm feletti csapadékösszegeket is találunk, míg a szomszédos állomásokon lehet, hogy nem volt mérhető mennyiségben csapadék. Záporok, zivatarok elsősorban a Dunántúl keleti felében és a Tiszántúlon alakultak ki. Dél körül, 13 órakor már két hevesebb, méretes zivatarcella volt az országban, mindkettő a Dél-Dunántúlon (52. ábra), az egyik miatt készült el ez a fejezet. Az Aqua/MODIS műholdképen szépen látszik, hogy a Dunántúl keleti felében, a Duna vonalában és a Tiszántúlon volt gomolyfelhő-képződés a déli órákban. A Nyugat-Dunántúlon és északkeleten jobbra derült, felhőtlen volt az égbolt. Az OMSZ kompozit radarképe alapján 13 órakor a legnagyobb intenzitású csapadékhullás a Dél-Dunántúlon volt. Csapadék volt a Balaton térségében, valamint az Alpoknál, Felvidéken, Szabadkától délre és a Bihari-havasok nyugati előterében.



52. ábra

Aqua/MODIS műholdkép és OMSZ kompozit radarkép 2015. június 9-én 13 órakor
[6 – NASA]; [7 – MetNet]

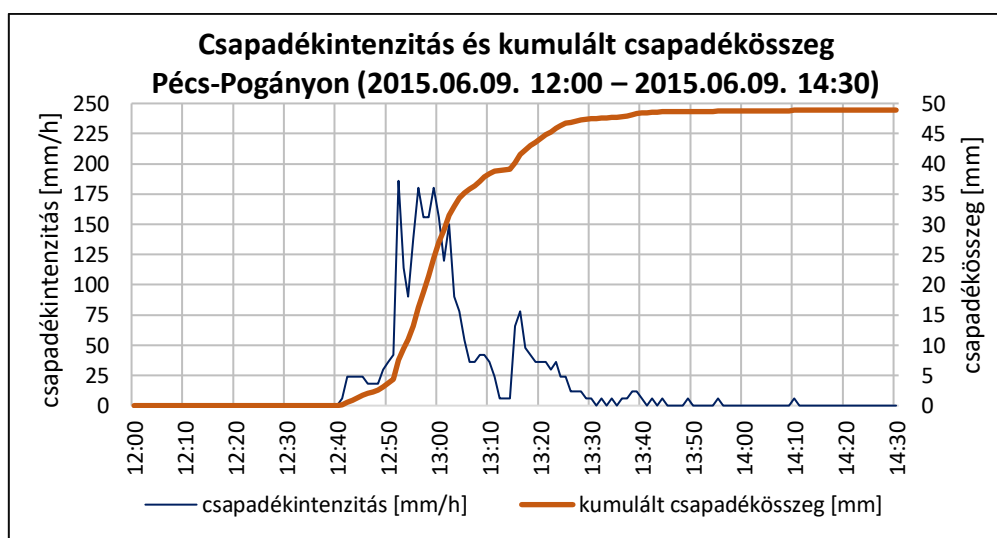
1997. június 19-énél a Pécs környéki állomásoknál is 30 mm feletti napi csapadék-összegeket láthattunk. Ezzel szemben 2015. június 9-én csak Pécs-Pogányon lépte át a 30 mm-t a csapadék mennyisége. Pécsen belül is igen jelentős különbségek alakultak ki. Míg a várostól délre a repülőtéren (Pécs-Pogány) 55 mm, Pécstől északra a Mecsekben, Árpádtetőn csupán 1 mm csapadék hullott (23. táblázat). A napi csapadékösszeget egészét ez az egy esemény adta 2015. június 9-én. A napijelentésben levő 55 mm-es érték nem automatából származik, az automata összeg 48,9 mm volt. Az 55 mm a hagyományos, „kézi” mérés eredménye, ami a Hellmann-rendszerű Oláh–Csomor-féle kettősfalú csapadékmérőből (Szentes, 2015) származik. A billenőedényes automata nagy intenzitás esetén több mint 10%-kal kevesebb csapadékot mér (39. ábra). 2015. június 9-én is rövid idő alatt hullott jelentős mennyiség, az automata csapadékösszege pedig 12,5%-kal el is maradt a hagyományos mérés eredményétől.

Állomás	Napi csapadékösszeg [mm]
Pécs-Pogány	55
Pécs-Árpádtető	1
Sellye	2
Máza	0,6
Váralja	1,9

23. táblázat

Napi csapadékösszegek néhány Pécs környéki állomáson 2015. június 9-én
(forrás: OMSZ, DDVIZIG, Napijelentés)

A 2015. június 9-ei csapadékos esemény 12:40-kor kezdődött és 14:10-kor fejeződött be, vagyis pont másfél óráig tartott (53. ábra). A legintenzívebb szakasz a csapadékhullás kezdetét követő 10. és 20. perc között volt, az egyperces mérésközű adatsor alapján a legnagyobb intenzitás a 12. percnél jelentkezett 186 mm/h-s intenzitással. Ez sokkal elmarad az 1997. június 19-ei esemény során az ombrográf által detektált legnagyobb egyperces csapadékindenzitástól, de fontos megjegyezni, hogy a billenőedényes automaták ekkora intenzitásnál a korábban említett olaszországi kísérletben (39. ábra) akár 20–25%-kal is elmaradtak a referencia értéktől.

