

A klímaváltozás hatása a szárazgazdálkodási rendszerekre

Szerzők:

Juhász Csaba – Gálya Bernadett – Huzsvai László

Közreműködő:

Száraz Területek Kutató Központja



Kiadó:

Debreceni Egyetem

Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar

A tanulmányt az EFOP 3.6.1-16-2016-00022 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

ISBN - 978-963-473-994-4

Debrecen, 2018

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	4
2. Anyag és módszer	11
2.1. A debreceni mérőállomás történeti áttekintése	11
2.2. A műszerek leírása	15
2.3. Mérési módszerek és a napi adatok feldolgozása	19
2.3.1. Középhőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$].....	19
2.3.2. Maximumhőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$].....	19
2.3.3. Minimumhőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	20
2.3.4. Csapadékösszeg [mm].....	20
2.3.5. Csapadékfajta	20
2.3.6. Napfényösszeg [óra].....	21
2.4. Adatleírás.....	21
3. Éghajlati elemzés.....	21
3.1. A levegő hőmérséklete	21
3.2. Évi középhőmérsékletek	21
3.3. Évi maximum hőmérsékletek.....	26
3.4. A hőségnapok száma	27
3.5. Évi minimum hőmérsékletek	28
3.6. A fagyos napok száma.....	29
3.7. A meleg éjszakák száma	31
3.8. Csapadékviszonyok	32
3.9. Évi csapadékösszegek	33
3.10. Évi csapadékos napok száma	39

3.11. A napfénytartam jellemzői	40
3.12. Potenciális evapotranszspiráció (PET).....	41
3.13. A lehullott csapadék és a PET aránya	43
3.14. Összefüggés vizsgálat főkomponens-analízissel	45
3.15. Az őszi évszak időjárásának elemzése	52
Összefoglalás.....	57
Felhasznált irodalom	59
Ábrajegyzék.....	61
Táblázatjegyzék.....	63

Bevezetés

Magyarországon a mezőgazdaság jelentős szerepet játszik az élelmiszer ellátás, a társadalmi fenntarthatóság és munkahelyteremtés szempontjából is. Hazánk természeti adottságai mezőgazdasági termelés szempontjából az átlagosnál kedvezőbbek, hiszen több mint 5,7 millió ha mezőgazdasági termelésre alkalmas, művelhető földterülettel rendelkezünk.

A természeti erőforrások védelme a mező - és erdőgazdaság kiemelkedő feladata. A termőképességet csökkentheti: a csapadékhiány, a felmelegedés, továbbá az időjárási szélsőségek gyakoriságának növekedése. A különböző mezőgazdaságban hasznosítható erőforrások fenntartható használatában fontos szerepet játszik a klímaváltozásra való felkészülés (TAMÁS, 2013).

A klímaváltozásról alkotott nézetek illetve az erről készült forgatókönyvek eltérőek egymástól. Azonban tény, hogy a XXI. század nagy kihívása a globális klímaváltozás következményeinek kezelése, illetve a várható regionális változásokra való felkészülés, azokhoz való alkalmazkodás (BARTHOLY et al., 2011).

Magyarországon a globális hőmérsékleti tendenciákhoz hasonló értékeket mérhetünk, azonban ezek nagyobb változékonyságot mutatnak (SZALAI et al., 2012). A Magyar Tudományos Akadémia VAHAVA projektjének (LÁNG, 2005) jelentése alapján a legegyöntetűbb változások a hőmérséklet tendenciájában tapasztalhatók (BIHARI et al., 2008). A hőmérsékleti átlagot tekintve hazánk követi a globális változásokat, azonban évszakosan már nagyobb különbségek mutatkoznak (LÁNG et al., 2006). Több jelentős mezőgazdasággal összefüggő éghajlati elem is változott, a hőmérsékleti ingadozásokkal összefüggésben, így nőtt az aszályok és árvizek gyakorisága (BARTHOLY és PONGRÁCZ, 2013).

A meteorológiai elemek közül hazánkban a csapadék nagyon változékonny, amely térben és időben egyaránt megmutatkozik (KONKOLYNÉ et al., 2008), továbbá elmondható, hogy Magyarországon az éves csapadékmennyiség csökkenése figyelhető meg (BARTHOLY, 2011).

LÁNG et al., (2006) ismertették, hogy az aszályos és belvizes évek eltérnek hazánkban gyakoriság, nagyság és az okozott károk tekintetében. LÁNG et al., (2006) szerint az aszály fő veszély a mezőgazdaságra a légköri változékonyságok közül, de véleményük szerint egyaránt fel kell készülni aszályra, belvízre (1. ábra), árvízre, fagykárokra, jégverésre, helyi özönvizekre, zivatarokra, ezek lehetséges megelőzésére, a károk csökkentésére.



1. ábra. Belvíz (Forrás: DE AKIT Karcagi Kutatóintézet táblái)

A klímaváltozás kockázatát tekintve a vízhez kapcsolódó kockázatok jelentik az egyik fő veszélyt a mezőgazdasági termelésre. Hazánkban 10 év átlagában rendszeresen 2-3 év belvizes, míg 2-3 év aszályos. Ezek gyakran azonos évben és nagyrészt azonos régióban következnek be, máskor térben és időben egyaránt nagyon változók lehetnek a Kárpát-medencei alföldeken, ahol a jövőben egyre gyakoribbak lehetnek (VÁRALLYAY, 2008). Az utóbbi évtized tapasztalatai megerősítik, hogy a Kárpát-medencében az egyre gyakoribb aszályok mellett is számolni kell az ár- és belvíz kockázatával (LÁNG et al., 2006; BLASKÓ, 2011).

A szárazgazdálkodás fogalma nem új keletű, a magyar közgondolkodásban az 1922-ben megjelent Gyárfás József által írt „Sikeres gazdálkodás szárazságban, magyar dry-farming” c. könyv megjelenése után terjedt el. A könyv első kiadását 1925-ben követte a második, és a harmadik átdolgozott kiadásra 1989-ig kellett várni. A szerző száraz viszonyok között is szorgalmazza a tavaszi vetésű növények alá az őszi szántás (2-3. ábra) elvégzését, hiszen „Az őszi szántás a többletermés alapja”, „... száraz viszonyok között őszi szántás nélkül sem a műtrágya, sem a nemes vetőmag kellően nem érvényesülhet,” (54. old.) Továbbá: „A szárazgazdálkodásban a tarlótörés van olyan fontos talajművelési folyamat, mint akár az őszi szántás,” (24. old.).



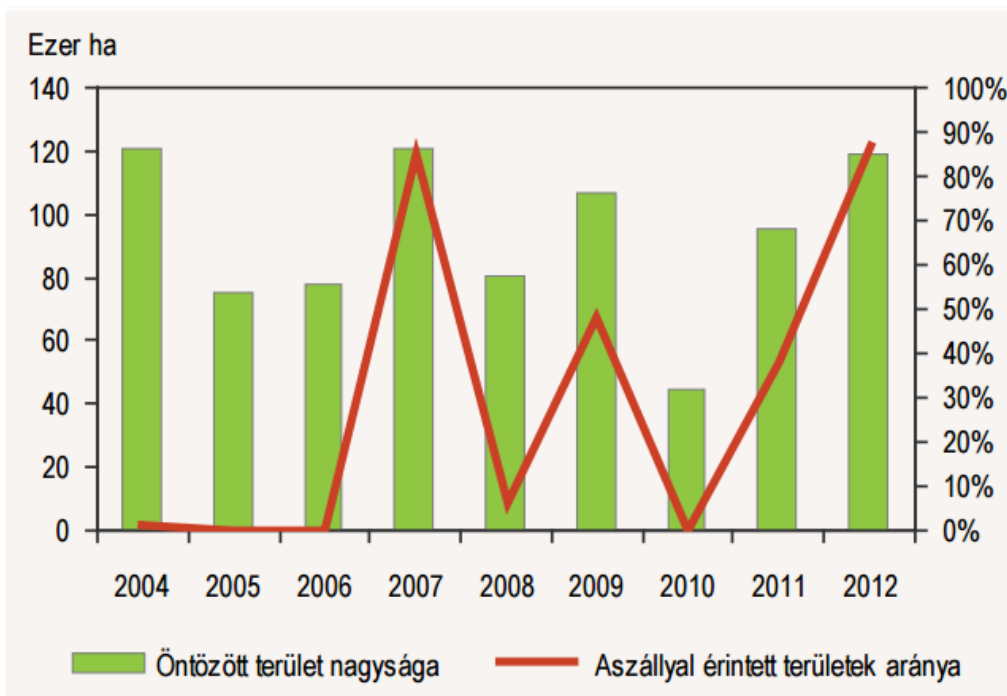
2. ábra. Szántás Karcag határában (Forrás: DE AKIT Karcagi Kutatóintézet táblái)



3. ábra. Rossz szántás ((Forrás: DE AKIT Karcagi Kutatóintézet táblái)

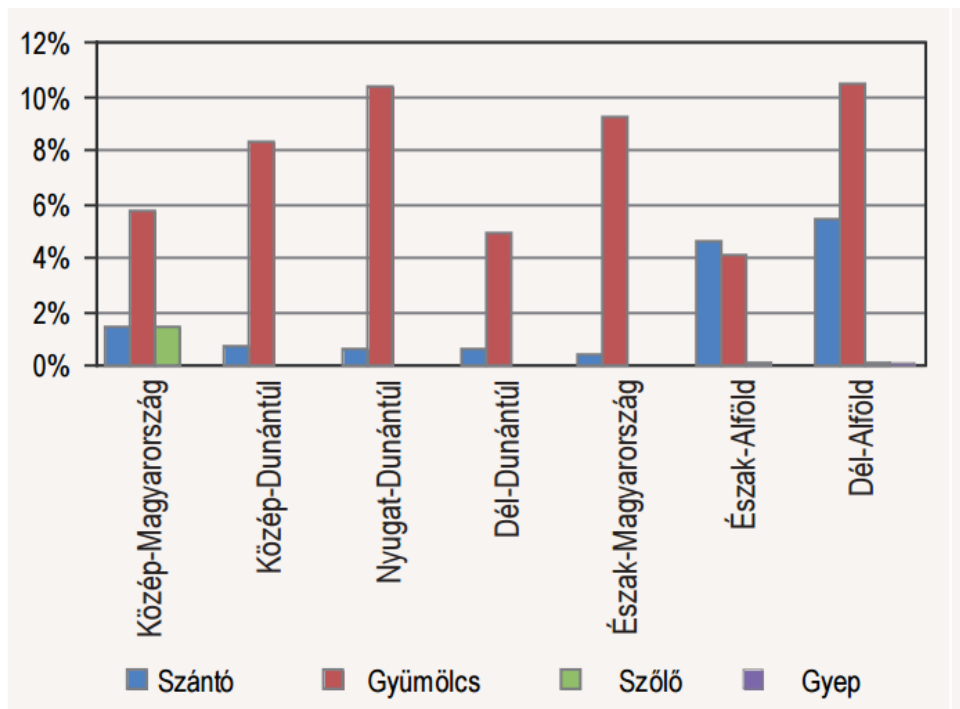
A könyv az évszázad első évtizedének (1901-1909) tapasztalatai alapján készült, amikor a Nagyalföldön az időjárás száraz-forró időszakra esett. Ezt ebben a tanulmányban bemutatott debreceni időjáráson is jól lehet látni. Ebben az időszakban gyakori volt a szárazság és az aszály. A szárazság ellen a legkézenfekvőbb és legeredményesebben öntözéssel lehetne védekezni. Azonban a könyv megjelenése óta eltelt szűk száz év alatt hazánk szántóföldi öntözött területe szinte semmit sem változott.

Az öntözött területek nagysága szorosan összefügg az időjárással. Magyarországon aszályos években több mint 100 ezer hektáron öntöznek (4. ábra). 2012-ben 119 195 hektárnyi területet öntöztek, ami az összes öntözhető terület 69%-nak felelt meg, Az összes kiöntözött vízmennyiség 160 millió m³ volt, ami hektáronként 1344 m³ öntözött területre kijuttatott vizet jelent.



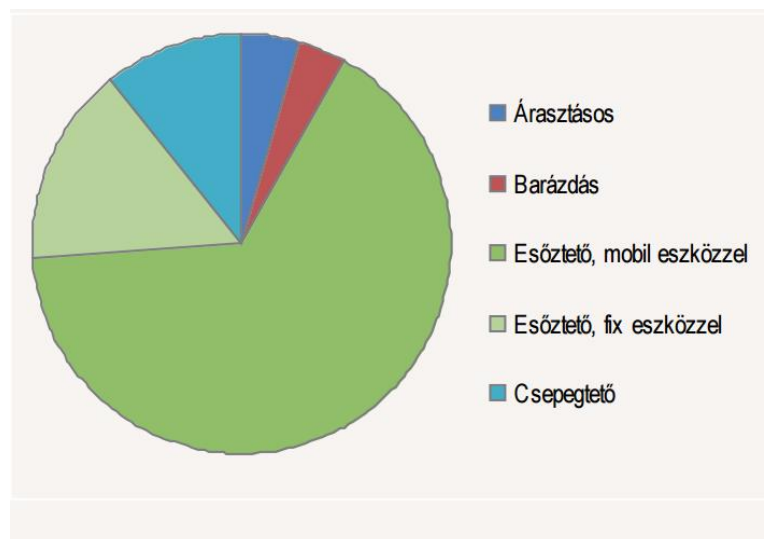
4. ábra. Öntözött terület (ezer hektár) és aszályal érintett területek aránya (%) (Forrás: KSH,2012)

Minden régióban a gyümölcsös területeket öntözték legnagyobb arányban (5. ábra). Dél-Alföldön és Nyugat-Dunántúlon volt legnagyobb arányú az öntözött gyümölcsös területek nagysága (10,5 és 10,4%), A szántóterületeket legnagyobb arányban Dél-Alföldön öntözték (5,4%). Országos átlagban az öntözött szántó területekre 1362 m³ vizet juttattak ki hektáronként, míg a szőlőterületekre 1089, gyümölcsösökre 1039, gyepterületekre pedig 392 m³-t,



5. ábra. Öntözött terület aránya művelési áganként (%) (Forrás: KSH,2012)

2012-ben 95 ezer hektáron elsősorban felszíni, míg 24 ezer hektáron felszín alatti vízkészletet használtak fel az öntözés során. Az öntözés leggyakrabban esőztető (mobil vagy fix) eszközzel történt. 97 ezer hektáron ez volt a legfontosabb öntözési mód az elmúlt év során (6. ábra).



6. ábra. Öntözött terület megoszlása öntözés típusa szerint (ezer hektár) (Forrás: KSH,2012)

Zömében napjainkban is öntözés nélkül folyik a termesztés. Sajnos, hazánk éghajlata nem a legkedvezőbb a növénytermesztés számára. Az időjárásunkra a nagy ingadozás jellemző, ami

egyaránt megfigyelhető a hőmérsékleti szélsőségben és a csapadék szeszélyes eloszlásában. Ráadásul a legmelegebb évszakban a levegő páratartama olyan alacsony, hogy gyakran alakul ki a légköri aszály jelensége, amikor a talajban még lenne elegendő nedvesség a növény számára, de a párolgás olyan nagymértékű, hogy a vízfelvétel nem tud vele lépést tartani. Ilyenkor a növény „vízhiánytól” szenved. Az alacsony páratartalom miatt az aszályos években nyáron nem képződik harmat, ami sokban javíthatná a növények vízellátottságát.

A szárazság megnehezíti a jó minőségű talajművelést, az optimális időben történő elvégzését, és sokszor megnehezíti a vetéseket is.

A klímaváltozás során napjainkban gyakran csak a globális felmelegedésről beszélnek, azonban a hőmérséklet csak az egyik eleme a növényi termés kialakításának. A hőmérséklet mellett nagyon fontos a csapadék éves mennyisége, éven belüli eloszlása, a levegő páratartalma és a szélesebbesség. A napsugárzás fedezi a párolgás energiaszükségletét, Energiaellátásunk főként a földrajzi elhelyezkedésünktől függ, ezt csak kisebb mértékben módosítja a légkör sugárzás átbocsátó képessége. A légkör ezen tulajdonsága csak extrém természeti katasztrófák idején szokott megváltozni, pl, vulkánkitörés.

A hőmérséklet emelkedése azonban nem folyamatos, hideg periódusok is előfordulnak, ami sokszor bizonytalanná teszi a felmelegedés várható mértékének előrejelzését. Ilyen időszak volt hazánkban az 1960-1980 közötti időszak.

Termesztett növényeink termésnagyságát az időjárás erősen befolyásolja, az ingadozás mértéke a termés nagyságának növekedésével nő. Az egyre korszerűbb intenzív technológiák, amelyek a nagy termések elérését teszik lehetővé, nem tudják függetleníteni a termesztést az időjárás szélsőséges hatásaitól. Minél inkább „kihegyezett” egy technológia, annál sérülékenyebb. Sokáig ennek az ellenkezőjében hittek, és azt gondolták, hogy a modern technológiák majd mérsékelni tudják az időjárás kedvezőtlen hatásait. Mivel az időjárást egyelőre nem tudjuk befolyásolni, marad a szélsőséges ingadozásokhoz történő alkalmazkodás, amely a jelenlegi technológiák újragondolását jelenti. Ehhez a gépparkot „túl kell biztosítani”, és mindig azokat az eszközöket kell elővenni, amelyek az adott időjáráshoz és talajállapothoz a legjobban alkalmasak. Ez viszont többlet beruházást igényel, amely megdrágítja a mezőgazdasági termelést.

Gyárfás József megállapítása szerint: „Teljesen úrrá az aszály felett a gazda nem lehet.” Ez napjainkban is ugyanolyan érvényes, mint száz évvel ezelőtt, hiszen ez társadalmi probléma (7. ábra)



7. ábra. Össztársadalmi probléma a sivatagosodás és szárazság (Fotó: Shutterstock, Forrás: I1)

2. Anyag és módszer

A klímaváltozás vizsgálatát Debrecen 110 éves, napi megfigyeléseket tartalmazó idősorával végeztük. A vizsgált időszak (1901-2010) meteorológiai adatait az Országos Meteorológiai Szolgálat bocsátotta rendelkezésünkre. Ezen adatok kutatási és oktatási célokra szabadon felhasználhatóak. A hosszú idősor azonban nem teljesen homogén, hiszen a megfigyelő állomás helyszíne az idők során változott. Ezt a hatást az elemzések, illetve végső következtetések során figyelembe vettük.

Az elemzések az R-statisztikai programcsomag illetve nyelv segítségével az RStudio grafikus felületét használva készültek. A leíró statisztikai elemzéseken túlmenően a változásokat lineáris trendanalízissel végeztük. A szignifikancia-szintet 5%-on rögzítettük. Csak akkor beszélhetünk változásról, ha azt statisztikailag is igazolni tudjuk.

Az időjárási jellemzők összefüggésrendszerének elemzésére főkomponens-analízist használtunk, Ez az egyik legfontosabb valódi többváltozós módszer, A számítások alapja a korrelációs mátrix sajátértékeinek és sajátvektorjainak meghatározása, Az adatok a debreceni mérőállomásról származtak, amelynek bemutatása és leírása szintén az Országos Meteorológiai Szolgálattól származik,

2.1. A debreceni mérőállomás történeti áttekintése

Debrecen azon kevés magyarországi városok egyike, ahol már a XIX. század közepén megkezdődtek a meteorológiai mérések. Az első néhány évtized adatai azonban nem állnak rendelkezésünkre, ezért az adatsor 1901. évvel kezdődik. Ennek az időpontnak a megválasztásánál több ok szerepet játszott: a XX. században egységesebb elvek szerint, általában már mindenütt a ma is használatos zsalus, ún. angol típusú hőmérőházakban folytak a mérések; kb. e század elejétől vannak hőmérsékleti maximum és minimum mérések; végül, száz évet jóval meghaladó mérési sor csak kevés állomásról állt volna rendelkezésre.

Az 1901-1950 közötti időszak adatai döntően a Debrecen-Pallag éghajlati állomásról származnak. Ez az állomás 1868-ban létesült a Felsőfokú Gazdasági Tanintézet kezelésében, de egyben a magyarországi meteorológiai mérőhálózat egyik elemeként. Első pontos elhelyezéséről nincs fennmaradt információ, de valószínűleg nem nagy távolságban volt az ugyanott működött, és ma is azonosítható ún. dohánykert (szárítóépületek) helyszínétől, ahol 1912-től működött az állomás (északi szélesség: 47°35'44"; keleti hosszúság: 21°38'43").

A második világháború harci cselekményei következtében 1944 szeptemberében az állomás elpusztult, és csak 1946 novemberében kezdte újra a méréseket. A kimaradt két év pótlására a Debreceni Egyetem meteorológiai tanszékének éghajlati mérései szolgáltak. Ez az állomás 1928-ban jött létre az egyetemi sporttelep szomszédságában, és déli irányban mintegy öt km-re fekszik a pallagi helyszíntől (északi szélesség: $47^{\circ}33'24''$; keleti hosszúság: $21^{\circ}36'58''$) (8. ábra). Mérései a háború alatt is csak rövid ideig szüneteltek (pótlásuk a környékbeli állomások segítségével megtörtént).



8. ábra. Debrecen-Pallag 1941, június 20, (Forrás: OMSZ)

1950-2000 időszak adatai az OMSZ kezelésében a debreceni repülőtéren működő állomásról származik (északi szélesség: $47^{\circ}29'44''$; keleti hosszúság: $21^{\circ}37'48''$). A repülőtéren belül az állomás kétszer költözött: 1960. április 20-án és 1995. augusztus 1-jén (9. és 10. ábra).



