

MISKOLCI EGYETEM
MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA
Doktori Iskola vezetője:
Prof. Dr. Szűcs Péter
egyetemi tanár

**CSAPADÉK ÉS TALAJVÍZSZINT ADATOK PERIODICITÁSÁNAK VIZSGÁLATA KELET-
MAGYARORSZÁGON KITEKINTÉSEL A KÁRPÁT-MEDENCÉRE**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

KÉSZÍTETTE:
Ilyés Csaba
okl. hidrogeológus mérnök

TUDOMÁNYOS TÉMAVEZETŐK:
Prof. Dr. Szűcs Péter
egyetemi tanár
Dr. Turai Endre
egyetemi magántanár

2024. január

1. Célkitűzések

A felszín alatti vizeink különösen fontosak az egészség, élelmiszerellátás, energia, és az ökoszisztéma szempontjából is, melyek jelentős része ki van téve a jelenkori emberi és természetes hatásoknak. Magyarországon az ivóvíz 95 %-át felszín alatti vízáradékból termelik ki, így a változó klíma és a szélsőséges időjárási viszonyok, akár egy kis változás a víz körforgásában hatással lehet ezekre a vízáradókra és azok utánpótlási viszonyaira is. Ezért ezen hatások és következmények vizsgálata igen fontos vízgazdálkodási és vízvédelmi kérdés az egész Kárpát-medencében. A klímaváltozás hatásait részletesen – külön kiemelve a magyarországi érintett területeket – Rothárné és Tóth (2008) és Szlávik (2003) gyűjtötte össze tanulmányában. Mivel az extrém meteorológiai események száma várhatóan növekedni fog, a száraz és csapadékos időszakok jobban elkülönülnek egymástól. A száraz évszakokban hosszabb csapadékmentes időszakokat prognosztizálnak, míg a csapadékos évszakban a csapadékesemények intenzitásában várható változás. A rövid idő alatt lezúduló nagy mennyiségű csapadékok számának növekedése várható, ami a beszivárgási kapacitás maximuma miatt a lefolyást fogja növelni, így összességében a talajvíztükröt elérő víz mennyisége csökkenni fog (Szöllősi-Nagy, 2020).

A közelmúltban a Miskolci Egyetemen is számos kutatási projektben vizsgálták a szélsőséges időjárási viszonyok hatását a felszín alatti vizekre (Darabos és társai, 2018; Madarász és társai, 2015).

Munkám során arra törekedtem, hogy az elérhető csapadék és talajvízes idősorok elemzésével új információkat nyerjek a felszín alatti vizek utánpótlódásáról, mivel a vízzel kapcsolatos (globális és lokális) problémák sikeres megoldása érdekében kulcsfontosságú megérteni a vízkörforgás komponenseinek ciklikus viselkedését. A dolgozat célja ezen hidrológiai ciklus két elemének, a csapadéknak, valamint a talajvízes rétegeknek a vizsgálata a Kárpát-medencében az elérhető csapadékösszegek és vízszintadatsorok segítségével, fejlett matematikai módszerek alkalmazásával.

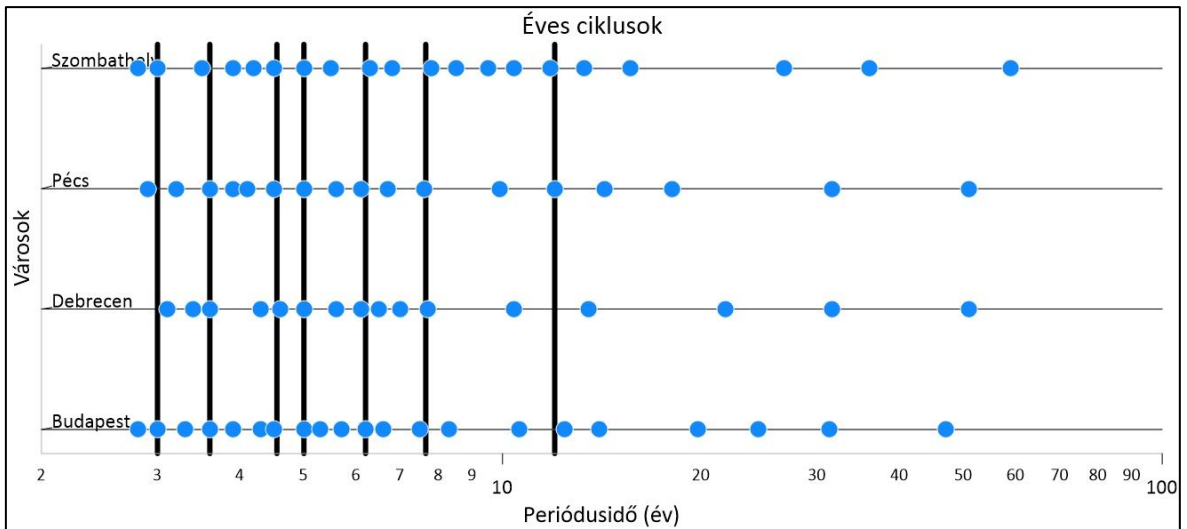
2. Alkalmazott módszerek és eredmények – Csapadékadatok vizsgálata

Az elérhető adatok mennyisége és minősége alapján a megvizsgáltam csapadékösszegeket több felbontásban az egész Kárpát-medence területére nézve az 1901-2010 időszakra. A lokális és regionális hatások elkülönítése miatt különösen fontos, hogy a kutatás fő mintaterülete, a Nyírség, és Hajdúság régiói mellett összehasonlítsam a kapott eredményeket más magyarországi mérőhelyekkel. Munkám során diszkrét Fourier-transzformáción alapuló spektrális elemzéssel vizsgáltam a Debrecen, Budapest, Pécs és Szombathely mérőállomásokról származó éves, havi és napi csapadékösszegeket. Az éves vizsgálatba bevont 110 adat segítségével 7 regionális csapadékciklust sikerült definiálnom (1. ábra), számos lokális periodikus komponens mellett (1. táblázat). A havi adatok felhasználásával 13 ciklusra sikerült bővítenem az országosan definiálható periódusok számát, valamint számos lokális ciklust is kimutattam (2. ábra).

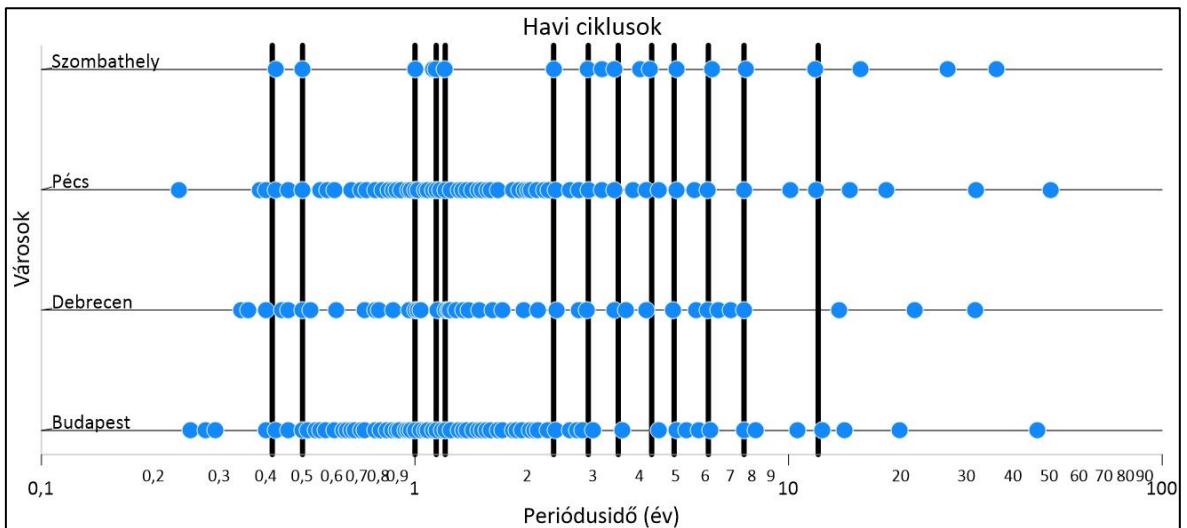
A napi adatok nagy mennyisége lehetővé tette, hogy több időintervallumra is el tudjam végezni a számításokat, így összehasonlíthatóvá vált a 20. század kezdete, valamint a vége, így a változások is feltérképezhetőek lettek.