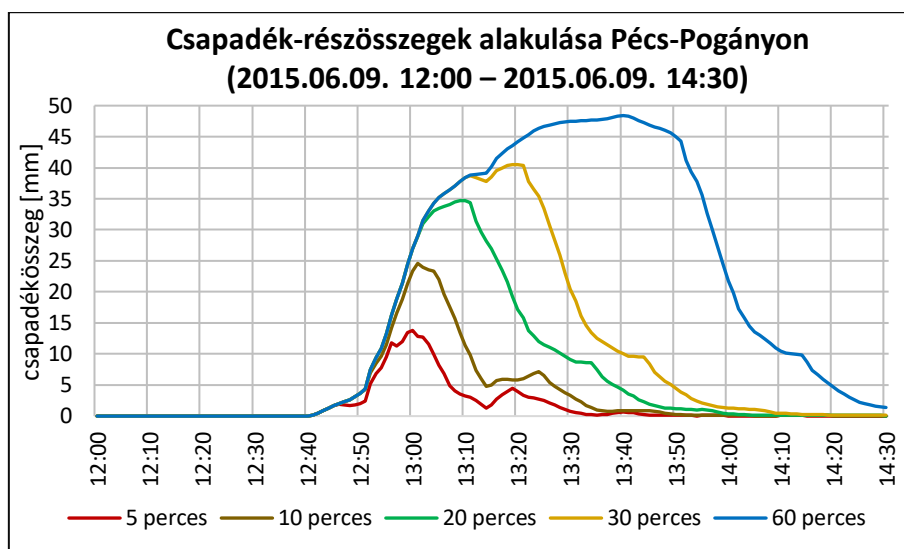


53. ábra

Egyperces adatokból számított csapadékindenzitás [mm/h] és kumulált csapadékösszeg Pécs-Pogányon a 2015. június 9-ei eseménynél

A csapadékhullás első 10 percében még alacsonyabb volt az csapadékindenzitás, majd ug-rásszerűen megemelkedett. A legintenzívebb szakasz 12:51 és 13:02 között volt, ahol a mért összeg a teljes mennyiség 55,4%-át teszi ki. Ekkor az egyperces intenzitás értékek 9 perc esetében meghaladták a 120 mm/h-t, azaz ezekben a percekben több mint 2 mm csapadék esett. Ebből a 9 percből 7-nél a 150 mm/h-t is meghaladta a csapadékindenzitás. Ezek a két küszöbérték feletti gyakoriságok megegyeznek az 1997-es eseménynél látottakkal. A maxi-mális értéknél (186 mm/h), a 12:51 és 12:52 perc közötti egy percben 3,1 mm-t csapadékot mért az automata, vagyis átlagosan 1,9 másodpercenként történt egy billenés. 13:10 körül jelentősen lecsökkent a csapadék intenzitása, majd 13:15 körül az elsónél sokkal kisebb, másodlagos maximum mutatkozik meg az adatsorban. Másfél órás volt a vizsgált esemény, de a csapadék 99,0%-a az első órában, 94,5%-a az első 45 percben, 77,7%-a az első fél órában hullott. Az utolsó 50–60 percben egyre gyengébb intenzitású csapadék a zivatarcella leépülő fázisában, az üllőből hullott, majd nem sokkal 14 óra után meg is szűnt.

Az egyes részösszegek csapadékos időszakon belüli alakulását láthatjuk az 54. ábrán. A csapadékintenzitás 12:50 utáni hirtelen növekedésével párhuzamosan a különböző részösszegek értéke is gyorsan gyarapodott. A legrövidebb, 5 és 10 perces csapadékhozamok maximumai 13:00 körül álltak be, ezeknél 13:20–13:25-nél kisebb másodlagos maximum mutatkozik.



54. ábra
Egyes csapadék-részösszegek időbeli alakulása
Pécs-Pogányon a 2015. június 9-ei esemény idején

A legintenzívebb 20, 30, valamint 60 perces blokkok az időszak kezdetétől számított 20, 30 és 60 perces intervallumok voltak. Mivel úgy alakult, hogy a csapadékhullás kezdete 12:40-kor volt, ezek a maximális részösszegek egész 10 perces időszakokba estek, ezért az 1 és 10 perces mérésközzel rendelkezésre álló adatsorokból számított maximális részösszegek megegyeznek (24. táblázat).

