

Hellmann–Fuess-csapadékírók szisztematikus hibájának korrekciója a feldolgozott záporadatokban

Bevezetés

Sajátos kettősség az, hogy a víz, amely az egyén és a társadalom létehez alapvetően szükséges elem, számos veszély és kár forrása is lehet. A társadalom által épített és működtetett javak, mérnöki létesítmények, eszközök, erőforrások, általában a környezetünk csapadékok elleni védelme folyamatos feladatot jelentett az emberiségnek a története folyamán. A csapadékok a legkülönbözőbb módon tehetnek kárt az ember környezetében, ami a civilizáció kezdetétől arra ösztönözte az embereket, hogy a létesítményeiket, a termőföldet, a termést a csapadék okozta közvetlen és a csapadék keltette árvíz formájában jelentkező közvetett károktól megvédje. A javakra a legnagyobb veszélyt, a vízelvezető rendszerekre pedig a legnagyobb terhelést a rövid idejű nagycsapadékok jelentik. A rövid idejű nagycsapadékok hatása túlmutat a mérnöki (vízmérnöki) szakterületen, és például környezetgazdálkodási, mezőgazdasági szempontból is releváns kérdés. Utóbbi területeken az érdeklődés elsődleges oka a nagy intenzitású csapadékok által kiváltott erózió. A gyorsan kialakuló intenzív felszíni lefolyás révén leöblítéses, majd árkos erózió alakul ki, a víz a termőtalajt elszállítja, és másutt áthalmozza, lerakja [1] [2]. Mind az erózió, mind a hordaléklerakás a természeti, mezőgazdasági vagy települési környezet károsodását okozza [3]. A rövid idejű nagycsapadékok kérdéskörének vizsgálata tehát a környezettudomány és agrártudomány körében is érdeklődésre tart számot. A téma kutatása a globális felmelegedés és klímaváltozás miatt is előtérbe került, minthogy a változás kimutatásához szükséges referenciaadatok a történeti méréseken alapulnak. Belátható, hogy a változások megfelelő értékelése csak a számottevő pontatlanságoktól mentesített referenciaadatok alapján biztosítható.

A történeti csapadékadatok pontatlanságai három nagy kategóriába sorolhatók, ezek a csapadékgyűjtés során, a mérés folyamatában, valamint az adatfeldolgozásban jelentkező hibákat tartalmazzák. Ezek a hibák vonatkoznak a jelen dolgozat vizsgálatának tárgyát képező Hellmann–Fuess rendszerű szifonos

leürítésű szintmérési csapadékmérőkre (SRW) is, e hibák közül itt a mérési folyamata során bekövetkező szisztematikus hibát vizsgálom, megjegyezve ugyanakkor, hogy hasonló nagyságrendű hibaforrást jelent a csapadékmérés során a szél hatása. A szél okozta hiba javítására (amennyiben hatásának csökkentésére nem került sor megfelelő árnyékoló megoldásokkal) jelenleg nem áll rendelkezésre megfelelő korrekciós eljárás a csapadékmérőkre, és általában az egy napnál rövidebb mérési időtartamok esetére.

Az SRW-mérők a pontbeli, közvetlen gyűjtési csapadékmérési eljárások csoportjába tartoznak. Működési elvük a csapadékmennyiség folyamatos rögzítése egy gyűjtőtartály szintmérése révén. A gyűjtött csapadék mennyiségét a gyűjtőtartályban elhelyezett úszó függőleges elmozdulásával lehet mérni. Az úszóhoz rögzített toll egy egyenletes sebességgel mozgó henger palástjára rögzített regisztrációs szalagon folyamatos vonallal teszi láthatóvá a vízszint alakulását. A regisztrációs szalag az SRW-berendezések esetében jellemzően 10-15 mm csapadékösszegnek felel meg, így amikor ezt a mennyiséget eléri a vízszint, akkor a gyűjtőtartály leürítése szükséges. Ezt az SRW-berendezések szifonos leürítéssel biztosítják. Az SRW-műszerek szisztematikus mérési hibáját az okozza, hogy a leürítés időtartama alatt az adatrögzítés szünetel, a toll egy ferde vonalat húz a legnagyobb mérhető szint vonalától a nulla szintig. Noha a csapadék direkt mérése nem történik meg ilyenkor, a meg nem mért vízmennyiségre közvetett módon lehet következtetni, mivel a szifon leürüléséhez csapadékterhelés nélküli esetben szükséges időhöz képest a csapadékhozam növekedésével a leürítési idő is nő.

A magyar vízügyi szolgálat kb. a 2000-es évekig alkalmazott az észlelő-hálózatában SRW-berendezéseket. Az e hálózaton gyűjtött adatok rögzítésének rendje a következő volt. A csapadék elejét és végét egy tízperces osztású adatlapon jelölték, az időszakban hullott csapadékmagasságot, valamint ezen túl a leghevesebb csapadékú időszak intenzitását és hosszát feljegyezték. A vízügyi szolgálatnál vezetett csapadékkartonok ezért, a tízperces rögzített időszakról elszakadva, az intenzív időszak „tényleges” hosszát és csapadékintenzitását tartalmazták. Észlelték az intenzív csapadék esetén kialakuló hibát, és annak észlelésével együtt a javítására is készült javaslat [4]. Arra viszont nem találtam utalást, hogy ezt a korrekciót valóban alkalmazták-e. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (a továbbiakban: OMSZ) SRW-készülékekkel kapcsolatos adatfeldolgozási és adatjavítási eljárásáról Szentés ad leírást [5]. E szerint az SRW-készülék mellett egy hagyományos napi leolvasású mérő is működött. Az SRW regisztrálószalagjáról az előre rögzített időtartamú időszakokra (5, 10,

20, 30 stb. perc) leszámolták a csapadékösszegeket, és ezekből számítottak átlagos intenzitásértékeket. Amennyiben a hagyományos csapadékmérő napi adatai eltértek az SRW-berendezés összegzett napi adataitól, korrekciót alkalmaztak. A két mérő különbségét a hatvanperces csapadékösszegekhez írták hozzá, így a hibát önkényesen az egyik időintervallumra osztották. Ezzel számszerűen „eltűnt” az SRW-berendezés alulmérése, ugyanakkor a rövidebb heves időszakok intenzitásértékét nem javították ki, noha, amint azt később bemutatom, a hiba leginkább ott következhetett be.

