

A vízszabályozások tanúi

HORVÁTH EMIL¹

A hazai dendrokronológiai kutatások eredményei egyre több tudományterületen hasznosulnak, így például a régészetben, a faleletek korának pontos meghatározásában². De segíthet környezetünk múltbeli ökológiai és klimatológiai viszonyainak megismerésében is. A biztató eredmények ellenére – az évgyűrűk növekedése, valamint a csapadék között sikerült megbízható kapcsolatot kimutatni -, a léghőmérséklet és az éves gyűrű növekedése között egyelőre nem mutatható ki elfogadható kapcsolat. A továbblépést valószínűleg az évgyűrűk struktúrájának és/vagy kémiai paramétereinek pontosabb megismerése jelentheti. Ebben a tanulmányban az évgyűrű-vastagságokat alkalmazzuk annak kiderítésére, hogy a vízszabályozások (feltételezett környezeti) hatása kimutatható-e a fák évgyűrűinek növekedésében. Egyben felhívva a figyelmet e tudományterületben rejlő kutatási lehetőségekre.

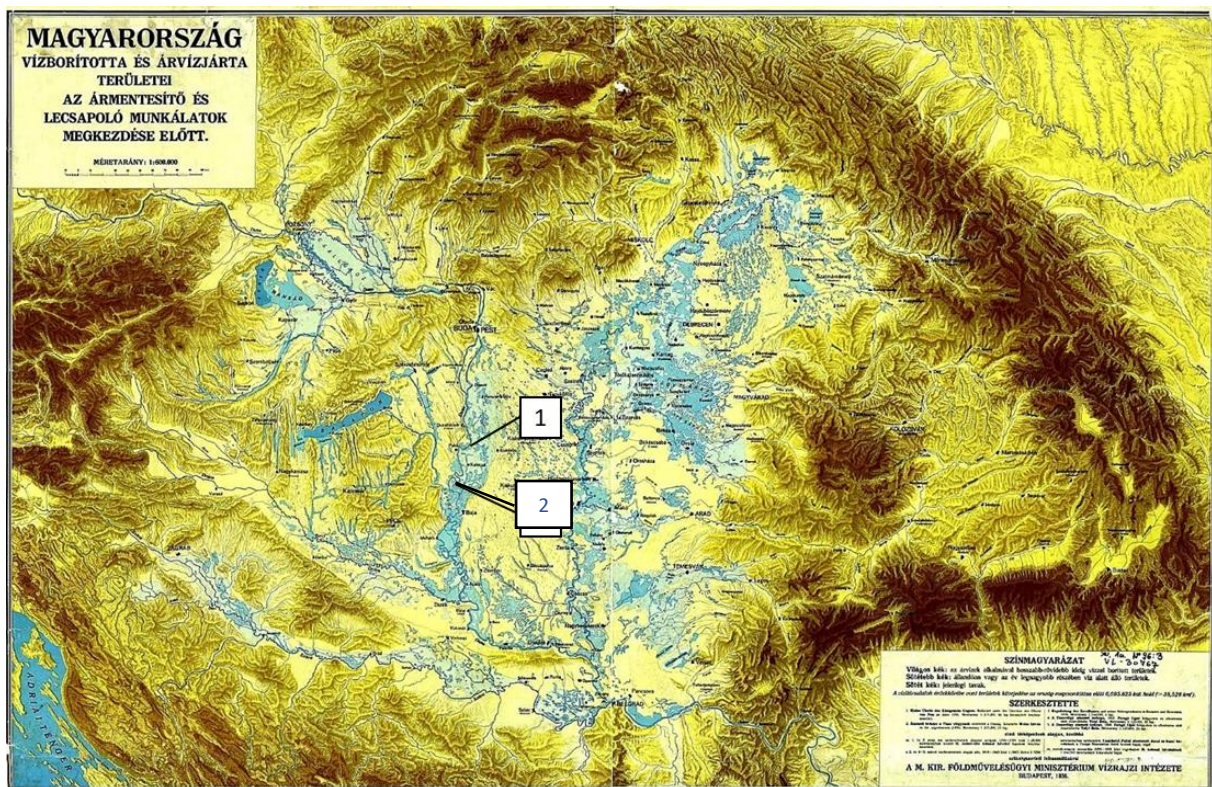
Már a Tisza-szabályozás megkezdését (1846) követően nem sokkal – különösen a rendkívüli száraz és nedves évjáratok idején – fellángoltak a máig tartó „hitviták” a különböző táborok között, és azokon belül is, hogy mennyiben járult hozzá az ország gazdasági-társadalmi fejlődéséhez ez, a mai léptékben is rendkívüli mérnöki, műszaki teljesítmény, illetve egyértelműen kijelenthetjük-e, hogy ezzel durva és helyrehozhatatlan beavatkozást tettünk a természeti környezetben. Ugyanakkor, ha figyelembe vesszük a több mint másfél évszázad alatt összegyűlt, a Duna és a Tisza szabályozásával foglalkozó, a társadalomtudományok, gazdaságtudományok és természettudományok területén született temérdek információt, az erről alkotott álláspontok ma már nem szűkíthetők le határozott *igenre* és *nemre*.

A vízszabályozást megelőző és az azt követő időszak

A dunamenti Sárközt mindkét parton nagy kiterjedésű mocsárvidék jellemezte, egyes helyeken a 20. század elejéig (1. ábra). A mélyebb fekvésű árterületeket a Duna árvizei járták (Tolna megyei Sárköz), azokban a valamikori ősmedrekben pedig, amelyek az évezredes geológiai mozgások során magasabb térszínre kerültek (Duna-Tisza köze: Kalocsai-Sárköz), mocsarak alakultak ki, amelyek több évezredes voltát bizonyítják a változó vastagságú tőzegrétegek. Ezek a területeken egykor nagy kiterjedésű erdők voltak. Az elmocsarasodott, vízjárta területek megmaradásához, növekedéséhez, a lepusztult térszínek, a homokpuszták kialakulásához nagyban hozzájárult a török hódoltság kora, majd a 18. századi erdőirtások (Ihrig 1973). Ezeknek az erdőknek a maradványai, nagyrészt a folyók mélyárterein, megélték a 19. századi vízszabályozásokat, és kis hányaduk túlélte azt. Hazánk ősi ártéri növénytakarásának jellemző fája a kocsányos tölgy (*Quercus Robur*). Az árvízvédelmi és belvízvédelmi művek kiépítésével, az ebből eredő hidrológiai változásokkal jelentős változások következtek be a terület vízjárásában, ami minden bizonnyal befolyásolta és befolyásolja ma is a területet jellemző növénytakarójának fennmaradását, életműködését.

¹ Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság nyugalmazott munkatársa

² Dendrokronológia: a fák *azonos* időszakban kialakult évgyűrűinek időbeni kapcsolatának feltárásával foglalkozó új tudományág.



1. ábra. A korabeli (18-19. század fordulója) vízjárta területeket ábrázoló térkép, a dendrokronológiai vizsgálatra felhasznált minták lelőhelyeinek megjelölésével: 1-Ordas; 2-Bogyiszló