Mérésköz	Részösszegek				
	5 perces	10 perces	20 perces	30 perces	60 perces
1 perces	13,8	24,6	34,7	40,5	48,4
10 perces	–	23,3	34,7	40,5	48,4

24. táblázat
Billenőedényes automata 1 és 10 perces mérésközű adataiból számított
maximális részösszegek [mm] Pécs-Pogányon a 2015. június 9-ei eseménynél

7. Összefoglalás

A diplomamunka célja az volt, hogy feltárja a rövid idejű csapadékösszegek mintavételezésének problematikáját, rámutasson az elmúlt évtizedekben a rövid idejű részösszegek soraiban megmutatkozó tendenciákra, és példát mutasson a mérnöki gyakorlatban használatos intenzitás–időtartam–gyakoriság görbék előállítására. Az elemzésekhez Pécs-Pogány állomás 1997–2017-es időszakának 10 perces automata, 2009–2017-es 1 perces automata és az 1997-es év ombrográf mérései álltak rendelkezésemre.

A rövid idejű csapadékösszegek számítása során mintavételezésből adódó problémát jelentett, hogy korábban a csapadékíró lapok kiértékelésével történt a legintenzívebb 5, 10, 20, 30 és 60 perces részösszegek megállapítása, míg jelenleg jellemzően az automata mérőeszközök 10 perces részösszegeit tárolják az OMSZ adatbázisában. A munkám elején digitalizálnom kellett Pécs-Pogány állomás 1997. évi csapadékíró lapjait. Ahogy tapasztaltam a különböző részösszegek meghatározása a csapadékíró lapok alapján roppant fárasztó, időigényes tevékenység. Az 1997-es év legintenzívebb eseményének a feldolgozását egy digitalizáló program használatával végeztem el. Ezt követően az ombrográf és automata mérésekből számított részösszegeket, illetve azok eltéréseit elemeztem.

Az 1997–2017-es időszak automata mérései alapján a rövid idejű csapadék-részösszegek soraiban megmutatkozó tendenciák elemzésénél megállapítottam, hogy minden vizsgált részösszeg esetében az elmúlt két évtizedben szignifikáns emelkedésről beszélhetünk. A diplomamunkában vizsgáltam a maximális részösszegek éves, valamint a csapadékhullás jellemző napi és órás meneteit egyaránt.

A részösszegek mintavételezéséből adódó másik problémát az eltérő mérésközzel rendelkezésre álló automata csapadékadatok jelentették. A 2009–2017-es időszak elemzése során arra jutottam, hogy az 1 és 10 perces csapadékadatokból számított részösszegek közötti különbségek a nagyobb intenzitású csapadékok és rövidebb időtartamok felé növekedést mutatnak.

Elemeztem a rövid idejű intenzív csapadékok arányát a teljes (havi, évszakos, éves) csapadékösszegekből, az intenzív események időtartamát és az ezekből számított csapadékin-tenzitást. Az arányuk nem változott számottevően, de a hasonló mennyiségek az utóbbi években, évtizedben rövidebb idő alatt hullanak le. Ez pedig azt eredményezte, hogy az átlagos csapadékin-tenzitás ezeknél a rövid idejű intenzív csapadéku eseményeknél, különösen a nyári hónapokban számottevően emelkedett.

Készítettem a mérnöki gyakorlatban fontos IDF (intenzitás–időtartam–gyakoriság) görbéket is. Az IDF görbéket általánosított extrémérték (GEV) és általánosított Pareto (GP) eloszlás illesztésével, L-momentumok becsléssel állítottam elő. Továbbá GEV-eloszlás illesztésével a 10, 20, 30 és 60 perces részösszegeknél havi visszatérési szinteket is számítottam.

A két legjelentősebb, intenzív és nagy csapadékot adó időjárási esemény 1997. június 19-én és 2015. június 9-én lépett fel Pécs-Pogányon. Ezekről részletes esettanulmányokat is tartalmaz a diplomamunka.

Lehetséges távlati cél lehet az ország összes állomására elkészíteni az IDF görbéket, majd a kapott visszatérési szinteket rácshálózaton megjeleníteni. Ezt elvégezni különböző részösszegekre és visszatérési időkre, amely eredményeképpen a német KOSTRA-Atlas-hoz hasonló atlasz jöhetne létre Magyarországra vonatkozóan.

Köszönetnyilvánítás

Először is szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, dr. Lakatos Mónikának, aki végig mellettem állt, sok hasznos tanáccsal ellátott és a diplomamunka készítése során felmerülő akadályok leküzdésében is mindig segítségemre volt. Köszönet illeti belső konzulensemet, dr. Pongrácz Ritát is.

A diplomamunka nem készülhetett volna el a mérési adatsorok biztosítója, az Országos Meteorológiai Szolgálat nélkül.

Külön köszönöm Klaibán Sándornak a csapadékíró szalagok feldolgozásában nyújtott hasznos tanácsadását.

Köszönettel tartozom szüleimnek, barátaimnak és mindazoknak, akik mindvégig támogattak egyetemi tanulmányaim során.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm az ELTE Meteorológiai Tanszék oktatóinak, hogy a Tanszék hallgatója és több éven keresztül az Előrejelzési Vetélkedő szervezője lehettem.