1. táblázat: Az éves csapadékidősorokból számított fő- és melléciklusok
(szerző saját szerkesztése)

Budapest		Debrecen		Pécs		Szombathely	
T [év]	$\frac{A(T)_{lok}}{A(T)_{abs}}_{max}$ [%]	T [év]	$\frac{A(T)_{lok}}{A(T)_{abs}}_{max}$ [%]	T [év]	$\frac{A(T)_{lok}}{A(T)_{abs}}_{max}$ [%]	T [év]	$\frac{A(T)_{lok}}{A(T)_{abs}}_{max}$ [%]
2,8	45,65	3,1	41,11	2,9	88,95	2,8	50,20
3	48,83	3,4	56,89	3,2	61,44	3	44,10
3,3	47,93	3,6	100,00	3,6	95,02	3,5	71,06
3,6	90,15	4,3	71,45	3,9	64,36	3,9	54,00
3,9	29,79	4,6	28,36	4,1	82,77	4,2	55,97
4,3	41,42	5	77,45	4,5	100,00	4,5	21,06
4,5	40,03	5,6	55,18	5	99,50	5	52,84
5	90,88	6,1	61,87	5,6	55,28	5,5	30,80
5,3	32,98	6,5	49,59	6,1	66,19	6,3	47,78
5,7	41,75	7	30,45	6,7	32,68	6,8	32,11
6,2	33,63	7,7	24,24	7,6	60,27	7,8	40,63
6,6	33,23	10,4	26,52	9,9	67,53	8,5	51,41
7,5	30,02	13,5	69,34	12	54,49	9,5	47,53
8,3	40,12	21,8	43,45	14,3	65,71	10,4	49,95
10,6	53,15	31,6	77,77	18,1	43,87	11,8	80,05
12,4	60,56	51	27,46	31,6	73,43	13,3	61,30
14	57,74			51	55,10	15,6	72,15
19,8	59,76					26,7	100,00
24,4	40,03					36	80,94
31,3	17,05					59	65,26
47	47,17						



1. ábra: Az éves adatokból számított ciklusok, jelölve a közös periódusokat
(szerző saját szerkesztése)



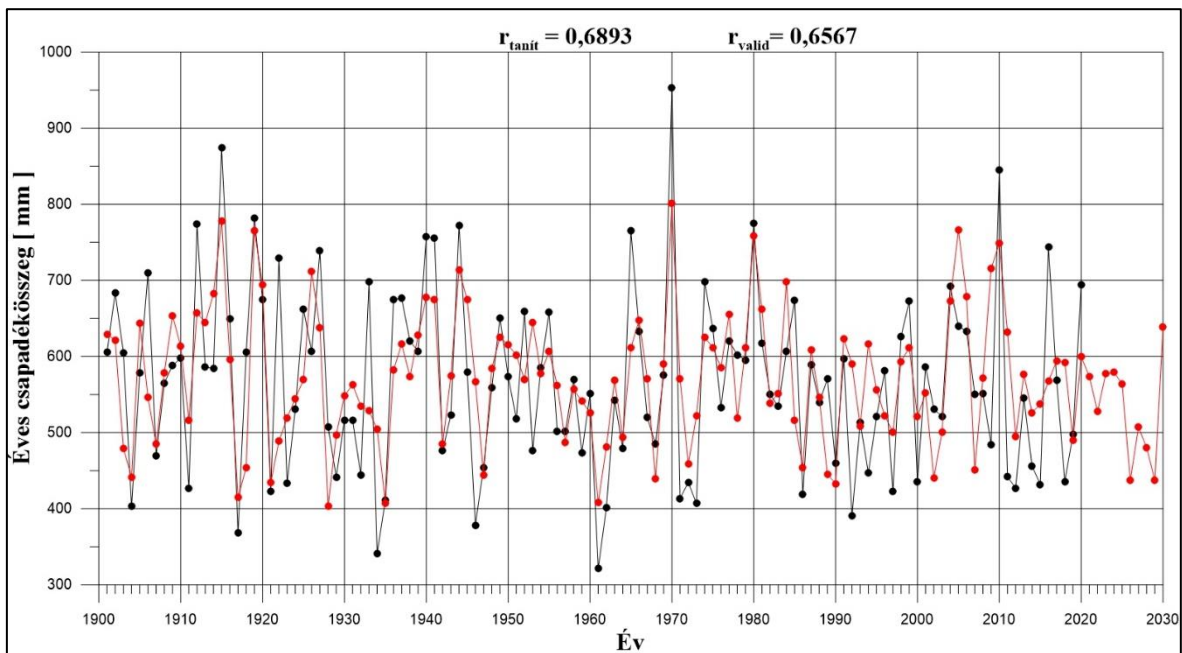
2. ábra: A havi adatokból számított ciklusok, jelölve a közös periódusokat
(szerző saját szerkesztése)

A továbbiakban a Debrecenben meghatározott periódusok további vizsgálatát végeztem el.

A terület jobb megismeréséhez következő lépésként a diszkrét Fourier-transzformáció azon tulajdonságát használtam fel, hogy amennyiben az amplitúdóspektrum és a fázisszög ismert, az eredeti idősor visszaállítható. Amennyiben csak az általam kimutatott fő és

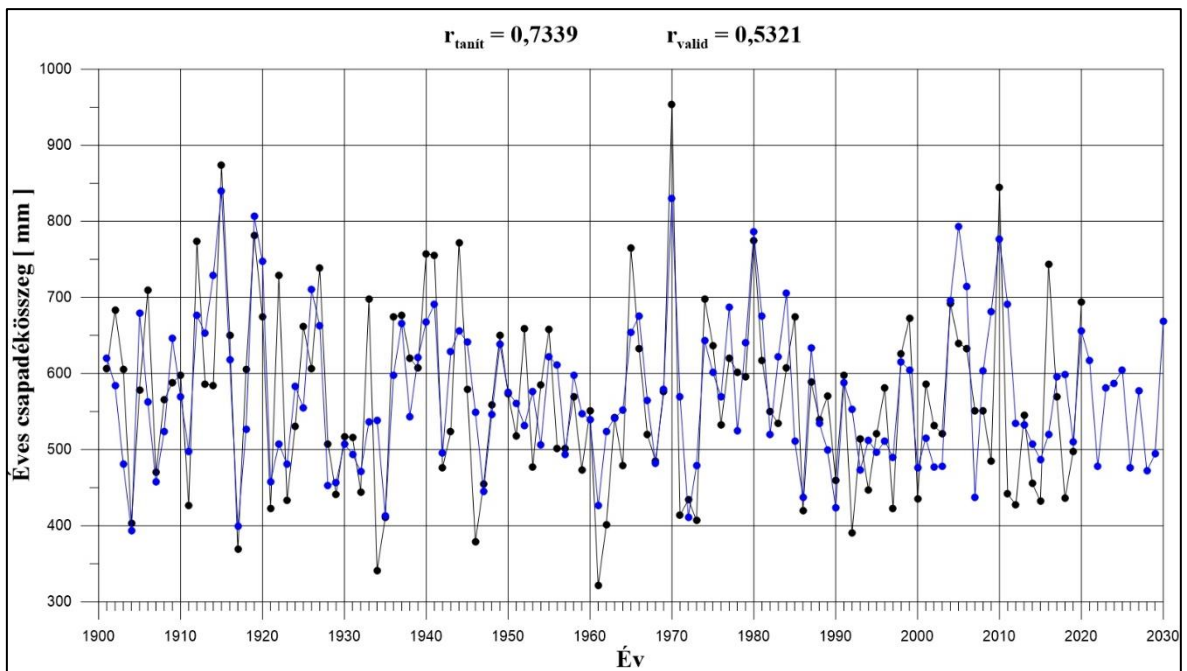
melléciklusokat használom, egy determinisztikus idősor generálható, akár túlmutatva a vizsgált időintervallumonkon, becslést adva a jövőre.

Az előrejelzés elkészítéséhez a debreceni mérőállomást választottam. A 110 éves adatbázis havi és éves csapadékösszegeit felhasználva számos forgatókönyv alapján készítettem előrejelzéseket. A vizsgálatok során a tanulási fázis a korábban már használt 1901-2010 közötti időszak, míg a validálási szakasz az azóta 2020-ig eltelt időszak volt.