A leürítéssel kapcsolatos probléma megoldására szabatos megoldást adott Luyckx és Berlamont, elméleti hidraulikai levezetéssel és laboratóriumi mérésekkel [6]. Javaslatuk, hasonlóan Kallóséhoz, a regisztrálószalag adatainak javítására vonatkozik. Amennyiben a regisztrációs szalag nem áll rendelkezésre, az eljárás nem alkalmazható.

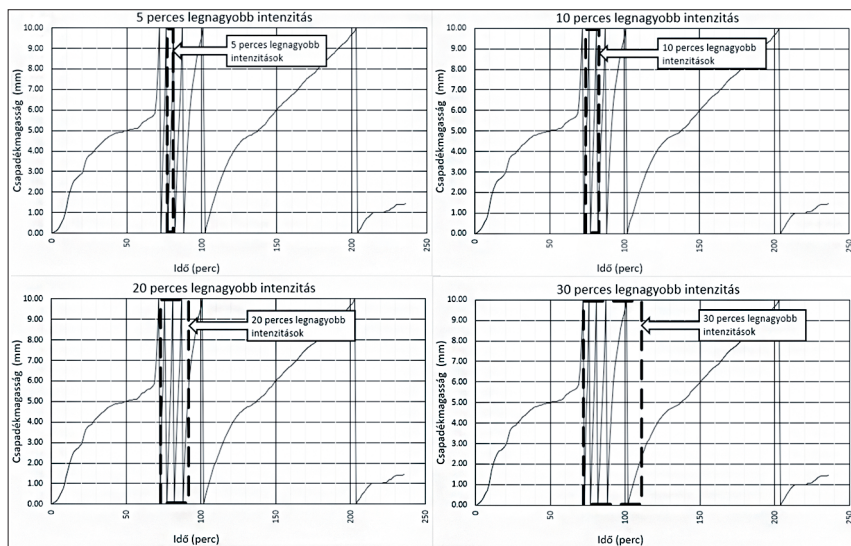
A jelen dolgozatban a szisztematikus hiba javítására a Luyckx és Berlamont módszere alapján kifejlesztett és publikált eljárást mutatom be [7] [8], amelyet a Hellmann–Fuess-mérők esetére alkalmaztam. Ismertetem a javítás hatását a csapadékinテンzitások évi legnagyobb értékeinek empirikus eloszlására a Budapest Belterület csapadékmérő állomás vonatkozásában.

A szifonos csapadékirók szalagjainak feldolgozását a legegyszerűbb módon, a legfontosabb adatok kinyerésére kellett korlátozni. A regisztrációs szalagok feldolgozásának a bevezetésben leírt folyamatot követően az 1. ábrán bemutatott táblázat lett az eredménye.

Állomás: <u>Budapest</u>										Év: <u>1966.</u>					
Mérő: _____										Hónap: _____					
N°	kís. nap	kezdet		vége		Idő-tartam (perc)	Összeg (mm)	maximális részösszegek							
		óra	perc	óra	perc			5 perc	10 perc	20 perc	30 perc	1 óra	3 óra		
01	<u>1</u>	<u>Apr. 13</u>													
02	<u>2</u>						<u>1,6</u>						<u>0,5</u>		
03	<u>3</u>						<u>9,5</u>						<u>1,6</u>		
04	<u>4</u>						<u>2,3</u>	<u>0,5</u>	<u>0,8</u>	<u>1,3</u>	<u>2,0</u>	<u>2,3</u>			
05	<u>5</u>						<u>1,6</u>	<u>0,8</u>	<u>0,9</u>	<u>0,9</u>	<u>0,9</u>	<u>0,9</u>			
06	<u>6</u>						<u>6,0</u>	<u>1,8</u>	<u>2,8</u>	<u>3,5</u>	<u>4,4</u>	<u>5,2</u>			
07	<u>7</u>						<u>8,4</u>	<u>0,3</u>	<u>0,6</u>	<u>1,0</u>	<u>1,4</u>	<u>2,5</u>			
08	<u>8</u>						<u>8,4</u>	<u>0,3</u>	<u>0,5</u>	<u>0,8</u>	<u>1,0</u>	<u>1,0</u>			
09	<u>9</u>						<u>1,2</u>	<u>0,4</u>	<u>0,6</u>	<u>0,8</u>	<u>1,0</u>	<u>1,2</u>			
10	<u>10</u>						<u>6,9</u>	<u>0,3</u>	<u>0,4</u>	<u>0,6</u>	<u>0,7</u>	<u>0,7</u>			
11	<u>11</u>						<u>1,9</u>	<u>0,6</u>	<u>1,2</u>	<u>2,1</u>	<u>2,3</u>	<u>2,4</u>			
12	<u>12</u>						<u>2,0</u>	<u>0,5</u>	<u>0,7</u>	<u>0,8</u>	<u>0,9</u>	<u>1,0</u>			
13	<u>13</u>						<u>1,0</u>	<u>0,2</u>	<u>0,4</u>	<u>0,6</u>	<u>0,7</u>	<u>0,8</u>			
14	<u>14</u>						<u>3,7</u>	<u>1,0</u>	<u>1,9</u>	<u>3,0</u>	<u>3,3</u>	<u>3,7</u>			

1. ábra: Kivonatos csapadékinテンzítás-adatok Hellmann-csapadékiró regisztrációs szalagja alapján (OMSZ)

Az adatkartonon látható, hogy általában az egyes csapadékesemények 5, 10, 20, 30, 60 perces összefüggő időszakainak legnagyobb csapadékösszegeit tüntették fel. Az adatokból már nem derül ki, hogy az adott csapadék esetében hány alkalommal történt automatikus leürítés, azaz hány alkalommal következett be a leürítés során mérési hiba. A hiba mértéke sem derül ki, mivel csak az adott intervallum átlagintenzitását ismerhetjük meg, holott a hiba a pillanatnyi intenzitástól függ. A 2. ábra illusztrálja azt, hogy adott esetben a legnagyobb intenzitás időszakában változatos intenzitások mellett kerülhet sor a leürítésre. Minél hosszabb a vizsgált intervallum, annál többféle átlagos intenzitás előfordulásával kell számolni, illetve ha rövidebb az intervallum, valószínűbb, hogy a leürítés időszakának átlagos intenzitása a vizsgált időintervallum átlagintenzitásához közel esik, azzal helyettesíthető. A 2. ábrán egy németországi csapadékmérőn észlelt nagycsapadék adatai alapján szimulált SRW regisztrátuma látható, a leírt módszerrel kimutatott legnagyobb intenzitású 5, 10, 20 és 30 perces intervallumokkal.