Irodalomjegyzék

- Alexandersson, H, Førland, E J, Helminen, J, Sjöblom, N, & Tveito, O E., 2001: Extreme value analysis in the Nordic countries - pilot studies of minimum temperature and maximum daily precipitation and a review of methods in use. *DNMI Report 03/01 KLIMA, Norwegian meteorological institute, Oslo, Norway.*
- Bara, M., Kohnová, S., Gaál, L., Szolgay, J., Hlavčová, K., 2009: Estimation of IDF curves of extreme rainfall by simple scaling in Slovakia, *Contributions to Geophysics and Geodesy, Vol. 39/3, 2009, 187–206.*
- Bartels, H., Diezer, B., Malitz, G., Albrecht, F. M., Guttenberger, J., 2005: KOSTRA-DWD 2000, Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951 – 2000), Fortschreibungsbericht, *Deutscher Wetterdienst – Hydrometeorologie, Offenbach am Main, 53 p.*
- Bonnin, G M, Martin, D, Lin, B, Parzyok, T, Yekta, M, & Riley, D., 2006: Precipitation-Frequency Atlas of the United States, Volume 1, Version 4.0: Semiarid Southwest (Arizona, Southeast California, Nevada, New Mexico). *NOAA Atlas 14.*
- Bors, M., 2014: Pécs éghajlati idősorának tendencia elemzése, Szakdolgozat, *Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 68 p.*
- Bozsó, D., Rakonczai, P., Zempléni, A., 2005: Árvizek a Tiszán és néhány mellékfolyóján, extrémérték-modellezés a gyakorlatban, *Statisztikai Szemle, 83. évfolyam, 2005. 10–11. szám, 919-936.*
- Bronstert, A., 2004: Einführung in die Hydrologie, Unterlagen zur Vorlesung im Grundstudium für den Studiengang Geoökologie und für Studiengänge der Geographie, *Universität Potsdam, Institut für Geoökologie, Lehrstuhl für Hydrologie und Klimatologie, D – 14415 Potsdam, 22–43.*
- Casanueva, A., Rodríguez-Puebla, C., Frías, M. D., González-Reviriego, N., 2014: Variability of extreme precipitation over Europe and its relationships with teleconnection patterns, *Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 2014, 709–725.*
- Chang, K. B., Lai, S. H., Faridah, O., 2013: RainIDF: automated derivation of rainfall intensity–duration–frequency relationship from annual maxima and partial duration series, *Journal of Hydroinformatics, DOI: 10.2166/hydro.2013.192, IWA Publishing, London, 1224–1233.*
- Chatterton, J., C. Viavattene, J. Morris, E. Penning-Rowsell, and S. Tapsell, 2010: The Costs of the Summer 2007 Floods in England. *Project: SC070039/R1, Environment Agency (EA), Bristol, UK, 41 p.*
- Dyrddal, A. V., 2015: Estimating extreme precipitation on different spatial and temporal scales in Norway, Dissertation for the degree of Philosophiae Doctor (PhD), *Series of dissertations submitted to the Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo, 2015, No. 1684, ISSN 1501-7710, 96 p.*
- Fitzgerald, D. L., 2007: Estimation of Point Rainfall Frequencies, *Met Éireann, Glasnevin Hill, Dublin 9, Ireland, 53 p.*

- Gayer, J., Ligetvári, F., 2006: Települési vízgazdálkodás csapadékvíz elhelyezés, *VITUKI, Budapest*, 76–90.
- Greenwood, J. A., Landwehr, J. M., Matalas, N. C., Wallis, J. R., 1979: Probability weighted moments: Definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form, *Water Resources Research*, 15(5), 1049–1054.
- Hosking, J. R. M., 1990: L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics, *J. R. Stat. Soc. Ser. B.*, Vol. 52, 105–124.
- Hosking, J. R. M., Wallis, J. R., 1997: Regional Frequency Analysis: An Approach based on L-Moments, *Cambridge University Press, Cambridge, UK*
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2000: Special Report on Emissions Scenarios, N. Nakicenovic (ed.), *Cambridge University Press, Cambridge, UK*
- IPCC SREX, 2011: Special Report of IPCC on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, Summary for Policymakers.
- Joyce, R. J., J. E. Janowiak, P. A. Arkin, and P. Xie, 2004: CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution.. *J. Hydromet.*, 5, 487–503.
- Kakas, J., 1937: Felhőszakadás Budapesten 1937. május 23-án, *Időjárás*, Vol. 41., 198–207.
- Kovács, T., 2015: Felhőszakadás 2015. augusztus 17-én, *Országos Meteorológiai Szolgálat*, http://www.met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=1380&hir=Fel-hoszakadas_2015._augusztus_17-en
- Kovats, R.S., R. Valentini, L.M. Bouwer, E. Georgopoulou, D. Jacob, E. Martin, M. Rounsevell, and J.-F. Soussana, 2014: Europe. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. *Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA*, pp. 1267–1326.
- Kundzewicz, Z. W., 2005: Is the Frequency and Intensity of Flooding Changing in Europe? In: Kirch, W., Menne, B., Berollini, R. (eds), *Extreme Weather Events and Public Health Responses*, Springer, Berlin, 25–32.
- Kurtyka, J. C., 1953: Precipitation measurement study, *Illinois State Water Survey Rpt. of Investigation No. 20, Urbana*, 3-43.
- Kysely, J. & Picek, J., 2007: Regional growth curves and improved design values estimates of extreme precipitation events in the Czech Republic. *Clim. Res.*, 33, 243–255.
- Lakatos, M., Hoffmann, L., 2017: Rendkívüli csapadékhullás Budapest belvárosában, *Országos Meteorológiai Szolgálat*, http://met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=1885&hir=Rendkivuli_csapadekhullas_Budapest_belvarosaban