Folyószabályozási és lecsapolási munkák

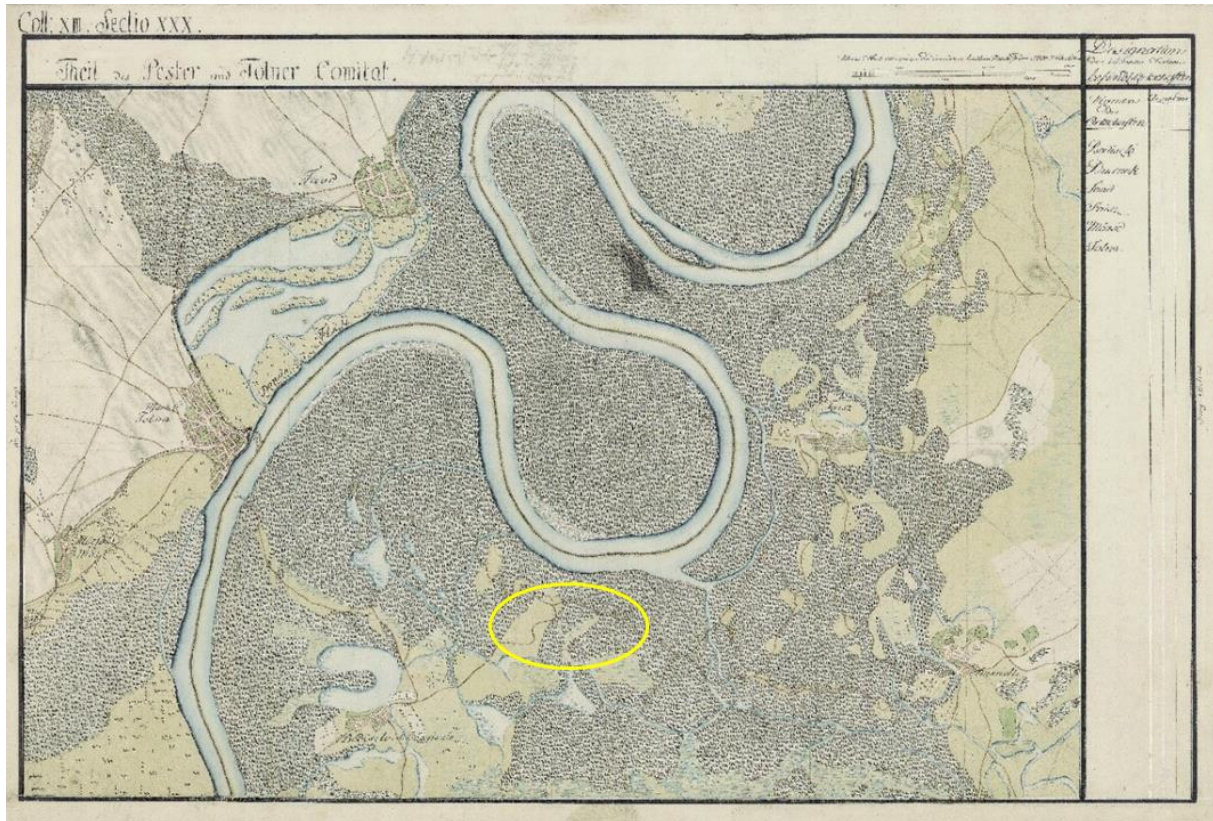
A Paks alatti Duna szakasz túlfellett kanyarjainak szabályozása a 19. század elején kezdődött, és Baja alatt fejeződött be a 20. század elején. Ennek egyik szemléletes példája, az árvízvédelmi szempontból egyik legveszélyesebbnek tartott *tolnai*-kanyarulat 7 km-es átvágása volt 1843-1852. között (2. ábra). Leválasztva ezzel egy jelentős területet a bal parti *Kalocsai-Sárközről*, benne Bogyiszló településsel. A Duna jobb parti átmetszések helyét sokáig nem töltötték át, és a töltésekkel szegélyezett régi mederbe bejártak az árvizek. A tolnai ág befolyását Doromlásnál 1893-ban zárták le (Ihrig 1973), de még 1882-ben is épült töltés a terület védelmére, az adatok szerint. Tehát az átmetszés befejezésétől (1852) legalább 1882-ig, az árvizek gyakran előlthették a bogoyiszlói „szigetet” és a Duna bal parti Sárközt is (Nagy 2007).

A Duna árterén kívül, a Duna-Tisza közén, a fennsíki területeken is voltak jelentős területű állandó vagy időszakos vízelöntések, állandó mocsarak. A *Kalocsai-Sárköz* lecsapolására 1912-1927. között került sor a Duna-völgyi-főcsatorna létesítésével, amely a hátság belvizeit vezeti be a Dunába Bajánál. (Ihrig 1973).

Dendrokronológiai feldolgozásba vont helyszínek

A Duna jobb partján, a Tolna megyei *Bogyiszló* község külterületén lévő *Kasztói* őstölgyes fáinak (2-3. ábra), valamint a Duna bal parti *Ordas* településhez tartozó, valószínűleg a folyót kísérő galériaerdő maradvány fájának (1. kép) dendrokronológiai célú feldolgozását végeztük

el a közelmúltban³. A fák évgyűrűvastagságaiból létrehoztunk egy datált, a térséget jellemző helyi/regionális évgyűrű-kronológiát. A több mint két évszázadot (1805-2018) átfogó kronológiával teszünk kísérletet annak megállapítására, hogy kimutatható-e szignifikáns összefüggés az évgyűrűk növekedésében a vízsabályozások okozta vízellátás-változás hatására. Illetve, egy bizonyos területet jellemző, több évszázadot átfogó évgyűrű-kronológia alkalmas-e az időszak klimatikus viszonyaink rekonstruálására?



2. ábra. Az I. katonai felmérés egy térképlapja a Duna bal parti Kalocsai- és jobb parti Tolna megyei Sárközről (1780-1784). Körülbelül a sárga ellipszis által határolt területtel azonosítható a mai védett tölgyes.

A tolnai kanyarban lévő település, Bogyiszló, ami, akkor a Duna bal parti területéhez tartozott.
Az árteret nagy kiterjedésű erdők borították.

A kasztói őstölgyes és az ordasi Rákóczi-fa

Bogyiszló közigazgatási területén mindmáig fennmaradt, a 19. századig a kiterjedt ártereket jellemző fa, a *kocsányos tölgy* (*Quercus Robur*) néhány gyönyörű példánya (2. kép). Ezek a több mint másfél évszázadot megélt fák még „süvölvény”-korban voltak, amikor a folyószabályozási munkák éppen hogy megkezdődtek a Duna ezen szakaszán, és napjainkban kifejlett példányként élnek meg azokat a környezeti változásokat, amibe fokozatosan belenőttek. A terület, amin állnak, helyi védelem alatt áll és legelőként hasznosítják (3. ábra).

³ A két helyszínről származó faminták dendrokronológiai feldolgozását kollégámmal, Dr. Morgós Andrással végeztük.



3. ábra. Bogyiszló közigazgatási területén lévő Kasztói őstölgyes. A háromszög alakú, jelzett területről származnak a vizsgált faminták (BOK 1-20). A talajvíz kút helyét a piros „+” jelzi.

A folyószabályozás által „szigetté” vált, mintegy 56 km² terület lassú víztelenítésére, fokozatos mezőgazdasági művelésbe vonásának ütemére lehet következtetni az 1879. évi kataszteri térkép alapján, amelyen a területnek kis hányada volt mezőgazdasági művelésbe vonva⁴.

Ordas település a Duna bal partján a folyóhoz közel fekszik, azon a nagykiterjedésű platón, ami alig 2 m-el magasabb a bogyiszlói mélyártérnél. A korabeli térképek, leírások tanúsága szerint a települést már a 18. században töltés védte a dunai árvizek ellen. Ugyanakkor, határában nagy kiterjedésű vizes, mocsaras vidék terült el, aminek lecsapolása a 20. század elején kezdődött, tehát, addig, a település minden oldalról veszélyeztetve volt a vizektől. A belterületen álló öreg kocsányos tölgy, a 18. században még erdőt alkotó tölgyfák utolsó fáinak egyike volt (1. kép). 2013-ban vágták ki, mivel a beteg fa már veszélyeztette környezetét.

A hazai dendrokronológiai kutatások fontosabb eredményei

A dendrokronológiai, dendroökológiai⁵ kutatások eredményei bizonyítják, hogy lehetséges egyes meteorológiai, vízrajzi elemnek, mint például a csapadéknak (Dávid-Kern 2007., Kern 2007., Kern et al. 2009.), vagy egy tó éves természetes vízkészlet-változásainak, akár több évszázadot átfogó, bizonyos fokú rekonstrukciójára (Horváth et al. 2011.). Az eddigi eredmények alapján már tehető néhány fontos megállapítás:

⁴ A folyószabályozási, lecsapolási munkák lassan éreztették hatásukat, a korabeli adatok alapján 7-8 év is eltelt, míg egyes területeket művelésbe vonhattak.

⁵ Dendroökológia: Hosszú időszak (több száz/ezernél) környezetváltozásainak rekonstrukciója, datált évgűrű-kronológiák segítségével



1. kép: Az ordasi Rákóczi-fa⁶ 2012-ben

- Hazánk közepes földrajzi fekvése és kiegyenlített éghajlata a fákban nem vált ki nagyfokú érzékenységet a klíma változásaival szemben. Ezt bizonyítják az átlagos érzékenység⁷ alacsony értékei.
- Hazai viszonyok között a csapadék hatása az évgyűrű növekedésre dominánsabb a hőmérsékletnél.
- Az évgyűrű növekedését nem csak az adott év csapadék és hőmérsékleti viszonyai, hanem a megelőző év(ek) is befolyásolják.
- A hazai fák növekedését befolyásoló legfontosabb klimatikus paraméterének a növekedési év május-júniusi csapadéka bizonyul, és - alacsonyabb kapcsolattal -, a megelőző év augusztus – október közötti csapadéka is.
- Az átlagos értékeket meghaladó április – május közötti középhőmérsékletek nem kedveznek a tölgyek növekedésének. Az átlagnál melegebb augusztus – szeptemberi középhőmérséklet a következő év növekedését csökkenti