2. ábra: Egy csapadék mesterségesen előállított SRW-diagramja, a legnagyobb 5, 10, 20 és 30 perces intenzitású időablakkal (a szerző szerkesztése)

Amennyiben ezeket az adatokat feldolgoznánk az 1. ábra szerint, az adatkartókra csak a szaggatott vonalakkal jelölt időablakok időszakában mért összesített csapadékmagasságok kerülnének, tekintet nélkül arra, hogy volt-e ott szifonos leürítés, vagy sem, illetve mennyi leürítés történt. Nem lehet azt sem tudni, hogy hol állt a víz a műszer mérőtartályában.

Anyag és módszer

Az alábbi fejezetben a bevezetésben leírt eszköz és az általa végzett adatgyűjtés során fellépő hiba javítását mutatom be.

Az SRW-készülékek szisztematikus hibájának javítása

Az SRW-mérők feldolgozott adatainak javítására eljárást fejlesztettem ki [7], majd alkalmaztam [8]. A képletek leürítési veszteség becslésével javítják meg a csapadékintenzitás értékét azon az alapon, hogy a leürítések becsült száma és a nyers adatként ismert csapadékintenzitás szorzataként meghatározható a nem mért csapadékmennyiség [7]. A csapadékintenzitás alapján így módosított csapadékmennyiséggel újra számolható, korrigálható a mérés eredménye. Nem mindegy, hogy a mérőben a kezdeti vízszint mekkora. Amennyiben nullértékű, úgy a korrekciók száma egyszerűen számolható, viszont ez a feltétel a legritkább esetben áll fenn. A valóságban a kezdeti vízszint egyenletes eloszlású valószínűségi változó, amelynek értékét a várható értékével lehet közelíteni, amely a műszer mérési tartományának a fele, így a Hellmann-mérő esetében 5 mm [8]. Ebből az is következik, hogy a javítás statisztikai alapú közelítés, mivel az ismeretlen kezdeti vízszintet annak várható értékével becsülve vesszük figyelembe.

A képlet kezdeti vízszintet figyelembe vevő alakja a következő (1. képlet):

$$i_{corr} = \frac{\left(t + \text{int} \left(\frac{h_0 + t \cdot i_t}{h_s} \right) \left(\frac{t_{s,0}}{1 - \frac{A_f \cdot i_t}{q_s}} \right) \right)}{t} \cdot i_t$$

1. képlet: Csapadékintenzitás korrekciója t perces intervallumhoz, SRW-berendezés feldolgozott adataihoz [8]

Ahol

- t – a vizsgált időintervallum hossza (s);
 i_t – nyers (mért) csapadékinzintás a t intervallumra (mm/s);
 i_{corr} – javított csapadékinzintás a t intervallumra (mm/s);
 h_0 – kezdeti vízszint a csapadékmérő gyűjtőtartályában (mm);
 h_s – a regisztrációs szalagon mérhető csapadékösszeg (mm);
 $t_{s,0}$ – a mérő leürítésének időtartama vízutánpótlás nélkül (s);
 A_f – a csapadékmérő gyűjtőfelülete (mm²);
 q_s – a szifon leürítési vízhozama (mm³/s).

Amennyiben a nyers és a javított csapadékinzintást direkt módon, a szokásos mm/h egységben kell kezelni, akkor a fenti képlet kiegészül az időegység váltószámaival, az alábbi szerint (2. képlet):

$$i_{corr} = \frac{\left(t + \text{int} \left(\frac{h_0 + t \cdot i_t / 3600}{h_s} \right) \left(\frac{t_{s,0}}{1 - \frac{A_f \cdot i_t / 3600}{q_s}} \right) \right)}{t} \cdot i_t$$

2. képlet: Korrekciós képlet a Hellmann–Fuess SRW-berendezéshez [8]

A Hellmann-csapadékiró képletben használandó paraméterei [9]:

- $t_{s,0} = 18$ s,
 $q_s = 12\,500$ mm³/s,
 $A_f = 20\,000$ mm²,
 $h_s = 10$ mm,
 $h_0 = 5$ mm.

Mint hogy a javítás a kezdeti vízszintet mint valószínűségi változót a várható értékével veszi figyelembe, az eljárás nem determinisztikus jellegű. Ez azt eredményezi, hogy ha a vízszint kisebb, akkor felüljavítás, ha nagyobb, akkor a szükségesnél kisebb javítás következik be. A kezdeti vízszint értékének megfeleltetése szimulált csapadékinzintás-adatokból számolt eredmények összehasonlításával mutatható be. Ennek során három esetre, a véletlenszerűen kialakuló h_0 érték mellett $h_0 = 5$ mm kezdeti értékre, valamint $h_0 = 0$ mm értékre történik meg az 5 mm-es kezdeti vízszint alkalmazásának igazolása.

A paraméterekkel az OMSZ Budapest Belváros csapadékmérőjén Hellmann–Fuess-berendezéssel az 1915–1992-es időszakban mért éves legnagyobb 5, 10,

20, 30 és 60 perces csapadékintenzitás-adatok korrekciójára kerül sor. Hasonló vizsgálat készült korábbi szakcikkemben, ott billenőkanalas mérővel mért adatokkal kiegészített idősorra [8].

A csapadékintenzitás-adatok korrekciójának hatását az eredeti nyers és javított adatok empirikus eloszlásfüggvényének, az illetett valószínűségi eloszlások és a korrekció IDF-görbe-adatai segítségével mutatjuk be.