- Lakatos, M., Matyasovszky, I., 2004: Analysis of the extremity of precipitation intensity using the POT method, *Időjárás*, Vol. 108., No. 3., 163–171.
- Lanza, L. G., Vuerich, E., Gnecco, I., 2010: Analysis of highly accurate rain intensity measurements from a field test site, *Adv. Geosci.*, 25, 37–44.
- Larsen, A. N., Gregersen, I. B., Christensen, O. B., Linde, J. J., Mikkelsen, P. S., 2008: Future development in extreme one-hour precipitation over Europe due to climate change, *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK, 2008
- Malitz, G., Ertel, H., 2015: Starkniederschlagshöhen für Deutschland, Bezugszeitraum 1951 bis 2010, Abschlussbericht, *Deutscher Wetterdienst – Hydrometeorologie*, Offenbach am Main, 40 p.
- Marra, F., Morin, E., Peleg, N., Mei, Y., Anagnostou, E. N., 2017: Intensity–duration–frequency curves from remote sensing rainfall estimates: comparing satellite and weather radar over the eastern Mediterranean, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 2017, 2389–2404.
- Mészáros R., 2013: Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek, *Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest*, 62-67. <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MeteorologiaiMuszerekEsMerorendszerek/book.pdf>
- Réthy, A., 1932: Felhőszakadás Budapesten (1929. aug. 13.), *Időjárás*, Vol. 36., 157–165.
- Réthy, A., 1935: Felhőszakadás Budapesten 1932. július 11-én, *Időjárás*, Vol. 39., 213–222.
- Réthy, A., Bacsó, N., 1938: Időjárás-éghajlat és Magyarország éghajlata, *A Magyar Meteorológiai Társaság Kiadványa*, 3. kötet, Budapest, 381 p.
- Rulfová, Z., Kysely, J., 2013: Disaggregating convective and stratiform precipitation from station weather data, *Atmospheric Research*, 134, 100-115.
- Rulfová, Z., Kysely, J., 2014: Trends of Convective and Stratiform Precipitation in the Czech Republic, 1982–2010, *Advances in Meteorology*, 2014, 11p.
- Stedinger, J. R., Vogel, R. M., Foufoula-Georgiou, E., 1993: Frequency Analysis of Extreme Events: Chapter 18, *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, New York, 68 p.
- Strangeways, I., 2007: Precipitation: theory, measurement and distribution, *Cambridge University Press*, New York, 139-181.
- Szentes, L. O., 2015: A Kelet-Mecsek csapadékviszonyai az 1901–2013-as időszakban, Szakdolgozat, *Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest*, 74 p.
- Van Gelder, P. H. A. J. M., Pandey, M. D., 2005: An analysis of drag forces based on L-moments, *Advances in Safety and Reliability – Kolowrocki (ed.)*, Taylor & Francis Group, London, 661-668.
- Várad, F., Nemes, Cs., 1992: Rövid időtartamú csapadékmaximumok gyakorisága Magyarországon, *Légtér XXXVII. évfolyam* 3. szám, 8–13.

- Weder, Ch., Müller, G., Brümmer, B., 2017: Precipitation extremes on time scales from minute to month measured at the Hamburg Weather Mast 1997–2014 and their relation to synoptic weather types, *Meteorologische Zeitschrift, PrePub Article, 2017, Gebrüder Borntraeger Science Publishers, Stuttgart*
- Wüest, M., Frei, Ch., Altenhoff, A., Hagen, M., Litschi, M., Schär, Ch., 2010: A gridded hourly precipitation dataset for Switzerland using rain-gauge analysis and radar-based disaggregation, *International Journal of Climatology, 30, 2010, 1764–1775.*
- Zolina, O., 2012: Changes in European Extreme Precipitation. In: “Changes of Flood Risk in Europe”, edited by Zbyszek Kundzewicz, *IAHS Press (Wallingford, UK), ISBN 978-1-907161-28-5, 97–120.*