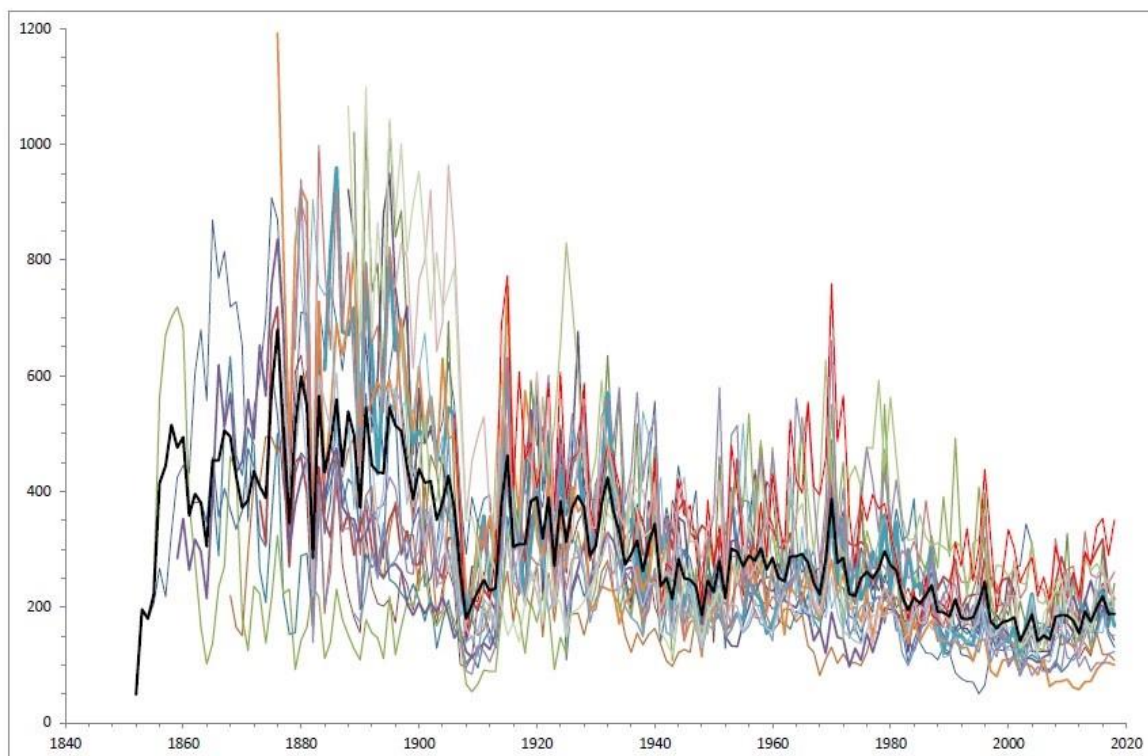
Tanulmányunkban két, eddig nem vizsgált paraméterrel foglalkozunk: az *aszállyal*, amelynek bizonyított a növekedést befolyásoló hatása, valamint a *talajvízzel*, amiről ugyanezt feltételezzük. Ezek beemelése az eddig alkalmazott hidrológiai, vízrajzi és dendrokronológiai vizsgálatokba, közelebb vihet bennünket e bonyolult folyamat feltárásához.

A Kasztói-őstölgyes kronológiája

A védett terület legelő, ahol a valamikori ártér tölgyerdejének maradvány-fái találhatóak meg elszórtan. Egy-két csúcsszáradt fa kivételével a fák egészségesek (3. ábra; 2. kép). Az élő példányokból származó speciális magmintákból és egy kivágott példány korongjából nyert évgyűrűvastagság adatokból készült, 21 tagból álló, 167 évet átfogó helyi kronológia az 1852-2018. közötti időszakra (4. ábra).

⁶ Forrás: <https://grundblog.wordpress.com/2012/03/03/surgetettseg/>

⁷ A szomszédos évgyűrűk szélességváltozásának mértékéből számított abszolút szám (mean sensitiv)



4. ábra. A bogyzslói tölgyekből nyert évgyűrűvastagság-idősorok és azok átlaga (fekete vonal)
 X: naptári évek; Y: évgyűrűvastagságok 1/100 mm-ben

A minták dendrokronológiai, statisztikai feldolgozásának részletes ismertetésétől eltekintünk, jelen munkánkban ez nem feladata. Hivatkozunk ugyanakkor néhány, a kronológia készítés szempontjából fontos statisztikai paraméterre, az ezek számítására, értelmezésére vonatkozó tanulmányra⁸. A kronológia megbízhatósága magas fokú, a 21 minta idősora jól illeszkedik

⁸ A kronológia készítéskor a minták szinkronizálásához használt legfontosabb paraméterek minimális értékei:
GLK>60%; **t_{BP}>3,5** és **CDI>20-30**

GLK% : Együftfutási százalék két évgyűrűvastagság-idősor között; **t_{BP}**: A Baillie – Pilcher szerint módosított t-érték; **CDI**: Keresztdatálási index;

BAILLIE Michael G. L. – PILCHER Jon R.

1973 A simple cross-dating programme for tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin* 33. pp.7-14.

ECKSTEIN, Dieter – BAUCH, Josef

1969 Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 88/4. pp.230-250.

GRISSINO-MAYER, H. D.

2001 Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA . *Tree-ring Research* 57. (2) pp. 205-221.

FOWLER, A. M. – BRIDGE, M. C.

2017 Empirically-determined statistical significance of the Baillie and Pilcher (1973) t statistic for British Isles oak. *Dendrochronologia* 42. pp.51-55.

FRITTS H. C.

1976 Tree rings and climate. *The Blackburn Press* p. 567.

HOLME, R. L.

1983 Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43. pp. 69-78.

RINN Frank

2005 *TSAP reference manual*. Heidelberg

egymáshoz (2. táblázat), szemléletesen megjelenítve a fa fejlődésére jellemző életszakaszokat és a markáns időjárás-változásokat.

- A szinkronizált idősorok összességükben jól visszaadják az időjárás, a környezet változásait, tehát alkalmasak környezeti indikátorként történő felhasználásra.
- A grafikonok futási görbéi ugyanakkor megerősítik azt a feltevést, miszerint fafajon belül minden egyes fa „individumnak” tekinthető, hiszen élete során az egyes fatest⁹ kisebb-nagyobb eltéréssel, különböző mértékben örökíti át az időjárás-környezeti változásokat.

A tölgyeknél is megfigyelhető a fa fejlődésének fiatal kori, ún. juvenilis szakaszát (esetünkben mintegy 30 év), amikor vastag évgűrűket növeszt, majd ezek vastagsága fokozatosan csökken az évek folyamán, de a környezeti hatásokra való érzékenysége szinte mindvégig megmarad. A tetszőlegesen egymáshoz rendelt mintapárokhoz tartozó sor-oszlop metszéspontjában lévő keresztdatai eredmények láthatók (2. táblázat): számlálóban: t_{BP} ; a nevezőben a CDI -t adjuk meg. Az üres helyek azt jelzik, hogy néhány minta-párosítás eredménye a megadott határérték alatt volt (8. lábjegyzet). A fa bonyolult életműködését közvetetten is jól mutatják a táblázat eredményei. Nevezetesen, hogy kis területen belül is jelentős eltérésekkel reagálnak a fák az időjárás és egyéb környezeti változásokra¹⁰.

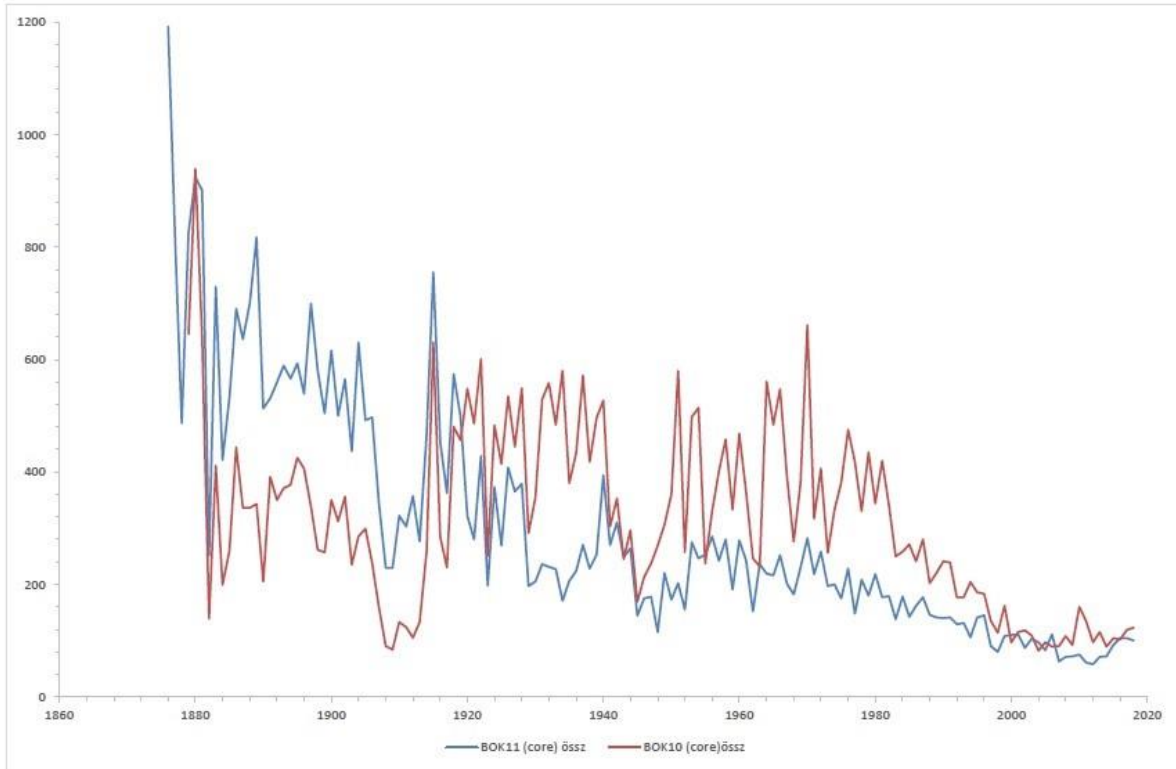
Egyes magányos fák (BOK10; BOK11) évgűrű idősorai kapcsolódnak legerősebben egymáshoz (5. ábra). Ugyanakkor, az egymástól alig 2 méterre lévő (BOK7-8) az egyik leggyengébb eredményt adták (6. ábra), az évgűrűk átlagos érzékenységét tekintve pedig (BOK7) a legnagyobb értéket, a közvetlenül mellette növény (BOK8) pedig az összes vizsgált közül az egyik legkisebbet (1. táblázat), ami „nem logikus”.