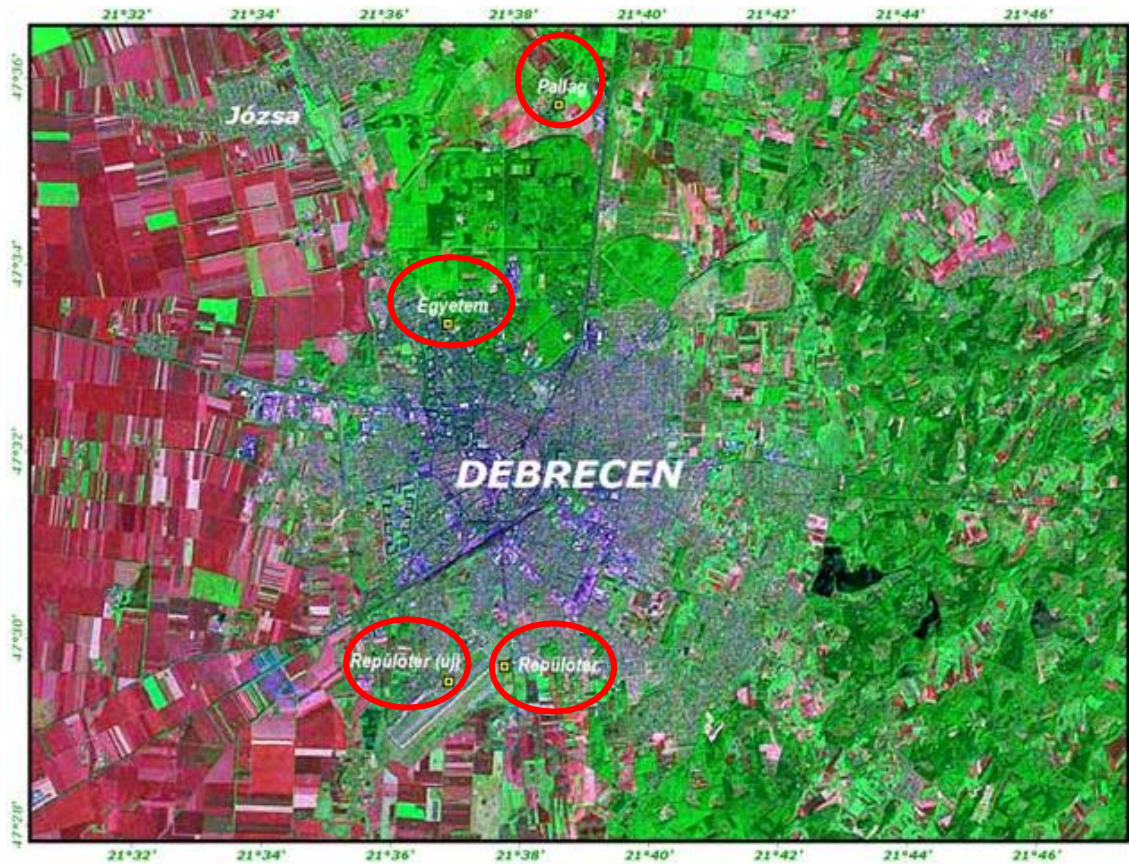
9. ábra. Debrecen repülőtér 1961. június (Forrás: OMSZ)



10. ábra. Debrecen repülőtér 2006. május (Forrás: OMSZ)

Mindkét helyváltoztatás lényegesen kisebb hatással volt a mérési körülményekre, mint a pallagi helyszínről való átköltözés. Míg a repülőtérén változatlan környezeti feltételek mellett a maximális elmozdulás 1,6 km volt, addig a városközponttól északra elhelyezkedő Pallag és a délre fekvő repülőtér között a távolság 12 km.

A hőmérsékleti és csapadékadatok az egész száz évről rendelkezésünkre állnak, de a napfénytartam műszeres mérése csak 1920 végén kezdődött, így ez az adatsor mindössze 80 évet ölel fel (Forrás: OMSZ). A meteorológia állomások elhelyezkedését a 11. ábra tartalmazza.



11. ábra. Meteorológiai állomások elhelyezkedése (Forrás: OMSZ)

2.2. A műszerek leírása

A hőmérsékletet Celsius fokokban, tized fokos pontossággal mérték. A hagyományos mérési gyakorlatban háromféle hőmérőt használnak, az állomási hőmérőt, a maximumhőmérőt és a minimumhőmérőt, amelyeket a hőmérőházban állványzaton helyeztek el. Az állomási hőmérő függőleges helyzetben áll, mégpedig úgy, hogy higanygömbje 2 m magasságban van a talaj felszíne felett. Felette vízszintes tartóban fekszik a minimum hőmérő, közvetlen felette pedig jobboldali (felső) végénél kissé megemelve, rézsútosan a maximum hőmérő.

Az állomási hőmérőt a léghőmérséklet pillanatnyi értékének meghatározásához használják. Az állomási hőmérő álló helyzetben használt, belsőskálás apró tartályú higanyhőmérő. Szerkezete egészen egyszerű, egy gömb alakú edény hajszálcsőben (ún. kapillárisban) folytatódik, és az edényt úgy töltik meg higanyal, hogy az beleérjen a hajszálcsőbe is. A hőmérsékleti tágulás miatt a higany növekvő hőmérsékletnél növeli, csökkenő hőmérsékletnél csökkenteni térfogatát, ezért a higanyoszlop végének felszíne a kapillárisban emelkedik, vagy süllyed. Hajszálcsőve vékonyfalú, mögötte tejfehér üveglapon a skála, melyeket üveglapra, burkolócső vesz körül. Az állomási hőmérő számlapja 0,2 fokos beosztású, skálájának hossza Közép-Európában -35°C -tól $+45^{\circ}\text{C}$ -ig terjed.

A maximum hőmérőt két észlelés közötti időtartam legmagasabb léghőmérsékletének meghatározására használják. A lázhőmérő elvén működő, belső skálás higanyos hőmérő. Lényeges szerkezeti sajátossága az, hogy a higanyedényben egy beforrasztott üvegszál van, amely benyúlik az edénybe betorkolló kapilláris végébe. Az így megszükkített nyíláson a növekvő hőmérséklettel táguló higany felnyomul ugyan a kapillárisba, de csökkenő hőmérséklettel nem tud visszahúzódní, mert a szűkületben a higanyoszlop megszakad. Ezért a higanyoszlop vége az elért legmagasabb hőmérsékletet mutatja. Használat után a higanyt úgy rázzuk vissza, mint a lázmérőt, amely maga is egy maximum hőmérő. Számlapján félfokos osztás van.

A minimum hőmérő két észlelés közötti időtartam legalacsonyabb hőmérsékletének megállapítására szolgál. Belső skálás, villás tartályú alkoholos hőmérő. Mérőfolyadék színtelen, vagy színesre festett alkoholvegyület. A kapillárisban kék, vagy piros üvegpálcika van elhelyezve, amit használat előtt az alkohol felszínéhez csúsztatunk. Ha a hőmérséklet csökken, az alkohol felszíne a felületi feszültség következtében a pálcikát magával húzza, amikor pedig a hőmérséklet emelkedik, az alkohol kitágul, és a kapillárisban előrehalad, a pálcikát azonban az elért legalacsonyabb helyen hagyja. Használat közben a hőmérőnek

vízszintesen kell feküdnie, hogy a pálcika a hajszálcsőben saját súlya miatt el ne csússzék. Számlapján félfokos osztás van.

Vaisala HMP 35D, HMP 45D típusú elektromos hőmérséklet- és nedvességmérő az automata állomások esetében a léghőmérséklet és a légnedvesség mérésére egy kombinált eszközt használnak, melyet hőmérőházban vagy sugárzásvédő ernyőben helyeznek el. A hőmérsékletet egy platina Pt100-as ellenállás hőmérő méri folyamatosan. A folyamatos mintavételezés lehetővé teszi a hőmérséklet gyakori meghatározását. Az automatákat úgy állították be, hogy 10 percenként álljanak rendelkezésre a mérési adatok. Minden 10 percre megkapják a 10 perces átlag-, a 10 perces maximum- és a 10 perces minimum értékeket. Ilyen mérési gyakoriság mellett nincs szükség külön műszerre a szélső hőmérsékleti értékek meghatározásához.

A csapadék mérőműszere egy statisztikai mintavevő edény (12. ábra), pontosan meghatározott felfogó felülettel. Az összegyűlt csapadékvizet egy jóval kisebb keresztmetszetű, skálával ellátott üveghengerbe töltik, így a csapadékmennyiséget tized mm pontossággal meg tudják határozni. A milliméterekben kifejezett csapadék 1 m² területen milliméterenként 1 liter vizet jelent. Szilárd csapadék (hó, jég stb.) hullása esetén a megolvasztott csapadék mennyiségét mérik.



12. ábra. Csapadékmérő edény (Forrás: OMSZ)

Az 1900-as évek elejétől a korábban használt $1/10 \text{ m}^2$ felfogó felületű csapadékmérőről 2-3 évtized alatt fokozatosan az $1/20 \text{ m}^2$ -es, majd az $1/50 \text{ m}^2$ -es csapadékmérők használatára tértek át.

Az 1920-as évek legelején, a hálózat ujjaszervezésekor, műszeregységesítésre törekedve áttértek az $1/50 \text{ m}^2$ -es Hellmann-rendszerű bronzgyűrűs csapadékmérőre. Ugyanekkor felfogó felületű csapadékmérőket kezdtek használni más európai országokban is. Az $1/50 \text{ m}^2$ -es HellMann-rendszerű alumíniumgyűrűs csapadékmérő bádognéven elnevezésű műszer alkalmazására pedig a II. világháború miatt kényszerültek, mivel a réz hiánycikk lett. A későbbiekben Csomor Mihály és munkatársa megszerkesztették az $1/50 \text{ m}^2$ -es HellMann-rendszerű kettősfalú alumínium csapadékmérőt, és 1962 őszétől kezdve már ezzel a kettősfalú csapadékmérővel látták el az állomásokat.

1966-ra az egész hálózatban befejeződött a teljes műszercsere. Napjainkban is ezt a típust használják a hagyományos csapadékmérésre.

A napfénytartam mérésére a megfigyelő hálózatában már a kezdetektől a Campbell-Stokes rendszerű napfénytartam mérő használatos, mely a napsugárzás hőhatását használja ki (13. ábra).



13. ábra. Napfénytartam-mérő (OMSZ)

A műszer lényegében egy fémállványra szerelt, 96 mm átmérőjű üveggömb, amely a napsugarakat gyűjtőlencseként egy ún. napszalagra irányítja. Az óraskálával rendelkező napszalagot az üveggömb gyűjtőtávolságában elhelyezkedő gömbhéj alakú mélyedésben kell elhelyezni. Ahová az összegyűjtött napsugarak esnek, a papír megpörkölődik vagy kiég. A Nap, amint az égbolton látszólagos mozgása közben tovább halad, pályájának ívét, a sugárzás erőssége szerint erősebben, vagy gyengébben a szalagra égeti.

A nappálya évszakonként változó magasságú ívének megfelelően háromféle napszalag használatos: nyári, téli és tavaszi-őszi. A szalagot minden este cserélni kell.

A napi napfénytartamot a napszalagokon lévő égetési nyomok összegzése útján nyerik tized óra pontossággal (Forrás: OMSZ).

2.3. Mérési módszerek és a napi adatok feldolgozása

Az meteorológiai észleléseket Magyarországon közép-európai idő (CET = Central European Time) szerint végezik, mert ez az időszámítás független a tavaszi és őszi óráátállításoktól. Télen megegyezik a Magyarországon használt helyi idővel (HLT = Hungarian Local Time), de nyáron az órák előreállítása miatt a helyi idő 1 órával több.

2.3.1. Középhőmérséklet [°C]

1901-től 1965-ig a magyarországi állomáshálózatban a napi háromszori észlelés volt jellemző. 07, 14, 21 órakor közép-európai idő (CET) szerint. A napi középhőmérsékletet nem csupán a három érték átlagaként, hanem a Meteorológiai Világszervezet (World Meteorological Organization, WMO) ajánlására a 21 órás adatot kétszeres súllyal figyelembe véve számítják ($d_{ta}=(t_{07}+t_{14}+2*t_{21})/4$).

1966-tól az észlelések időpontja 07, 13, 19 órára változott. Az éjszakai 01 órás adatot pedig a termográfáról olvasták le. A napi középhőmérsékletet a négy adat átlagaként számolják ($d_{ta}=(t_{01}+t_{07}+t_{13}+t_{19})/4$).

Az automaták üzembeállításától kezdődően a napi középhőmérséklet számítása lényegében nem változott, mind a négy adat az automata méréseiből származik.

A középhőmérsékletet minden időszakban 2 tizedes pontossággal határozzák meg, de az adatfájlokban az 1 tizedesre kerekített értékek jelennek meg. A napi középhőmérsékletet használó képletekben (havi, éves átlagok) mindig a 2 tizedes pontosságú adattal számolnak.

2.3.2. Maximumhőmérséklet [°C]

1901-től 1965-ig a maximumhőmérő leolvasása mindig az esti (21 CET) észleléskor történt. Ebből következik, hogy az aktuális napra vonatkozó maximumhőmérséklet az előző nap 21 órájától az aktuális nap 21 órájáig tartó 24 órás periódus legmagasabb hőmérséklete.

1966-tól a maximumhőmérőt kétszer, reggel (07 CET) és este (19 CET) olvasták le. A napi maximumhőmérséklet e két érték maximuma. Ebből következik, hogy az aktuális napra vonatkozó maximumhőmérséklet az előző nap 19 órájától az aktuális nap 19 órájáig tartó 24 órás periódus legmagasabb hőmérséklete. Ez a 24 órás periódus az idősorok homogenitása érdekében az automaták bevezetésével sem változott.

2.3.3. Minimumhőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]

1901-től 1965-ig a minimumhőmérő leolvasása mindig az esti (21 CET) észleléskor történt. Ebből következik, hogy az aktuális napra vonatkozó minimumhőmérséklet az előző nap 21 órájától az aktuális nap 21 órájáig tartó 24 órás periódus legalacsonyabb hőmérséklete.

1966-tól a minimumhőmérőt kétszer, reggel (07 CET) és este (19 CET) olvasták le. A napi minimumhőmérséklet e két érték minimuma. Ebből következik, hogy az aktuális napra vonatkozó minimumhőmérséklet az előző nap 19 órájától az aktuális nap 19 órájáig tartó 24 órás periódus legalacsonyabb hőmérséklete. Ez a 24 órás periódus az idősorok homogenitása érdekében az automaták bevezetésével sem változott.

2.3.4. Csapadékösszeg [mm]

A csapadékmennyiség meghatározása a reggeli észleléskor (07 CET) történt a teljes időszakban. Ebből következik, hogy az aktuális napra vonatkozó csapadékösszeg az aktuális nap 07 órájától a következő nap 07 órájáig tartó 24 órás periódusban hullott csapadék összege. Megkülönböztetik azt a két esetet, amikor egyáltalán nem volt csapadékhullás, valamint amikor volt ugyan csapadékesemény, de a mennyisége nem mérhető. Az előbbit egy pont, az utóbbit pedig 0,0 jelzi az adatfájlokban.

2.3.5. Csapadékfajta

A napi adatfájlok a csapadék fajtáját kódolt formában tartalmazzák. A kódok növekvő értékéhez általában egyre jelentősebb csapadékhullási események tartoznak. Például a 9-es kód a jégesővel kísért zivatart jelenti. A kódok bevezetése az 1980-as években történt az akkori számítástechnikai lehetőségeknek megfelelően, ezért csak tíz különböző kódot használtak. Ebből következik, hogy egy-egy kódhoz több olyan szimbólum tartozik, amelyeket ma is használnak a hagyományos csapadékmérő állomáshálózatban. Azokon a napokon, amikor többféle csapadékesemény történt, az aktuális napra vonatkozó csapadékfajtát az előfordult legnagyobb kódértékkel jelölték.

2.3.6. Napfényösszeg [óra]

A napfénytartam meghatározása a mérések kezdete óta nem változott. Az esti órákban levett napfény regisztrátumot óránkénti bontásban kiértékelik, az órás adatok összege az aktuális napra vonatkozó napfényösszeg (Forrás: OMSZ).

2.4. Adatleírás

Az OMSZ hivatalos adatbázisában az időjárási jellemzők jelölésére az alábbi változó neveket használja, amelyek az angol meghatározások rövidítései. Pl, d=day, t=temperature, a=average, x=maximum, n=minimum, s=summation, Az elemzések során mi is ezeket használtuk.

d_ta: napi középhőmérséklet [°C]

d_tx :napi maximumhőmérséklet [°C]

d_tn: napi minimumhőmérséklet [°C]

d_rs: napi csapadékösszeg [mm]

d_rf: napi csapadékösszeg fajtája

d_ss: a napfénytartam napi összege [óra]

3. Éghajlati elemzés

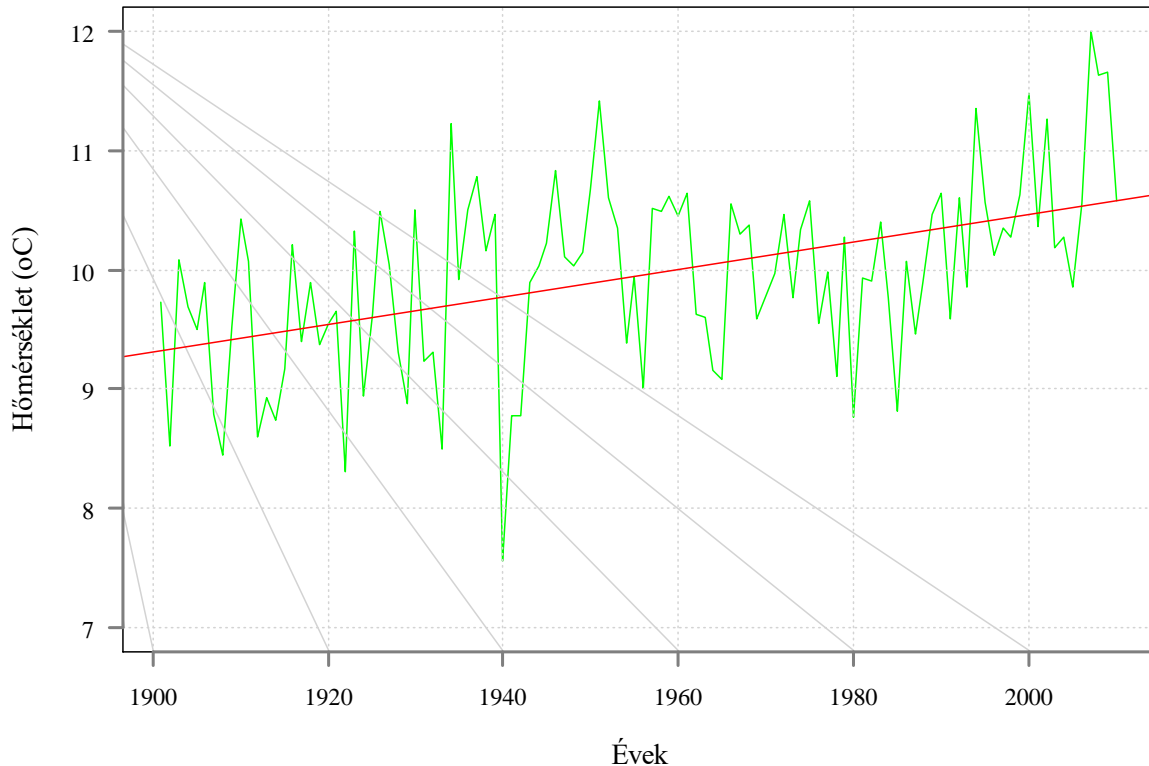
Az éghajlat elemzésére a hőmérséklet, csapadék és napfénytartam adatokat használtuk fel. Ezek a leggyakrabban, hosszútávon mért időjárási tényezők.

3.1. A levegő hőmérséklete

A léghőmérséklet az egyik legjellemzőbb és legkönnyebben mérhető meteorológiai jellemző. Értéke függ a talajfelszíntől mért távolságtól, ezért a nemzetközi szabványoknak megfelelően a gyakorlatban a 2 méteres magasságban kihelyezett hőmérők adatait rögzítik.

3.2. Évi középhőmérsékletek

A 14. ábrán látható Debrecen évi középhőmérséklete (1901 és 2010 között).