Internetes hivatkozások

[1 – met.hu]

http://met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evszakok_idojarasa/

[2 – NOAA reanalysis]

<http://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php?map=1&model=noaa&var=1>

[3 – Napijelentés]

http://2.eumet.hu/naprol-napra/1997/pdhb19970620_0600.png

[4 – CFS reanalysis]

<http://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php?map=1&model=cfsr&var=1>

[5 – Napijelentés]

http://met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/

[6 – NASA]

<https://worldview.earthdata.nasa.gov>

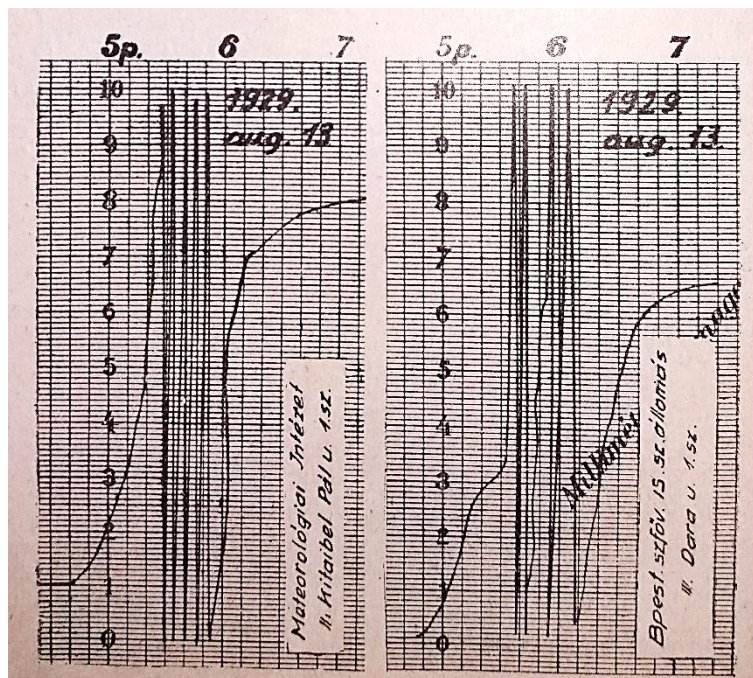
[7 – MetNet]