Eredmények és az eredmények értékelése

A korrekció végrehajtása és értékelése

A Budapest Belterület csapadékmérő állomásra Hellmann-csapadékiróval rögzített adatok alapján az 1. és 2. képlet segítségével elvégzett korrekció eredményeit a 3–7. ábrákon mutatom be.

Az ábrákon az intenzitások abszolút értékeinek lényeges különbsége miatt eltérő a függőleges skálázás, ami az összemérhetőséget kismértékben nehezíti, ezért az eltérések átlagát és szélsőértékét, százalékban kifejezve, az 1. táblázatban is feltüntettem.

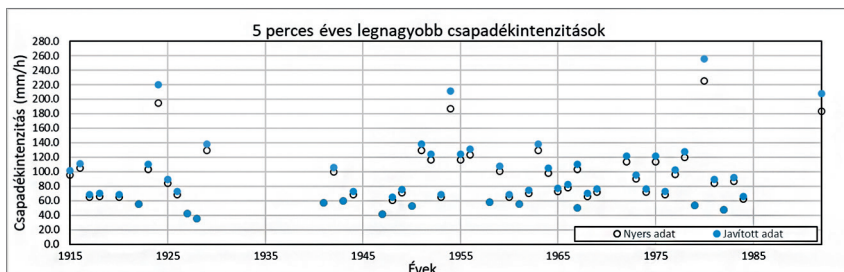
1. táblázat: Javított csapadékintenzitások eltérése a nyers adathoz képest (%) (a szerző szerkesztése)

Vizsgált intervallumok					
	5 perces	10 perces	20 perces	30 perces	60 perces
Átlag	105%	103%	102%	102%	101%
Maximum	113%	110%	105%	104%	103%

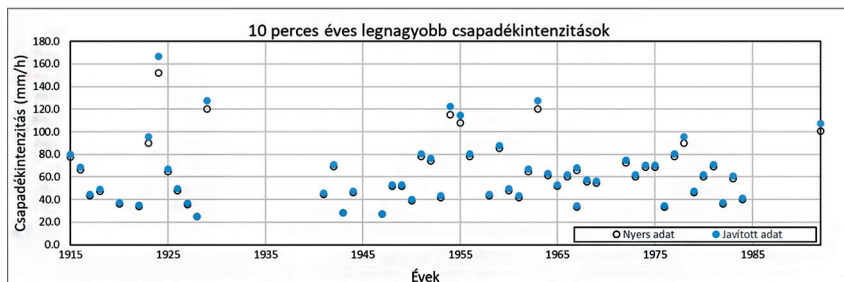
Amint az adatokból látható, a korrekció mértéke a hosszabb intervallumok esetében alacsonyabb, a rövidebbek esetében pedig magasabb. Ugyan az 1. táblázatban az átlagértékek 1–5% közöttiek, és csak a maximumértékek esetében látható 3–13% értékeket lehet számottevő nagyságúnak mondani, ezek az adatok minden év legnagyobb csapadékát reprezentálják. Amennyiben a többi nagycsapadék adata is szerepelne az adatok között, az átlagértékek is magasabbak lennének. Ezek hatása természetesen az IDF-görbékbe is átöröklődik.

Az egyes intervallumok adatait vizsgálva a 3. ábrán látható, hogy az ötperces intervallumban, amely során mindössze egy-két leürítés lehetséges, a magas intenzitásértékek miatt a korrekció mértéke jelentős. A 4–7. ábrán az éves legnagyobb intenzitások az intervallum növelésével egyre alacsonyabbak ugyan,

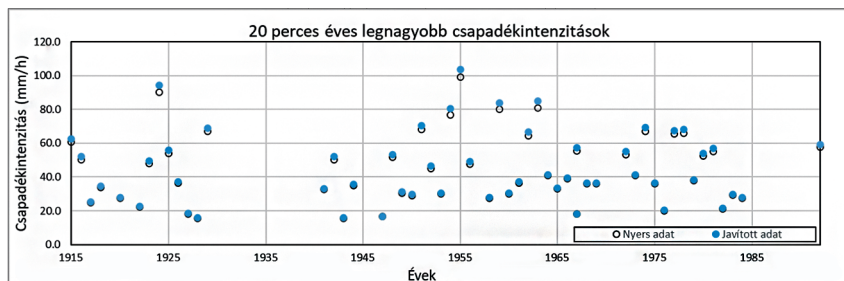
de a szélsőértékek esetén több, 3–8 leürítés is kialakulhat. A korrekció mértéke ugyanakkor alacsony marad, mivel az átlagintenzitás értéke alacsony.



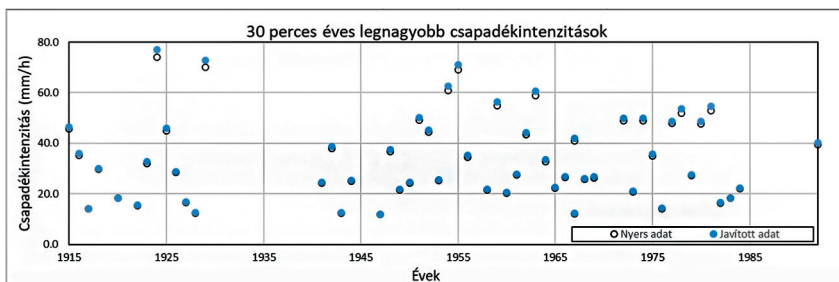
3. ábra: 5 perces éves legnagyobb csapadékinintenzitások nyers és javított értékei az 1915–1992-es évekre, Budapest Belterület csapadékmérő állomáson (a szerző szerkesztése)



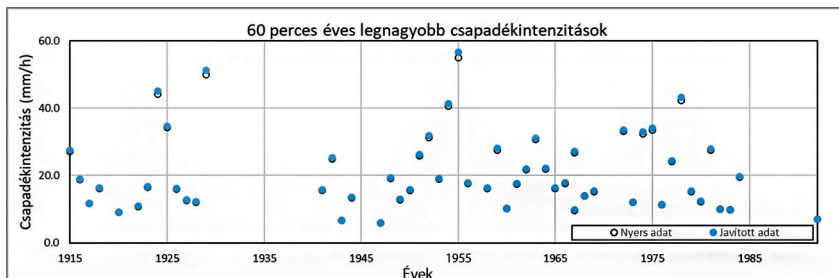
4. ábra: 10 perces éves legnagyobb csapadékinintenzitások nyers és javított értékei az 1915–1992-es évekre, Budapest Belterület csapadékmérő állomáson (a szerző szerkesztése)