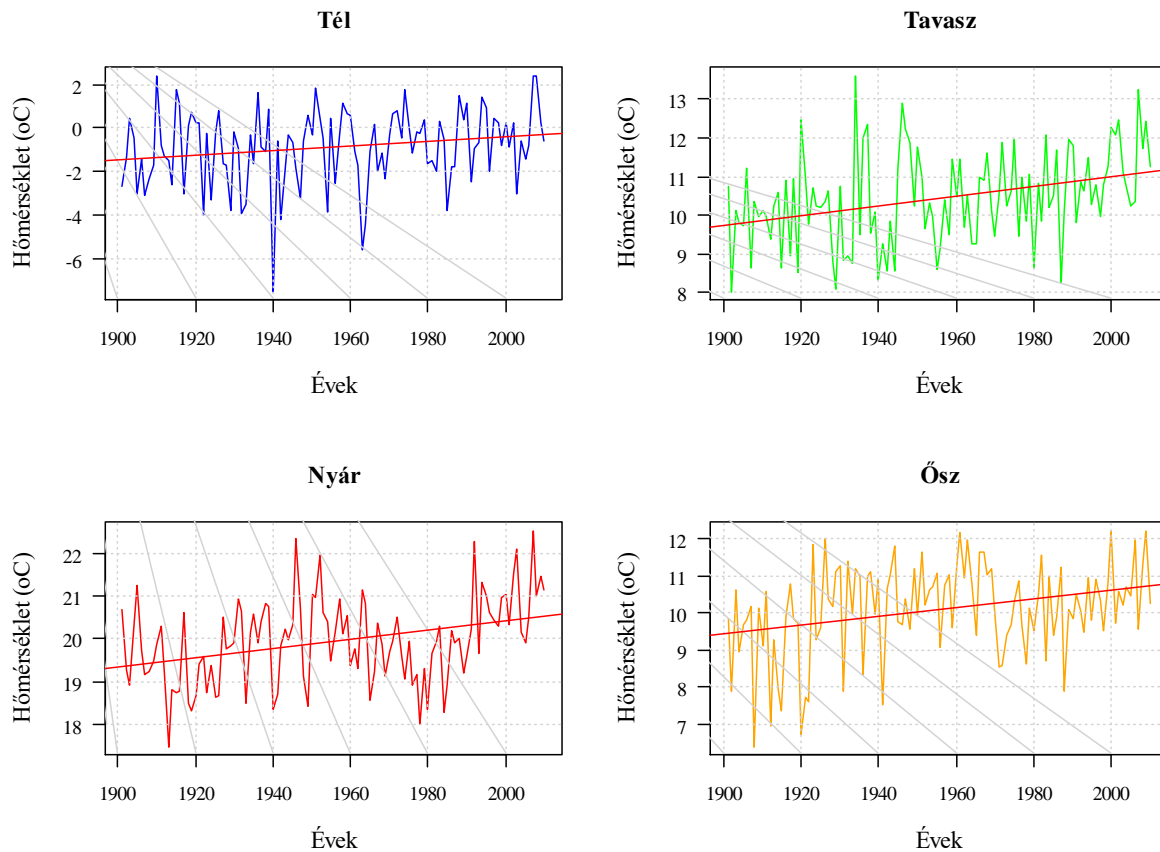


14. ábra. Debrecen évi középhőmérséklete (1901-2010)

A debreceni éves középhőmérsékletek sorozata meglehetősen nagy változékonyságot mutat a teljes XX. századot átölelő időszakban (14. ábra). Az ingadozás jellegét tekintve a globális hőmérsékleti tendenciákkal összhangban alakult. Az 1940-es, rendkívül hideg évet követően a század közepéig emelkedett a hőmérséklet, majd a következő mintegy két évtizedes periódusban csökkenő tendencia jellemzi az éves középhőmérsékleteket. A legutóbbi intenzív melegedési folyamat a hetvenes évek második felében kezdődött, és a kilencvenes évektől kezdve rendkívül szembetűnő Debrecen adatsorában. Hideg évek túlnyomórészt a század első felében fordultak elő, Az évszázad leghidegebb éve, 1940, amikor az évi középhőmérséklet mindössze 7,5°C volt.

Az elemzett százöt éves intervallumban, 1901 és 2010 között, a legmelegebb évek a múlt század utolsó évtizedében és az ezredfordulót követően léptek fel. Az első három a rangsorban rendre 2008, 2009 és 2007 voltak. Az éves középhőmérsékletek sorozatából az 1971-2000 közötti 30 éves időszak átlaghőmérsékletére 9,9°C adódik, ami mintegy két tized fokkal meghaladja az előző, 1961-90 közötti periódus átlagát. A múlt század utolsó évtizedében három olyan év volt (1991, 1993, 1996), ami az 1971-2000-es normál érték alatt alakult. Debrecen

hőmérsékleti sorában is jelentős az évről-évre fellépő változékonyság, a hőmérséklet emelkedő tendenciája azonban az utóbbi 40 évben egyértelműen kimutatható. A négy évszak hőmérsékleteit a 15. ábra szemlélteti,



15. ábra. A négy évszak középhőmérsékletei (1901-2010)

Az évi középhőmérsékletek sorozatára illesztett lineáris trend szerint a melegedés mértéke meghaladja a $1,26^{\circ}\text{C}$ -ot a 110 év során, az 1970-es évtől számított trend pedig $1,38^{\circ}\text{C}$ -os növekedést jelez az adatsorban az utolsó 40 évre vonatkozóan.

A hőmérséklet átlagos éves járásának megfelelően a január havi átlagok a legalacsonyabbak, a júliusiak pedig a legmagasabbak. A legmelegebb és a leghidegebb hónap középhőmérséklete közötti különbség az éves közepes hőingadozás. A megfigyelési sorozatban ez az érték általában 21°C körül alakul, de előfordultak kiugróan magas ($32,7^{\circ}\text{C}$), illetve alacsony ($14,2^{\circ}\text{C}$) értékek is, főleg a század elején, valamint a század középső évtizedeiben. Az 1971-2010 közötti időszak éveiben a hőingadozás csak kismértékben tért el az átlagtól, főként az átlagos érték körül ingadozott.

Az átmeneti évszakok közül a tavaszi időszakra a gyors melegedés jellemző. Míg márciusban a havi középhőmérséklet 5°C körül van, addig a májusi átlag megközelíti a 16°C -

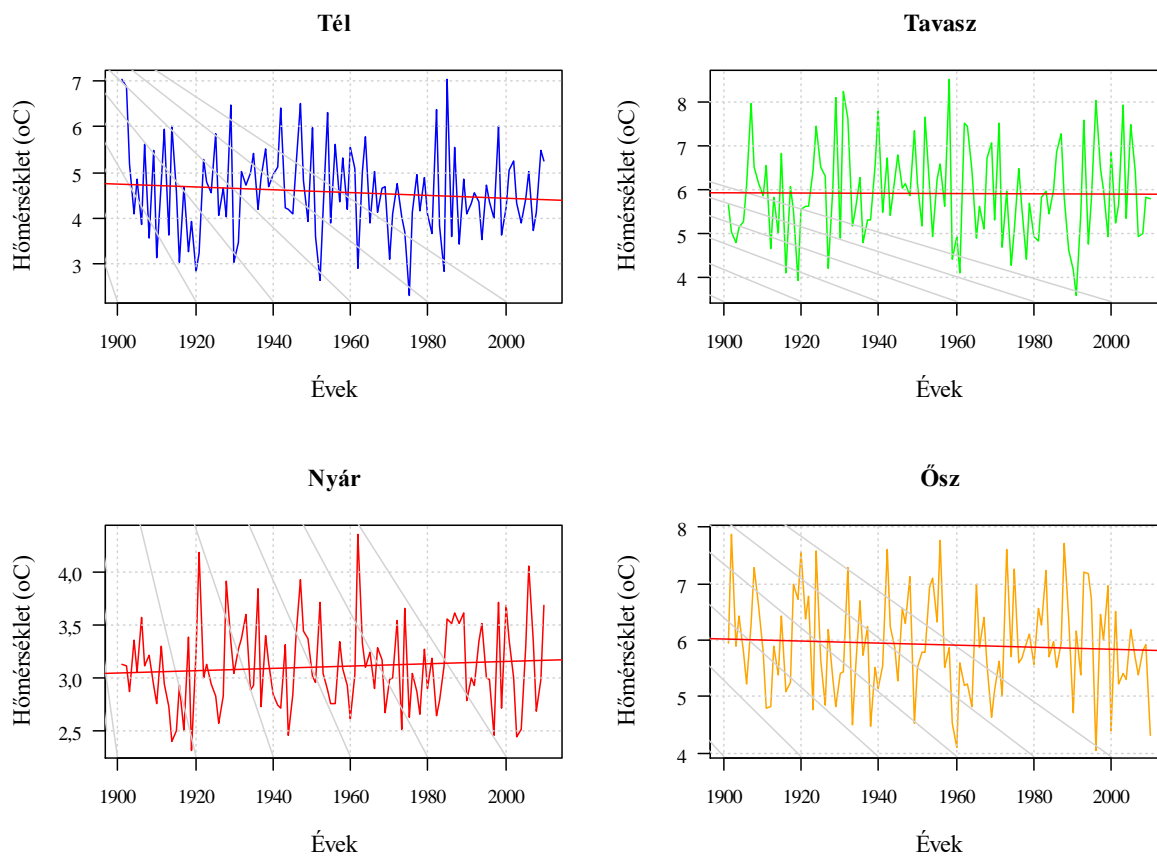
ot. A tavaszok sokéves átlaghőmérséklete 1971-2010 között $10,5^{\circ}\text{C}$ Debrecenben. Az időszak utolsó éveinek pozitív eltérései miatt a lineáris trendillesztés eredményeként mintegy $1,4^{\circ}\text{C}$ -os melegedés tapasztalható ebben az évszakban az elemzett időszak során.

A három őszi hónap átlaghőmérsékletei az átmeneti jelleg miatt, hasonlóan a tavaszi hónapokhoz, nagy eltérést mutatnak. Szeptemberben a sokévi átlaghőmérséklet $15,4^{\circ}\text{C}$, októberben 10°C , novemberben pedig 4°C körül alakul. Az őszi hőmérsékletek 1901-2010-es átlaga $10,1^{\circ}\text{C}$. Hűvös őszyök főleg a XX. század elején domináltak, a növekedés a teljes idősort tekintve ebben az évszakban a másik átmeneti évszakhoz hasonló érték, $1,3^{\circ}\text{C}$ a 110 év alatt.

Az évi abszolút hőmérsékleti szélsőértékek átlagaival jellemezhetők az egy éven belül várható extrém hőmérsékletek. Az 1971-2010-es időszakra vett átlagos abszolút maximum $33,9^{\circ}\text{C}$, négy tized fokkal magasabb, mint az 1961-1990-es érték, az abszolút minimumok átlagosan $-16,3^{\circ}\text{C}$ -ot vettek fel 1971 és 2010 között, ez nyolc tized fokkal magasabb érték a korábbi normál időszak átlagánál.

Az átlagos értékek mellett érdemes megvizsgálni az évszakok hőmérsékleti ingadozását is. Vajon változott-e a 110 év alatt, illetve van-e különbség az évszakok hőingadozása között. A téli időszak átlagos ingadozása $4,7^{\circ}\text{C}$.

A négy évszak átlag hőmérsékleteinek szórását a 16. ábra tartalmazza.

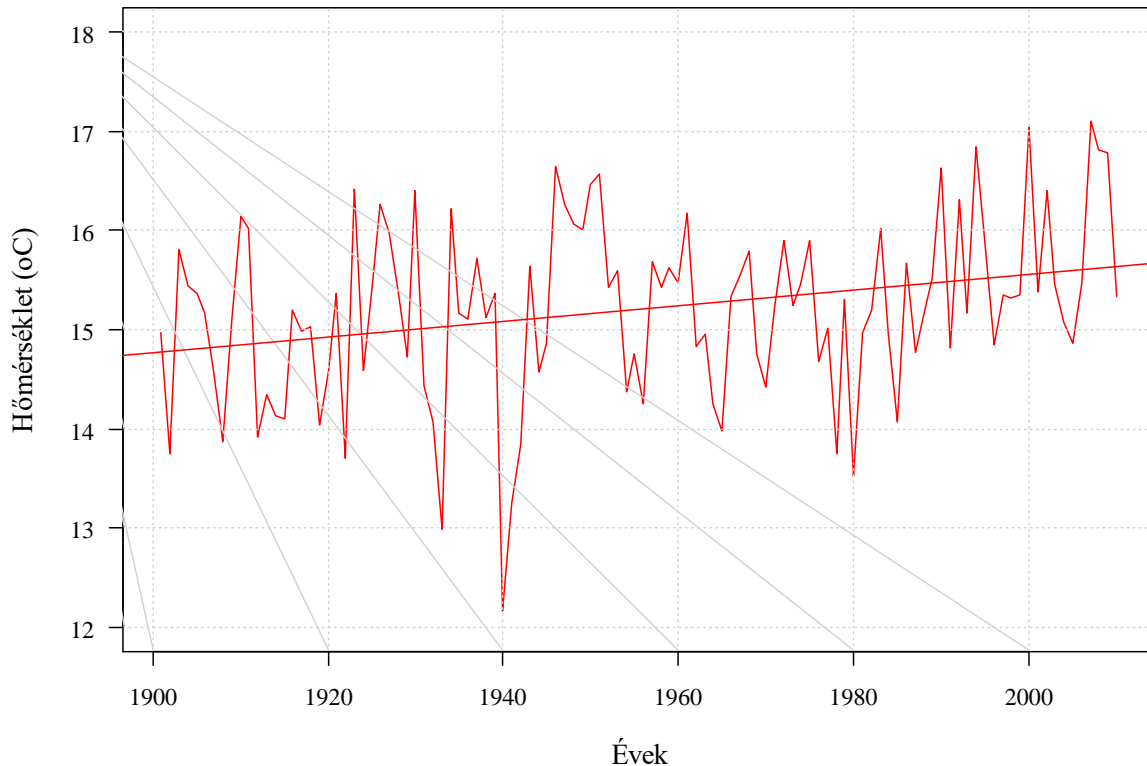


16. ábra. A négy évszak átlaghőmérsékleteinek szórása (1901-2010)

A szórások átlagolásakor négyzetes átlagot kell számítani, mivel a szórás a négyzetes távolságok átlaga. A látszólagos csökkenés ellenére a lineáris trendillesztés eredményeként nem mutatható ki változás. A tavaszi átlagos hőingadozás 6°C , és itt sincs változás a vizsgált időszak alatt. A nyári évszak hőingadozása a legkisebb, átlagosan $3,7^{\circ}\text{C}$. A lineáris trendillesztés alapján itt sem lehet kimutatni változást. Végül az őszi ingadozás nagyban hasonlít a tavaszihoz, átlagos értéke ennek is 6°C . Itt sem lehet kimutatni statisztikai eszközökkel a változást.

3.3. Évi maximum hőmérsékletek

Az évi maximum hőmérsékleteket a 17. ábra szemlélteti.



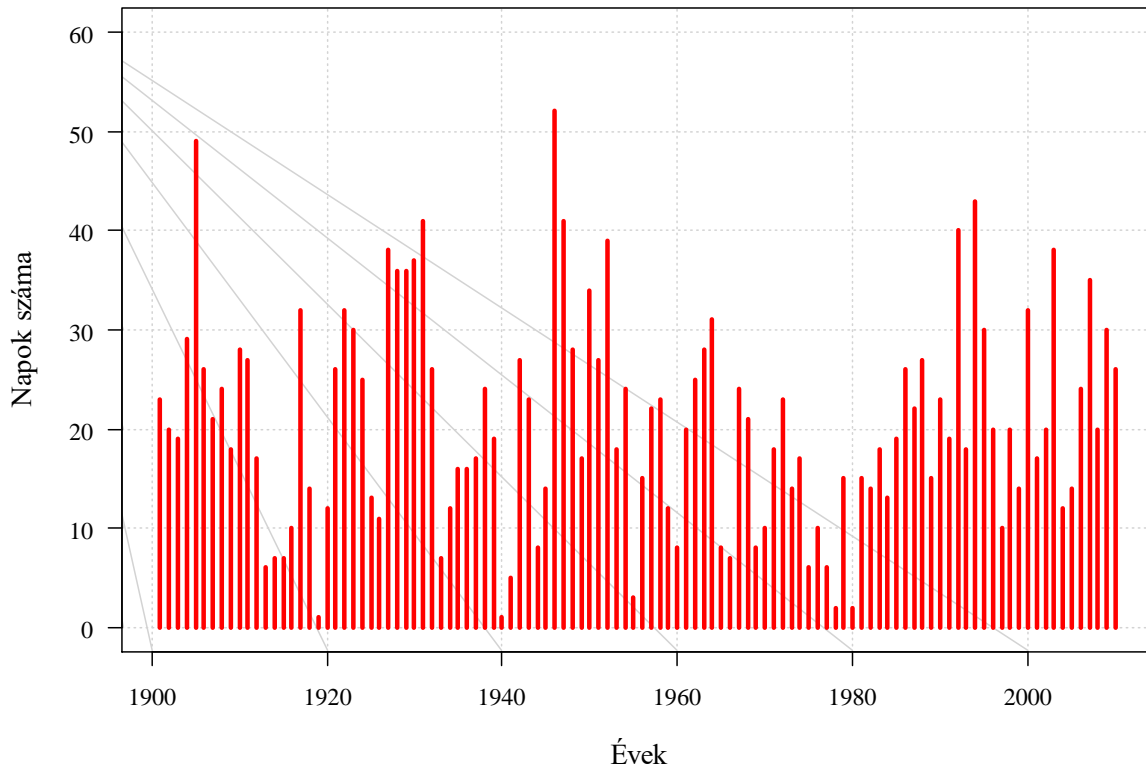
17. ábra. Az évi maximum hőmérsékletek (1901-2010)

A nyári hónapok közül a legmelegebb a július, 1901-2010 átlagában 20,79°C. A legmelegebb 1995 júliusa volt 23,4°C-os havi átlaghőmérséklettel, a leghűvösebb pedig az 1913-as év júliusa, a havi átlag mindössze 17,6°C-ot tett ki ebben a hónapban. Az eddigi legmagasabb havi középhőmérsékletet nem júliusban, hanem 1992 augusztusában észlelték, értéke 24,9°C. A 110 éves idősor abszolút maximuma 1946. augusztus 19-én lépett fel, értéke 39,2°C.

Az évi maximum hőmérsékletek erős ingadozást mutatnak. Extrém módon alacsony értéket mutat, a nevezetes 1940. esztendő. Ebben az évben volt a leghidegebb az elmúlt 110 évben. Az időszak alatt szép lassan emelkedik az értéke, és mintha az időszak második felében az ingadozás is csökkent volna. A lineáris trendhez viszonyítva jóval magasabb a nagyobb értékek eltérése ebben az időszakban (17. ábra).

3.4. A hőségnapok száma

A 30 °C-t meghaladó vagy elérő napok napokat hőségnapoknak nevezzük, amelyek számát a 18. ábra tartalmazza.

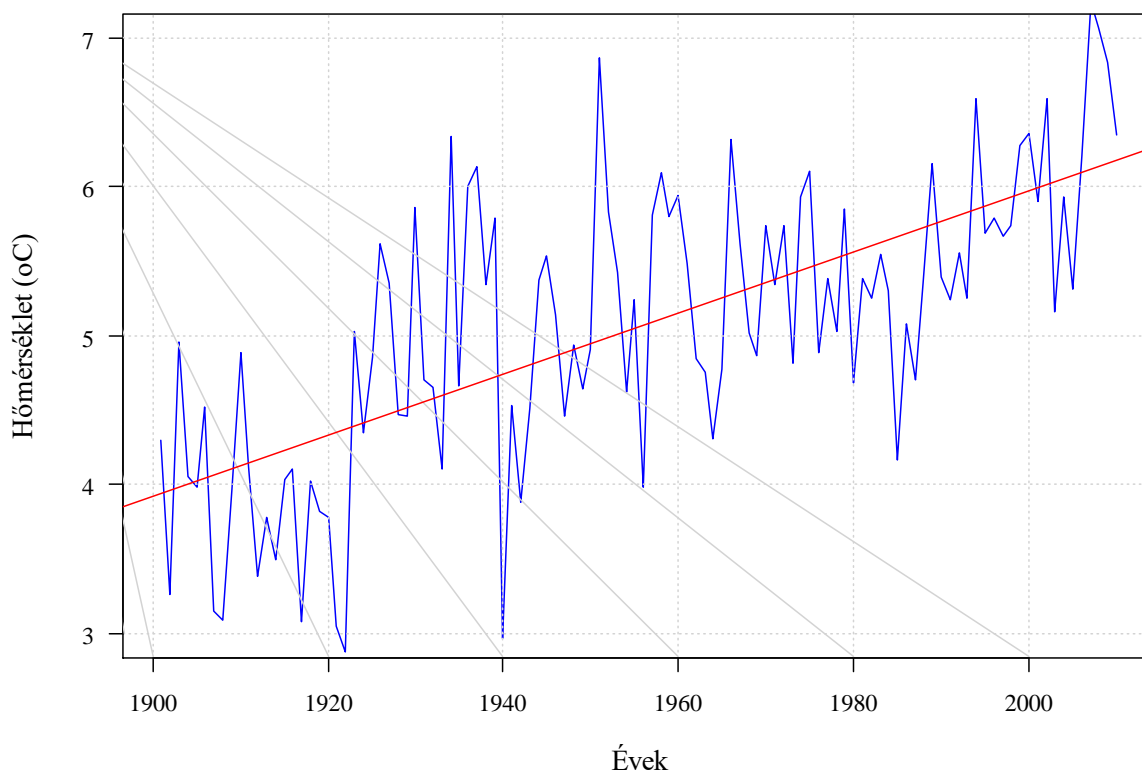


18. ábra. A hőségnapok száma (1901-2010)

A melegebb periódusok jellemzői a hőségnapok, amikor a napi maximumhőmérséklet eléri a 30°C-ot. Kiemelkedően magas számban fordultak elő hőségnapok 1946 nyarán, 52-szer regisztráltak 30°C-nál magasabb napi maximumhőmérsékletet. Az 1971-2010 időszak nyarai átlagosan 20 hőségnappal jellemezhetők. Ezek szerint a magas hőségnapok száma nem napjaink sajátossága. Ugyanúgy előfordultak a múlt század elején és közepén is. Az 1960-1990 közötti időszakban előfordulásuk csökkent, és csak 1990 után nőtt meg ismét a számuk. A hőségnapok minimumjai közel húszéves ismétlődéssel fordulnak elő. 1920., 1940., 1960-as évek közelében. A 2000-es évek környékén is megfigyelhető némi csökkenés, de ez már nem olyan kifejezett (18. ábra).

3.5. Évi minimum hőmérsékletek

Az évi minimum hőmérsékleteket a 19. ábra mutatja.