Az ordasi Rákóczi-fa kronológiája

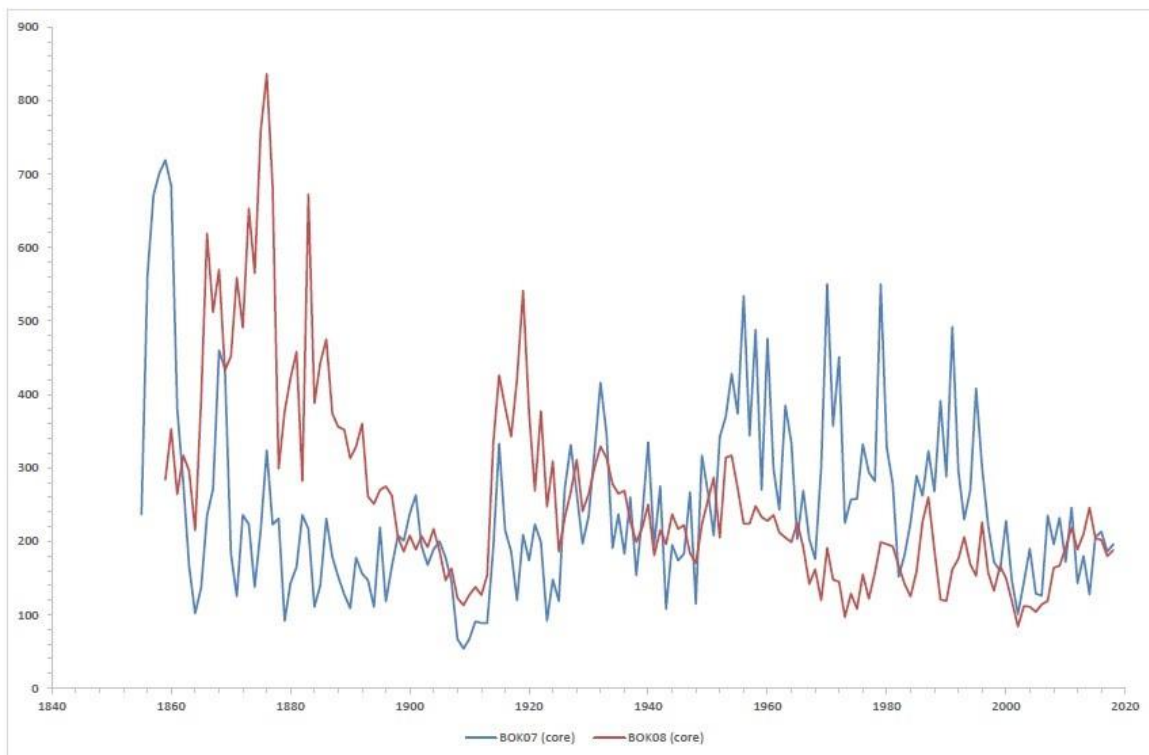
A furatok és korong mintáiból összeállított idősorok az 1805-2005. közötti időszakot fedik le. Az évgűrű vastagságokban markáns változások figyelhetők meg, amit a klimatikus és emberi beavatkozások (szabályozási, lecsapolási munkák) hatásai okozhattak. A fa pusztulásának végső stádiuma jól nyomon követhető az évgűrű vastagságok lefutásában. A bogyszlói mintákkal történő összehasonlító vizsgálatok bizonyították (7. ábra), hogy a kronológia 1997-2005 közötti évgűrű vastagság adatai a beteg fára jellemző adatsort adnak, ezét ezekkel nem számoltunk a későbbiekben.

⁹ Kutatások foglalkoznak a tölgy levél-fenofázisainak (a rügy duzzadásától a levelek teljes kifejlődéséig terjedő időszak) megismerésével, azt vizsgálva, hogy ez a folyamat hogyan függ össze az éves évgűrű kialakulásával. Ezek rámutatnak, hogy az egyes fák nagy szezonális ingadozást mutatnak a rügy duzzadása, rügpattanása, a levelek kifejlődése, a teljes lombzat kialakulásának időpontját illetően, valamint a fatestet adó évgűrű tavaszi- és nyári pászta vastagságának kialakításában (*R. Puchalka et al. (2017)*).

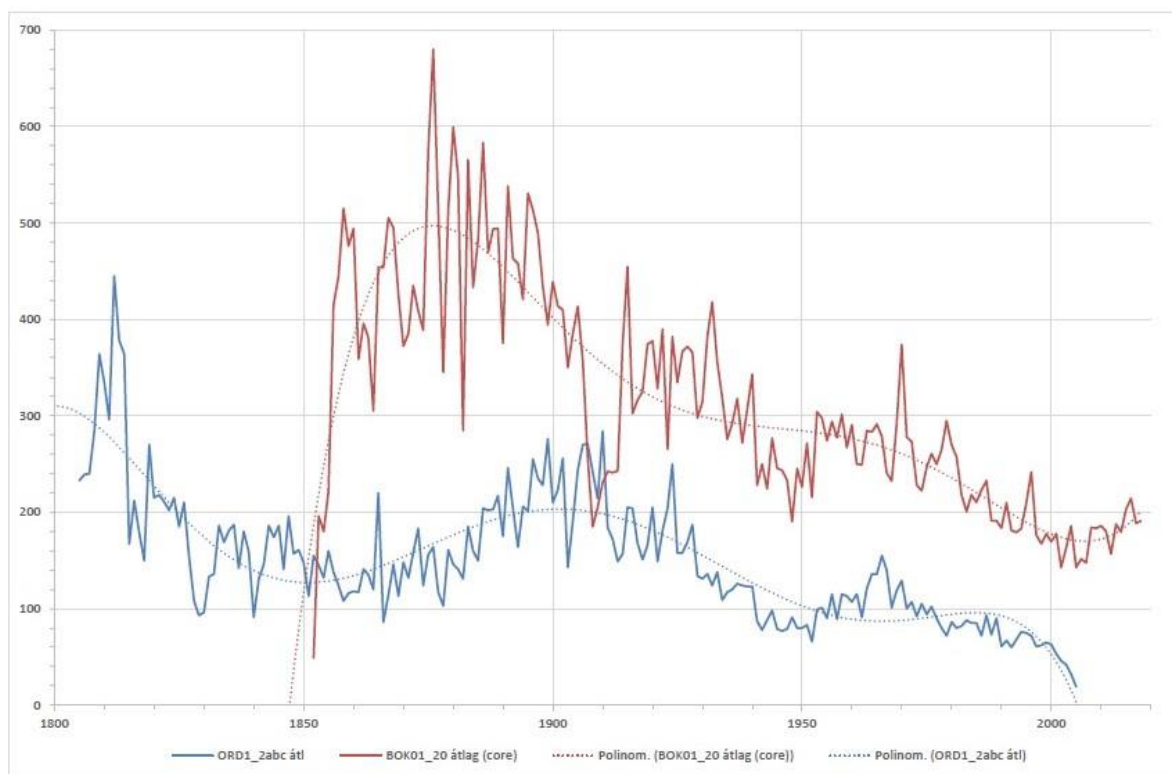
¹⁰ Például nem ismerjük eléggé, annak, a bizonyítottan létező „erdei internet” hálózatnak a működését, amit egy-egy, a fával szimbiózisban élő gombafajta biztosít, és a természetes erdőtürelésben élő fákat köti össze egymással gyökereiken keresztül, lehetőséget teremtve a faegyednek nagyobb mennyiségű víz, valamint tápanyag felvételére, egymás közti kommunikálására (*Peter W. 2016 50-51. o.*).



5. ábra. A legszorosabb növekedési kapcsolattal rendelkező BOK10 és BOK11 számú fa évgűrűvastagság idősora ($t_{BP}:10,6$; CDI: 75)



6. ábra. A két fa -BOK7 és BOK8- 1,5 m-re nőtt egymástól, ami azonban nem jelenti a teljesen azonos növekedést ($t_{BP}:4,4$; CDI: 26)



7. ábra: Ordas (ORD1_2) és Bogyszló (BOK1_20) évgűrű kronológia menetgörbék illesztett pozícióban: 1805-2018 között

Időjárási- és környezeti szélsőségek lenyomatai a kronológiákban

A két helyszín távolsága légvonalban mintegy 29 km, ami ebben az esetben nem jelentős, lévén síkvidéki terület, ahol ekkora távolságon belül jellemzően nem térnek el egymástól a klimatikus viszonyok, amit igazolnak a két kronológiában előforduló jelzőévek¹¹.