5. ábra: 20 perces éves legnagyobb csapadékinintenzitások nyers és javított értékei az 1915–1992-es évekre, Budapest Belterület csapadékmérő állomáson (a szerző szerkesztése)



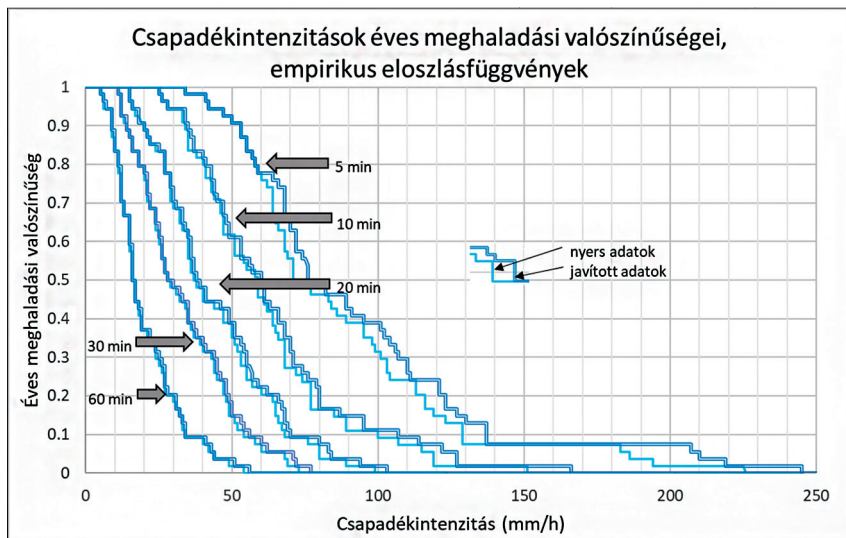
6. ábra: 30 perces éves legnagyobb csapadékinintázások nyers és javított értékei az 1915–1992-es évekre, Budapest Belterület csapadékmérő állomáson (a szerző szerkesztése)



7. ábra: 60 perces éves legnagyobb csapadékinintázások nyers és javított értékei az 1915–1992-es évekre, Budapest Belterület csapadékmérő állomáson (a szerző szerkesztése)

A korrekció eredménye az empirikus eloszlásfüggvényekben is megfigyelhető (8. ábra). Az empirikus eloszlásfüggvényt a meghaladási valószínűségek alapján rajzoltam, azaz a függőleges tengelyen ábrázolt valószínűség értéke azt mutatja meg, hogy valamely évben a legnagyobb csapadékinintázás mekkora valószínűséggel haladja meg a vízszintes tengelyen leolvasott intenzitásértéket. Az alacsony intenzitásértékeket az éves maximális intenzitás nagyobb valószínűséggel haladja meg, ha a vizsgált intenzitás magasabb értékben meghatározott, a meghaladás valószínűsége alacsonyabb. A legnagyobb korrekciók az 1. táblázatnak megfelelően a rövidebb intervallumokban található, és mértékük a ritkább csapadékok irányában növekvő. Megfigyelhető az is (elsősorban az 5 és 10 perces értékek esetében), hogy a korrekció egy

bizonyos küszöbérték felett következik be, ennél a küszöbértéknél számol a korrekciós képlet szerint leürítéssel. Ez az 5 perces intervallum esetén kb. 60 mm/h intenzitásnál látható.



8. ábra: Empirikus eloszlásfüggvények a különféle csapadékintervallumok (5–60 perc) nyers és korrigált értékeire (a szerző szerkesztése)

A leírt tulajdonság alapján az ilyen összetartozó nyers és javított empirikus eloszlásokra illesztett valószínűségi eloszlás nem eltolódik, hanem mintha elfordulna a korrekció küszöbértéke körül az óramutató járásával ellentétes irányba, növelve a ritka meghaladási valószínűséghez tartozó intenzitást.

A korrekció megfelelőségének értékelése

A korrekció megfelelőségének bemutatására a valóságban bekövetkező eloszlású csapadékindenzitás-adatokat kell előállítani. Ehhez az inverz transzformációs

eljárás (ITM) alkalmazására került sor, amely révén az egyes egyenletes eloszlással felvett valószínűség-értékekhez egy eloszlásfüggvény alapján számolható valószínűségi változó megfelelő értékei rendelkezhetők, azok gyakoriságának megfelelően. Ennek alapján a különböző leürítésszámok gyakorisága szimulálható. A leürítések száma határozza meg a számba vett korrekciók számát is.