19. ábra. Évi minimum hőmérsékletek (1901-2010)

A lineáris regresszió-analízis eredménye az 1. táblázatban látható. Az egyenes meredeksége megmutatja, hogy átlagosan évenként 0,02 fokot emelkedett az éves minimum hőmérséklet (Év Együtthatók). Az r^2 négyzettel jellemzett meghatározottság 46%, Ez közepes érték, amelyet az évenkénti ingadozás tart ilyen alacsony értéken. A korrigált r^2 megegyezik a Pearson-féle szorzatmomentum értékkel.

1. táblázat. Az évi minimum hőmérséklet lineáris trendillesztésének eredménye

	Együtthatók	Standard hiba	t-érték	P(> t)
Tengelymetszet	3,92	0,136	28,749	< 2e-16 ***
Év	0,02	0,002	9,611	3,58e-16 ***
Maradékok hibája	0,71			
r^2	0,46			
Korrigált r^2	0,46			

Az évenkénti növekedés eredményeként a 110 év alatt 2,26 fokot emelkedett a minimum hőmérséklet, amely jóval meghaladja az átlagos hőmérséklet emelkedését. Ezek szerint a melegedés aszimmetrikus jelenség, mivel az alacsony hőmérsékletek sokkal ritkábban fordulnak elő, mint a magasabbak (19. ábra). Az alacsony hőmérséklet a kisugárzott energiavesztés során alakul ki. Pl., az éjszakai hőmérsékleti minimumok derült égboltnál sokkal kisebbek, mint felhős időben. A légkörben megnövekedett üvegházhatású gázok csak kismértékben csökkentik a Nap talajfelszínre érkező energiáját, mivel ezek zömben rövidhullámú sugárzások, és ezt a légkör könnyen átterjeszti. A felszínen azonban ez az energia átalakul, főként hőenergia lesz belőle, amely már hosszúhullámú, és ezt a hosszúhullámú sugárzást az üvegházhatású gázok már nagyobb mértékben verik vissza felszín felé. Ez az egyik lehetséges magyarázat az aszimmetrikus felmelegedésre.

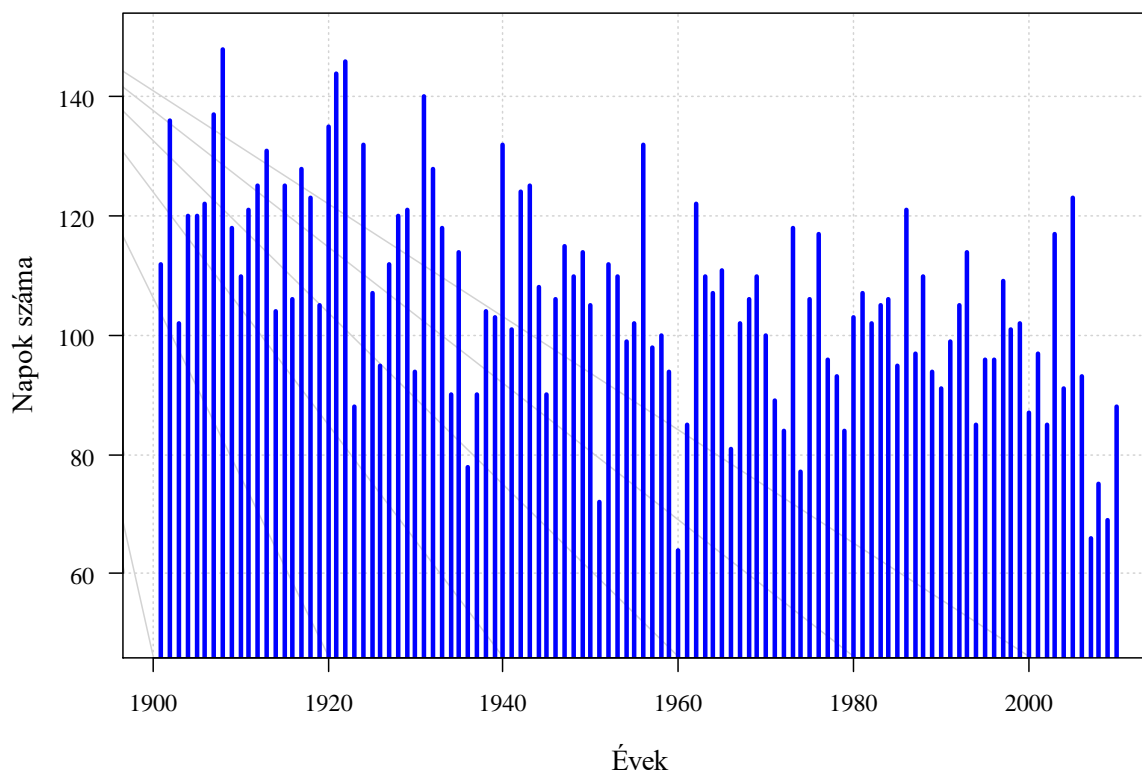
3.6. A fagyos napok száma

A meteorológiában fagyos napnak tekintik az olyan napokat, amelyeken a napi minimum hőmérséklet nem haladja meg a nulla fokot. A fagyos napok számának lineáris trendilleszkedési eredményeit a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat. A fagyos napok száma lineáris trendillesztésének eredménye

	Együtthatók	Standard hiba	t-érték	P(> t)
Tengelymetszet	122,54	2,831	43,274	< 2e-16 ***
Év	-0,29	0,044	-6,612	1,49e-09 ***
Maradékok hibája	14,75			
r ²	0,28			
Korrigált r ²	0,28			

A lineáris trend létezik, az egyenes paraméterei szignifikánsak, azaz nullától különbözőek. A fagyos napok száma éves átlagban 0,3 nappal csökken, amely a vizsgált 110 év alatt 32 napos csökkenést jelent. Ez a csökkenés az r² alacsony értéke (0,29) mellett is létezik. A meghatározottságot itt is az évenkénti szélsőséges ingadozás gyengíti. A fagyos napok számát a 20. ábra tartalmazza.



20. ábra. Fagyos napok száma (1901-2010)

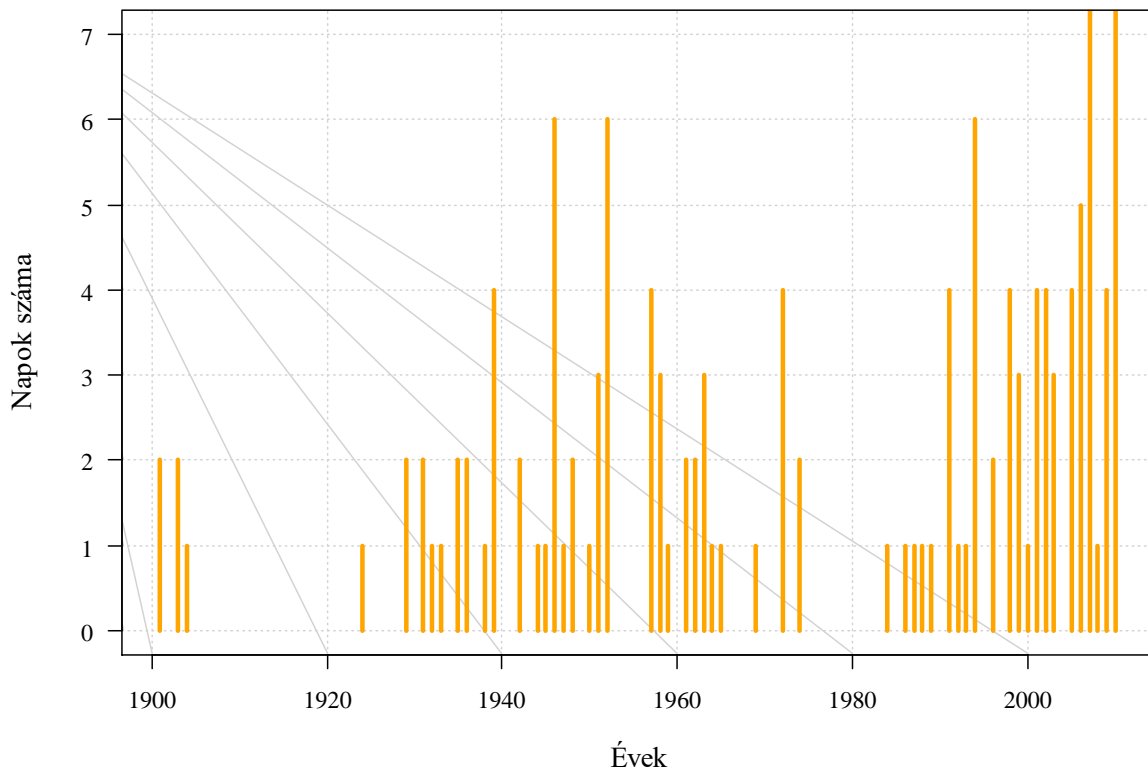
A fagyos napok számának csökkenése a mezőgazdaságban a növényvédelemnek jelenthet külön ráfordítást, mivel a kártevők és kórokozók felszaporodásához vezethet. Hideg telek főként a század elején és a század közepő évtizedeiben voltak jellemzőek. A század utolsó harmadát tekintve az 1984/85-ös tél az egyetlen, ami kiemelhető alacsony középhőmérséklete miatt. Az 1971-2010 közötti időszakban a leghidegebb évszak átlaghőmérséklete Debrecenben $-0,44^{\circ}\text{C}$ volt. A téli hónapok közül leghidegebb a január, 1961-1990 között a januári átlag $-2,5^{\circ}\text{C}$ volt. Ugyanakkor az 1971-2010 intervallumban a januárok átlaga közel 1°C -kal volt magasabb, $-1,6^{\circ}\text{C}$. A téli hónapok (december, január, február) középhőmérséklete változó az egyes évek között, $-5,9^{\circ}\text{C}$ és 3°C között alakult a 110 év során. Az 1963/64-es és az 1939/40-es tél rendkívül zord volt Debrecenben, a téli átlaghőmérséklet $-5,9^{\circ}\text{C}$ és $-5,8^{\circ}\text{C}$ volt, a januári középhőmérséklet pedig -10°C körül alakult ezeken a teleken. A legenyhébb 1950/51 tele volt, a decemberi és a rákövetkező februári átlag is meghaladta a $3,5^{\circ}\text{C}$ -ot (20. ábra).

A leghidegebbet 1942. január 24-én mérték, a minimumhőmérő $-30,2^{\circ}\text{C}$ -ot mutatott ezen a napon. Fagyos napok, vagyis amikor a napi minimumhőmérséklet 0°C alá süllyed, döntően november és március között alakulnak ki, számuk átlagosan 108, de az egyes években igen eltérő lehet. A század első felében fellépő hideg telek következtében négy olyan év is volt, amikor a fagyos napok száma elérte, illetve meghaladta a 140-et. Számuk jelentősen csökkent,

a vizsgált időszakban 32 nappal lett kevesebb a fagyos napok száma Debrecenben. A megfigyelések szerint a század utolsó évtizedében egyedül 1993-ban regisztráltak 110-nél több fagyos napot.

3.7. A meleg éjszakák száma

A magas éjszakai hőmérsékletek a növények légzését befolyásolják. Minél magasabb a hőmérséklet, annál nagyobb a légzés intenzitása, s annál jelentősebb a növényeknél a szerves anyag veszteség. Ezért az éjszakai minimum hőmérsékletek esetében is szokás megadni egy olyan küszöbértéket, amelynél magasabb értékek már kedvezőtlenek a növények számára. Hazánkban 20 foknál magasabb éjszakai hőmérsékletek viszonylag ritkák, de 18 fok feletti értékek többször is előfordulhatnak. A meleg éjszakák számát a 21. ábra tartalmazza.



21. ábra. A meleg éjszakák száma (1901-2010)

3. táblázat. A meleg éjszakák száma lineáris trendillesztésének eredménye

	Együtthatók	Standard hiba	t-érték	P(> t)
Tengelymetszet	-48,83	10,984	-4,446	< 2,13e-05 ***
Év	0,02	0,005	4,564	1,33e-05 ***
Maradékok hibája	1,87			
r ²	0,16			
Korrigált r ²	0,16			

A lineáris trend létezik, annak ellenére, hogy a determinációs együttható értéke csak 16%. Ezt az alapadatok szélsőséges ingadozása okozza, mivel nullánál kisebb nem lehet, ezért az eloszlás erősen aszimmetrikus (3. táblázat).

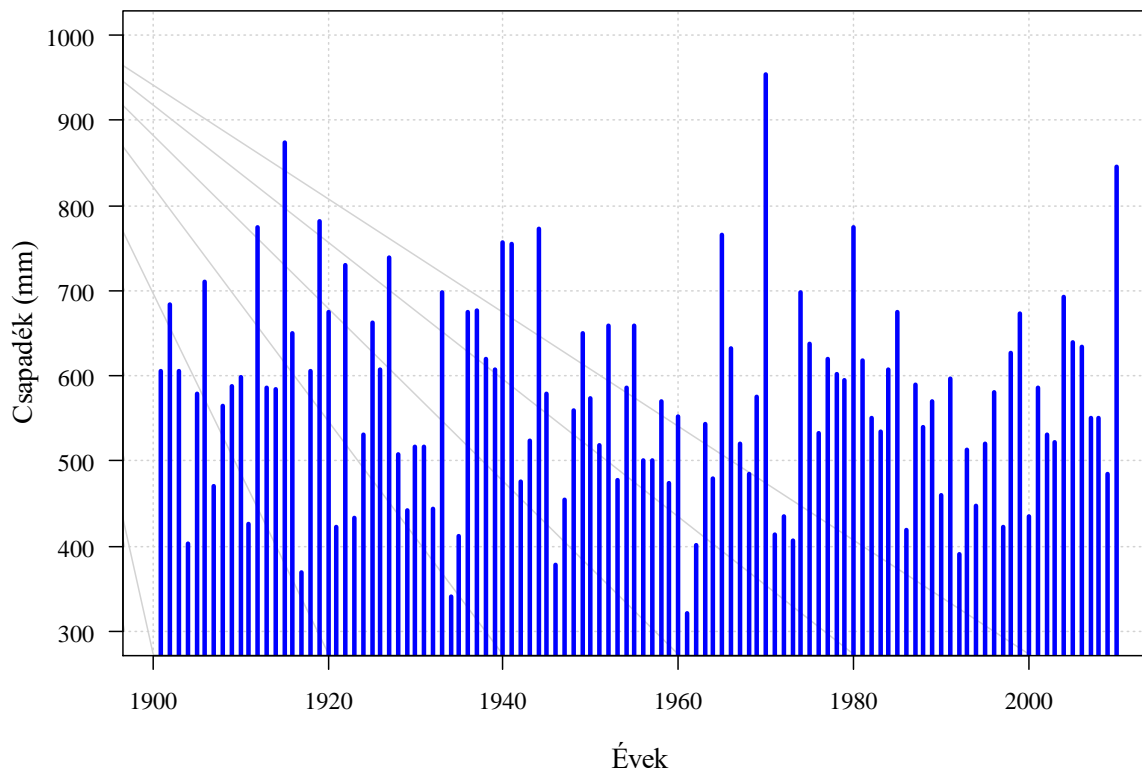
A 110 év alatt közel 3 nappal emelkedett a meleg éjszakák száma. Ez olyan növény termesztésénél okozhat gondot, amely igényli a nappali és éjszakai hőmérséklet nagy különbségét.

3.8. Csapadékviszonyok

A globális felmelegedés az éghajlatváltozás egyik, de nem a legfontosabb problémája. A melegedés a legtöbb országban nem okozna gondot, ha a csapadék mennyisége lépést tartana vele. Ez logikus következmény lenne, mivel a földi légkörzésbe, ha több energia tárolódik (hőenergia formájában), akkor a folyamatok felgyorsulnak, és a párolgás növekedésével több vízgőz jut egységnyi idő alatt az atmoszférába, amelyből több csapadék keletkezik. A mezőgazdaság számára a legrosszabb scenárió, ha a felmelegedés a csapadék mennyiségének csökkenésével társul. Mivel a légkörzés nagyon összetett folyamat, ezért a felmelegedés és csapadékmennyiség változásának minden kombinációja előfordul lokálisan.

3.9. Évi csapadékösszegek

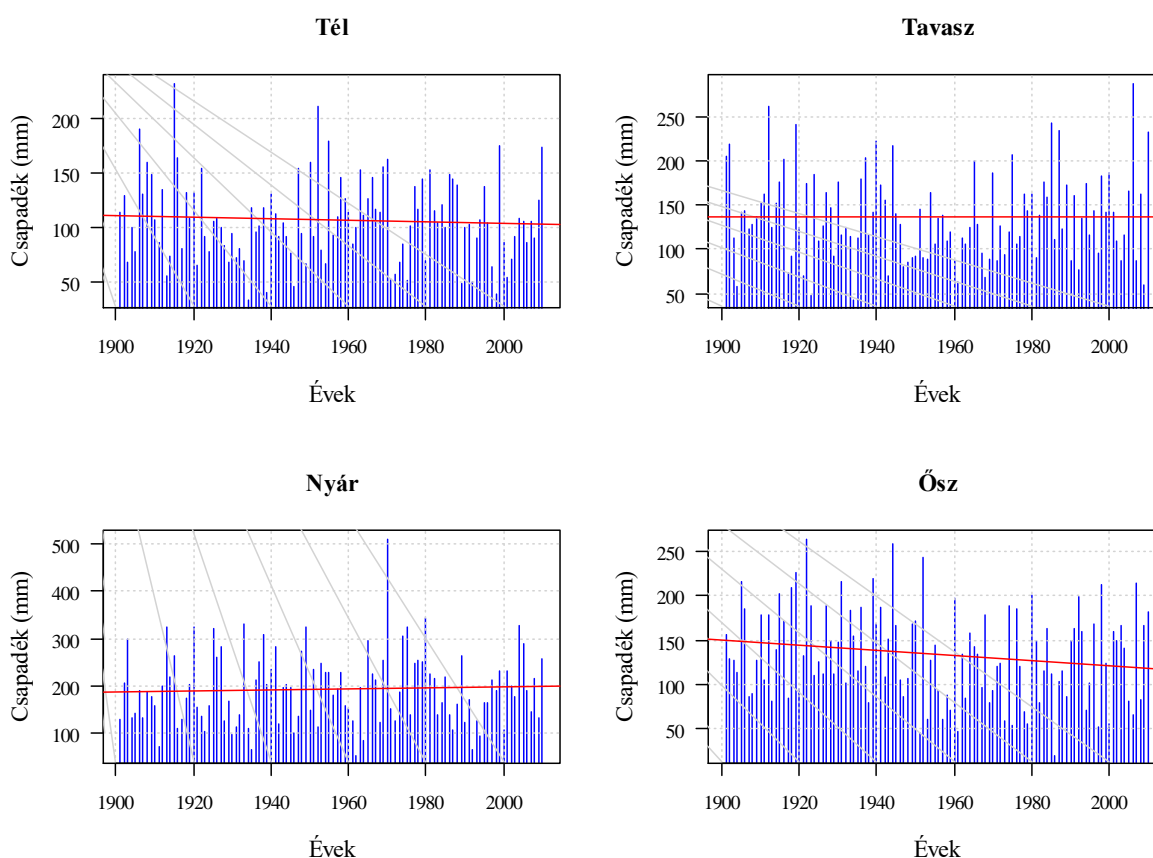
A 22. ábra az évi csapadékösszegeket szemlélteti 1901 és 2010 között.



22. ábra. Az évi csapadékösszegek (1901-2010)

Debrecen éves csapadékösszeg idősorát tekintve megállapíthatjuk, hogy az elmúlt 110 év folyamán a csapadék mennyisége statisztikailag igazolható módon nem változott (22. ábra). Az évek közötti változékonyság igen jelentős, nagycsapadékú évek a század végén is előfordultak, és voltak aszályos évek a század első felében is. A debreceni éves csapadék 1901-2010-es átlaga 572 mm. A legszárazabb (321 mm, 1961) és legnedvesebb (953 mm, 1970) évek csapadékösszege között közel háromszoros a különbség. A száztíz év alatt egyszer haladta meg az éves csapadékmennyiség a 900 mm-t, 1970-ben 953 mm hullott az év folyamán, amely az Alföldön addig sohasem regisztrált árvíz okozott a Tisza vízgyűjtő területén. A legszárazabb öt évben (1961, 1934, 1917, 1946, 1992) a 400 mm-t sem érte el az éves összeg.

A négy évszak csapadékösszegeit a 23. ábra szemlélteti.



23. ábra. A négy évszak csapadékösszegei (1901-2010)

A csapadékösszeg szélsőséges ingadozása miatt látszólagos csökkenést lehet kimutatni, ha csak az első száz évet elemezzük, Az időszak első száz évében az évi összeg az időszak végére közel 10%-kal lett kevesebb, azonban, ha az ezredforduló utáni tíz évet is hozzávesszük, ez a csökkenés már nem igazolható (23. ábra).

A téli csapadék átlaga az 1901-2010-es időszak alapján 107 mm. A vizsgált időszakban a lineáris trendillesztéssel nem lehet kimutatni változást. Látszólag ugyan van egy enyhe csökkenés, évi 0,07 mm, de ezt nem lehet statisztikailag igazolni, aminek fő oka a csapadék nagy változékonysága. A legszárazabb tél 1934-ben volt, ekkor csupán 34 mm esett a téli évszakban. A legtöbb csapadék 1915-ben hullott, 232 mm. Ez közel hétszer akkora, mint a legkisebb mennyiség.

A három téli hónap közül a február a legszárazabb, a sokéves átlag 27 mm. Januárban 32 mm, míg decemberben a februári érték másfélszerese, 41 mm a szokásos összeg. A téli hónapok közül februárban mérték a legkevesebb csapadékot (1976, 0,2 mm) és december

hónapban a legtöbb csapadékot (1914, 130 mm). Száraz hónapok egyébként a tél minden szakaszában előfordultak, februárban 5 alkalommal is előfordult, hogy 5 mm-nél kevesebb volt a havi összeg. Az 1971-2010-es időszakot átlagosan 38 havas nappal jellemezhetjük, ez 7 nappal elmarad az 1961-90-es átlagtól. A leghavasabb telek az 1952 és 1986 közötti időszakban fordultak elő, a hóban legszegényebb év, 1972, amikor a tél folyamán csak 12 havas napot észleltek.