Az előzőekben néhány példán mutattuk be azt a dendrológiai tényt, miszerint kizárható, hogy a természetben teljesen azonos módon fejlődjön ki két fástestű növény, akár egymás közvetlen közelében is (6. ábra). Ezekből az *egyedi* sorozatokból állítható össze egy bizonyos területre jellemző „átlagos” idősor, amelynek növekedési görbéje magában hordozza a helyi/térségi klíma faévgűrűkben megőrzött „lenyomatát”.

A két kronológia növekedési jellegzetességei közel azonosak, ami a termőhelyi adottságaikból adódik, és nagyfokú hasonlóságot mutatnak a helyi időjárársból adódó növekedési válaszokat illetően. Ami markánsan elkülöníti egymástól a két grafikont, az az átlagos évgűrűvastagságok értéke. A kezdetben mélyártéren, majd ármentesített területen élő *bogyszlói* fák átlagos évgűrű vastagsága közel duplája az *ordasi* fáéknak (1. táblázat). Mindkét idősorban felfedezhetők hosszú periódusú (évszázados) időjárás változásra utaló tendenciák, amit az illesztett polinom-függvények jeleznek (7. ábra). Vizuális összehasonlításban a két grafikon hasonlóságát csak hangsúlyozzák a jelző évek egybeesése, de a statisztikai számítások is alátámasztják a két adatsor átfedésben lévő szakaszainak időbeni egyezését.

¹¹ Egy-egy időponthoz köthető, rendkívül vékony/vastag évgűrű időben megegyező előfordulása két évgűrű-idősorban.

Csapadékos és száraz évek hatása az évgyűrűk növekedésére

A tapasztalat azt mutatja, hogy a csapadék és a léghőmérséklet együtt, *meghatározó* szerepet játszik a fa évgyűrűinek éves növekedésében. De, hogy milyen arányban, az még nem egyértelmű, tekintettel arra a rendkívül bonyolult környezeti rendszerre, amiben a fa élete során fejlődik. Biztató eredményekkel jár egyes meteorológiai elemek (csapadék-hőmérséklet) összevont értékeivel jellemezni az adott év *vegetációs* időszakának időjárását¹² (Horváth 2004.), ami a fásszárú növények fejlődése szempontjából meghatározó időszak. Ezeket összevetve az évgyűrűvastagság-idősorokkal, az időjárás-típusok elrendeződését tekintve, elsőre nem fedezhető fel bennük rendszer (8. ábra), de ez a „szabálytalanság” is figyelemre méltó, amiben feltűnő, a hideg időjárás típusú évek szinte egybefüggő sorozata az 1870-1926 közötti időszakban.

Összegezve az előfordulások számát a vizsgált 160 évre (1841-2000), a négy időjárás típusra: *meleg-nedves* évek 27-szer (17%), *meleg-száraz* évek 37-szer (23%), *hideg-nedves* évek 56-szor (35%), *hideg-száraz* évek 40-szer (25%) fordultak elő.

Az 1842-1854 közötti időszakra a változékonyság jellemző, az 1855-1869. közötti időszakban csak *meleg* időjárás típusok fordulnak elő: gondoljunk az 1860-as évek nagy aszályaira, ahol a meleg-száraz vegetációs időszakok szinte összefüggő sorozatot alkottak.

Vizsgálatunkban felhasználunk egy, a vízgazdálkodásban évek óta használt számított paramétert, a Pálfai-féle Aszályossági Index (PAI) azon értékeit, amelyek elérték, illetve meghaladták a *mérsékelt aszály*-kategóriát¹³ 1901-2000 között (Pálfai 1987), (Pálfai 2004). A 8. ábráról fontos következtetés vonható le, abban az összefüggésben, hogy milyen mértékű az aszály együttes előfordulása egy bizonyos időjárás-típussal. Ebben az időszakban 24-szer fordult elő valamilyen súlyosságú *aszály* – PAI>6 – az Alföldön, amelyek közül 15 estben esik egybe valamelyik *szárazságot* jelző időjárás-típussal. 9 esetben pedig a hideg időjárás-típus valamelyikével, amiben szintén a száraz időjárás dominál közepes súlyosságú aszályokkal¹⁴.

¹² A számításokhoz a budapesti csapadék és léghőmérséklet adatokat használtuk, mert ez a helyszín rendelkezik az ország leghosszabb észlelési idősorával. Bár az adatok nem reprezentálják maradéktalanul a vizsgált helyszínek időjárását, de az eredmények azt sugallják; a vegetációs időszak meteorológiai elemei és a fák éves évgyűrű növekményei között joggal feltételezhető ok-okozati összefüggés. Az átlagértéktől való eltérés alapján a vizsgált év *hőmérsékleti* viszonyainak minősítésére a *hideg/meleg*, a *csapadékos* minősítésére a *nedves/száraz* megnevezéseket vezettük be. E két meteorológiai elem minősítéseinek párosításaiból létrehozott négy *időjárás-típus* egyikével jellemezzük a vizsgált évet.

Meleg-nedves: ha a léghőmérséklet és a csapadék átlag feletti,

Meleg-száraz: ha a léghőmérséklet átlag feletti, a csapadék átlag alatti,

Hideg-nedves: ha a léghőmérséklet átlag alatti, a csapadék átlag feletti,

Hideg-száraz: ha a léghőmérséklet és a csapadék átlag alatti.

Csapadék esetében átlagosnak tekintettük a vegetációs évet, ha az eltérés nem haladta meg az átlagérték $\pm 5\%$ -át. Léghőmérséklet esetében pedig, ha az eltérés a $\pm 1\%$ -on belül maradt. Az átlagos év bevezetésével a 169 éves meteorológiai idősorból 8 évben fordult elő, hogy a csapadék és a léghőmérséklet belül maradt a megadott határon (Hidrológiai Közöny 2004/2. 37-57.o.)

¹³ A Pálfai-féle Aszály Index kifejezi a hőmérsékleti és csapadék viszonyokat, valamint a talajvízszint helyzetét.

Hazai tapasztalatok alapján az *aszály küszöbértéke*: PAI>6. E fölött beszélünk különböző fokozatú aszályokról: 6-8 mérsékelt; 8-10 közepes; 10-12 súlyos; 12< rendkívül súlyos aszály

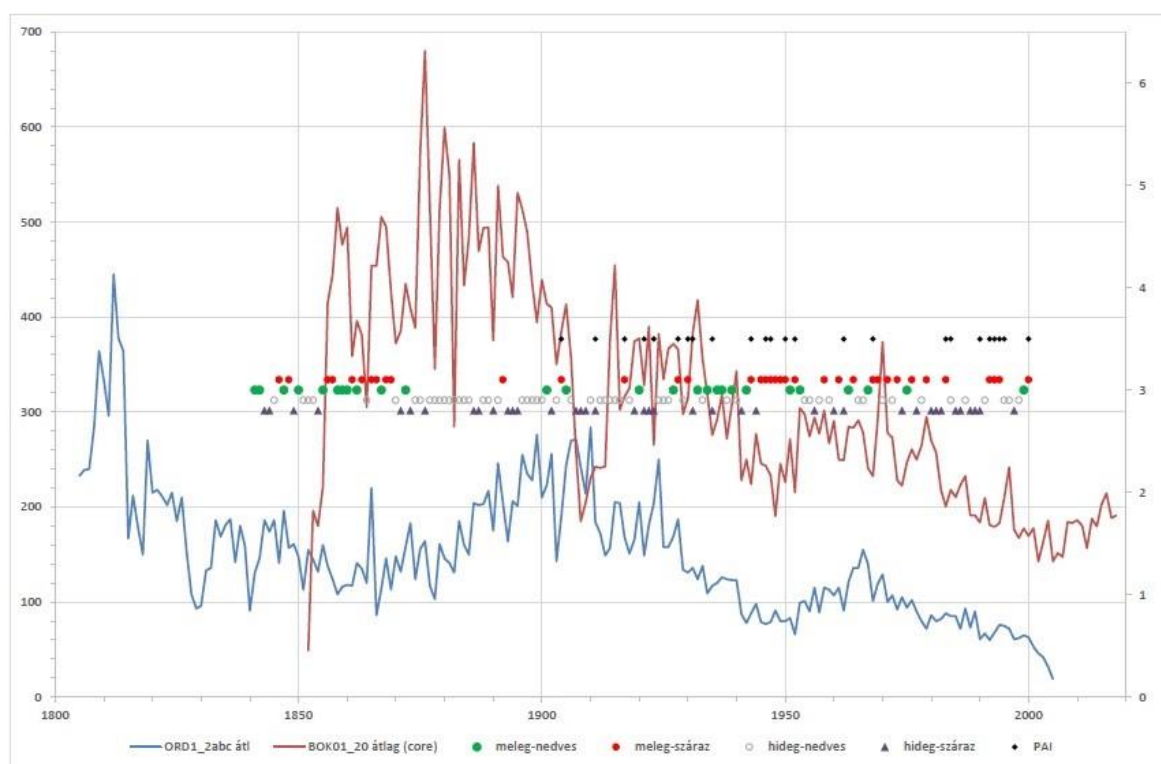
Az elmélet bővebb kifejtését lásd (Pálfai 2004).