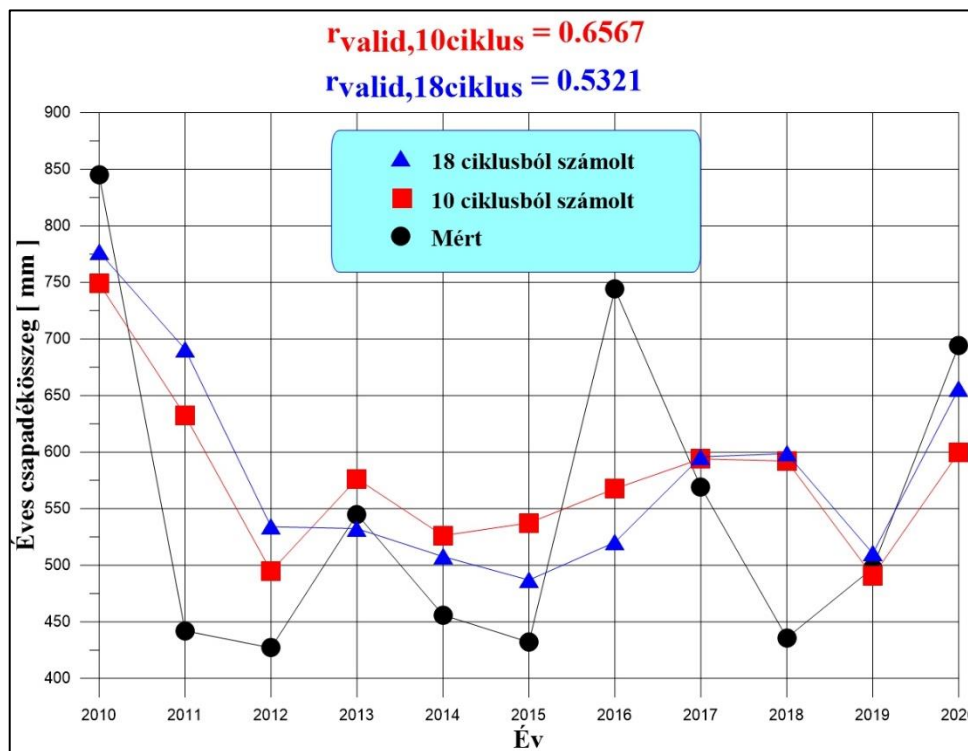
3. ábra: A debreceni éves csapadékösszegekből készített előrejelzés 10 ciklus felhasználásával (szerző saját szerkesztése)

Első esetben a 10 legdominánsabb periódust használtam fel, az így kapott adatsor korrelációs együtthatója az eredeti mért csapadékösszegekkel 0,69, ami közepesen erős korrelációnak számít. A validálási időszak alatt ez 0,66 (3. ábra).



4. ábra: A debreceni éves csapadékösszegekből készített előrejelzés 18 ciklus felhasználásával (szerző saját szerkesztése)

A második számításhoz mind a 18 fő és mellékciklus felhasználásra került, így a korrelációs koefficiens is megnőtt, 0,73 a tanítási időszakban, ami szignifikánsan magasabb (4. ábra). A validálási fázis külön kiemelve az 5. ábrán látható.



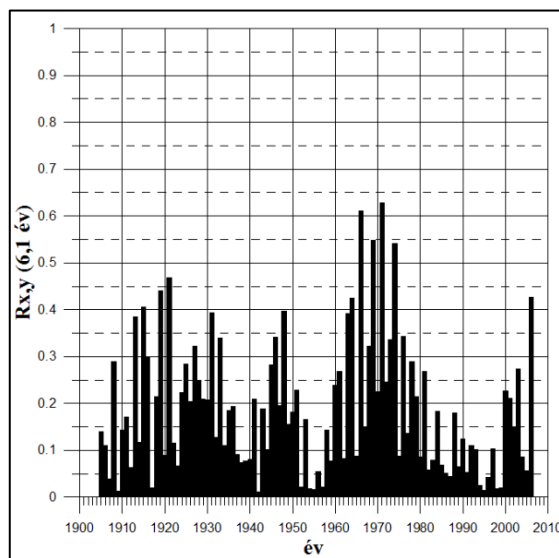
5. ábra: A validálási fázis korrelációs együtthatói (szerző saját szerkesztése)

A tény, hogy több periódus felhasználásával alacsonyabb korrelációs együttható számítható ki a validálási fázis során, egy további kutatási irány lehet a jövőben, hogy meghatározzuk, melyik az optimális periódusszám a legnagyobb korreláció eléréséhez.

A számítások során a havi adatsorok segítségével is előállításra kerültek determinisztikus számított csapadékösszeg-idősorok, azonban 15 periódus segítségével mindösszesen 0,47-es korrelációs együtthatót sikerült kimutatni, ami gyenge kapcsolatként írható le.

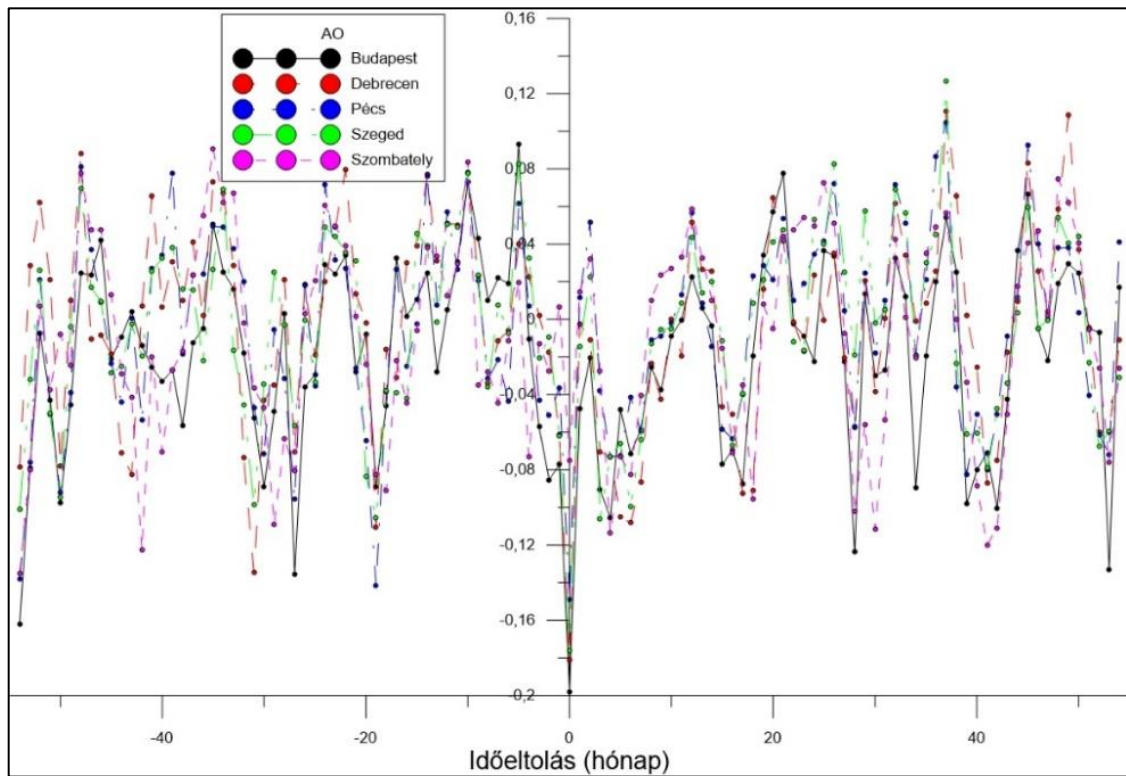
A periódusok számát megnövelve, a legdominánsabb 164 ciklust felhasználva is csak 0,62-es korrelációs együttható értéket kaptam. A havi csapadékösszegekben alapvetően sokkal nagyobb a változékonyság, mint az éves csapadékösszegek esetén, így a módszer nem bizonyult hatásosnak az ilyen jellegű előrejelzés elkészítéséhez.

A további vizsgálatokhoz a Wavelet-elemzés módszertanát használtam, mely segítségével meghatározható egy domináns ciklus időfüggése, időbelisége. A megfelelő periódusidővel, egységnyi amplitúdóval rendelkező sinus-hullám került felhasználásra. Az egyes wavelet-ek 4 hely közelében mutatnak maximális értéket (0,5 feletti korrelációs együtthatót), az 1910-es, 1940-es, 1960-as, 1970-es évtizedekben. Ezen belül a debreceni 4,3 éves ciklus wavelet-e, 4 maximális értékkel, (sorrendben) 1918-ban, 1971-ben, 1973-ban és 1916-ban. Az 1910-es és az 1960-as évtizedek évei majdnem minden esetben a ciklusok dominánsabb értékeit mutatják, míg a 2000-es évek után sokkal kevésbé dominálnak. A 6,1 éves ciklus wavelet eredménye példaként a 6. ábrán látható.