A tavaszi csapadékmennyiség sokévi átlaga az 1901-2010-es időszak alapján 137 mm. A 110 év alatt a lineáris trendillesztés eredménye szerint ez a mennyiség nem változott. A legszárazabb tavasz 1934-ben volt, amikor a 3 hónap alatt lehullott mennyiség alig haladta meg a 43 mm-t. A negyvenes évek közepétől a hatvanas évek közepéig jellemzően átlag alatti volt a csapadék tavasszal. A legtöbb csapadék a 2006-os évben hullott, ekkor 290 mm volt az évszakos összeg. A század második felében két kiugróan magas csapadékú tavasz is előfordult, 1985-ben és 1987-ben, 244 mm és 236 mm évszakos összeggel. Az ezredforduló után a második legcsapadékosabb tavasz 2010-ben volt, 233 mm esett.

A tavaszi hónapokban a csapadék mennyisége hónapról hónapra nő, a márciusi átlagos 29 mm-es összeg csupán 2 mm-rel haladja meg a legszárazabb hónap, a február átlagát, májusban viszont ennek több mint kétszerese, 64 mm a sokévi átlag. A százöt év alatti legszárazabb tavaszi hónap 1953, márciusa volt 1,1 mm havi összeggel. A legcsapadékosabb tavaszi hónap pedig az 1985-ös év májusa volt 161 mm-t meghaladó értékekkel, ami még a sokéves évszakos átlagnál is magasabb.

A nyári csapadék átlaga az 1901-2010-es időszak alapján 194 mm. A vizsgált időszakban a lineáris trendillesztéssel itt sem lehet kimutatni változást. Látszólag ugyan van egy enyhe növekedés, évi 0,09 mm, de ezt nem lehet statisztikailag igazolni, aminek fő oka a csapadék nagy változékonysága. A legszárazabb nyár 1962-ben volt, ekkor csupán 55 mm esett a nyári évszakban. A legtöbb csapadék 1970-ben hullott, 511 mm, Ez több mint kilenceszer akkora, mint a legkisebb mennyiség.

A múlt század elején és végén egyaránt előfordultak aszályos és árvizeket okozó, nagycsapadékú évek is. *A legkisebb csapadékösszegű nyarak harmincévenként követik egymást, időrendben az 1935, 1962 és az 1992-es évek nyarai voltak a legszárazabbak Debrecenben.* Az év legcsapadékosabb hónapja általában a június, melynek átlagos csapadékösszege 75 mm, a július és augusztus ennél lényegesen szárazabb, 63 mm és 50 mm a sokévi átlag 1971-2010 között. Az 1970-es év augusztusa a legcsapadékosabb hónap 232 mm-rel Debrecen havi csapadékösszeg sorozatában. A második és a harmadik helyen áll ebben a rangsorban szintén a

hetvenes években, az 1974. június (176 mm) és a már említett 1970-es év június (165 mm) havi összege. Érdeemes megjegyezni, hogy júniusban és júliusban az 1961-90-es periódus átlaga megközelítőleg ugyanaz, mint az utóbbi harminc év átlaga, augusztusban azonban több mint 10 mm-rel elmarad az 1961-90-es normáltól. A legszárazabb hónapok a nyár második részében alakultak ki, júliusban és augusztusban is 4 olyan évet találunk, amikor 10 mm alatt maradt a havi összeg, a legszályosabb nyári hónapban, 1928 júliusában 4,9 mm csapadékot mértek Debrecenben.

Az őszi csapadékmennyiség sokévi átlaga az 1901-2010-es időszak alapján 134 mm. A 110 év alatt a lineáris trendillesztés eredménye szerint ez a mennyiség csökkent. A csökkenés mértéke évi 0,29 mm, *A száztíz év alatt tehát 32 mm-rel csökkent az őszi csapadék mennyisége, ez közel 25%-os csökkenést jelent.* A legszárazabb ősz 1986-ban volt, amikor a 3 hónap alatt lehullott mennyiség alig haladta meg a 20 mm-t. A legtöbb csapadék a 1922-es évben hullott, ekkor 265 mm volt az évszakos összeg. *A legkisebb és legnagyobb érték közötti különbség közel 13-szoros.* Az ezredforduló után az egyik legcsapadékosabb ősz 2007-ben volt, ekkor 214 mm esett.

Az őszi hónapokban a csapadék mennyisége átlagban alig változik hónapról hónapra, a szeptemberi és októberi átlagos 43 mm-es összeget a novemberi csak 5 mm-rel haladja meg. A száztíz év alatti legszárazabb szeptember 1986, 1961, 1979-ben volt a havi csapadék összege nem érte el az 1 mm-t sem. A legtöbb szeptemberi eső 1906, 1976, 1931 és 2001-ben volt, a havi összeg meghaladta a 120 mm-t. Az októberi csapadék is extrém változatosságot mutat, 1,4-145 mm közötti értéket mutat a 110 év alatt. 1902 novemberében egyetlen csepp eső sem esett, a legcsapadékosabb 1919. évben viszont 142 mm hullott.

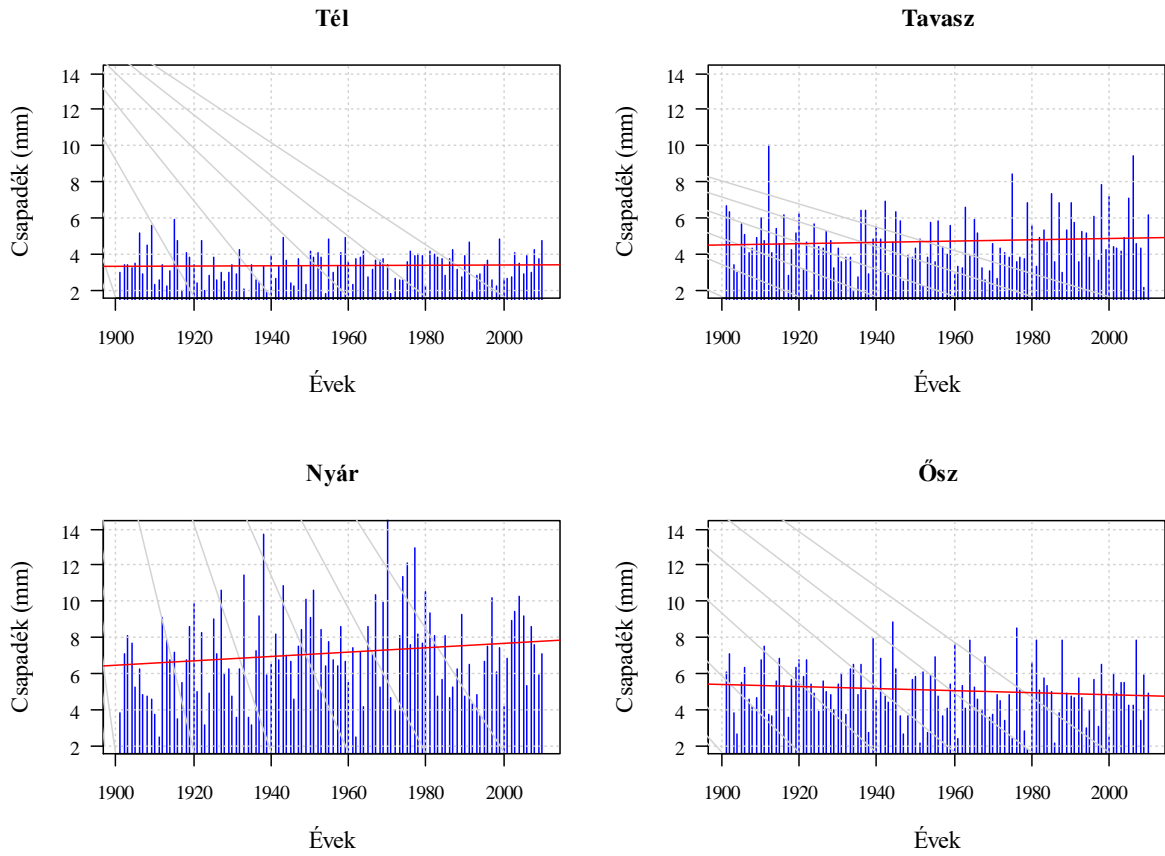
A XX. század második felében tapasztalhattunk rendkívüli szárazságot ebben az évszakban. *Az őszyk egyre kevesebb csapadéka nem egyenletes, a század első felében a nedvesebb őszyk voltak jellemzőbbek, a második felében pedig többször jellemezte aszály ezt az évszakot.*

A mezőgazdaságban az őszi talajmunkák elvégzése, időbeli ütemezése és minősége nagyban függ a talaj nedvességtartamától, a lehullott csapadék mennyiségétől. Mivel ebben az időszakban a legbizonytalanabb a csapadék, illetve nagyon nagy szórást mutat, ezért nagy kihívás elé állítja a szakszerű talajművelést. Egyszerre kell alkalmazkodni az extrém száraz és nedves körülményekhez. Ez technológiai és gépészeti szempontból az alkalmazkodó talajművelés kifejlesztését szorgalmazza.

A négy évszak csapadékainak szórása a tél-tavas-nyár folyamán egyre nő és ősszel kicsit mérséklődik.

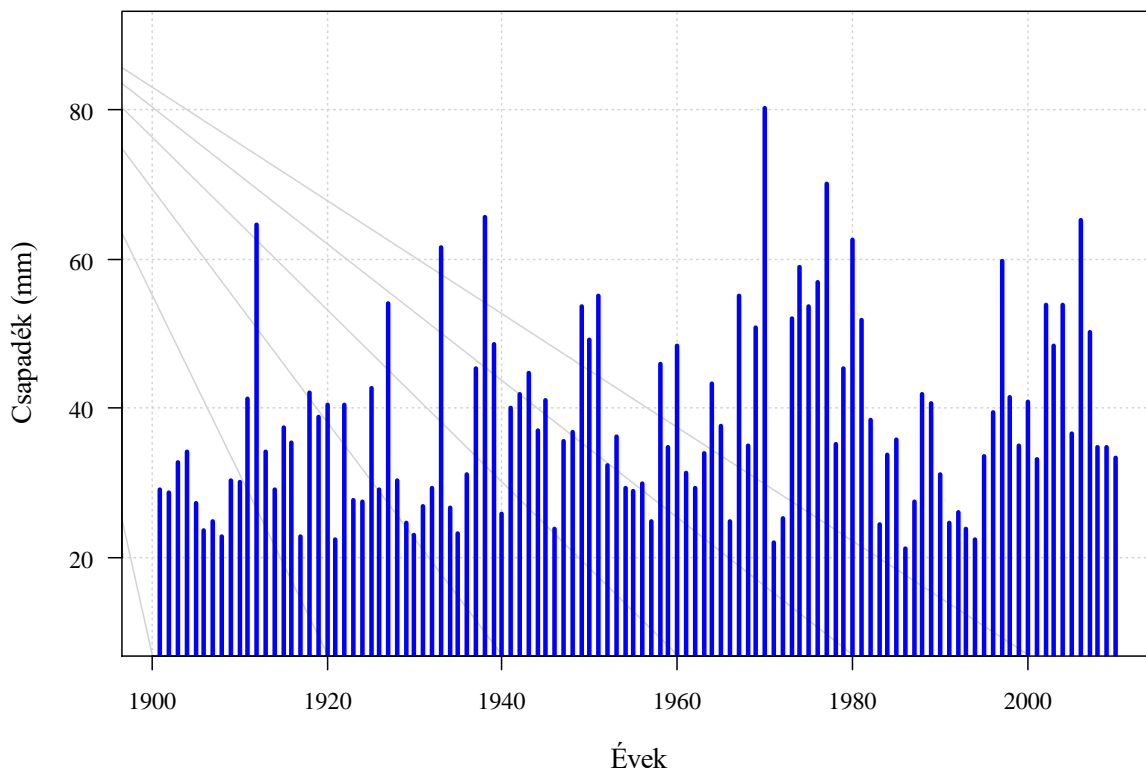
A nyári időszak csapadékainak szórása 10%-os szignifikancia-szint mellett nőtt a 110 év alatt. A növekedés mértéke 0,012 mm/év, ami a vizsgált időszak alatt 1,3 mm-t jelent.

A négy évszak csapadékainak szórását a 24. ábra tartalmazza.



24. ábra. A négy évszak napi csapadékainak szórása (1901-2010)

A legnagyobb napi csapadékösszegek az évben (mm) a 25. ábrán láthatóak.

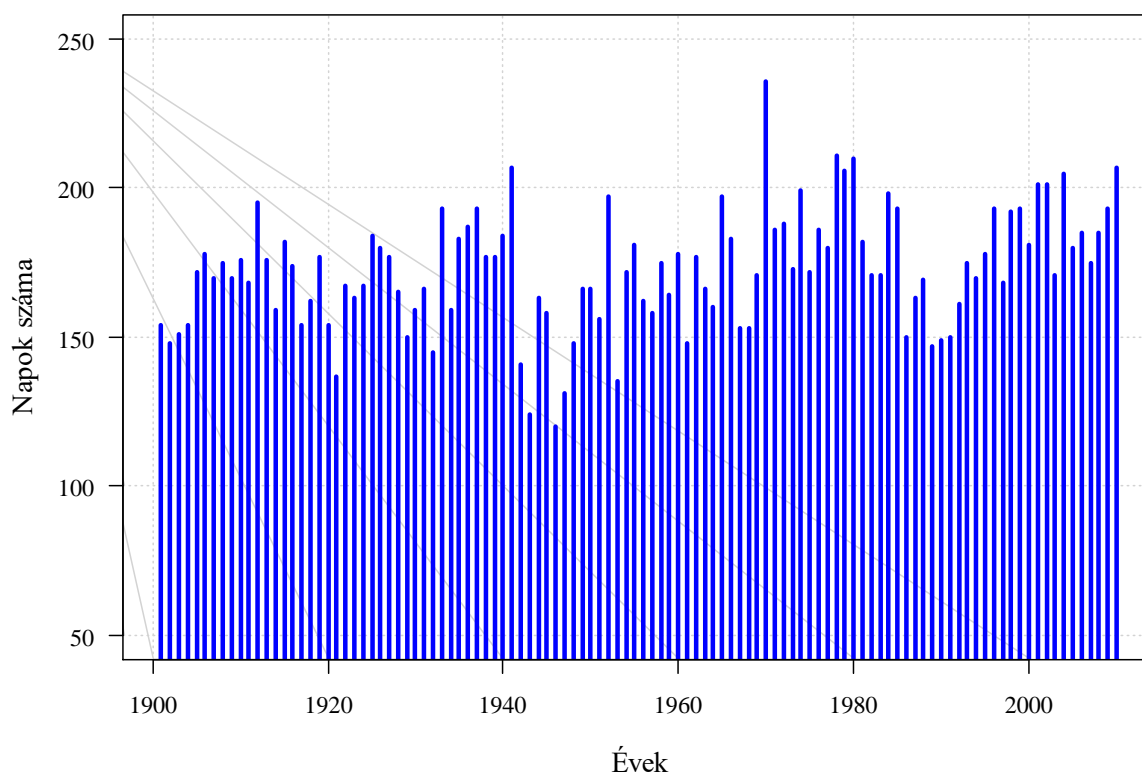


25. ábra. A legnagyobb napi csapadékösszegek (1901-2010)

Debrecenben a legnagyobb napi csapadékösszeg 1970-ben esett, 80,3 mm, ez több mint egy átlagos június havi csapadék. Átlagos értéke 38 mm volt. A lineáris trend-analízis alapján a változás mértéke csekély, az összefüggés nagyon gyenge, de pozitív. A 110 év alatt közel 10 mm-rel lett magasabb a legnagyobb napi csapadékösszeg. Ez azt jelenti, hogy az éves csapadékösszeg változatlansága mellett, egyre gyakrabban kell számolni extrém nagy csapadékokkal. A mezőgazdaságnak a talajok víznyelő és vízvezető képességének fokozott karbantartására kell odafigyelnie, biztosítani kell a vízvezető létesítmények folyamatos működését, ami megelőzheti a talajok erózióját, a termőtalaj legértékesebb részének elhordását (25. ábra).

3.10. Évi csapadékos napok száma

Az évi csapadékos napok számát a 26. ábra tartalmazza.

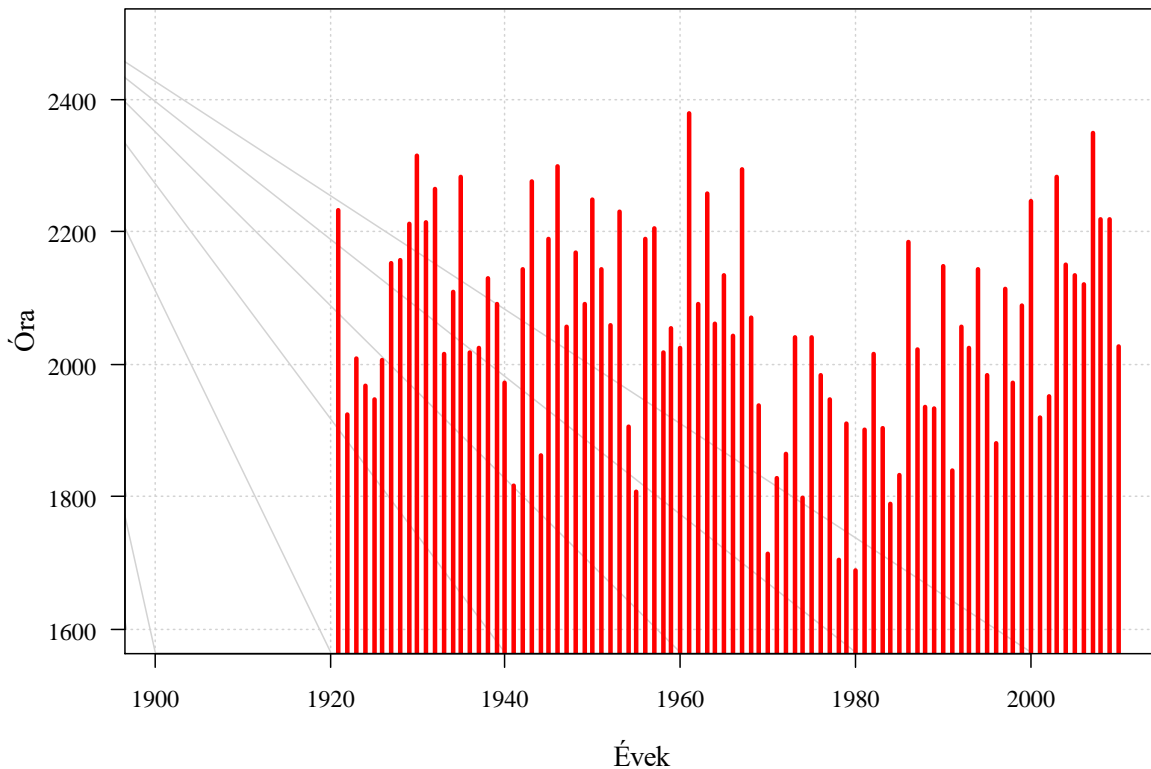


26. ábra. Az évi csapadékos napok száma (1901-2010)

Átlagban 173 csapadékos nap van Debrecenben, amely az időszak folyamán enyhe növekedést mutat. A lineáris trend növekedése 23 nap. A legkisebb értéke 1946. és 1943. évben volt, ekkor csak 120 illetve 124 csapadékos napot regisztráltak. A legnagyobb értéke 1970-ben volt, amikor 236 nap volt csapadékos, és ekkor esett a vizsgált időszakban a legtöbb csapadék. Mivel az éves csapadékösszegben nem lehet kimutatni változást, de a csapadékos napok száma és az extrém nagy csapadékok mennyisége nő, ezért a csapadék eloszlása egyre inkább „súlyzószzerű” lesz. A gyakori kis, és a ritka, nagymennyiségű csapadék jellemző az időszak második felére. Mindkét csapadékfajta kedvezőtlen a mezőgazdaság számára. A kis csapadékok nem hasznosulnak, nincs beázás, a víz nem éri el a gyökérzónát. Az extrém nagy csapadékok eróziót, belvizet, levegőtleniséget okoznak.

3.11. A napfénytartam jellemzői

A napfénytartam jellemzőit a 27. ábra tartalmazza.