¹⁴ Az 1901-2000. között vizsgált időszakban az aszályos évek (24) a három időjárás-típus valamelyikével esik egybe. Az évszámok melletti (-) jelben megadjuk az évhez tartozó PAI-értéket.

Meleg-száraz: 1904 (8,48); 1917 (6,96); 1928 (6,06); 1930 (6,35); 1943 (6,76); 1946 (8,13); 1947 (7,02); 1950 (8,92); 1952 (12,36); 1968 (6,06); 1983 (7,09); 1992 (11,38); 1993 (9,67); 1994 (8,67); 2000 (9,01)

Míg 1870-1926 között, az eddigi leghosszabb, szinte megszakítás nélküli *hideg*-sorozat alakult ki, amit mindössze hét alkalommal szakít meg egy-egy meleg időjárás típusú év. Az előzőekben már felhívtuk a figyelmet arra, hogy az egyes fa fejlődésére jelentős hatással van az illető év hőmérsékleti és csapadékviszonyainak alakulása, mert ezek együttes hatása befolyásolja a fatest éves fejlődésének ütemét és mértékét. Ugyanakkor, a *hideg* időjárás-típushoz köthető évjáratok is hasonló hatást váltanak ki a növényben, mint a szárazak: a hideg-száraz kategóriájú évek egymásutánisága például egyre vékonyabb évgűrűket eredményezett 1906-1914 között, amikor a bogyszlói fák évgűrű vastagságokban határozott csökkenés figyelhető meg.

Az 1927-1941. közötti másfél évtizedet a *hideg-meleg* kategóriájú évek jellemzik, az összes kombinációban. 1942-1953 közötti időszakot, a folyamatos, egymást követő száraz-meleg vegetációs időszakok jellemzik. Ezt követően, a meleg és hideg időjárás típusok összes kombinációja előfordul: jellemzően a *meleg-száraz* és *hideg-száraz* típusok és az ezt kísérő aszályok sűrűsödésével.



8. ábra. Az ordasi és a bogyszlói kronológiák egyes évgűrűihez kapcsolódó, az illető év vegetációs időszakát (IV-X. hó) jellemző időjárás-típus, valamint a PAI>6 aszályindex

A talajvíz szerepe a vizsgált tölgyek fejlődésében

Óshonos fafajaink közül a kocsányos tölgy jellegzetesen síkvidéki és dombvidéki fa, ami a jó vízellátású és talaj adottságú területeket kedveli. Ilyen volt a vízszabályozásokat megelőzően szinte az egész Alföld, a folyók ártereivel, időszakos elöntésű területeivel. A tölgyek, a korabeli leírások szerint összefüggő erdőségeket, ligeterdőket alkottak, amelyek a vizes területek magasabb terepalakulatait foglalták el. Ezek nem voltak nagy szintkülönbségek, tehát a fák,

Hideg-száraz: 1911 (7,08); 1921 (6,94); 1923 (7,57); 1931 (7,24); 1935 (9,46); 1962 (7,06); 1990 (8,82)
Hideg-nedves: 1984 (6,08); 1995 (6,09)

gyökerük révén, ami „...a tápanyag- és vízfelvételen keresztül a fák fiziológiai állapotát, fejlődési/növekedési tulajdonságait is alapvetően meghatározza (Führer et al. (2011))” könnyen hozzáférhetek a felső talajrétegben tárolt vízhez, illetve, száraz időjárású években, a felszínközeli talajvízhez¹⁵. A fatest növekedésében fontos szerepe van a talaj felső szintjét sűrűn behálózó, horizontálisan és vertikálisan növekvő gyökérzetnek: kocsányos tölgy esetén a lefelé törekvő, kizárólag a törzs alatt kifejlődő vastag gyökereknek és a vízfelvétel szempontjából fontos finom gyökérzetnek. A kutatások szerint (Führer et al. (2011), (Csiha-Keserű (2014) a kocsányos tölgy gyökérzetének struktúrája, jellemzően hasonló, függetlenül a termőhelytől, a környezeti hatásoktól¹⁶.



2. kép. A bogyiszlói kasztói őstölgyes elszórtan álló kocsányos tölgyei. Kirajzolódik a csekély szintkülönbségű, feltöltődött ősmeder nyomvonala, amelynek peremén és szigetein állnak a fák (részlet). (A szerző felvétele)

A vízellátásnak ez a kiegyenlítő hatása meg is jelenik a bogyiszlói fák vastag évvgyűrűiben (1. táblázat). Joggal feltételezhetjük tehát, hogy a talajvíz fontos tényező volt és mára különösen azzá vált a flóra fenntartásában.

¹⁵ Ez az állapot jellemezte, az ökológiai adottságaikban mára jelentősen megváltozott: Duna-Tisza közti homokhátat, a hajdúsági, nyírségi homoki területeket (Csiha-Keserű (2014)).

¹⁶ A felső 100 cm-es talajrétegben van az összes gyökértömeg több mint 90%-a. A fiziológiai szempontból fontos aktív finomgyökérzet ($\varnothing < 2$ mm) mennyisége az alsó szinten (130-150 cm) a felső rétegben lévőkhöz képest nagyobb. Ez a finomgyökér-hálózat összességében óriási vízfelvevő felületet jelent. Az egyes talajszintek begyökerezettségének mértéke jelentősen eltérhet egymástól, tekintettel a talajalkotó kőzetek fizikai és kémiai tulajdonságaira. Például homok/kavics rétegben nem ágaznak el a gyökerek, hanem a legrövidebb úton áthatolnak rajtuk, keresve a „jó” talajt és a vizet.

Síkvidéki területeken a talajvízszintek alakításában meghatározó szerepe van a csapadéknak, amit a beszivárgás és párolgás, valamint a hely hidrológiai viszonyainak dinamikus egyensúlya határoz meg, amiben az emberi hatások is szerepet játszanak¹⁷.

A fák környezetének feltételezett talajvízjárását két kút adatsorán keresztül mutatjuk be. Mindkettő a Duna völgyésékjén található: az *uszódi* (1455 számú) talajvíz kút 91,32 mBf. terepszinten, Ordastól 8,3 km-re délnyugatra, a Dunától 600 m-re. A *bogyiszlói* (V-9 számú) talajvíz kút 89,03 mBf. terepszinten, A Dunától 2,6 km-re a mélyártéren, 2 km-re nyugatra a tölgyestől (3. ábra). Az uszódi kút egyensúlyi vízszintjei mélyebb tartományokban alakultak ki a terep alatt, mint a bogyszlóié¹⁸. Ami számunkra fontos információ a talajvíz kutak vízjárás idősorát tekintve, az, ami a Hátság peremterületein végmenő talajvízjárásokat jellemzi. Nevezetesen: a kutakban megfigyelhető a talajvíz-járásra jellemző éves periódus (10. ábra), az uszódi kút markáns vízállás csökkenése és mélyebb szinten történő stabilizálódása, a bogyszlói területen, pedig a terepszinthez közeli stabil talajvízszint. Az uszódi kút vízjárásában határozottan kimutatható a Duna nagyvízi hatása, ami a bogyszlói kútnál is kimutatható a nagyobb távolság ellenére¹⁹ (9. ábra).

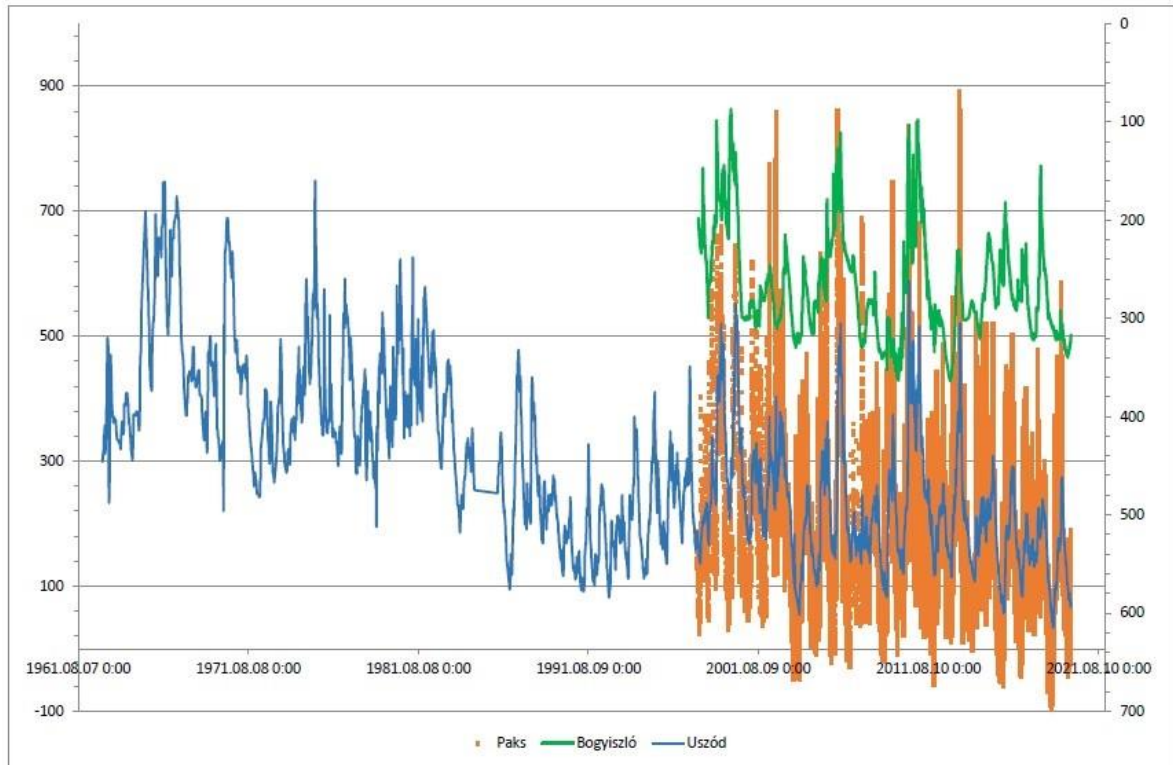
Az uszódi kút egyensúlyi vízszintjei jelentősen lecsökkentek, és a 2000-es évek elejétől 1,5-2 m-el mélyebb szinten stabilizálódtak az 1960-as évek szintjeihez képest, amit a fa már nehezen vagy egyáltalán nem tudott hasznosítani.