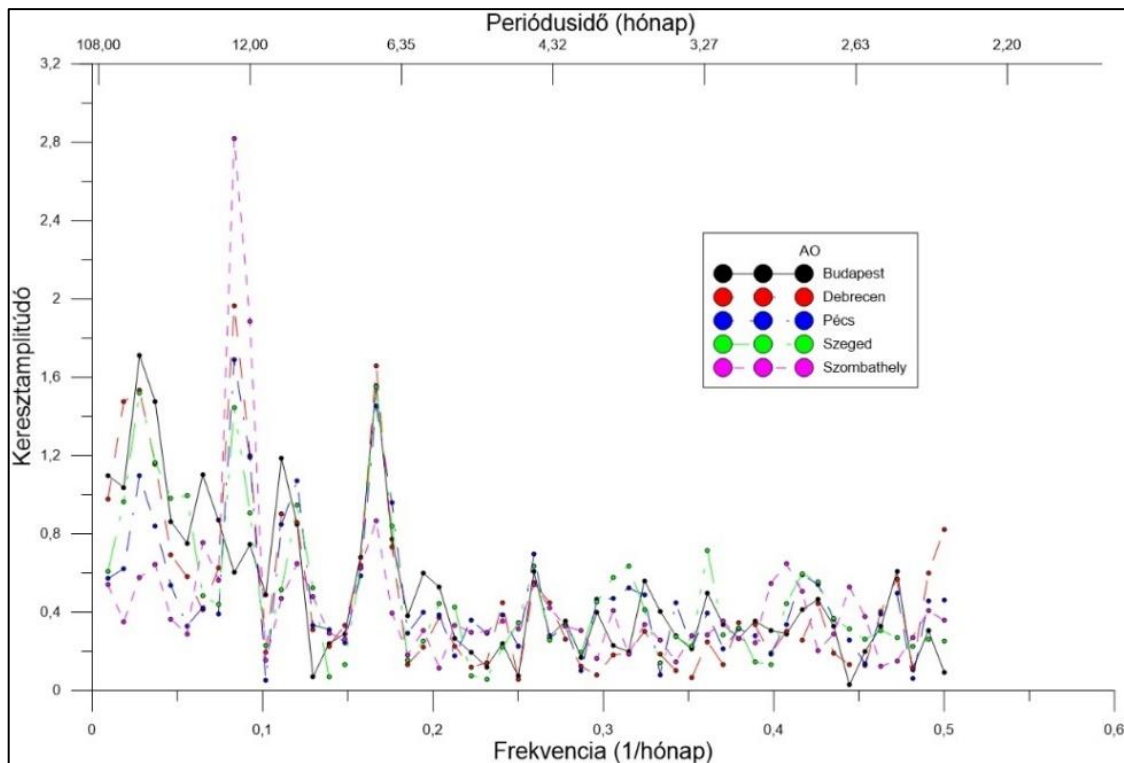


6. ábra: A 6,1 éves ciklus wavelet-elemzésének eredménye (szerző saját szerkesztése)

A csapadékadatok elemzésének utolsó lépéseként megvizsgáltam, hogy a globális klímajelenségek milyen hatással vannak a Debrecenben mért csapadékösszegekre. A keresztkorreláció és keresztsppektrális elemzés módszertanát felhasználva az Északi Oszcilláció, Észak-atlanti Oszcilláció, az Atlanti Multidekadális Oszcilláció, a Csendes-óceáni, valamint a Déli Oszcilláció mért paramétereit vizsgáltam a havi lehullott csapadékösszegekre. A lineáris vizsgálat eredményei alapján az északi féltekén jelen lévő távkapcsolatok kismértékű, de kimutatható kapcsolata számszerűsíthető, azonban a bolygó távoli részein előforduló klímajelenségek lineárisan nincsenek kapcsolatban a lehullott csapadékkal (7-8. ábra).



7. ábra: Keresztkorreláció az AO és a Kárpát-medencei csapadék között (szerző saját szerkesztése)



8. ábra: Keresztamplitúdó az AO és a Kárpát-medencei csapadék között (szerző saját szerkesztése)

Mivel a vizsgált terület jelentős ivó-, gyógy- és öntözővíz igényekkel rendelkezik, ezért az utánpótlódásának jobb megismerése stratégiai jelentőségű. Debrecen közvetlen területéről származó új kutatási eredményeim segíthetik a helyi csapadékesemények jobb megismerését, támogatják, hogy a jövőben a felszín alatti rétegek utánpótlódásának jobb meghatározását.

3. Alkalmazott módszerek és eredmények – Talajvizes adatok csoportosítása

Munkám során a Hajdúság és Nyírség területéről szisztematikusan, a térséget jól jellemző 45 talajvíz megfigyelő kutat választottam ki. A kutak jellemzője, hogy több időhorizonton mérték, valamint több esetben hiányosak, sporadikusak. A cél az volt, hogy kidolgozzak egy módszert, ami alapján ezen idősorok csoportosíthatóak.

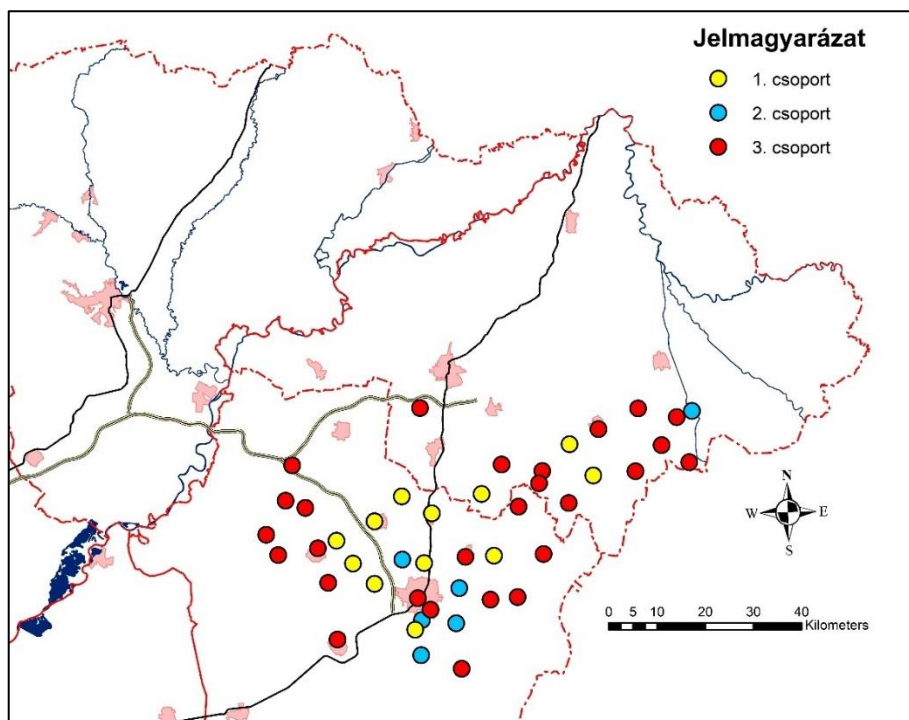
Az általam feldolgozott szakirodalom alapján az idősorelemzésen, valamint a neurális hálókön alapuló elemzések jól alkalmazhatók talajvizes adatok elemzésére. Azonban ezen modelleket közvetlenül még nem használták fel az adatok csoportosítására. Új megközelítésem lényege, hogy ezen statisztikai módszereket összekapcsolom a csoportosító matematikai módszertannal annak érdekében, hogy a rendkívül hiányos és

sporadikus adathalmazomon is tudjak elvégezhető legyen a csoportosítás. Első lépésben az idősorokat felbontottam dinamikus jellemzőik alapján és azokat csoportosítottam. Második lépésben neurális hálók segítségével vetítettem az idősorokat n-dimenziós terekbe, így becsülve a közös komponenseket. Végül a két módszertan eredményeit összehasonlítottam.

A meglévő szakirodalom alapos áttekintése alapján úgy vélem, az eddigi részeredmények ilyen jellegű komplex értékelésére eddig nem került sor, ezért a dolgozatomban ismertetett kutatás eredményeket tudományos és napi szintű vízgazdálkodási szempontból jelentősnek, részben a gyakorlatban is használható metodikai jellegűnek tartom. Az alapegyenlettel sikerült leírnom a területre jellemző talajvíz éves járását, továbbá havi együtthatókat is sikerült meghatároznom.