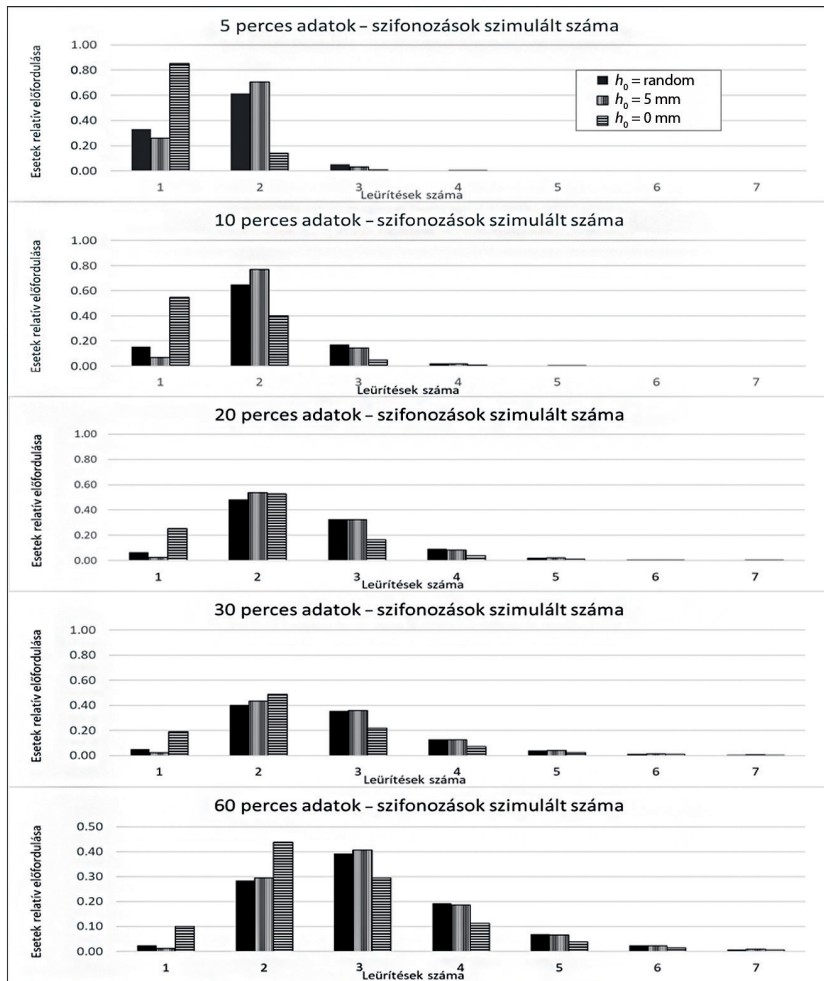
A csapadékinzenzításokat budapesti adatok alapján az általános extrém-érték-eloszlás (GEV) alkalmazásával a 2. táblázat szerinti eloszlásfüggvény-paraméterekkel állítottam elő.

2. táblázat: A modellcsapadék GEV-eloszlásának paraméterei az egyes t intervallumokban (a szerző szerkesztése)

GEV-paraméterek	5 perc	10 perc	20 perc	30 perc	60 perc
ξ	0,093	0,083	0,083	0,092	0,054
σ	26,350	20,510	16,280	13,240	7,640
μ	67,800	49,480	35,080	26,450	16,240

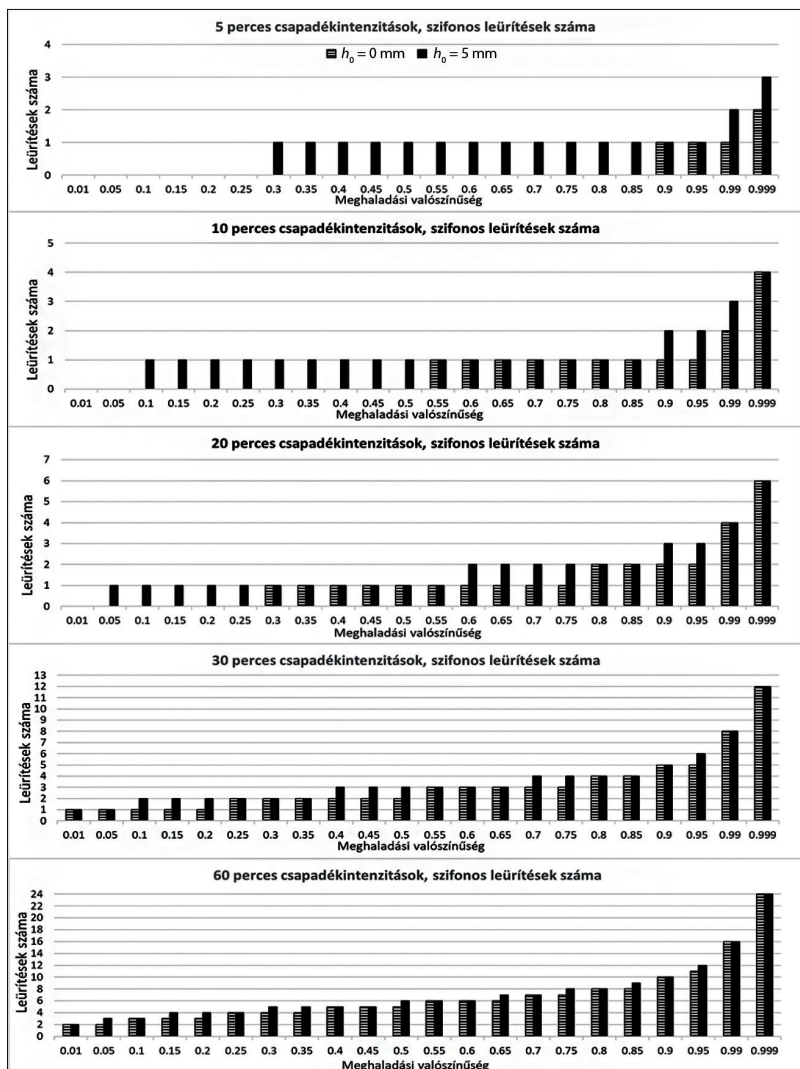
Az intenzitások alapján háromféle kezdeti vízszint mellett határoztuk meg a leürítések számát. A referenciaértéket az egyenletes eloszlás szerint véletlenszerűen felvett kezdeti vízszintértékek szolgáltatták, amelyekkel a leürítések valószínűségben bekövetkező száma modellezhető volt. A vizsgált két eset során a korrekcióban alkalmazott 5 mm, valamint a 0 mm kezdeti vízszint értékeivel határoztam meg a leürítések számát (9. ábra).

A 9. ábra az egyes intervallumokra vonatkozóan 10 000 – 10 000 szimuláció alapján készült. Az ábrából látható, hogy a referenciának tekintett random választott kezdeti vízszint adataihoz viszonyítva a félig telt, $h_0 = 5$ mm kezdeti szinttel számolt adatok gyakorisága hasonló, a $h_0 = 0$ mm viszont jelentősebb eltérést mutat. A referenciaadat és a $h_0 = 5$ mm kezdeti szinttel folytatott szimuláció természetesen kismértékben eltér egymástól, de elfogadható becslést ad.