A bogyszlói talajvízszintek jóval magasabban, kb. 2,5 m-el a terep alatt stabilizálódtak, ami kedvezőbb a növények vízhasznosítási lehetőségének szempontjából. A kút menetgörbéje alapján feltételezhető, hogy annak vízjárására nincsen közvetlen hatással a Duna, de mivel a bogyszlói tölgyek 260-800 m-re található a folyótól, szinte biztos, hogy nagyvizek idején hasonló jelenség játszódik le az altalajban, mint amit az uszódi kút menetgörbéjén látható. Tehát a fák gyökerei könnyen elérik a számukra fontos vizet, ahogyan azt a folyó évi rendszeres áradásai biztosították a múltban is.

¹⁷ Számítalan írásos bizonyíték van annak, hogy rendkívüli időjárási jelenségek a múltban is rendszeresen előfordultak, amelyek a klímaváltozás/klímaingadozás részét képezték, úgy mint a mai időkben is. Ezeknek az évtizedes, évszázados folyamatoknak a hatására változik folyamatosan a talajvízszint terepszinthez viszonyított egyensúlyi állapota.

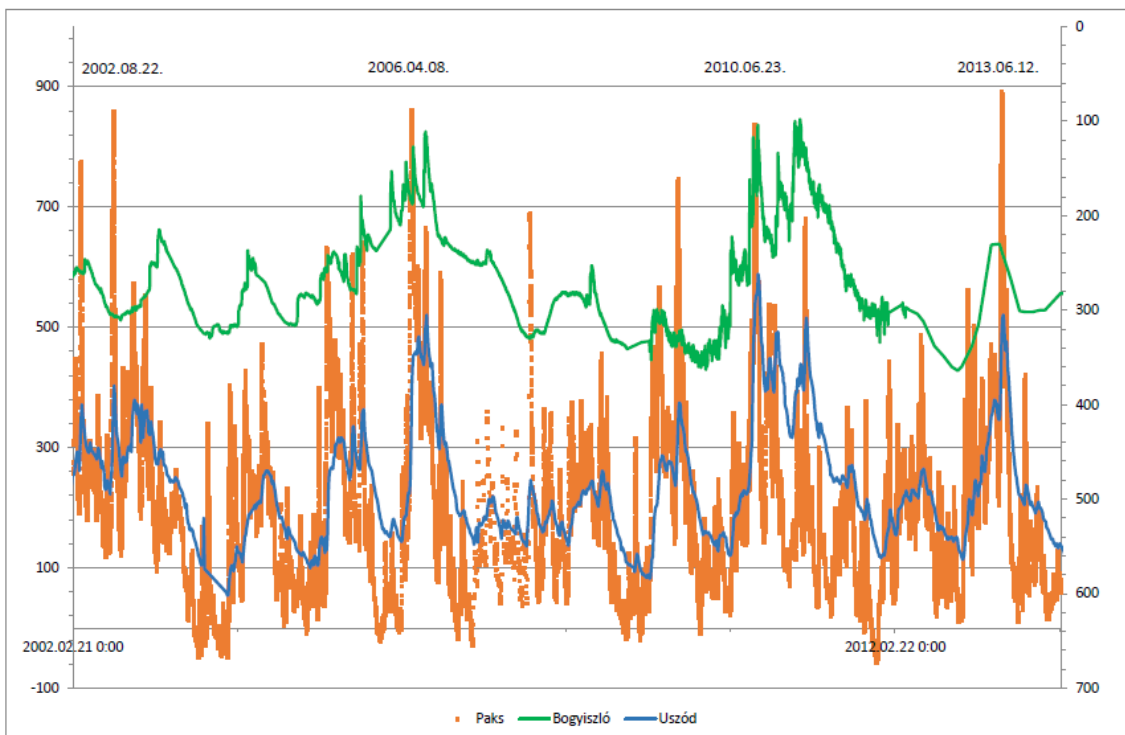
¹⁸ A Duna–Tisza-közi Hátság talajvízjárásának kutatásával, a meteorológiai, hidrometeorológiai, talajtani adottságok bonyolult összefüggéseivel, valamint az antropogén hatásokkal, jelentős kutatásokat végzett a Vízgazdálkodási Kutató Intézet (VITUKI). Ezek eredményeire helyenként hivatkozunk.

¹⁹ A folyónak a megcsapoló hatása érvényesül a talajvízre kisvízi időszakban, a part bizonyos szélességű sávjában, ekkor a talajvíz a folyó felé gravitál. Árvízkor a mentett terület felé nyomul a folyó vize a töltés alatt az altalajon keresztül, s ez, bizonyítottan feltorlasztja a talajvizet. Ez az együtt-járás figyelhető meg a folyómederhez közeli parti kutak vízállás-menetgörbéin.



9. ábra. A Duna, paksi szelvényének, valamint az uszódi és a bogyszlói talajvíz kút vízállás menetgörbéi 1961-2018 között

Ordináta tengely (b): dunai vízállások-Paks Ordináta tengely (j): Talajvízállások-Uszód, Bogyszló



10. ábra: A kutak éves menetgörbéi (részlet). Az uszódi talajvíz kút vízállásain kimutatható a 2000-es évek (2002, 2006, 2010, 2013) dunai árvizeinek a duzzasztó, illetve a dunai kisvizek leszívó hatása.

Összefoglalás

Több mint két évszázadot lefedő évgyűrű kronológiákat vizsgáltunk abból a célból, hogy kimutatassuk a tölgy-évgyűrűk növekedésében a vízszabályozások hatását. Erre a Duna menti területről, Ordas és Bogyiszló térségéből származó famintákat használtuk. Kimutattuk, hogy az egyes fák, a meteorológiai és egyéb környezeti hatásokra történő eltérő mértékű érzékenységük ellenére alkalmasak évgyűrű kronológia-építésre, mert évgyűrűikben megőrződnek ezek a változások. Ezt bizonyítják a statisztikai vizsgálatok eredményei. Úgy tűnik, hogy az évgyűrűk érzékenységének vizsgálatára szolgáló számítási módszer, - ami a vízellátottság fák növekedésére gyakorolt hatásának mérőszáma – hazai, klimatológiai viszonyaink között nem alkalmazható.

A csapadék és a léghőmérséklet mellet felmerült a talajvíz szerepének vizsgálata is, ami meghatározó jelentőségű a fák fejlődésében. Ezt igazolja az utóbbi évtizedek talajvíz háztartási- és vízjárési törvényszerűségeinek bizonyos szintű megismerése, továbbá, a fatest földalatti részének: a gyökérsztruktúráját, fiziológiai működését feltáró dendrológiai kutatások eredményei.

A csapadék-léghőmérséklet-talajvíz kapcsolatát az évgyűrűk növekedésére az időjárás-típusok és az aszályossági index (PAI) grafikus alkalmazásával kíséreltük meg bemutatni. A grafikus vizsgálatokból levonható következtetések megerősítik azt a feltevést, miszerint e három változó meghatározó a fatest fejlődésében, azonban ezek kapcsolatának mértéke még nem eléggé feltárt. A bemutatott grafikonokban megjelenő éves szélső értékek, hosszabb-rövideb trendek között összefüggés mutatható ki az ábrázolt meteorológiai és szárazsági mutatók között. Jelen vizsgálat azonban nem képes kimutatni azokat az évtizedes/évszázados tendenciákban rejtőző finom változásokat, amelyek a vízszabályozások hatására következ(het)tek be. Ehhez az évgyűrű szerkezetének mélyebb ismerete szükséges, a hagyományosan alkalmazott éves gyűrű növekmény mellett, a finomabb struktúra – sűrűség –, valamint a fatest által megkötött légköri elemek egyes izotópjainak (szén, oxigén) mérése.

Ugyanakkor, a ma alkalmazott dendrokronológiai vizsgálati módszerek alkalmasak múltbeli vízrajzi, hidrometeorológiai események bizonyos szintű rekonstrukálására, amelyek „azonnali” pozitív vízügyi vonatkozásait nem szabad figyelmen kívül hagyni.