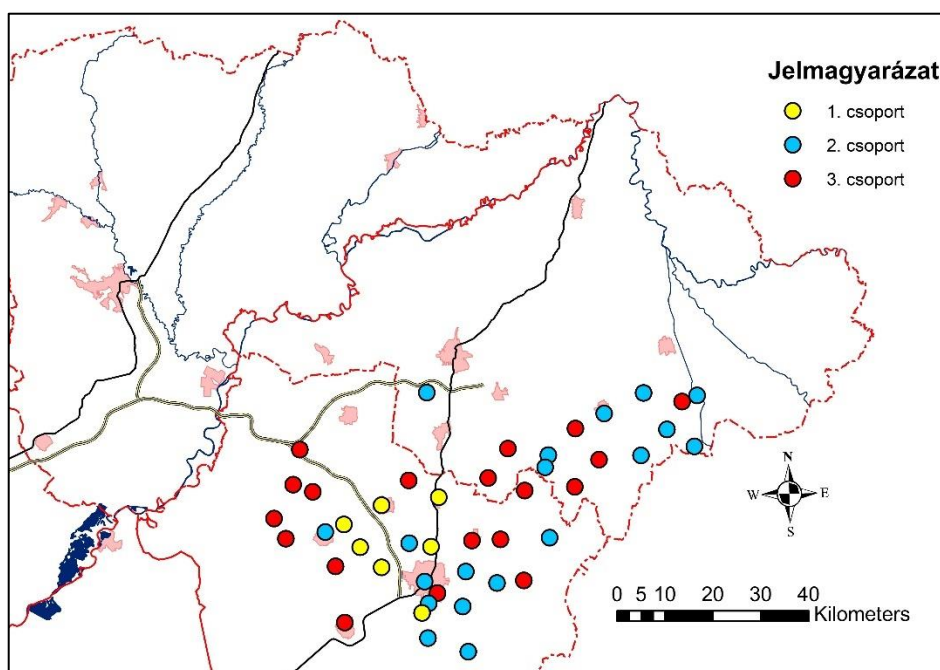
Az egyenletek komplexitásának növelésével először trendstacionárius, majd differenciastacionárius modellezést végeztem el.

A csoportosítás során első körben a trendstacionárius autoregresszív modellek becsült együtthatóit használtam – 12 havi szezonális dummy változót, valamint az 1 és 2 hónapos késleltetés változójának együtthatóit. A képzett három csoportról megállapítható (9. ábra), hogy az átlagos mélység szerint sorba rendezhetők – jelentős belső szóródás mellett. Az 1-es csoport átlagos mélysége 241 cm, a 2-esé 346 cm és a hármasé 480 cm.



9. ábra: A csoportosítás eredményei a kutak földrajzi helye alapján (idősoros jellemzőkkel) (szerző saját szerkesztése)

A második lépésben a csoportosításhoz az adatok jellege és a gyakori hiányos adatok miatt egy neurális hálóra alapuló klaszterezési eljárást választottam. A neurális hálók használata során nem éltem előzetes feltevéssel a függvényformára, így validálni lehetett az első lépésben elkészített klaszterezést. A neurális hálót Adam optimalizációs eljárással becsültem, hibafüggvényként az átlagos négyzetes hibát használtam (Mean Squared Error – MSE). A ciklusszámot, azaz a tanulás megállási pontját egy validálási minta segítségével határoztam meg. A neurális háló eredményei a kutak 4 dimenziós térbe ágyazásának koordinátái, amelyek egymástól vett távolságai reprezentálják a kutak dinamikájának hasonlóságát. A klaszterezést ezek alapján az időszorelemzés eredményein már elvégzett módszertan alapján határoztam meg.



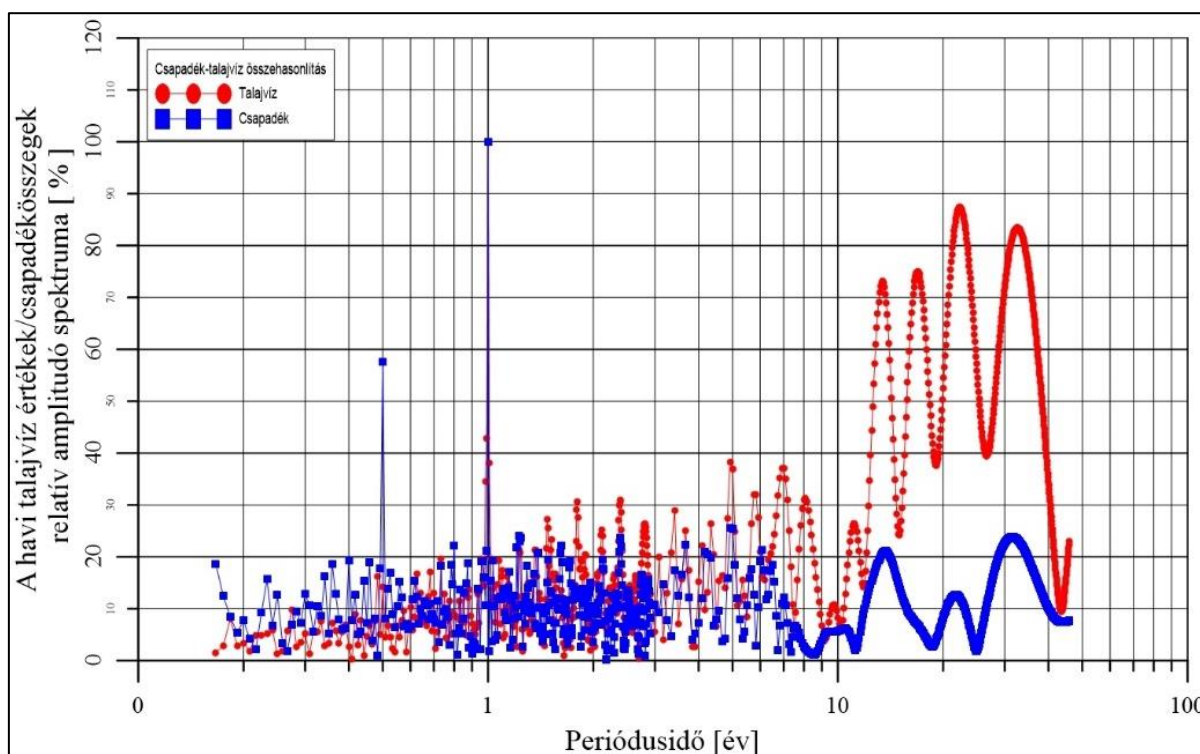
10. ábra: A csoportosítás eredményei a kutak földrajzi helye alapján (neurális hálóval)
(szerző saját szerkesztése)

A két eljárást összehasonlítva megállapítható, hogy a jelentősen szabadabb függvényforma és megnövelt szabadságfok ellenére a két teljesen eltérő módszertan nagyon hasonló eredményekhez vezetett. Összességében elmondható, hogy a kifejlesztett módszertan alkalmas az ilyen jellegű adatkészlet egyidejű elemzésére. A talajvizes kutak sporadikus idősorai dinamikus jellemzők alapján csoportosíthatóak idősoros elemzés és neurális háló segítségével. Az így képzett csoportok homogének a dinamikus jellegüket tekintve, így a

hiányos adatsorok információja sűrítendő. A módszerrel egy adott területen a csoportok mélységhatárai megadhatóak matematikai összefüggések segítségével.

4. Alkalmazott módszerek és eredmények – Talajvízes adatok periódusainak elemzése

Munkám során a csapadékidősorok elemzésénél használt módszertant alkalmaztam, a kapcsolat jobb megismerése és számszerűsítése céljából. Első körben diszkrét Fourier-transzformáción alapuló spektrális elemzéssel vizsgáltam három kiválasztott talajvízes kút hosszú idejű adatsorát, a Debrecen területén lévő talajvízes kút adatait a csapadékadatok eredményével is összehasonlítottam, a Nyírség, valamint Duna-Tisza közéről származó kutak eredményeit, mint kitekintést választottam a számításokhoz. A keresztkorrelációs és kereszt-spektrális elemzés segítségével a Hajdúság területére több megfigyelő kút esetére sikerült késleltetési időket meghatároznom, valamint a kapcsolatban rejlő periodikus komponenseket is kiszámítottam.



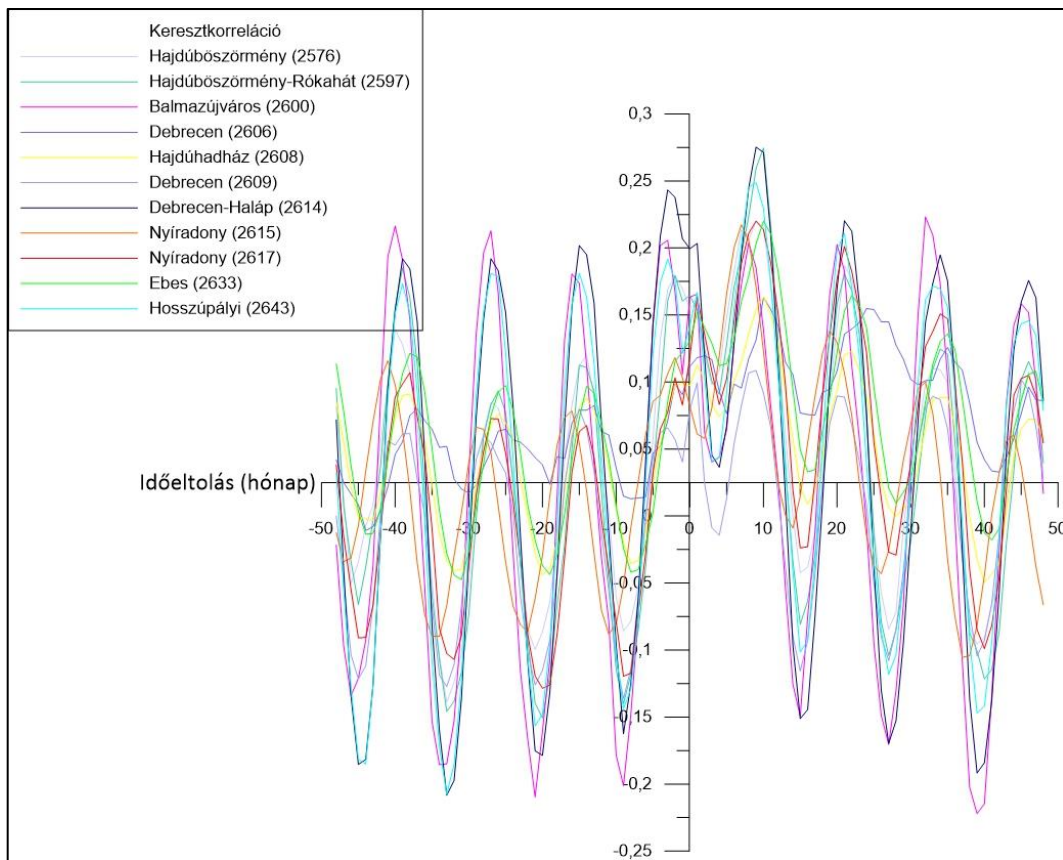
11. ábra: A havi mintavételezésű csapadék és talajvízszint idősorok spektrumai Debrecenben (szerző saját szerkesztése)