9. ábra: Szifonos leürítések számának relatív gyakorisága; az első oszlopban véletlen felvett h_0 szimulált értékekkel, a második oszlopban $h_0 = 5 \text{ mm}$, a harmadik oszlopban $h_0 = 0 \text{ mm}$ feltétel mellett (a szerző szerkesztése)

Külön vizsgáltam a leürítések számának alakulását a két eltérő kiindulási szint mellett néhány meghaladási valószínűség-érték mellett (10. ábra).



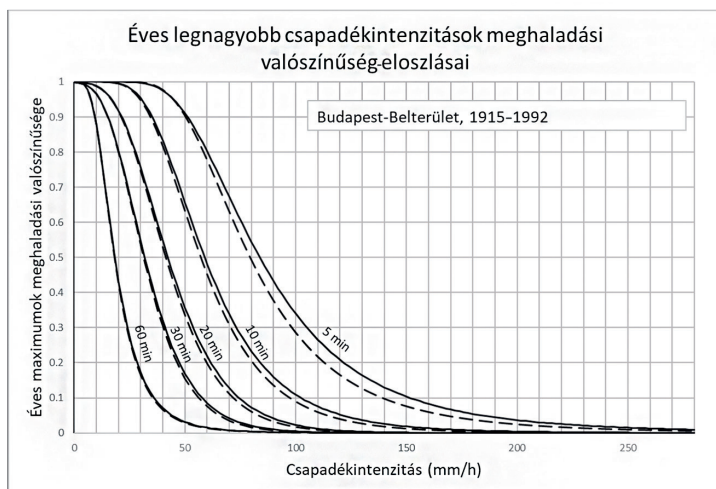
10. ábra: Szifonos csapadékirók leírásainak száma az egyes mérési periódusokban, egyes meghaladási valószínűségekhez tartozó intenzitások esetén a $h_0 = 0$ mm és $h_0 = 5$ mm kezdeti vízszint feltételezésével (a szerző szerkesztése)

A 10. ábra azt mutatja, hogy az egyes mérési periódusokhoz kapcsolódóan az egyes meghaladási valószínűségekhez tartozó intenzitásérték mellett hány leürítés alakul ki a $h_0 = 0$ mm és $h_0 = 5$ mm esetekben. Az ábrából látható, hogy az 5 és 10 perces mérési periódus vonatkozásában az üres mérő esetében rendre a 0,90 és 0,55 valószínűségeknel jelenik meg az első leürítés, miközben a félig telt kezdeti állapotban már 0,30 és 0,10 mellett is történik ürítés, tehát a $h_0 = 5$ mm esetben a 2. képlet alapján számolható korrekcióra lényegesen korábban sor kerül. A két kiindulási szint melletti korrekciók között a különbség a 30 és 60 perces mérési periódusban számottevően csökken.

Mind az elvi megfontolások, mind pedig a 9. ábrán bemutatott, a referencia-adatokhoz való viszonyt illusztráló eredmények igazolják a $h_0 = 5$ mm kezdeti vízszint alkalmazásának indokoltságát.

Hangsúlyozandó ugyanakkor, hogy ez a korrekció – lévén a kezdeti vízszint nem ismert – becslés jellegű, statisztikai alapú, így egyes esetekben visszamarad bizonyos mértékű alul- vagy felülbecslés, amelynek mértéke viszont elmarad a korrekció nélkül bekövetkező hibától.

A korrekció hatása az IDF-görbékre



11. ábra: A nyers és javított csapadékindenzitás-adatokra illesztett GEV-eloszlások (a szerző szerkesztése)

A csapadékintenzitások fent ismertetett módszer szerint előállított tapasztalati eloszlásfüggvényére általánosított extrémérték-eloszlást (GEV) illeszttem, amelyet a 11. ábrán mutatok be. Látható, hogy az eloszlásfüggvényekben a változás leginkább a rövid intervallumokra vonatkozó legnagyobb értékek esetén következett be.

Az illesztett eloszlásfüggvények paramétereit a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: GEV-eloszlásfüggvények paramétereit (a szerző szerkesztése)

GEV- para- méterek	5 perc		10 perc		20 perc		30 perc		60 perc	
	nyers	jávitott	nyers	jávitott	nyers	jávitott	nyers	jávitott	nyers	jávitott
ξ	0,17	0,18	0,08	0,10	−0,02	−0,01	−0,02	0,00	0,14	0,10
σ	25,08	28,18	19,28	20,11	16,67	17,27	13,45	7,58	7,58	7,70
μ	69,30	72,42	49,56	50,89	34,92	35,57	26,14	15,14	15,14	15,30

Az IDF-görbe adatait az eloszlásfüggvény gyakorlatban szokásos kvantilisainál vettem fel, így az 1, 2, 10, 50, 99%-os elérési valószínűségi értékeknél, amelyek rendre 100 éves, 50 éves, 10 éves, 2 éves és 1 éves átlagos visszatérési időnek felelnek meg. A csapadékintenzítés-értékeket a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: Nyers és javított IDF-adatok (a szerző szerkesztése)

Átl. vissza- térési idő (év)	Meghaladási valószínűség (%)	Nyers adatok, mm/h					
		5 perc	10 perc	20 perc	30 perc	60 perc	
1	99	35,6	21,7	9,0	5,3	4,7	
2	50	78,8	56,7	41,0	31,1	18,0	
10	10	138,2	96,8	71,5	55,9	35,2	
50	2	208,5	137,0	97,1	77,0	54,4	
100	1	244,8	155,5	107,7	85,8	64,0	
Jávitott adatok, mm/h							
1	99	34,8	22,5	9,0	5,4	4,7	
2	50	83,1	58,4	41,9	31,5	18,2	
10	10	150,6	101,7	74,1	57,4	35,8	
50	2	231,7	147,2	101,9	80,0	55,7	
100	1	274,0	168,9	113,5	89,5	65,7	

A javított értékek nyers értékekre vonatkoztatott arányát az 5. táblázat mutatja. A táblázatból látható, hogy a GEV valószínűség-eloszlással felvett modell alkalmazásával a szifonos mérés korrekciója elsősorban az 5, 10, 20 és 30 perces időszakok csapadékintenzitásában okozott olyan mértékű változást, amely a mérés egyéb hibajelenségeiből származó ingadozások mértékét meghaladja. Ezekben az esetekben is elsősorban a 10 éves átlagos előfordulású éves maximumok értéke növekedett jelentős mértékben. A gyakorlatban általánosan használt 10 perces intenzitás esetében a változás 5–9% mértékű a 10 év feletti átlagos visszatérés esetében. Az intervallumok hosszának növekedésével a korrekció hatása csökken, így a 30 perces intervallum esetében a korrekció az 50 és 100 éves átlagos visszatérés esetében kb. 4% növekedést eredményez.