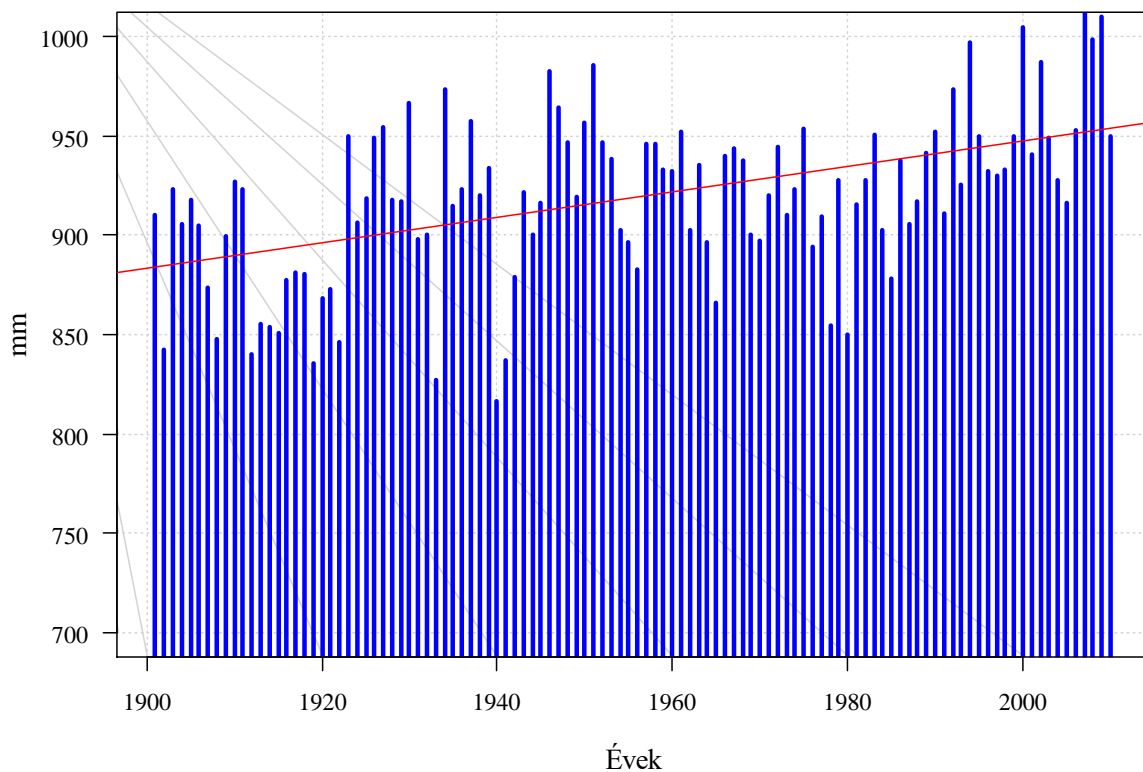
27. ábra. A napfényes órák száma (1901-2010)

A napfénytartam mérése 1920 októberében kezdődött Debrecenben. *Az éves összeg sokévi átlaga 2 022 óra, 90 év alatt értéke nem változott, viszont nagy ingadozást mutat. A legnapfényesebb évek 1961, 2007 és 1930 voltak, amikor az éves összeg meghaladta a 2 300 órát.*

Az éven belül januártól júliusig növekszik, majd ezt követően csökken a napsütéses órák száma, minimumát decemberben éri el. A két szélsőséges hónap átlagos értéke 47 illetve 295 óra. A maximális érték nem a csillagászatilag lehetséges maximum hónapjában, júniusban, hanem egy hónappal később júliusban következik be. A téli félévben a felhőzetten kívül a nagy ködgyakoriság is csökkenti a napfényes órák számát. Így fordulhatott elő, hogy 1978 novemberében mindössze 2,5 órát sütött a nap, az adatbázis alapján.

3.12. Potenciális evapotranszpiráció (PET)

A potenciális evapotranszpiráció (PET) az a vízmennyiség mm-ben kifejezve, amelyet a légkör fel tud venni, amikor a víz nem limitáló tényező. Ennek a mennyisége elsősorban az energiától, hőmérséklettől, szélességtől és a relatív páratartalomtól függ. Vagy megmérjük, vagy megbecsüljük a nagyságát. A méréseket párolgásmérő kádakkal végzik. A nemzetközi szabvány az A-típusú kád, míg hazánkban, a korábbi évtizedekben az Ubell által szerkesztett U-kádat használták. Természetes a két kád nem ad egyforma értéket, mivel mindkettőnek más-más a hibája. A potenciális evapotranszpiráció éves összegeit a 28. ábra tartalmazza.



28. ábra. A potenciális evapotranszpiráció éves összege (1901-2010)

A becsléseket vagy fizikailag valid, elméletileg igazolható modellekkel végezzük, vagy empirikus algoritmusokkal. A természettudományos törvényszerűségeket használó modellek bonyolultak, adatigényük túl részletes, nincs több évtizedre visszamenő adatbázis, amelyet fel tudnánk használni a működtetésükhöz. Az empirikus becslések egyszerűek, adatigényük kielégíthető, és egy adott helyre kalibrálva legalább olyan pontos becslést adnak, mint a jóval bonyolultabb modellek. Ezért a PET becsléséhez a magyarországi viszonyokra kalibrált Szász-

féle PET-becselő algoritmust használtuk. Ehhez a vizsgált 110 évben rendelkezésünkre állt minden adat.

A 28. ábra mutatja a vizsgált időszak potenciális értékeit. A lineáris trendillesztés eredménye alapján a párolgási hajlam folyamatosan nő (4. táblázat). Éves mértéke 0,6 mm, amely a 110 év alatt 70 mm-rel növelte meg a potenciális evapotranszpiráció értékét. Ez egy kiadós havi csapadéknak felel meg.

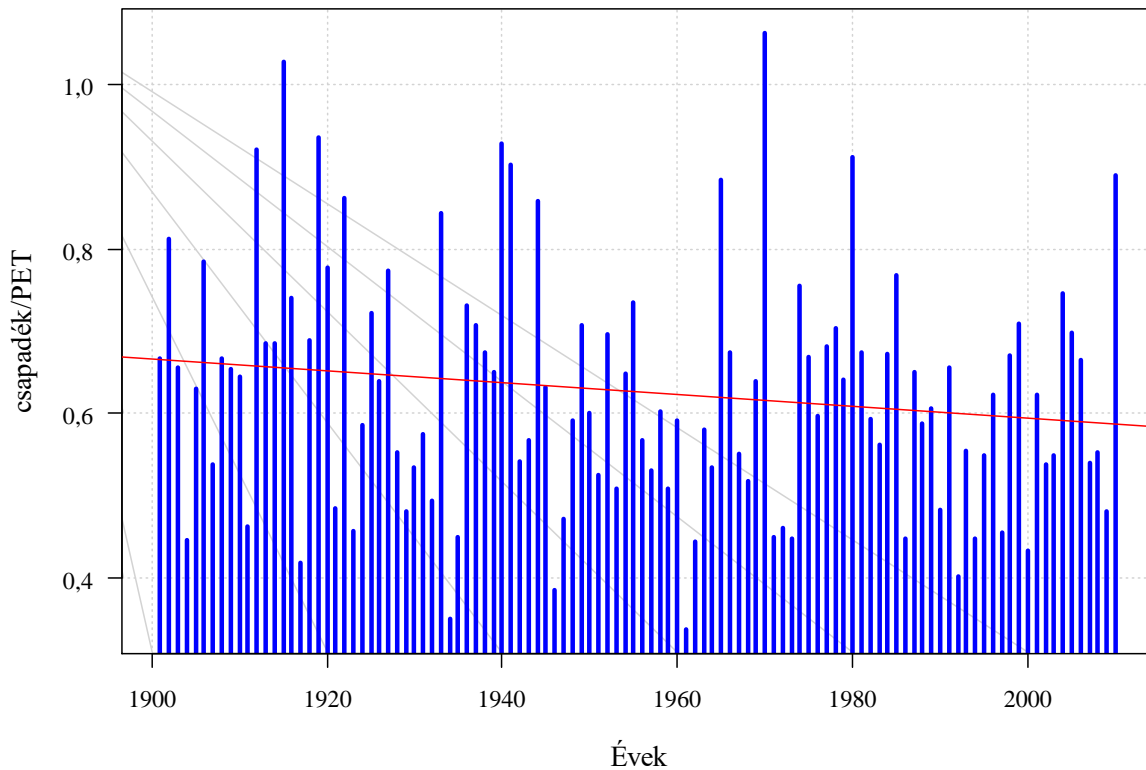
4. táblázat. A PET lineáris trendillesztésének eredménye

	Együtthatók	Standard hiba	t-érték	P(> t)
Tengelymetszet	883,19	6,954	126,992	< 2e-16 ***
Év	0,63	0,1088	5,869	4,89e-08 ***
Maradékok hibája	36,22			
r ²	0,24			
Korrigált r ²	0,24			

Érdemes megvizsgálni a potenciális evapotranszpiráció és a lehullott csapadék arányát is. Vajon a természetes csapadékok fedezni tudják a párolgás vízigényét. Ez a hányados megmutatja a talajaink hosszútávú vízgazdálkodási jellemzőjét is. Abban az esetben, ha a hányados értéke 1 alatt van, nem kell számítani a talajok túl vizesedésére. Amennyiben jóval 1 alatti az érték, akkor a talaj zömében szárad, amennyi csapadék ráhullik, annyi el is párolog. Ez egyfajta egyensúlyt teremt a talaj anyagforgalmában. Az egynél jóval nagyobb érték esetén a csapadékbőség kilúgzást indít el a talajban, ez a növényi tápanyagok mélybe mosódását eredményezheti.

3.13. A lehullott csapadék és a PET aránya

A 29. ábra szemlélteti az éves csapadék és a potenciális evapotranszpiráció hányadosát.



29. ábra. Az éves csapadék és a potenciális evapotranszpiráció hányadosa (1901-2010)

A lehullott csapadék és a PET aránya megmutatja, hogy az adott helyen hány százalékban tudja fedezni a természetes csapadék a potenciális párolgást. Értéke 0-tól 1-nél is nagyobb lehet. Százalékos formában is kifejezhető. A vizsgált időszakban összesen csak kétszer fordult elő, hogy a csapadék éves mennyisége meghaladta a PET értékét. Amikor a hányados értéke 1 körüli, akkor a növények vízellátottsága zavartalan, a biomassza gyarapodást a víz nem limitálja.

A minimális értéket 1961, 1934, 1946 és 1992-ben érte el a mutató, amikor a csapadék csak 40%-ban tudta fedezni a potenciális párolgást. Ilyenkor extrém aszályos körülmények alakulnak ki. Átlagos értéke 62%. Maximális értékei 1941, 1980, 1912, 1940, 1919, 1915 és a nevezetes 1970-es évben fordultak elő. Ezekben az években több mint 90%-t fedezett a természetes csapadék. A két utóbbi esztendőben a mutató értéke meghaladta az egyet (29. ábra).

5. táblázat: Az éves csapadék és a potenciális evapotranszpiráció hányados lineáris trendillesztésének eredménye

Minimum	1. negyed	Számítási átlag	3. negyed	Maximális érték	
-0,290	-0,102	-0,011	0,074	0,447	
		Együtthatók	Standard hiba	t-érték	P(> t)
Tengelymetszet		0,66	0,027	23,964	< 2e-16 ***
Év		-0,000	0,000	-1,667	0,0984
Maradékok hibája		0,14			
r ²		0,02			
Korrigált r ²		0,02			

A lineáris trendillesztés alapján a csökkenés csak 10%-os szignifikancia mellett igazolható, mértéke évente 0,00072. A vizsgált időszak elejének 66,7%-os értéke lecsökkent 58,7%-ra. Az elkövetkező időszakban tehát a lehullott csapadék kevesebb, mint 60%-t tudja fedezni a potenciális párolgásnak, és további csökkenés prognosztizálható.

3.14. Összefüggés vizsgálat főkomponens-analízissel

Érdeemes megvizsgálni, hogy egy adott évben lehet-e következtetni a korábbi időjárás ismeretében az év hátralévő időszakának időjárására. A téli évszak ismeretében lehet-e előrejelzést adni a tavaszi, nyári esetleg az őszi időjárásra? Amennyiben lehetséges, akkor a mezőgazdaság idejében tudna alkalmazkodni, meg tudná tenni a szükséges technológiai változtatásokat. Ha nem, akkor a termesztés kockázata nem csökkenthető, és az idő rövidege miatt az alkalmazkodás csak tűzoltó szerepet tölthet be. Ilyenkor számolni kell a művelési kényszerekre, a rossz minőségű talajmunkákra és agronómiai beavatkozásokra, amelyek végső soron a termelés kockázatát növelik, és a termékek nagymértékű ingadozásában jelentkeznek.

A meteorológia jellemzők közötti összefüggés elemzését főkomponens-analízissel végeztük. Ez az egyik legfontosabb valódi többváltozós statisztikai eljárás. Segítségével a változók közötti összefüggésrendszer vizsgálható. Olyankor érdemes használni, amikor a változók több másik változótól függenek, és a páronkénti korrelációs együtthatók (Pearson-féle szorzatmomentum) se nem alacsonyak, se nem túl magasak.

A kapott eredmények könnyű, a gyakorlat számára is értékes elemzése érdekében az adatbázist úgy alakítottuk ki, hogy ne a napi, vagy havi adatokat, hanem a négy évszak jellemzőit tartalmazza. Bevontuk az elemzésbe az évszakok csapadékainak összegét (pl, cs_tél), a hőmérsékleteik átlagát (pl, T_tél) és a napsütéses óráinak összegét (pl, nap_tél). Így összesen 12 változó és 110 megfigyelés (a 110 év) került az adatbázisba. A változók és a megfigyelések aránya tökéletesen alkalmas a főkomponens-analízis elvégzéséhez.

Először megvizsgáltuk a kétváltozós lineáris összefüggéseket, melyeket a Pearson-féle korrelációs együtthatóval jellemeztünk.

A változók korrelációs mátrixát mutatja a **6. táblázat**. Az együtthatók értéke zömében alacsony. Legfeljebb közepes erősségű kapcsolatot lehet kimutatni.

6. táblázat: Az időjárási változók korrelációs mátrixa (Pearson-féle)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
cs_nyar	1,00	-0,11	0,25	0,08	-0,39	-0,06	-0,15	0,07	-0,45	-0,09	-0,25	-0,06
cs_ősz	-0,11	1,00	-0,04	-0,03	-0,01	-0,22	-0,14	-0,02	0,11	-0,6	-0,02	-0,04
cs_tavas	0,25	-0,04	1,00	0,03	-0,13	-0,07	-0,2	-0,14	-0,14	-0,07	-0,58	0,09
cs_tél	0,08	-0,03	0,03	1,00	0	0,12	-0,16	-0,07	0,04	0	0,04	-0,41
T_nyar	-0,39	-0,01	-0,13	0	1,00	0,12	0,39	0,11	0,55	0,1	0,4	0,12
T_ősz	-0,06	-0,22	-0,07	1,12	0,12	1,00	-0,01	-0,11	0,26	0,34	0,08	0,05
T_tavas	-0,15	-0,14	-0,2	-0,16	0,39	-0,01	1,00	0,43	0,01	0,07	0,43	0,06
T_tél	0,07	-0,02	-0,14	-0,07	0,11	-0,11	0,43	1,00	-0,12	-0,07	0,13	-0,07
nap_nyar	-0,45	0,11	-0,14	0,04	0,55	0,26	0,01	-0,12	1,00	0,18	0,34	0,16
nap_ősz	-0,09	-0,6	-0,07	0	0,1	0,34	0,07	-0,07	0,18	1,00	0,21	0,04
nap_tavas z	-0,25	-0,02	-0,58	-0,04	0,4	0,08	0,43	0,13	0,34	0,21	1,00	0,14
nap_tél	-0,06	-0,04	-0,09	-0,41	0,12	0,05	0,06	-0,07	0,16	0,04	0,14	1,00

Jelmagyarázat:

1-cs_nyar 2-cs_ősz 3-cs_tavas 4-cs_tél 5-T_nyar 6-T_ősz 7-T_tavas 8-T-tél 9-nap_nyar 10-nap_ősz 11-nap_tavas
12- nap_tél

A nyári csapadék mennyisége fordítottan arányos a nyári hőmérséklet és a nyári napsütéses órák számával. További evidens összefüggések olvashatók ki a mátrixból, pl, az őszi csapadék mennyisége és az őszi napsütéses órák száma szintén fordítottan arányos. Minél többet esik az eső, annál kevesebbet süt a Nap. A tavaszi és téli évszakra ugyanez érvényes. A napsütéses órák száma és a hőmérséklet közötti összefüggés közepes, azonban ez a kapcsolat télen nem mutatható ki. Ezek eddig magától értetődő összefüggések voltak, amelyek nem adnak használható információt a mezőgazdaság számára. Egyetlen keresztteffektust lehet felfedezni a téli és tavaszi hőmérséklet között (pirossal jelölve). Ennek az oka a talajok illetve környezet hőtehetetlensége, hőkapacitása. Télen nagyon lehűl, átfagy a talaj és a környezet, ilyenkor a nettó energiamérleg negatív, kevesebb energiát tárol, mint amit kisugároz. Tavasszal ez az energia pótlódik, hőenergia formájában, és lassan melegíti a tavaszi időszakot. Ez az összefüggés azonban csak közepesen erős, hiszen ez csak az egyik komponense az időjárást alakító tényezőknek.

A következő lépésben megvizsgáltuk, hogy a változók adekvátak-e, azaz érdemes-e főkomponens-analízist végezni velük. Ehhez a Kaiser – Mayer -- Olkin tesztet használtuk. Ez a teszt a korrelációs és parciális korrelációs koefficiens arányát használja fel a kérdés eldöntésére. A szakirodalom alapján a kritikus érték 0,5. Amely változónak az MSA (measure

of sampling adequacy) értéke kisebb, mint 0,5, azt nem érdemes bevonni az analízisbe. Ezt a tapasztalati ajánlást azonban rugalmasan is lehet kezelni, és a határértékhez közeli változók modellbe vonásakor egy kis szubjektivitás is megengedhető. A 12 változó közül némileg határérték alatti változó a téli és az őszi csapadék, valamint a téli napsütéses órák száma. Pont a mezőgazdaság számára a két legfontosabb évszak csapadéka, hiszen a termesztés során a munkacsúcsok pont ebben a két évszakban jelentkeznek. Az ajánlás ellenére ezt a két változót is bevontuk a modellbe. A globális MSA értéke 0,57, éppen határérték feletti.

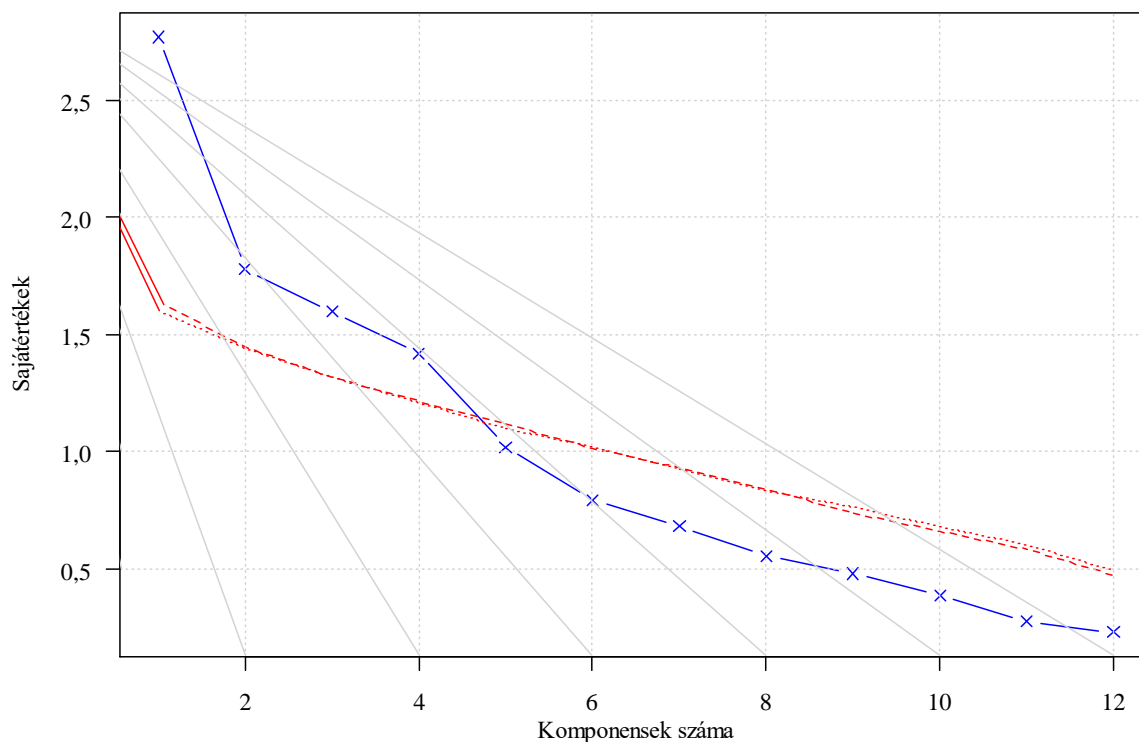
7. táblázat. A Kaiser-Mayer-Olkin teszt eredménye

Globális MSA	0,57				
cs_nyár	cs_ősz	cs_tavaszi	cs_tél	T_nyár	T_ősz
0,71	0,48	0,50	0,43	0,69	0,65
T_tavaszi	T_tél	nap_nyár	nap_ősz	nap_tavaszi	nap_tél
0,55	0,59	0,61	0,52	0,58	0,42

Hány komponenst érdemes meghatározni? A párhuzamos analízis alapján a szimuláció és újra mintavételezés szerint elegendő négy komponenst meghatározni. Ezek már elegendő pontossággal leírják az összefüggésrendszert. Érdekes, mert egy évben is négy évszakot lehet megkülönböztetni.

A főkomponens-analízist, az eredmények jobb értelmezhetősége érdekében, varimax rotációval végeztük. Ez a forgatási eljárás derékszögű, a komponensek függetlenségét feltételezi. Valójában maximalizálja a komponensek varianciáját. Úgy rendezi a főkomponens-súlyokat, hogy a legnagyobbak kerüljenek egy-egy komponensbe.