2. táblázat: A legdominánsabb ciklusok hosszai és relatív súlyai Debrecen területén a csapadék és a talajvízszint idősorokban (szerző saját szerkesztése)

Debrecen sorszám	csapadék (relatív súly)	talajvíz (relatív súly)
1.	1 év (100%)	1 év (100%)
2.	0,5 év (57,6%)	12,3 év (77,3%)
3.	4,92 év (25,5%)	15 év (45,4%)
4.	1,23 év (24%)	18,9 év (43,2%)
5.	31,5 év (23,8%)	5 év (41,7%)
6.	2,39 év (23,6%)	10,5 év (40,7%)
7.	3,67 év (22,4%)	26,6 év (38,1%)
8.	1,62 év (22,2%)	9 év (32,9%)
9.	0,8 év (22,1%)	2,38 év (32,9%)
10.	6,08 év (21,4%)	3,67 év (32,2%)
11.	13,7 év (21,1%)	3,33 év (31,4%)

A havi mintavételezésű csapadék és talajvízszint idősorok spektrumait Debrecen területén vizsgálva látható, hogy az 1 éves, a 2,5 éves, a 3,7 éves, valamint az 5 éves ciklus mindkét paraméter idősorában megjelenik, ezért ezeket a ciklusokat olyan determinisztikus hatások okozzák, amelyek mind a csapadék, mind pedig a talajvízszint periodikus változását kiváltják. Mindkét paraméter idősorában kimutatható két hosszabb idejű ciklus is, azonban ezek nem pontosan ugyanazzal a periódusidővel jelentkeznek (11. ábra, 2. táblázat).

A keresztkorrelációs és kereszt-spektrális vizsgálatokhoz 11 Hajdúság és Nyírség területén lévő hosszú idejű talajvízszint idősort, valamint a Debrecenben mért havi csapadékösszegeket használtam fel.

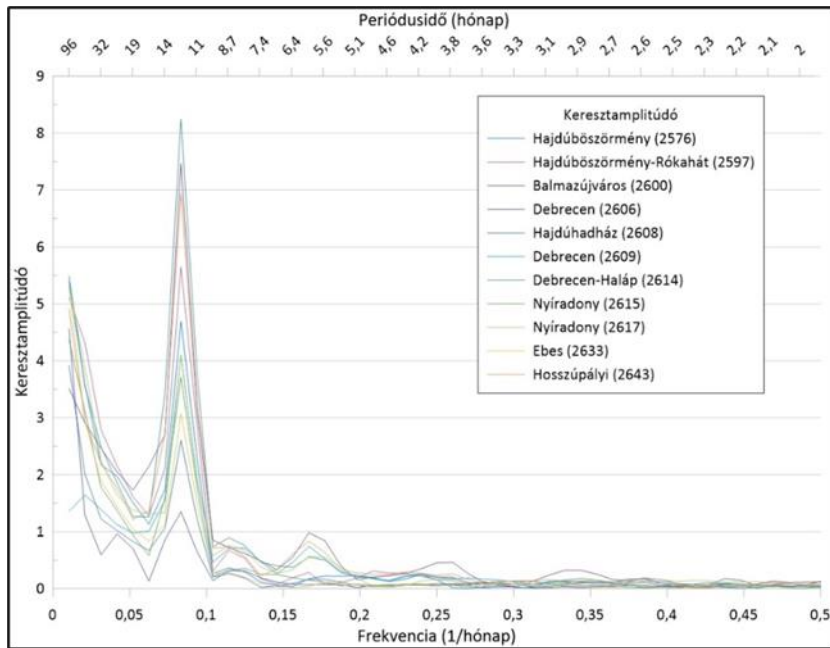


12. ábra: A keresztkorrelációs számítások eredményei (szerző saját szerkesztése)

Az eredmények alapján látható, hogy a kutak idősorában nagymértékű együttmozgás figyelhető meg, az eltolódás 8-10 hónap között adódik, ami a kút talpmélységével korrelál a legjobban.

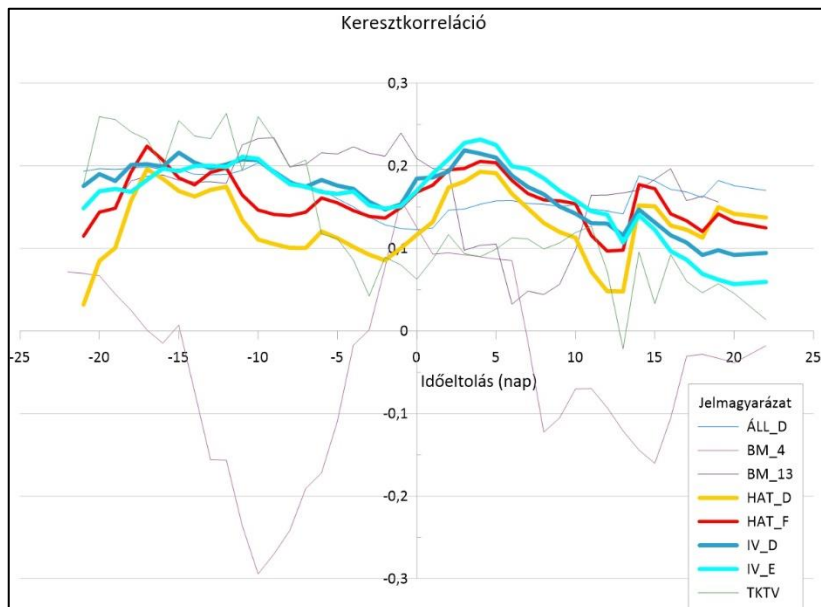
A kereszt-spektrális elemzés eredményei szerint, a periódusidők alapján látható, hogy a kutak nagy részében jelentkezik egy 8 hónap körüli periodicitás is, valamint egy fél év körüli periodicitás is. A kutak kétharmadában egy 3-4 hónapos ciklust is sikerült kimutatni. A Debrecenben található két mérőponton az évesnél nagyobb periódusidőket is kimutattam.

A részletesebb vizsgálathoz a havi adatoknál jobb felbontású napi adatokkal kell számolni (13. ábra).