<https://www.metnet.hu/radarkep>

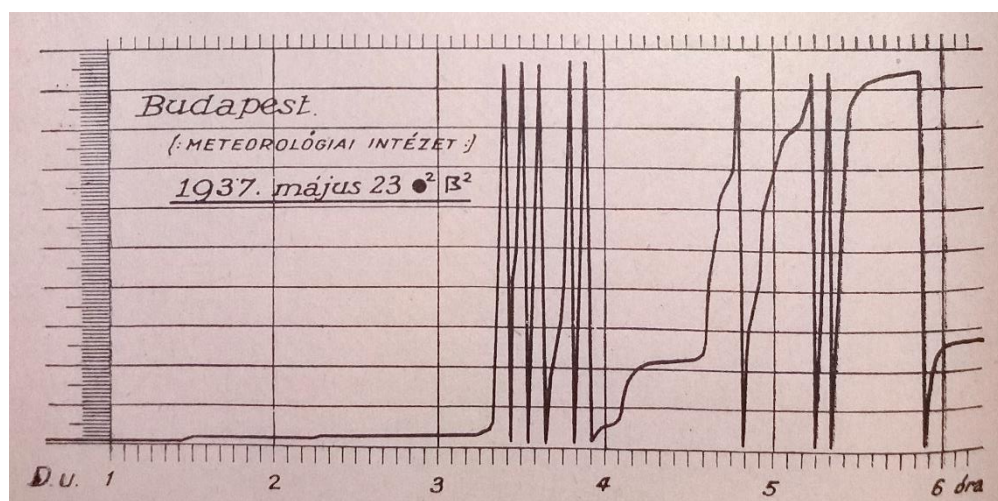
– Mellékletek –

1. számú melléklet

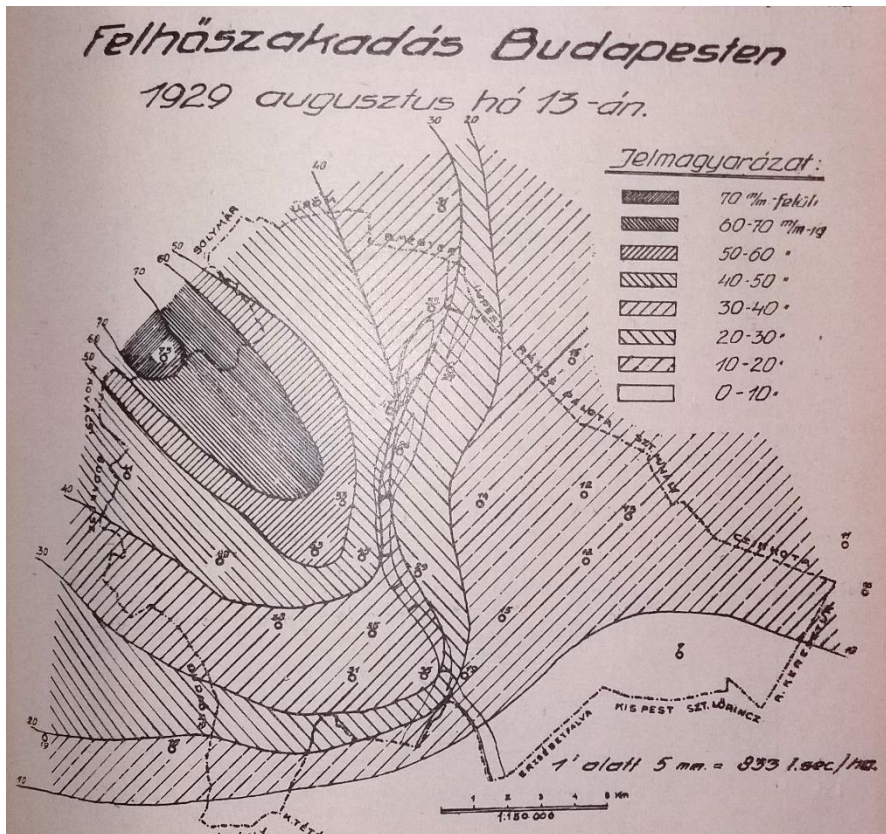
Néhány budapesti állomás csapadékíró szalag másolata és kettő fővárosi csapadéktérkép az 1929–1937-es időszakban előfordult felhőszakadásokról (Réthly és Bacsó, 1938)



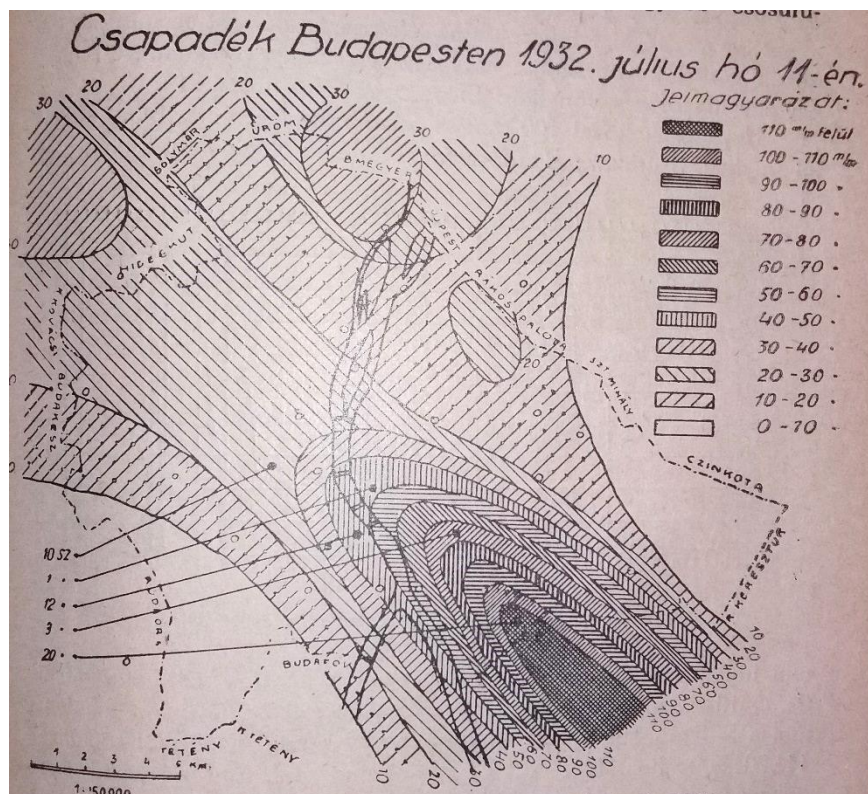
Csapadékíró szalagok (1929. augusztus 13.) két budapesti állomásról
Állomások: Kitaibel utca (balra), Dara utca (jobbra)



Csapadékíró szalag másolata (1937. május 23.)
Állomás: Budapest, Kitaibel utca



A csapadék eloszlása Budapestén 1929. augusztus 13-án



A csapadék eloszlása Budapestén 1932. július 11-én

2. számú melléklet
Különböző csapadék-részösszegek havi maximumának
visszatérési szintjei [mm] adott visszatérési idő mellett Pécs-Pogányon (1997–2017)
GEV-eloszlás illesztésével, L-momentumok becsléssel