A főkomponens-analízis eredményét a 8. **táblázat** mutatja. Az RC1–RC4 tartalmazzák a főkomponens súlyokat. Az első főkomponensben a nyári évszak jellemzőit látjuk. Magas súllyal szerepel a csapadék, a hőmérséklet és a napsütéses órák száma. A csapadék negatív előjellel szerepel. Ez logikus eredmény. Minél többet süt a Nap, minél meleg van, annál kevesebb a csapadék. Hazánk időjárására ez a jellemző. A csapadékok frontokkal érkeznek, hosszan elnyúló hatást kifejtve az időjárásunkra. A rövid idejű, naponta akár többszöri csapadék nem jellemző Magyarország időjárására. A varimax rotáció miatt az RC2 és RC3 komponens helyet cserélt. Az RC3-nak így nagyobb a varianciája, a magyarázó ereje, mint az RC2-nek. Az RC3 főkomponens a tavaszi évszak jellemzőit takarja, tavaszi csapadék (negatív előjel), hőmérséklet, napsütéses órák száma. Ebben a komponensben található a téli hőmérséklet is.



30. ábra. A párhuzamos analízis eredménye

Az RC2 főkomponens az őszi évszak időjárása. Magas a főkomponens súlya a csapadéknak (negatív előjel), hőmérsékletnek és a napsütéses órák számának. Az RC4 komponens a téli időjárás. Ez a főkomponens a téli csapadék és a napsütéses órák száma között mutat fordítottan arányos összefüggést.

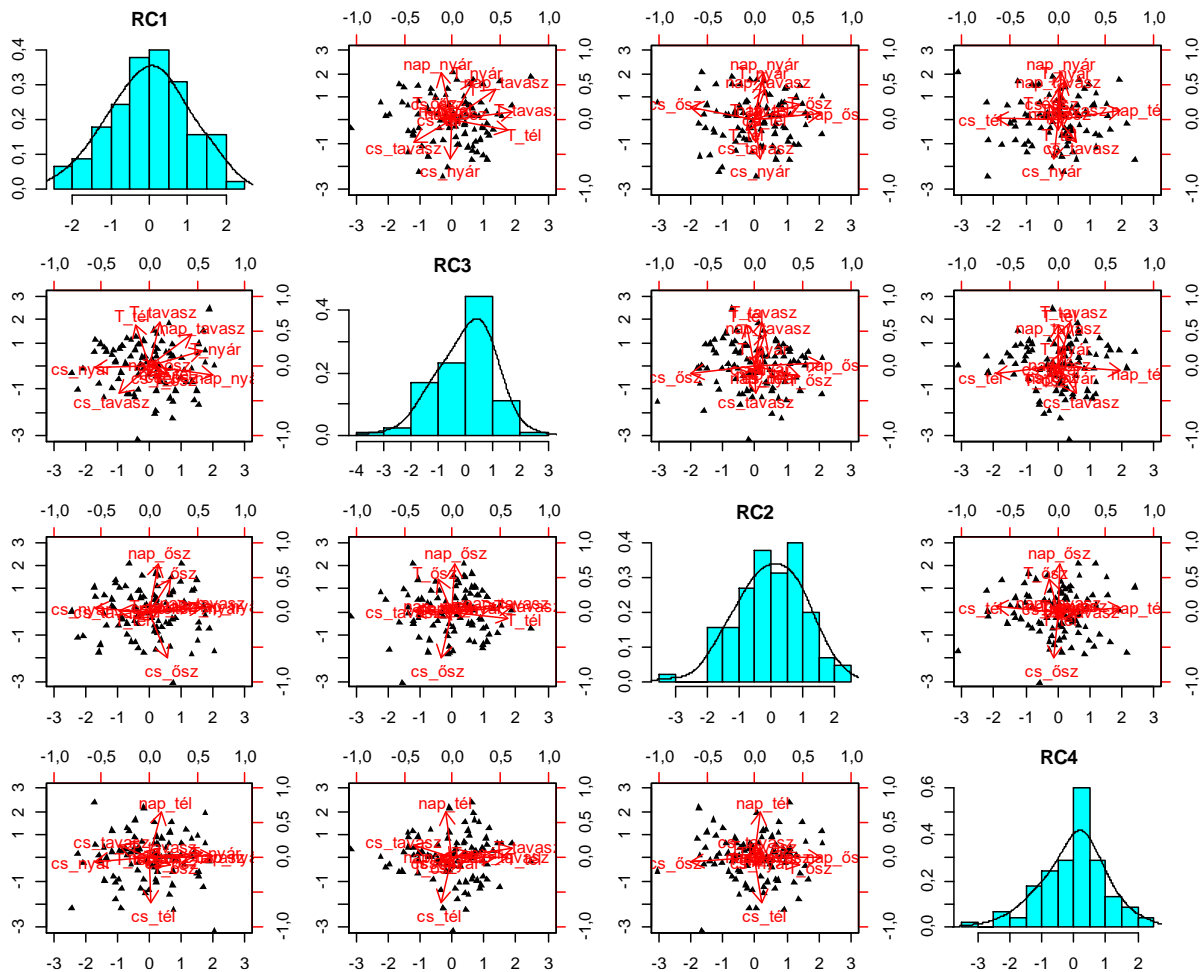
A RC1-től sorrendben haladva az RC4-ig a variancia és a magyarázó erő egyre csökken. Míg az első főkomponens a varianciák 20%-t, addig a negyedik csak a 12%-t magyarázza. A négy főkomponens együttesen az összes varianciának csak a 63%-t tudja reprezentálni. A maradék 37%-ért egyéb tényezők felelősek, olyan meteorológiai jellemzők, amelyek nem szerepeltek az adatbázisban. Az is lehetséges, hogy olyan változók is hatást gyakorolnak, amelyek eddig még nem is mérünk.

8. táblázat: A főkomponens-analízis eredménye (varimax rotáció után)

	RC1	RC3	RC2	RC4	h ²	u ²	com
cs_nyár	-0,71	-0,02	0,06	-0,06	0,51	0,49	1,0
cs_ősz	0,24	-0,14	-0,83	-0,06	0,78	0,22	1,2
cs_tavaszi	-0,39	-0,50	0,01	0,24	0,46	0,54	2,4
cs_tél	0,03	-0,15	0,09	-0,81	0,69	0,31	1,1
T_nyár	0,69	0,27	0,08	0,09	0,56	0,44	1,4
T_ősz	0,27	-0,18	0,58	-0,12	0,45	0,55	1,7
T_tavaszi	0,14	0,79	0,09	0,17	0,68	0,32	1,2
T_tél	-0,18	0,73	-0,10	0,00	0,58	0,42	1,2
nap_nyár	0,84	-0,15	0,11	0,04	0,74	0,26	1,1
nap_ősz	0,11	0,04	0,86	0,02	0,75	0,25	1,0
nap_tavaszi	0,56	0,56	0,13	0,01	0,65	0,35	2,1
nap_tél	0,16	-0,09	0,08	0,82	0,72	0,28	1,1
Sajátérték	2,37	1,90	1,81	1,45			
Varianciahányad	0,20	0,16	0,15	0,12			
Kumulált varianciahányad	0,20	0,36	0,51	0,63			

A modell magyarázó ereje nem túl magas, mivel a gyakorlati tapasztalatok alapján legalább 70-80%-t illene elérnie. Az alacsony magyarázó erő oka, hogy a változók csak nagyon gyengén függenek össze, az időjárás alakulása a négy komponens alapján nem magyarázható pontosan. Az időjárás kaotikus jelenség, még a legmodernebb, valódi többváltozós statisztikai módszerekkel is csak korlátozottan elemezhető.

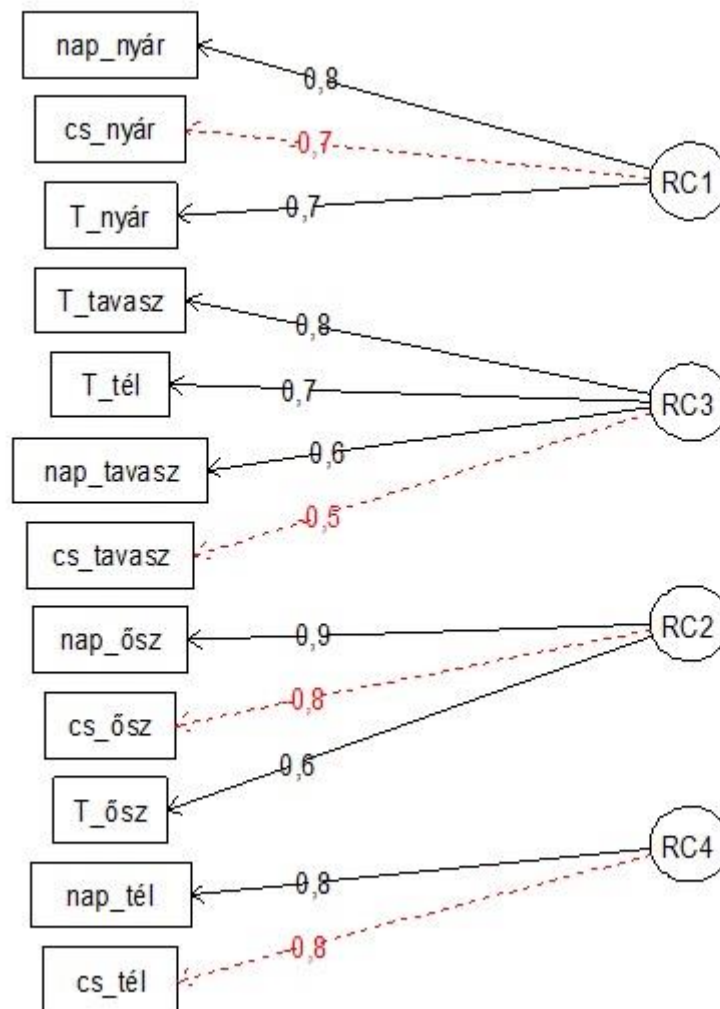
A földi időjárás alakulásához szükséges energiát a Nap biztosítja, amely az elmúlt 110 évben gyakorlatilag semmit sem változott. Ugyanakkor a változatlan energiamennyiség a globális légkörzés bonyolultsága miatt teljesen más időjárást eredményez minden esztendőben. Ezért az energia nagyságának ismeretében nem lehet pontosan előre jelezni a hőmérséklet alakulását és a csapadék mennyiségét. Sajnos, ez nem járható út.



31. ábra. A főkomponens-súlyok és a főkomponens-változók elhelyezkedése

A 31. ábra egy grafikonon mutatja a főkomponens súlyokat és a főkomponens változókat, azaz a megfigyelt éveket. Az ábra segítségével csoportosítani lehet az esztendőket a legjellemzőbb időjárási tulajdonságaik alapján. Mivel 4 főkomponenst határoztunk meg, ezért összesen 16 ábrát lehet készíteni, természetesen a főátlóban nem biplot, hanem a főkomponens változók hisztogramjai láthatók, a normális eloszlás sűrűségfüggvényének görbéjével. Ez fontos információ, mivel a főkomponens-analízis megköveteli a változók normális eloszlását, pontosabban a többdimenziós normalitást. Amennyiben a többdimenziós normalitás teljesül, az automatikusan azt jelenti, hogy a változók között lineáris összefüggés van. Ez is fontos előfeltétele a módszer alkalmazásának. Az első oszlopban azok az ábrák szerepelnek, melyeknek az x-tengelye a RC1 és y-tengelye az RC3, RC2 és RC4. A második oszlop ábráinak vízszintes tengelye az RC3, és így tovább. Az összefüggésrendszer legjellemzőbb ábrája tehát a második sor első oszlopában található.

A 32. ábra mutatja a négy főkomponens felépítését. Ebben a módszerben a változók építik fel a komponenseket, tehát a nyilakat fordítva kell értelmezni (ez a program kicsi hibája). Az RC1 tehát a nyári évszakot, azaz a nyári időjárást jelenti. A piros értékek negatív előjellel szerepelnek. A hőmérséklet és a napsütéses órák száma egyenesen arányos, a csapadék mennyisége fordítottan arányos összefüggést mutat. Az értékeket korrelációs együtthatóként értelmezhetjük, amelyek a változó és a főkomponens közötti összefüggés szorosságát jellemzik. Itt nincs látens háttérváltozó, itt ismerjük a komponenseket felépítő elemeket.



32. ábra. A rotált komponensek felépítése

Az RC3 komponens a tavaszi évszak. Az összefüggésrendszer ugyanolyan, mint nyáron, és itt megjelenik a téli hőmérséklet, aminek az okát korábban már leírtuk.

Az RC2 az őszi és az RC4 a téli. A főkomponensek sorrendjében az időjárás változékonysága csökken. A mért jellemzők alapján még mindig a nyár a legszesélyesebben változó évszak, és nem a tavasz. Hangsúlyozzuk a három időjárás elem együttes figyelembevételével.

A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a négy évszak teljesen független egymástól, mivel mindegyik külön főkomponensben jelenik meg.

A főkomponensek ortogonálisak, azaz lineárisan függetlenek egymástól. Ebből az következik, hogy a korábbi időjárás ismeretében nem lehet előre jelezni az év hátralévő időszakának időjárását, így a mezőgazdaságban az alkalmazkodáshoz szükséges idő nagyon lerövidül, hiszen akkor kell dönteni, amikor már kialakult az új helyzet. Egyetlen támpontot sikerült kimutatni: ha a tél meleg, akkor a tavasz is várhatóan meleg lesz. A csapadék várható mennyiségéről azonban semmit sem lehet mondani. Ráadásul a leggyengébb összefüggések az őszi és téli évszakra adódnak, ami a nagyfokú bizonytalanságnak köszönhető.

3.15. Az őszi évszak időjárásának elemzése

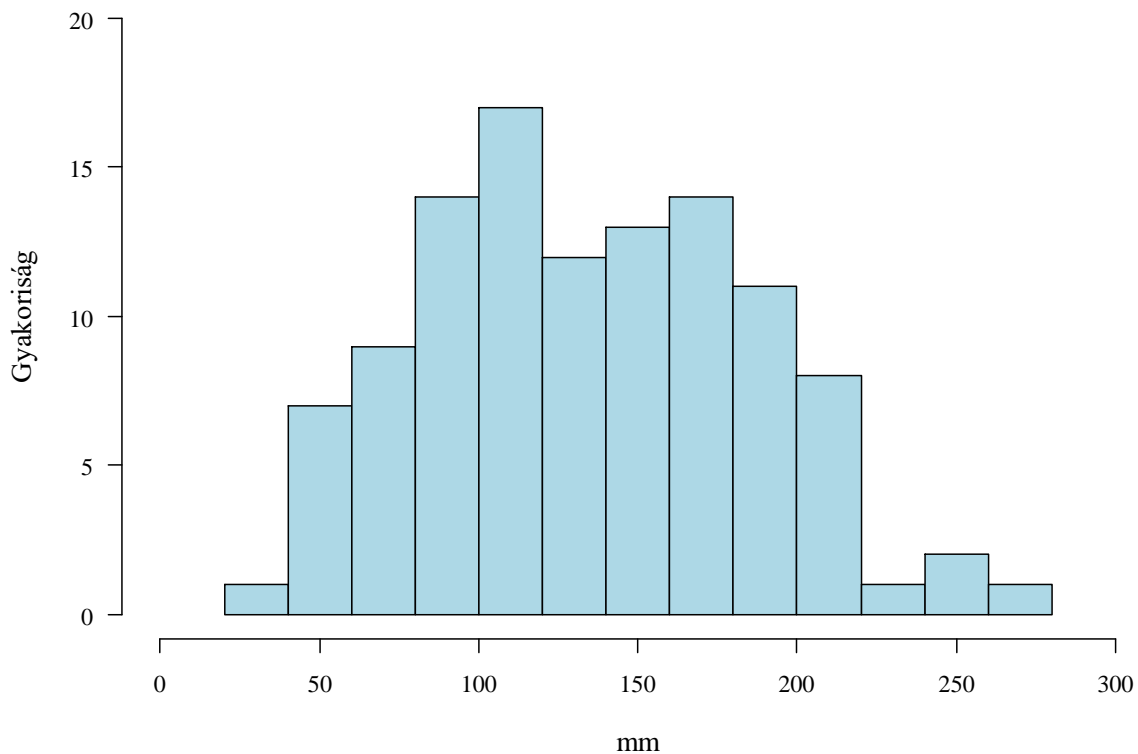
A mezőgazdaságban az őszi talajmunkák elvégzése jelenti az egyik legnagyobb munkacsúcsot. Ennek a munkaműveletnek a jó minőségű elvégzése nagymértékben meghatározza mind az őszi, mind a tavaszi vetésű növények termésnagyságát és termésbiztonságát. A talajművelés minőségét döntő mértékben, a talaj tulajdonsága mellett, a műveléskori nedvességtartalom határozza meg, ami elsősorban a lehullott csapadéktól és hőmérséklettől függ. Ezért érdemes részletesebben is megvizsgálni ennek az évszagnak az időjárási jellemzőit. Azt már korábban is láttuk, hogy „determinisztikus” összefüggést nem tudunk kimutatni a korábbi évszakok időjárása és az őszi időjárás között. Ilyenkor talán a sztochasztikus megközelítés segíthet. Milyen gyakoriak a kis, átlagos és nagy csapadékok? Milyen a hőmérséklet eloszlása? A lenti táblázat a vizsgált időszak csapadékának leíró statisztikáját mutatja.

9. táblázat. A 110 év alatt lehullott csapadék leíró statisztikája

Minimum	1. negyed	Medián	Átlag	3. negyed	Maximum
21	93	128	134	171	265

Mivel a medián és a számtani átlag közel esik egymáshoz, az eloszlás eléggé szimmetrikus. A vizsgált időszak felében 128 mm-nél kevesebb, a másik felében ennél több csapadék esik össze, 25% a valószínűsége a 21-93 mm csapadéknak, ugyanennyi a valószínűsége a 93-128, a 128-171 és a 171-265 mm-es csapadékösszegnek. A legkisebb és legnagyobb csapadék között hatalmas a különbség. A 21 mm-es csapadék gyakorlatilag teljes szárazságot jelent. Ilyenkor a

talajok porosodása, műveléskori károsodása lép fel. Olyan talajművelési eljárást kell választani, amely a lehető legkisebb szerkezeti károsodást okozza. Az őszi vetésű növények ilyenkor gyakorlatilag egy fizikailag felaprózott, „darált” talajba kerülnek. Beéredés ilyenkor nem fordul elő. A másik véglet a 265 mm-es csapadék, amely a talajok túlnedvesedését okozhatja, a nedves talajon végzett munka ilyenkor évekre elronthatja a talajok szerkezetét.



33. ábra. Az őszi csapadék eloszlása

A hisztogramon jól látszik a közel szimmetrikus eloszlás. Egy kis púp tapasztalható a 250 mm-es kategóriában. A természetben az ilyen kiugrások gyakran előfordulnak, mivel a csapadékmennyiségét szinte végtelen számú tényező befolyásolja, ezért elég nehéz kinyomozni, hogy ezt a kiugrást mi okozza.

Érdemes megvizsgálni az időszak első és második felét is. Vajon egyértelműen kimutatható az őszi csapadék csökkenése? A táblázat egyértelmű választ ad a kérdésre. 1956-tól kezdődő időszakban a jellemző statisztikai mutatók 25 mm-t vagy azt meghaladó csapadék csökkenést mutatnak. A maximális csapadék csökkenése a legnagyobb mértékű, ez meghaladja az 50 mm-t is.

34. ábra hisztogramjain láthatók a két időszak csapadékainak gyakoriságai. A második időszakban az eloszlás balra tolódik el, a kis értékek felé.