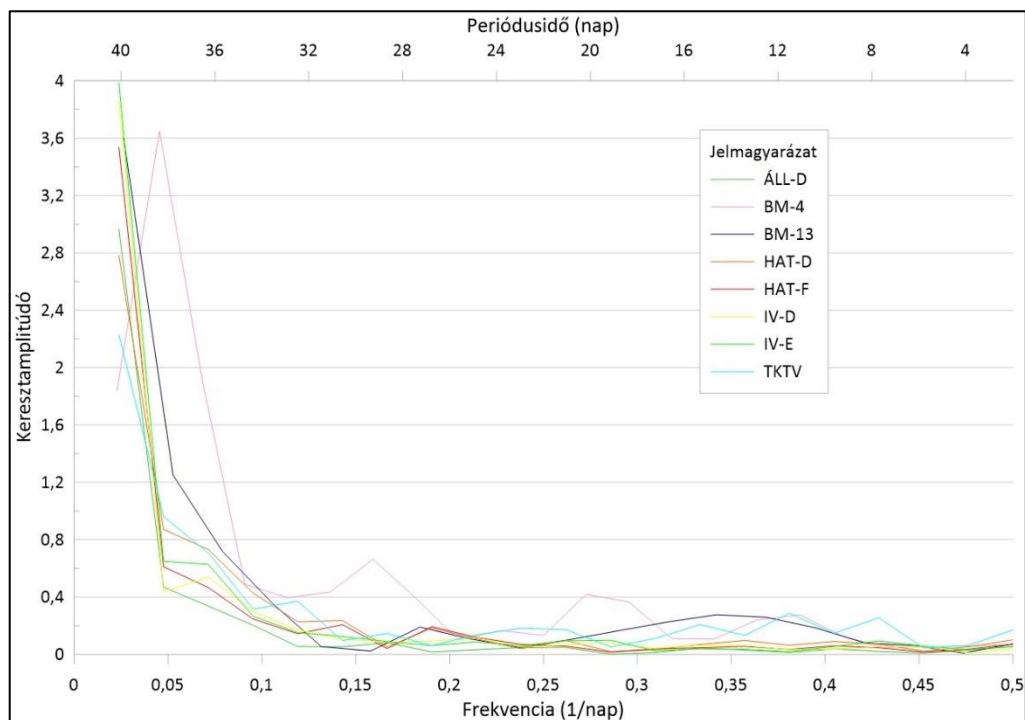
13. ábra: Az egyes mérőhelyek vízszint-csapadék kereszt amplitúdó függvényei (szerző saját szerkesztése)

A napi adatokkal történő vizsgálatok elvégzéséhez Debrecen területéről több talajvíz-monitoring kút adatsorát hasonlítottam össze.



14. ábra: A keresztkorrelációs számítás eredménye Debrecen területén, napi adatok alapján (szerző saját szerkesztése)

A kutakban mért vízszint idősorok, valamint a csapadék kapcsolatát vizsgálva egyértelmű eredmény sok esetben nem mutatható ki. Azon kutak esetében, ahol a kapcsolat vizsgálatánál egyértelmű maximumot sikerült kimutatni, ott 3-4 napos eltérés volt kiszámítható.



15. ábra: Az egyes mérőhelyek vízszint-csapadék kereszt amplitúdó függvényei (szerző saját szerkesztése)

Összességében a spektrális elemzés során a két Kelet-magyarországi talajvízes kútból 25, illetve 27 ciklust sikerült kimutatni, míg a Duna-Tisza közén találhatóiból mindössze 18-at.

A keresztkorrelációs vizsgálatok eredménye hasonlóságot mutat Ubell (1953) megállapításával, valamint a Szabó Gy. (1960) által pesti talajvízfigyelő kutakban kimutatott több hónapnyi eltolódással. Ezek alapján az általam vizsgált mélységben sikeresen kimutatott több hónapnyi eltolás valós kapcsolatot mutat a vizsgált területen.

Összefoglalva megállapítható, hogy a csapadékösszegek és a talajvízszint idősorok komplex elemzésével számos ismert kapcsolatot sikerült számszerűsíteni, több hasonló periódus idejű ciklust sikerült kimutatni mindkét adatkészletből, ezzel is kimutatva a direkt kapcsolatot a víz körforgásán belül. Sikeresen kiszámítottam a kapcsolatok késleltetési idejét is a Hajdúság, Nyírség, valamint Debrecen közelében havi, valamint napi adatokból. Ez alapján havi értékek esetében egy 7-8 hónapos, míg napi értékek esetében egy gyorsabb, 3-4 napos kapcsolat mutatható ki a területen. Sikeresen végeztem becslést az éves csapadékösszegekből, valamint kimutattam klímajelenségek hatásait is a lehulló

csapadék mennyiségében. A talajvízes kutak adatainak csoportosítása során új módszertannal, az idősorokban rejlő dinamikus komponensek segítségével végeztem klaszterelemzést.

Az eredmények segítenek megismerni a csapadék és talajvíz időbeliségét, elősegítik a felszín alatti rétegek utánpótlódásában rejlő mintázatok, kapcsolatok megértését. A vizsgálatok alapján az 5. fejezetben bemutatott téziseket fogalmaztam meg.

5. Tézisek

Tézis 1: *Hosszú idejű hidrometeorológiai adatok elemzéséhez komplex módszeregyüttest dolgoztam ki, amely alkalmas az adatsorok determinisztikus és sztochasztikus jellegének meghatározására, valamint eredményesen alkalmazható középtávú (5-10 év) előrejelzések készítésére. A módszeregyüttesnek része a diszkrét Fourier-transzformáción alapuló spektrális elemzés, a kapott ciklusokból készített előrejelzési metódus, valamint a kapott ciklusokon végzett wavelet-elemzés.*

Tézis 2: *A ország területének négy – különböző hazai klimatikus viszonyokat reprezentáló – meteorológiai állomásán (Szombathely, Pécs, Budapest és Debrecen) mért 110 év hosszúságú éves és havi csapadékösszeg idősorokból spektrális elemzéssel kimutattam 13 közös ciklust a csapadék alakulásának időbeliségében. A ciklusok 0,4 éves; 0,5 éves; 1 éves; 1,14 éves; 1,2 éves; 2,75 éves 3 éves; 3,5 éves; 4,5 éves; 5 éves; 6,2 éves; 7,6 éves és 12-13 éves periódus idejűek, melyek mögött globális és regionális klímajelenségek állnak. Mindemelett a mérési pontok adatsorában további lokális ciklusokat határoztam meg.*

Tézis 3: *Wavelet elemzés segítségével Debrecen csapadék idősorában talált periódusok időbeli függését vizsgálva megállapítottam, hogy az 1900-2010 közötti időszakban mikor voltak a determinisztikus, valamint a sztochasztikus komponensek erőteljesebbek. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy az 1920-30, valamint 1960-70-es évtizedekben a determinisztikus hatások a számottevőbbek. Az eredményeknek köszönhetően kijelenthető, hogy már korábban is, a 20. században váltakozva fordultak elő olyan időszakok, amikor a determinisztikus hatások dominánsabbak voltak, és olyanok amikor a sztochasztikus hatások erőteljesebben érvényesültek, amit a számítások során meghatározott korrelációs értékek bizonyítanak.*

Tézis 4: *A 110 éves csapadékidősor spektrális elemzésével kapott ciklusok alapján a Debrecenben mért adatok használatával középtávú előrejelzést készítettem a mintaterületre több scenárió alapján 2030-ig. A 10 domináns periódus felhasználásával*

készült becslés 0,68, míg a 18 ciklussal 0,73 korrelációs együttható értéket adott az eredeti mért csapadékkal összehasonlítva. A becslés a 2010-2020 közötti időszakban validálásra került, 0,65 valamint 0,53 korrelációs együttható értékekkel. Az elemzés lehetővé teszi az éves csapadékértékek középtávú előrejelzését.

Tézis 5: A csapadékadatok és klímaindexek keresztkorrelációs és keresztspektrális elemzése alapján kimutattam, hogy bizonyos globális klímajelenségek (AO, AMO és NAO) esetén egyértelmű lineáris kapcsolat mutatható ki a klímaoscillációk és a Kárpát-medencei csapadék között.

Tézis 6: Bebizonyítottam, hogy a Hajdúság, valamint a Nyírség területéről származó sekély talajvizes kutak sporadikus idősorai dinamikus jellemzők alapján csoportosíthatóak, idősoros elemzés és neurális háló segítségével. Egy adott területen a kútcsoportok mélységhatárai definiálhatóak. Így amennyiben a dinamikus jellemzői alapján akarjuk csoportosítani a kutakat, akkor a vizsgált területen a talajvíz átlagos mélysége jó előre jelezhető. Az így képzett klaszterek alkalmasak további elemzésekre.

Tézis 7: A Duna-Tisza köze, Hajdúság, valamint a Nyírség kiválasztott talajvízfigyelő kutjainak havi átlagos vízszint adataiból, valamint a hozzájuk kapcsolódó havi csapadékösszegek idősorából spektrális elemzéssel több hasonlóságot kimutattam a ciklikus jelenségek terén. Mind a három területről kiválasztott idősorban megtalálható az 1, 11-12, 5-5,5, valamint két mintaterületen a 3,7 éves ciklus. Mind a talajvíz, mind a csapadékadatok periodicitás-vizsgálatában azonosítottam 1, 4,9-5; 2,38-2,39; 3,67, valamint egy 12-13 év hosszúságú ciklust, ami mögött az évszakok változása, a napfolttevékenység hatása, valamint globális klímajelenségek állnak. Ez megerősíti, hogy a talajvízre történő hatások erőteljesen függenek a lehullott csapadék mennyiségétől.