5. táblázat: Javított adatok százalékos változása a nyers adatokhoz képest (a szerző szerkesztése)

Átl. visszatérési idő (év)	Meghaladási valószínűség (%)	Javított adatok / Nyers adatok (%)				
		5 perc	10 perc	20 perc	30 perc	60 perc
1	99	–2,3	3,7	0,0	1,9	0,0
2	50	5,4	3,0	2,2	1,3	1,1
10	10	9,0	5,1	3,6	2,7	1,7
50	2	11,1	7,4	4,9	3,9	2,4
100	1	11,9	8,6	5,4	4,3	2,7

Az IDF-adatokban a korrekció alkalmazásával látható eltérések azt mutatják, hogy a Hellmann–Fuess-csapadékírókon mért régi csapadékintenzitás-adatokban jelentős alulbecslés található, amely miatt a mérnöki gyakorlat méretezési értékei a ténylegesen hulló extrém csapadék intenzitásától elmaradnak. Ez a hiba a klímaváltozás csapadékintenzitásra vonatkozó megállapításait is árnyalja, hiszen a referenciaként használt intenzitásadatok a mérés e cikkben leírt szisztematikus hibáját tartalmazzák.

A Hellmann–Fuess-csapadékírók csapadékintenzitás-mérésének további, eddig figyelembe nem vett hibaforrása a szél okozta alulmérés, amelynek legalább a nagyságrendjét további kutatás során vizsgálni szükséges.

Összefoglalás

A dolgozatban a Hellmann–Fuess-rendszerű csapadékirók feldolgozott adataiban átöröklődő szisztematikus hiba utólagos korrekciós módszerét ismerttettem. A szisztematikus hiba oka a leürítés idején a csapadékiró regisztrációs szalagján nem rögzített csapadékmennyiség, amely révén a csapadékintenzitás-adatokban is hiba marad vissza. A hiba szisztematikus alulmérés, amely a feldolgozott adatokban a csapadékintenzitás statisztikai alulértékelését eredményezi. A feldolgozott csapadékadatok esetében csak valamely időtartamra vonatkozó legnagyobb csapadékösszeg vagy csapadékintenzitás ismerhető, így a szakirodalomban ismert eljárásokkal a hiba korrekciója nem hajtható végre. A javasolt eljárás a Luyckx és Berlamont által kidolgozott, a leürítés fizikai folyamata alapján összeállított módszerre alapul. Lényege az, hogy felvett kezdeti vízszint mellett a mérés során meghatározott átlagos csapadékintenzitással becslést tesz a nem mért vízmennyiségre, illetve a csapadékintenzitásra. A Hellmann–Fuess-csapadékmérők műszaki paramétereinek ismeretében a módszert a gyakorlati adatokon is bemutattam. A korrekció a 10 éves átlagos visszatérésűnek tekintett 10% meghaladási valószínűségnél ritkább csapadékok esetén, a rövidebb intervallumok, időablakok esetében a legnagyobb. A 30 perces és hosszabb intervallumok esetében a korrekció hatása a kimutathatóság határán észlelhető.

Minthogy a korrekció statisztikai alapú, a ténylegesen kihullott csapadékot csak becsülni képes, de az alulmérést mindenképp javítja, és a becslés hibája a szisztematikus hibánál kisebb mértékű. A korrekció alkalmazásával a csapadékintenzitás-görbék értéke javítható, ez különösen amiatt fontos, hogy a klímaváltozás csapadékintenzitás vonatkozásában bekövetkezett változását – ha van – pontosabban lehessen kimutatni és értékelni.

Köszönetnyilvánítás

A kutatáshoz, amely a PhD-kutatásom része, az Országos Meteorológiai Szolgálat biztosította a Budapest Belváros állomás Hellmann-csapadékirójának adatait, amelyet külön köszönök. Az adatok digitalizálásában Varga Laura vett részt, akinek ez irányú munkája nagy segítséget jelentett.

Felhasznált irodalom

1. Butzer KW. A földfelszín formakincse. Budapest: Gondolat Kiadó; 1986. 520 p.
2. Kiss T. Geomorfológiai vizsgálati módszerek. Szeged: JATEPress; 2014. 228 p.
3. Stefanovits P, Filep Gy, Füleki Gy. Talajtan. Budapest: Mezőgazda Kiadó; 1999. 470 p.
4. Kallós I. Ombrogrammok értékelése. Hidrológiai Közöny. 1955;35(7–8):293–296.
5. Szentes LO. A rövid idejű intenzív csapadékok statisztikai vizsgálata. Diplomamunka. Budapest: Eötvös Loránt Tudományegyetem Földrajz- és Földtudományi Intézet Meteorológiai Tanszék; 2018. 85 p.
6. Luyckx G, Berlamont J. Accuracy of siphoning rain gauges. In: Global solutions for urban drainage [Internet]. Reston: American Society of Civil Engineers; 2002 [cited 2021 Nov 12]. p. 1–12. DOI: [https://doi.org/10.1061/40644\(2002\)251](https://doi.org/10.1061/40644(2002)251)
7. RÁCZ T. On the correction of processed archive rainfall data of siphoned rainfall. Időjárás [Internet]. 2021. július–szeptember [letöltve 2021. november 12.];125(3):513–519. DOI: <http://doi.org/10.28974/idojaras.2021.3.9>
8. RÁCZ T. Application of correction procedures for some systematic measurement errors to rainfall intensity data of a rain gauge in Budapest. Period. Polytech. Civil Eng. [Internet]. 2021 [cited 2021 Nov 12];65(4):1025–1035. Available from: <https://pp.bme.hu/ci/article/view/17731>
9. Dr. Alfred Müller MI KG. Precipitation gauges and recorders. Katalógus.