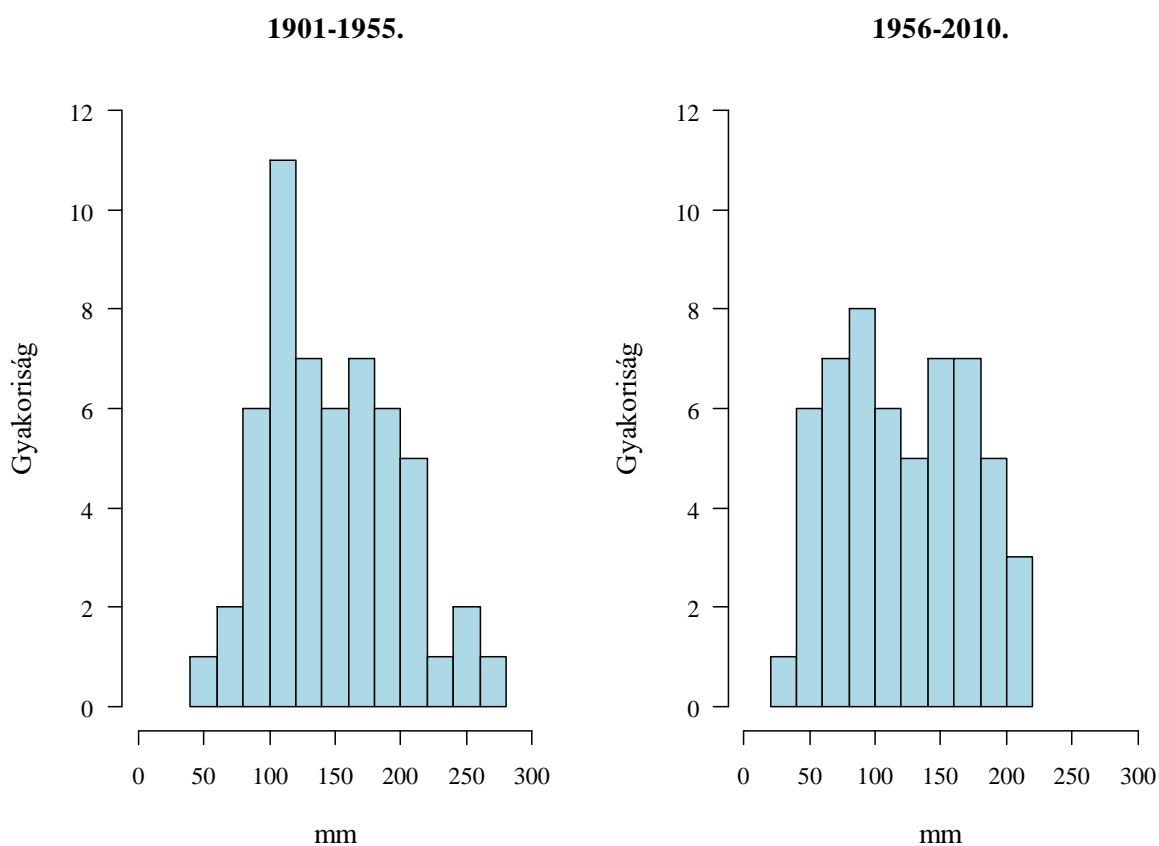
10. táblázat. A 110 év alatt lehullott csapadék leíró statisztikája,

1901-1955 között lehullott csapadék leíró statisztikája

Minimum	1. negyed	Medián	Átlag	3. negyed	Maximum
45	109	145	147	184	265

1956-2010 között lehullott csapadék leíró statisztikája

Minimum	1. negyed	Medián	Átlag	3. negyed	Maximum
21	80	120	121	162	214

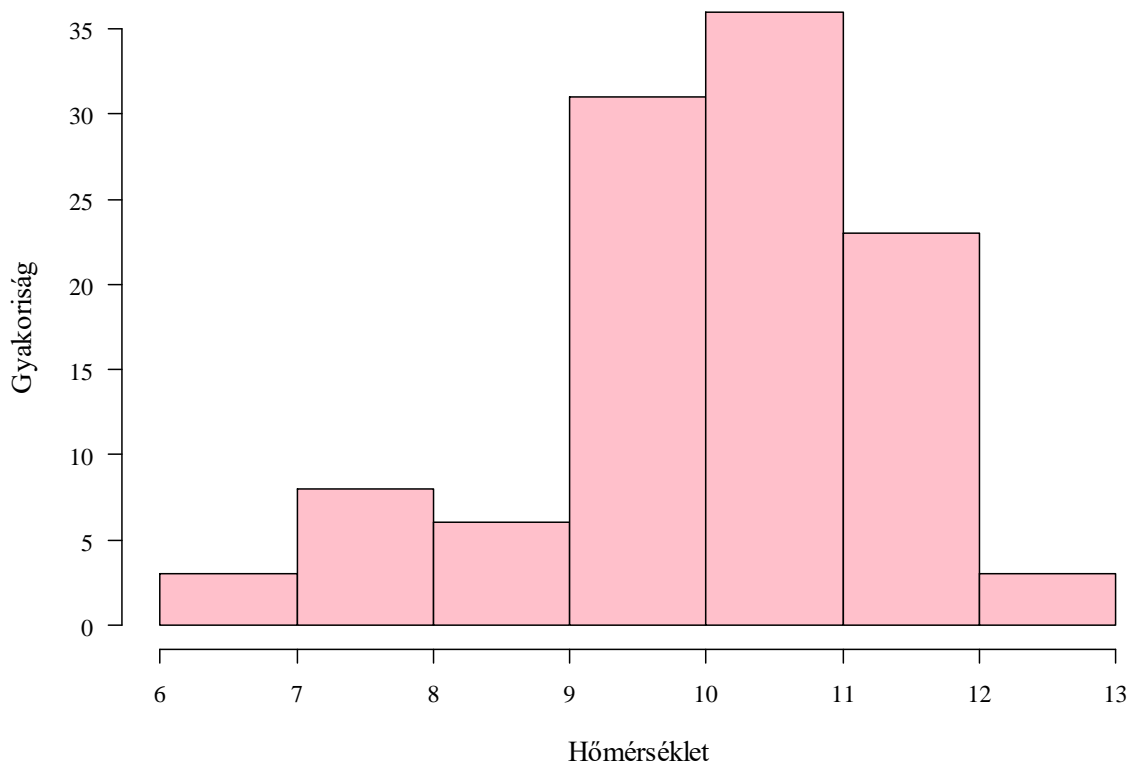


34. ábra. Az őszi csapadék eloszlása 1901-1955 és 1956-2010 között

Az 1901-2010 időszak őszi hőmérsékletének jellemző adatai alapján az eloszlás jobbra ferde. Az időszak felében (55 év) a hőmérsékletek egy szűk intervallumban fordulnak elő, 9,6-11 Celsius fok, a tartomány alig haladja meg az 1 fokot, 28 esztendőben viszont 6,4 és 9,6 fokok tartomány jellemző. Az interkvartilis terjedelmet meghaladó hőmérsékletek alig 1 fokkal magasabbak. Összességében megállapítható, hogy 75%-os valószínűséggel az őszi hőmérséklet 9,6-12,2 fok közé esik. 9,6 foknál hűvösebb évszakok 25%-os valószínűséggel fordulnak elő (34. ábra).

11. táblázat: A vizsgált időszak átlaghőmérsékletének leíró statisztikája

Minimum	1. negyed	Medián	Átlag	3. negyed	Maximum
6,4	9,6	10,2	10,1	11,0	12,2



35. ábra. Az őszi hőmérséklet eloszlása

A vizsgált időszakot megfelelően megállapítható, hogy az időszak második felében nőtt az őszi évszak átlaghőmérséklete, 9,8 fokról 10,4 fokra. Azonban a középső 50% hőmérséklete szinte semmit sem változott, 9,3-11 fok között helyezkedik el. Talán a hűvösebb őszek ritkultak a század második felében, a legalacsonyabb érték itt már 8 fok körül alakul (35. ábra).

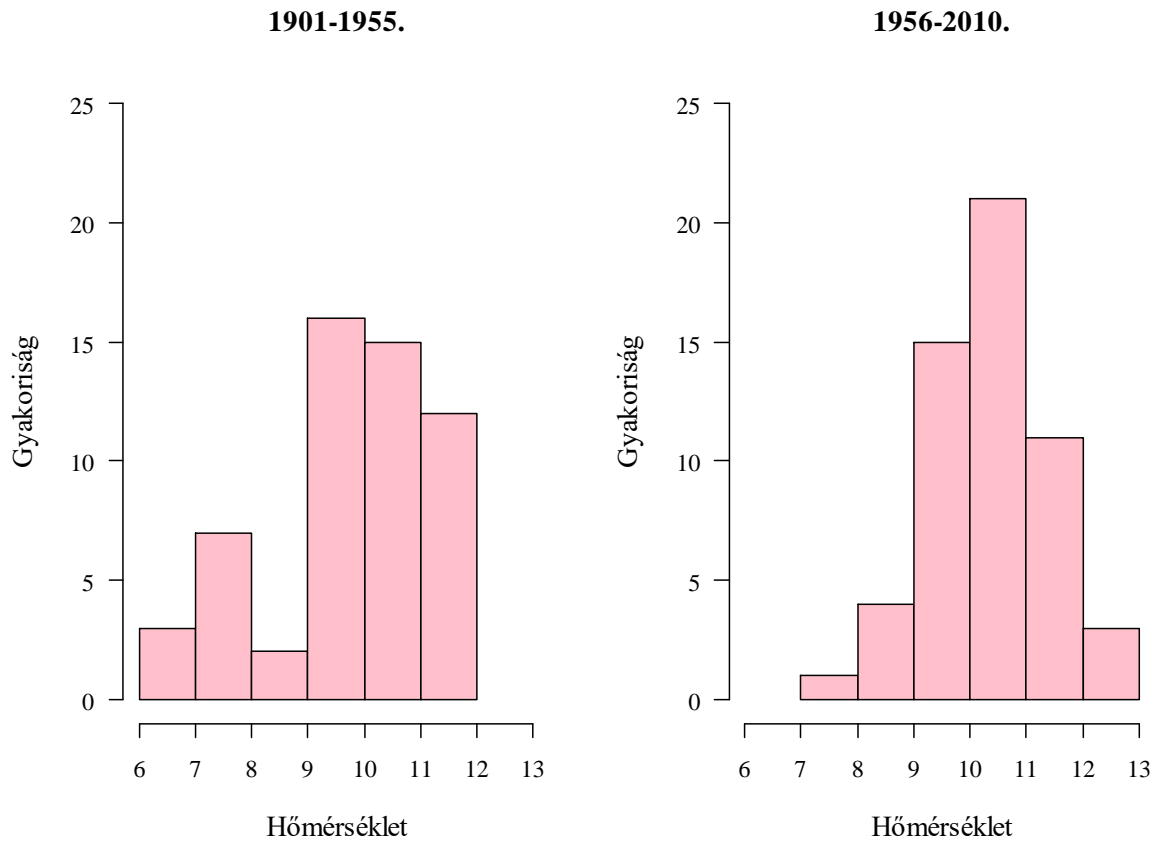
12. táblázat: A vizsgált időszak átlaghőmérsékletének leíró statisztikája

1901-1955 közötti időszak átlaghőmérsékletének leíró statisztikája

Minimum	1. negyed	Medián	Átlag	3. negyed	Maximum
6,4	9,3	10,0	9,8	11,0	12,0

1956-2010 közötti időszak átlaghőmérsékletének leíró statisztikája

Minimum	1. negyed	Medián	Átlag	3. negyed	Maximum
7,9	9,6	10,3	10,4	11,0	12,2



36. ábra. Az őszi hőmérséklet eloszlása 1901-1955 és 1956-2010 között

Mivel ősszel a hőmérséklet és a csapadék között nem lehet kimutatni szignifikáns összefüggést, ugyanolyan valószínűséggel eshet átlag alatti illetve átlagot meghaladó csapadék a hűvösebb vagy a melegebb időszakban is. A mezőgazdaságnak ehhez kell alkalmazkodnia, ami azt jelenti, hogy egyetlen talajművelési rendszer nem lehet célravezető. Egyaránt fel kell készülni az extrém száraz és nedves talajkörülményekre, ami természetesen megdrágítja a termelést. A szélsőséges körülmények tehát növelik a termelés kockázatát, aminek a mérséklése pénzbe kerül.

Összefoglalás

A szárazgazdálkodási rendszerek szempontjából fontos meteorológiai változások:

- A vizsgált időszakban az átlaghőmérséklet folyamatosan emelkedett. A lineáris trend szerint az emelkedés mértéke meghaladja a $1,26^{\circ}\text{C}$ -ot a 110 év során. Ebből Debrecen város terjeszkedése, az urbanizációs hatás kb. $0,5^{\circ}\text{C}$ -ot jelent, tehát *közel $0,8^{\circ}\text{C}$ -ot emelkedett a légkör átlagos hőmérséklete.*
- A 110 év alatt $2,26$ fokot emelkedett a minimum hőmérséklet, ez évi $0,02$ fok növekedést jelent, amely jóval meghaladja az átlagos hőmérséklet emelkedését. Ezek szerint *a felmelegedés aszimmetrikus jelenség, mivel az alacsony hőmérsékletek napjainkban sokkal ritkábban fordulnak elő, mint a magasabbak.*
- A lineáris regresszió alapján évente átlagban $0,29$ nappal csökkent *a fagyos napok száma*, ami a vizsgált 110 év alatt *32 napos csökkenést jelent.* A fagyos napok számának csökkenése a mezőgazdaságban a növényvédelemnek jelenthet külön ráfordítást, mivel a kártevők és kórokozók felszaporodásához vezethet.
- A 110 év alatt közel 3 nappal *emelkedett a meleg éjszakák száma.* Ez olyan növény termesztésénél okozhat gondot, amely igényli a nappali és éjszakai hőmérséklet nagy különbségét.
- Debrecen éves csapadékösszeg idősorát tekintve megállapíthatjuk, hogy az elmúlt 110 év folyamán *a csapadék mennyisége statisztikailag igazolható módon nem változott.*
- *A legszárazabb csapadékösszegű nyarak harmincévenként követik egymást, időrendben az 1935, 1962 és az 1992-es esztendőik.*
- A 110 év alatt közel 10 mm-rel lett magasabb a legnagyobb napi csapadékösszeg. Ez azt jelenti, hogy *az éves csapadékösszeg változatlansága mellett, egyre gyakrabban kell számolni extrém nagy napi csapadékokkal.* Ez a talajok víznyelő és vízáteresztő képességének javításával kompenzálható, amely a talajművelés feladata. Az erózió megakadályozása a szárazgazdálkodásnak is az egyik legfontosabb feladata.
- *A napfénytartam éves összegének sokévi átlaga $2\,022$ óra, a 90 év alatt értéke nem változott.*
- A lineáris trendillesztés eredménye alapján *a potenciális evapotranszpiráció folyamatosan nő.* A növekedés átlagos éves mértéke $0,6$ mm, amely a 110 év alatt

70 mm-rel növelte meg a potenciális értéke. Ez egy átlagos június havi csapadéknak felel meg.

- Az éves csapadék és a potenciális evapotranszpiráció hányadosa alapján az elkövetkező időszakban *a lehullott csapadék kevesebb, mint 60%-át tudja fedezni a potenciális párolgásnak, és további folyamatos csökkenés prognosztizálható.*
- A főkomponens-analízissel végzett összefüggés vizsgálat alapján megállapítható, *hogy statisztikai módszerekkel a korábbi időjárás ismeretében nem lehet előre jelezni az év hátralévő időszakának időjárását, így az alkalmazkodáshoz szükséges idő nagyon lerövidül, hiszen akkor kell dönteni, amikor már kialakult az új helyzet. Egyetlen támpontot sikerült kimutatni: ha a tél meleg, akkor a tavasz is várhatóan meleg lesz. A csapadék várható mennyiségéről azonban semmit sem lehet mondani.*
- A mezőgazdaság számára az egyik legkritikusabb időszak az ősz. Az évszak csapadék és hőmérséklet eloszlásának elemzése alapján a vizsgált időszakban *32 mm-rel lett kevesebb az őszi csapadék mennyisége, ez közel 25%-os csökkenést jelent. A legkisebb és legnagyobb érték közötti arány közel 13-szoros. Az őszyk egyre kevesebb csapadéka nem egyenletes, a század első felében a nedvesebb őszyk voltak jellemzőbbek, a második felében pedig többször jellemezte aszály ezt az évszakot. Az őszi hőmérsékletek kiegyenlítették, mérsékeltlen melegek, csak a vizsgált időszak 25%-ban kell számolni hűvös időjárással,*

Felhasznált irodalom

1. Bartholy J., Pongrácz R. (2013): Klímaváltozás, Eötvös Lóránd Tudományegyetem. 186.
2. Bartholy J., Bozó L., Haszpra L. (2011): Klímaváltozás – 2011. Klímaszcenáriók a Kárpás-medence térségére. Budapest. 287.
3. Bihari Z., Lakatos M., Szalai S., Szentimrey T. (2008): Magyarország néhány éghajlati jellemzője a 2005 - 2007 időszakban. OMSZ. Budapest. 15.
4. Blaskó L., Czimbalmos R., Óri N., Lengyel H. (2011): Domborzattól függő C-készlet alakulása a szikes gyep talajában. [In: Lóki J (szerk.) Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában:] II. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás. 2011.05.19-2011.05.20. Debrecen. 35-41.
5. Csomor M., Mezősi M. (1984): Megkérdeztük Benkő Tibor állomásvezetőt. Légkör. XXIX. Évf. 4. 11-13.
6. Előírás földfelszíni meteorológiai megfigyelésekre Budapest. 1997.
7. Fejezetek a magyar meteorológia történetéből (1870-1970). Budapest. 1970.
8. Gyárfás J. (1989): Sikeres gazdálkodás szárazságban magyar dry-farming. Harmadik átdolgozott kiadás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 1989. ISBN 963 232 626 1
9. Konkolyné Bihari Z., Lakatos M., Szalai S., (szerk.). (2008): Magyarország éghajlatáról. Változás, változékonyság térben és időben. OMSZ. Budapest. 23.
10. KSH adatok, 2012. <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/agrotech12.pdf>
11. Láng I. (2005): Bevezető gondolatok a klímaváltozás kockázatához. Magyar tudomány. 7.789-890.
12. Láng I., Csete L., Jolánkai M. (2006): Felkészülés a globális klímaváltozás hazai hatásaira. Budapest.
13. Láng I., Csete L., Jolánkai M. (2006): Felkészülés a globális klímaváltozás hazai hatásaira. Budapest. 261.
14. Magyarország éghajlati atlasza. Országos Meteorológiai Szolgálat. 2001.
15. Szalai S.(2012): Az aszály definíciói 7-9. Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ-DMCSEE. Összefoglaló a projekt eredményeiről. Szerk: Bihari Zita. Budakeszi. Országos Meteorológiai Szolgálat.44.
16. Szalai S., Konkolyné Bihari Z., Lakatos M., Szentimrey T. (2005): Magyarország éghajlatának néhány jellemzője 1901-től napjainkig. Országos Meteorológiai Szolgálat.

17. Szász G. (1993): A debreceni éghajlati megfigyelések rövid története. Légkör. XXXVIII. Évf. 2. 10-14.
18. Szepesiné Lőrincz A. [szerk.] (1970): Fejezetek a magyar meteorológia történetéből. Országos Meteorológiai Szolgálat.
19. Tamás J. (2013): Gazdálkodás belvizes és aszályos területeken. Szaktudás Kiadóház Zrt. Debrecen. 152.
20. Várallyay Gy. (2008): A talaj szerepe a csapadék-szélsőségek kedvezőtlen hatásainak mérséklésében. „Klíma-21” Füzetek. 52. 57-71.

Internetes hivatkozások:

I1: <https://www.agroinform.hu/kornyezetvedelem/kuzdelem-az-elsivatagosodas-es-az-aszaly-ellen-mar-a-fennmaradasunk-a-tet-28366-001> Megtekintés ideje: 2018. május 2. 11:12.

Ábrajegyzék

1. ábra. Belvíz (Forrás: DE AKIT Karcagi Kutatóintézet táblái)	5
2. ábra. Szántás Karcag határában (Forrás: DE AKIT Karcagi Kutatóintézet táblái).....	6
3. ábra. Rossz szántás ((Forrás: DE AKIT Karcagi Kutatóintézet táblái).....	6
4. ábra. Öntözött terület (ezer hektár) és aszályal érintett területek aránya (%) (Forrás: KSH,2012).....	7
5. ábra. Öntözött terület aránya művelési áganként (%) (Forrás: KSH,2012)	8
6. ábra. Öntözött terület megoszlása öntözés típusa szerint (ezer hektár) (Forrás: KSH,2012)	8
7. ábra. Össztársadalmi probléma a sivatagosodás és szárazság (Fotó: Shutterstock, Forrás: I1)	10
8. ábra. Debrecen-Pallag 1941, június 20, (Forrás: OMSZ)	12
9. ábra. Debrecen repülőtér 1961. június (Forrás: OMSZ)	13
10. ábra. Debrecen repülőtér 2006. május (Forrás: OMSZ)	13
11. ábra. Meteorológiai állomások elhelyezkedése (Forrás: OMSZ)	14
12. ábra. Csapadékmérő edény (Forrás: OMSZ)	17
13. ábra. Napfénytartam-mérő (OMSZ).....	18
14. ábra. Debrecen évi középhőmérséklete (1901-2010).....	22
15. ábra. A négy évszak középhőmérsékletei (1901-2010)	23
16. ábra. A négy évszak átlaghőmérsékleteinek szórása (1901-2010).....	25
17. ábra. Az évi maximum hőmérsékletek (1901-2010).....	26
18. ábra. A hőségnapok száma (1901-2010).....	27
19. ábra. Évi minimum hőmérsékletek (1901-2010)	28
20. ábra. Fagyos napok száma (1901-2010).....	30
21. ábra. A meleg éjszakák száma (1901-2010).....	31
22. ábra. Az évi csapadékösszegek (1901-2010)	33
23. ábra. A négy évszak csapadékösszegei (1901-2010)	34
24. ábra. A négy évszak napi csapadékainak szórása (1901-2010)	37
25. ábra. A legnagyobb napi csapadékösszegek (1901-2010)	38
26. ábra. Az évi csapadékos napok száma (1901-2010)	39
27. ábra. A napfényes órák száma (1901-2010).....	40
28. ábra. A potenciális evapotranszpiráció éves összege (1901-2010)	41
29. ábra. Az éves csapadék és a potenciális evapotranszpiráció hányadosa (1901-2010) ...	43

30. ábra. A párhuzamos analízis eredménye	48
31. ábra. A főkomponens-súlyok és a főkomponens-változók elhelyezkedése	50
32. ábra. A rotált komponensek felépítése	51
33. ábra. Az őszi csapadék eloszlása.....	53
34. ábra. Az őszi csapadék eloszlása 1901-1955 és 1956-2010 között.....	54
35. ábra. Az őszi hőmérséklet eloszlása.....	55
36. ábra. Az őszi hőmérséklet eloszlása 1901-1955 és 1956-2010 között.....	56

Táblázatjegyzék

1. táblázat. Az évi minimum hőmérséklet lineáris trendillesztésének eredménye	28
2. táblázat. A fagyos napok száma lineáris trendillesztésének eredménye	29
3. táblázat. A meleg éjszakák száma lineáris trendillesztésének eredménye	32
4. táblázat. A PET lineáris trendillesztésének eredménye	42
5. táblázat: Az éves csapadék és a potenciális evapotranszspiráció hányados lineáris trendillesztésének eredménye	44
6. táblázat: Az időjárási változók korrelációs mátrixa (Pearson-féle)	46
7. táblázat. A Kaiser-Mayer-Olkin teszt eredménye	47
8. táblázat: A főkomponens-analízis eredménye (varimax rotáció után)	49
9. táblázat. A 110 év alatt lehullott csapadék leíró statisztikája	52
10. táblázat. A 110 év alatt lehullott csapadék leíró statisztikája,	54
11. táblázat: A vizsgált időszak átlaghőmérsékletének leíró statisztikája	55
12. táblázat: A vizsgált időszak átlaghőmérsékletének leíró statisztikája	55