Ezzel a tanulmánnyal fel kívánjuk hívni a figyelmet a vízügyi kutatásban eddig nem alkalmazott tudomány területre, a dendrokronológiára. A hazai dendrokronológiai műhelyekben rendelkezésre álló, évszázadokat átfogó évgyűrű kronológiák, valamint a vízügyi adatbázisban rendelkezésre álló meteorológiai, vízrajzi adatok felhasználásával, ésszerű együttműködéssel, az elmúlt századok, de akár messzi évezredek(!) klimatikus viszonyaiba is betekinthetnek az érdeklődő kutatók.

Minta kódja	Vastagság (1/100 mm)			Érzékenység		
	min	átlag	max	min	átlag	max
B0GL	49	376	908	0,00	0,20	1,20
B0K1	148	349	773	0,00	0,26	0,83
B0K2	122	308	950	0,00	0,22	0,92
B0K3	81	214	493	0,00	0,20	0,80
B0K4	87	267	610	0,00	0,25	1,18
B0K5	140	308	719	0,00	0,18	0,80
B0K6	82	219	609	0,00	0,21	0,94
B0K7	54	246	719	0,00	0,33	0,94
B0K8	84	260	836	0,00	0,19	0,82
B0K9	105	317	905	0,00	0,21	0,71
B0K10	82	316	939	0,00	0,27	1,28
B0K11	58	304	1192	0,00	0,23	1,13
B0K12	144	350	830	0,00	0,19	0,98
B0K13	141	322	998	0,00	0,21	1,00
B0K14	115	341	1036	0,00	0,31	0,93
B0K15	118	370	1099	0,00	0,20	0,73
B0K16	128	253	605	0,01	0,19	0,93
B0K17	121	317	960	0,01	0,22	0,71
B0K18	113	339	964	0,00	0,19	0,55
B0K19	93	262	633	0,00	0,21	0,78
B0K20	81	260	636	0,00	0,25	1,12
ORD1	30	154	445	0,00	0,16	0,88

1. táblázat. A bogyzslói és ordasi minták évgyűrűvastagságainak számított értékei

	BOK1	BOK2	BOK3	BOK4	BOK5	BOK6	BOK7	BOK8	BOK9	BOK10	BOK11	BOK12	BOK13	BOK14	BOK15	BOK16	BOK17	BOK18	BOK19	BOK20
BOGL1	4,2/32	4,1/31	4,2/23	5,7/43	6,2/39	4,2/27		4,3/28	4,1/25	4,4/25	6,6/46	4,9/25	7,4/53	4,8/29		6,2/39	4,6/28		4,9/28	
BOK1		4,8/34	6,6/41	7,4/51	7,7/58		7,1/50	6,9/45			8,8/61	5,7/34	6,0/40	6,0/50		4,7/30	4,9/31	7,6/43	6,0/40	7,0/41
BOK2			5,9/36	6,8/54	6,8/47		5,6/36	4,1/25				4,5/26		4,5/31		6,5/41	6,1/37	6,1/35	4,1/25	4,4/26
BOK3				4,2/25	8,5/59	7,6/44	5,0/30	5,2/33		5,3/30	5,1/31	6,1/36					6,5/40			6,1/35
BOK4					7,9/55	6,0/41	5,3/31	6,8/45		6,8/46	7,3/61		7,8/54	6,8/47	4,6/35	9,4/70	5,9/37	5,0/31	7,0/47	4,9/32
BOK5						6,9/45	5,3/31	7,9/55		6,9/43	7,0/46	5,6/35	7,0/43	5,2/34		9,4/64	6,4/37	7,8/49	7,9/48	6,5/45
BOK6								6,3/39		6,8/45						5,3/39	6,7/49	5,4/30		4,9/32
BOK7								4,4/26	6,2/48	4,9/31	5,8/33		5,0/30	4,3/28		4,5/26	8,9/57		4,7/29	4,3/25
BOK8										7,3/51	9,1/66	5,1/32	7,4/44	5,1/31		7,8/52	6,2/41	7,5/48	5,5/33	4,3/24
BOK9										6,5/39	5,7/34	5,4/38					4,6/30		5,2/32	
BOK10											10,6/75	6,8/41	7,7/53	8,1/54		5,8/39	7,1/49		5,6/35	
BOK11												4,5/23	8,0/57	5,0/30		6,0/44	6,0/35	6,3/41	9,0/53	
BOK12																	7,8/53		5,2/29	
BOK13														6,6/48		7,5/49	6,7/39	4,7/25	8,2/52	
BOK14																4,4/31	5,4/34	6,2/31		5,5/34
BOK15																				
BOK16																	9,0/58		5,0/32	
BOK17																		6,8/38	5,6/32	6,0/39
BOK18																			7,3/47	6,0/35
BOK19																				5,7/34
BOK20																				

2. táblázat. A bogyzslói fákból származó minták évgyúú idősorainak összehasonlító vizsgálatának eredményei a két meghatározó paraméter ábrázolásával (t_{BP}/CDI)

	BOK1	BOK2	BOK3	BOK4	BOK5	BOK6	BOK7	BOK8	BOK9	BOK10	BOK11	BOK12	BOK13	BOK14	BOK15	BOK16	BOK17	BOK18	BOK19	BOK20
ORD1_2 átlag				4,9/28	5,5/33	4,3/24				5,3/32	4,8/29					3,5/24			4,9/26	
BOK1-20 átlag																				
ORD1_2 átlag	4,6/32																			

3. táblázat. Az ordasi átlag és az egyes bogyzslói minták keresztadatálási eredményei. Az üres cellák jelzik, hogy nem mindegyik esetben érték el az eredmények a megkívánt határértékeket (felső sor)

Az ordasi - bogyzslói átlagolt idősorok keresztadatálási eredményei megfelelnek a kritériumoknak (alsó sor) (t_{BP}/CDI)

Irodalom

- Csiha Imre-Keserű Zsolt* (2014) Szárazodó homoki termőhelyen álló idős fák gyökérzetének vizsgálata Erdészettudományi Közlemények (2014) 4. évf. 2. szám 33-42. o.
- Dávid Szilvia-Kern Zoltán* (2007) Keleti_bakonyi és gerescei tölgyek dendrokronológiai és dendroökológiai vizsgálata 103-121. o. Az erdő és a fa régészete és néprajza (Kézművesipar-történeti megközelítésben). Az MTA VEAB Iparrégészeti és Archaeometriai Munkabizottság és Kézművesipar-történeti Munkabizottság közös kiadványsorozata, Sopron. Szerk: Gömöri János
- Führer Ernő-Czupy György-Kocsisné Antal Judit-Jagodics Anikó* (2011) Gyökérvizsgálatok bükkös, gyertyános-kocsányos tölgyes és cseres faállományban. Agrokémia és Talajtan 60 (2011)1 103-118. o.
- Horváth Emil* (2003) Dendrokronológiai vizsgálatok magyarországi fafajokon. Vízügyi Közlemények, LXXXV. évfolyam, 2. füzet. 294-334. o.
- Horváth Emil* (2004) Az évgyűrűs kormeghatározás hidrológiai vonatkozásai. Hidrológiai Közlöny, (84. évf.) 2. szám, 37-57. o.
- Horváth Emil-Kern Zoltán-Morgós András-Grynaeus András* (2011) A Balaton természetes vízkészlet-változásának és nyárvégi vízállásának rekonstrukciója tölgyek évgyűrű vastagsága alapján. 1-15. o. MHT XXIX Vándorgyűlés, 2011., Eger. 5. szekció, Területi vízgazdálkodás.
- Ihrig Dénes* (1973) A magyar vízgazdálkodás története. 231-242. o. OVH, Budapest
- Kern Zoltán* (2007) Évgyűrűvizsgálatok a Déli-Bakonyban és a Balaton-felvidéken 89-102. o. Az erdő és a fa régészete és néprajza (Kézművesipar-történeti megközelítésben). Az MTA VEAB Iparrégészeti és Archaeometriai Munkabizottság és Kézművesipar-történeti Munkabizottság közös kiadványsorozata, Sopron. Szerk: Gömöri János
- Kern Zoltán-Grynaeus András-Morgós András* (2009) Reconstructed precipitatin for southern Bakony Mountains (Transdanubia, Hungary) back to 1746 AD based on ring widths of oak trees. Időjárás 113 évf. 4. szám október december. 299-314. o.
- Nagy László* (2007) Az 1876. évi árvizek 157-160. o. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest
- Peter Wohlleben* (2016) A fák titkos élete. Park Könyvkiadó, Budapest
- Pálfai Imre* (1987) Aszályos évek Magyarországon. Vízügyi Közlemények LXIX. évf. 1987/4. füzet 507-526. o.
- Pálfai Imre* (2004) Belvizek, aszályok Magyarországon. Hidrológiai tanulmányok. Közlekedési Dokumentációs Kft.
- Radostaw Puchałka-Marcin Koprowski-Jozica Gricar-Rajmund Przybylak* (2017) Does tree-ring formation follow leaf phenology in Pedunculate oak (*Quercus robur* L.)? Eur J Forest Res 136:259–268