Részösszegek: 10 perces (a), 20 perces (b), 30 perces (c), 60 perces (d)

a) Hónap	Visszatérési idő							
	2 év	5 év	10 év	20 év	50 év	100 év	500 év	1000 év
január	1,0	1,5	1,8	2,3	2,9	3,4	4,9	5,6
február	1,2	1,7	2,0	2,4	2,8	3,2	3,9	4,2
március	1,4	2,2	2,9	3,8	5,3	6,7	11,1	13,8
április	2,8	4,5	5,9	7,4	9,6	11,4	16,1	18,4
május	5,8	8,5	10,8	13,5	17,6	21,2	31,6	37,2
június	8,8	13,0	16,7	21,2	28,2	34,6	54,1	65,0
július	6,2	9,4	12,6	16,5	23,2	29,8	51,8	65,4
augusztus	7,6	10,8	13,1	15,3	18,0	20,0	24,3	26,0
szeptember	5,0	8,0	10,6	13,5	18,0	22,0	33,4	39,5
október	2,9	4,3	5,5	6,9	9,1	11,1	16,9	20,0
november	1,9	2,6	3,3	3,9	4,9	5,6	7,6	8,5
december	1,1	1,7	2,2	2,7	3,4	4,0	5,5	6,2

b) Hónap	Visszatérési idő							
	2 év	5 év	10 év	20 év	50 év	100 év	500 év	1000 év
január	1,7	2,5	3,1	3,8	4,9	5,8	8,2	9,4
február	2,2	2,7	3,1	3,3	3,6	3,8	4,0	4,1
március	2,2	3,4	4,5	5,8	7,9	9,9	16,1	19,7
április	4,4	7,0	9,1	11,3	14,5	17,1	23,8	27,0
május	8,8	12,9	16,6	20,7	26,9	32,3	47,5	55,5
június	13,6	20,2	25,9	32,4	42,4	51,2	76,6	90,1
július	9,4	14,3	19,1	24,9	34,7	44,1	75,0	93,7
augusztus	11,0	15,6	19,1	22,7	27,4	31,1	39,6	43,4
szeptember	6,9	11,3	15,7	21,4	31,4	41,5	77,1	100,0
október	4,5	6,5	8,3	10,4	13,7	16,6	25,4	30,1
november	2,9	4,0	4,8	5,7	6,9	7,7	9,9	10,8
december	1,9	2,9	3,7	4,6	5,9	7,0	9,8	11,2

c)

Visszatérési idő								
Hónap	2 év	5 év	10 év	20 év	50 év	100 év	500 év	1000 év
január	2,3	3,4	4,2	5,2	6,6	7,8	10,9	12,4
február	2,9	3,6	4,0	4,3	4,5	4,7	4,9	5,0
március	3,0	4,5	5,7	7,0	8,9	10,6	14,9	17,0
április	5,1	7,7	9,7	11,8	14,7	17,0	22,5	25,0
május	10,0	14,9	19,4	24,6	32,8	40,2	62,6	75,0
június	15,9	23,4	29,8	37,0	47,8	57,1	83,1	96,5
július	11,2	17,1	22,5	29,0	39,5	49,2	79,5	96,8
augusztus	12,8	18,7	23,7	29,0	36,7	43,0	59,9	68,2
szeptember	7,8	12,5	17,3	23,5	34,4	45,4	84,5	109,8
október	5,7	8,2	10,4	12,9	16,8	20,3	30,3	35,7
november	3,7	5,0	6,0	7,0	8,3	9,4	11,7	12,7
december	2,5	3,8	4,8	5,8	7,2	8,3	10,9	12,1

d)

Visszatérési idő								
Hónap	2 év	5 év	10 év	20 év	50 év	100 év	500 év	1000 év
január	3,6	5,3	6,7	8,2	10,3	12,0	16,4	18,4
február	4,3	5,6	6,4	7,1	7,9	8,4	9,3	9,6
március	4,5	6,4	8,0	9,7	12,1	14,0	18,8	21,0
április	6,4	9,2	11,2	13,2	15,8	17,7	22,0	23,7
május	12,0	17,5	22,7	28,9	39,0	48,4	78,1	95,2
június	18,7	27,2	34,5	42,9	55,6	66,7	98,3	114,9
július	13,8	20,0	25,0	30,5	38,4	45,0	62,4	70,9
augusztus	15,8	23,7	30,5	38,0	49,5	59,3	87,0	101,3
szeptember	10,2	14,9	19,5	25,2	35,1	44,7	77,6	97,9
október	8,3	11,5	14,1	17,0	21,2	24,7	33,9	38,5
november	5,5	7,7	9,4	11,1	13,5	15,4	20,1	22,2
december	4,2	6,1	7,4	8,7	10,3	11,5	14,0	14,9

NYILATKOZAT

Név: Szentés László Olivér

ELTE Természettudományi Kar

Meteorológus MSc

időjárás-előrejelző szakirány

NEPTUN azonosító: M13FHT

Diplomamunka címe: A rövid idejű intenzív esapadékok statisztikai vizsgálata

A **diplomamunka** szerzőjeként fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem, hogy a dolgozatom önálló munkám eredménye, saját szellemi termékem, abban a hivatkozások és idézések standard szabályait következetesen alkalmaztam, mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.

Budapest, 2018. május 11.

a hallgató aláírása