Tézis 8: A Hajdúság területén mért csapadék és vízszint idősorokon végzett kereszt korrelációs és keresztspektrális vizsgálatok alapján késleltetési időket és periódusokat állapítottam meg az egyes mérőhelyekre. Havi adatok alapján átlagosan 8-10 hónapos nagy léptékű késleltetés mutatható ki a csapadék és a talajvíz kapcsolatában, ami hónapokban kifejezett integráló hatásnak tekinthető. Napi adatok felhasználásával Debrecen közvetlen területére 3-4 napos késleltetési idő került kiszámításra, ami a konkrét fizikai kapcsolat a két paraméter között.

6. A tézisfüzetben felhasznált irodalom jegyzéke

1. **Darabos E., Miklós R., Tóth M. és Lénárt, L. (2018):** A BKÉR adatainak felhasználása a karsztkutatásban. Műszaki Földtudományi Közlemények. 86(3), 66-78.
2. **Madarász T., Szűcs P., Kovács B., Lénárt L., Fejes Z., Kolencsikné Tóth A., Székely I., Kompár L. és Gombkötő I. (2015):** Recent trends and activities in hydrogeologic research at the University of Miskolc, Hungary. Central European Geology. 58(1-2), 171-185.
3. **Rotárné S.Á. és Tóth G. (2008):** Klímaváltozás hatása a felszín alatti vizekre. Vízmű Panoráma. 16(2), 16-17, 19-20.
4. **Szabó Gy. (1960):** Talajvízszint változása Pest belterületén. Hidrológiai Közlöny. 40(2), 106-115.
5. **Szlávik L. (2003):** A klíma- és környezetváltozások földtudományi összefüggései - Klímaváltozás és a víz körforgása. Vízügyi Közlemények. 85(4), 533-535.
6. **Szöllősi-Nagy A. (2020):** A klímaváltozás hidrológiai hatásai: több víz, több aszály – mit tehetünk?. in: Eörs S. (szerk.) (2020): Klímaváltozás és Magyarország. (Osiris Kiadó Kft., Budapest, 2020)
7. **Ubell K. (1953):** Talajvíztározódás csapadék hatására. Vízügyi Közlemények. 35(2), 472-494.

7. A témakörből készült publikációk jegyzéke

1. **Ilyés Cs., Tóth M., Szűcs P. 2023.** Calculating the Connection Between Precipitation and Shallow Groundwater, Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye, 13(3) pp. 292-299.
2. **Ilyés Cs., Szabó N. P., Dobróka M., Turai E., Szűcs P. 2023.** Klímajelenségek hatásainak vizsgálata 1500 éves vízszint adatsoron, in=A Kárpát-Medence Ásványvizei XVII: Nemzetközi Tudományos Konferencia, Csíkszereda, Románia, pp. 49-57.
3. **Kilik R., Ilyés Cs. 2023.** Klaszter és leíró statisztikai elemzés közel 1500 éves vízszint adatsoron. in=Új eredmények a műszaki föld- és környezettudományban 2023, pp. 318-328.
4. **Szabó N. P., Ilyés Cs., Turai E., Dobróka M., Kilik R., Miklós R., Hamdy E., Szűcs P. 2023.** Fourier Transformation and Unsupervised Learning for Extracting Hydrogeological Information from Time Series Data, in=14th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications: Proceedings, pp. 19-24.

5. **Ilyés Cs., Szűcs P., Turai E. 2022.** Appearance of climatic cycles and oscillations in Carpathian Basin precipitation data, *Hungarian Geographical Bulletin*, 71(1) pp. 21–37.
6. **Ilyés Cs., Wendo V. A. J. A., Carpio Y. F., Szűcs, P. 2021.** Differences and similarities between precipitation patterns of different climates, *Acta Geodaetica et Geophysica*, 56(4) pp. 781–800.
7. **Ilyés Cs., Tóth M., Lénárt L., Szűcs P. 2021.** Csapadék és talajvíz kapcsolatának spektrális vizsgálata, in=II. Országos Települési Csapadékvíz-gazdálkodási Konferencia Baja 2019, pp. 81–86.
8. **Ilyés Cs., Tóth M., Lénárt L., Szűcs P. 2021.** Csapadékösszegek és talajvízszintek kapcsolatának vizsgálata Debrecen környékén, in=XVI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia = 16th Carpathian Basin Conference for Environmental Sciences, pp. 134–139.
9. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. 2019.** Examination of the hydrologic cycle with long-term precipitation and groundwater level data, in=Groundwater management and governance. Coping with uncertainty, p. 179.
10. **Ilyés Cs., Szűcs P., Ilyés T. 2019.** Talajvízes idősorok vizsgálata szezonálitás alapján, in=XV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, pp. 106–111.
11. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P., Ilyés T. 2019.** Examination of Debrecen's 110-year rainfall data, *Geosciences and Engineering: A publication of the University of Miskolc*,
12. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. 2019.** Csapadékösszegek és talajvízszint idősorok spektrális elemzése, in=Országos Települési Csapadékvíz-gazdálkodási Konferencia, Baja tanulmányai, pp. 17–24.
13. **Wendo V., Ilyés Cs., Szűcs P. 2019.** Examining the differences and similarities of the precipitation patterns of Hungary and Kenya, *Műszaki Földtudományi Közlemények*, 88(1), pp. 141–146.
14. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. 2018.** Examination of the Hydrologic Cycles with Spectral Analysis, in=Lectures of 14th International Scientific Conference on Mineral Waters of the Carpathian Basin, pp. 7–15.
15. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. 2018.** Examination of rainfall data for 110 years using spectral and wavelet analysis, *Central European Geology*, 61(1) pp. 1–15.
16. **Szűcs P., Ilyés Cs., Turai E., Kompár L. 2018.** Szélsőséges időjárási viszonyok hatása a felszín alatti vizekre, in=Víz a gyógyászatban, pp. 22–33.
17. **Turai E., Ilyés Cs., Szűcs P. 2018.** Magyarországi csapadék és talajvízszint adatok spektrális elemzése, in=Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2018, pp. 382–389.

18. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. 2017.** Spektrális elemzésen alapuló előrejelzés Debrecen térségére, in=Tavaszi Szél 2017 Konferencia = Spring Wind 2017: Konferenciakötet I., pp. 427–435.
19. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. 2017.** 110 éves csapadékadatok vizsgálata spektrális analízissel és Wavelet-elemzéssel, in=Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2017 konferencia előadásai, pp. 146–153.
20. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. 2017.** Examination of 110 year long Rainfall Data using Spectral and Wavelet Analysis, in=Proceedings Book of the 20th Congress of Hungarian Geomathematicians and 9th Congress of Croatian and Hungarian Geomathematicians “Geomathematics in multidisciplinary science – The new frontier?”, pp. 28–35.
21. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. 2017.** Csapadékösszegek periodicitás vizsgálatán alapuló előrejelzés Debrecen térségére, in=XII. Kárpát-Medencei Környezettudományi Konferencia = 12th Environmental Science Conference of the Carpathian Basin, pp. 104–111.
22. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P., Zsuga J. 2017.** Examination of the cyclic properties of 110 – year – long precipitation time series, Acta Montanistica Slovaca, 22(1) pp. 1–11.
23. **Turai E., Ilyés Cs., Szűcs P. 2017.** Talajvízszint-adatok spektrális feldolgozásának eredményei, Műszaki Földtudományi Közlemények, 86(1) pp. 60–68.
24. **Ilyés Cs. 2016.** Országosan kimutatható ciklusok hosszú idejű csapadék idősorokban, in=Doktoranduszok Fóruma 2016, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, pp. 33–39.
25. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. 2016.** Hosszú idejű csapadék idősorok spektrális elemzésén alapuló előrejelzés készítése Debrecen területére, in=Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016, pp. 168–174.
26. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. 2016.** 110 éves hosszúságú hidrometeorológiai adatsorok ciklikus paramétereinek vizsgálata, Hidrológiai Közlöny, 96(1) pp. 61–70.
27. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. 2016.** Csapadékösszegek periodicitásvizsgálatán alapuló előrejelzés készítése Debrecen területére, in=XII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia = XII. Environmental Scientific Conference of the Carpathian Basin, p. 1.
28. **Szűcs P., Ilyés Cs., Turai E. 2016.** Hidrológiai ciklusok változásának hatása a felszín alatti vízforgalomra, in=XII. Nemzetközi Tudományos Konferencia a Kárpát-medence Ásványvizeiről, pp. 1–7.
29. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P., Kompár L., Osváth K. 2015.** A Nyírség havi csapadékviszonyainak komplex elemzése különös tekintettel a leíró statisztikai és

ciklikus komponensek vizsgálatára, in=Proceedings of the 11th International Scientific Conference on Mineral Waters of the Carpathian Basin, pp. 2–10.

30. **Ilyés Cs., Turai E., Szűcs P. 2015.** A Nyírség csapadékidősorainak statisztikus és ciklikus jellemzőinek változása, in=Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2015, pp. 392–397.