



Másodlagos idősorokat származtató módszer kifejlesztése és bemutatása erdészeti adatokon

Edelényi¹ M., Pödör² Z., Manninger³ M., Jereb¹ L.

¹ Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar Sopron, 9400 Bajcsy-Zsilinszky u. 9.

² Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar Sopron, 9400 Ady Endre út 5.

³ Erdészeti Tudományos Intézet, Ökológiai és Erdőművelési Osztály Budapest, 1027 Frankel L. u. 1.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az általunk kifejlesztett, korrelációelemzésen alapuló módszer tartalmazza az olyan szokásosnak tekinthető eljárásokat, mint az autokorreláció, vagy a keresztkorreláció. Ezeken túlmenően, az eljárás az aktuálisan vizsgált adatsorok szélességének, valamint az időbeni eltolások mértékének változtatásával lehetővé teszi különböző hosszúságú időszakok hatásának elemzését, így sokkal mélyebb összefüggések, késleltetett hatások is felfedezhetők. A módszert az Erdészeti Tudományos Intézet által 1999-2010 között a Mátrában gyűjtött növekedési, valamint csapadék és hőmérsékleti adatokon mutatjuk be. A módszer alkalmazásával a paraméterek közötti kapcsolatokat három irányban vizsgáljuk: az éves növekedés (i), a havi növekedési adatok (ii), valamint a főnövekedési időszak növekedésének (iii) és a módszer által előállított másodlagos adatsoroknak az összefüggései.
(Kulcsszavak: idősorok vizsgálata, korreláció-elemzés, fák növekedése)

ABSTRACT

Developing of method for transforming time series data and demonstration on forestry data

M. Edelényi¹, Z. Pödör², M. Manninger³, L. Jereb¹

¹University of West Hungary, Faculty of Wood Sciences Sopron, H-9400 Bajcsy-Zsilinszky u. 9.

²University of West Hungary, Faculty of Forestry Sopron, H-9400 Ady Endre út 5.

³Forest Research Institute, Department of Ecology and Silviculture Budapest, H-1027 Frankel L. u. 1.

The method developed by us is based on correlation analysis and includes common procedures like autocorrelation or cross-correlation. In addition, the procedure allows the analysis of time series by introducing different length periods and temporal shifting. Accordingly, previously unknown relationships and delayed impacts can be discovered. The method is presented on growth, precipitation and air temperature data collected by Forest Research Institute between 1999 and 2010 in Mátra Mountain. We analyse the relationship between these parameters by three approaches: relationships of derived data with the annual (i), the monthly girth increment (ii) and with the increment of the main growing season (iii).

(Keywords: time series examination, correlation-analysis, growth of trees)

BEVEZETÉS

Számos tudományterületre – többek között az erdészetre és faiparra is – jellemző, hogy a kutatási célokra használt adathalmazokban az adatok időbelisége is releváns tényező.

Cikkünkben egy olyan korrelációelemzésen alapuló vizsgálati módszert írunk le, mely az idősorok elemzését az eddigieknél teljesebb módon teszi lehetővé.

A primer adatsorokon végzett összefüggés vizsgálatok nem minden esetben képesek az összes lényeges reláció feltárására, a teljes kapcsolatrendszer feltérképezésére. Nem tudjuk például közvetlenül azt vizsgálni, hogy az egyik adatsor időben eltolt bizonyos elemeinek összege milyen kapcsolatot mutat a másik adatsor elemeivel. Eljárásunkban a primer adatsor elemeinek felhasználásával képzünk egy olyan szekunder/aggregált adatsort, amely a kiindulópontból képest magában foglalja az összes lehetséges és értelmes időbeni eltolást és szélességet. A módszer széleskörűen használható minden olyan területen, ahol megfelelő hosszúságú és minőségű adatsorok állnak rendelkezésre, és amelyek esetén a cél összetett függőségi kapcsolatok felismerése.

Jelen cikk alapvető célja az általunk kidolgozott új módszertani megközelítés leírása és a módszer működésének bemutatása erdészeti adatokon. Az elemzések hosszú távú célja a fák növekedése és a környezeti paraméterek (hőmérséklet, csapadék) közötti kapcsolatok feltérképezése, mivel a klímaváltozás növekedést befolyásoló hatásainak vizsgálatához szükséges a hatótényezők közötti mélyebb összefüggések feltárása.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Az idősorok elemzésének egyik leggyakrabban használt eszköze a korrelációanalízis, amely két adatsor kapcsolatának erősségét vizsgálja. Ez lehet paraméteres (lineáris, nemlineáris), vagy nemparaméteres, azaz rangkorreláció. Az elemzésben – a bevezetőben említett erdészeti publikációkhoz hasonlóan – lineáris korrelációt alkalmaztunk.

A számított korrelációs érték azt mutatja meg, hogy a két változó vonatkozásában felírt regressziós egyenesre mennyire jól illeszkednek az adatsorok pontpárjai. Ahhoz, hogy a kapott eredmény szignifikanciáját ellenőrizzük, vizsgálatot kell végezni egy $n-2$ szabadságfokú t -statisztika felhasználásával, ahol n az adatok számát jelöli.

Sok esetben fontos, hogy két adatsor közötti késleltetett hatásokat is elemezzük. Erre egy lehetőség, ha az egyik adatsor elemeit időben eltoljuk a másikhoz képest és így keressük a köztük fennálló kapcsolatot (keresztkorreláció). A másik lehetőség, hogy egy adott adatsor és ugyanazon adatsor időbeni eltoltja közti kapcsolatot vizsgáljuk (autókorreláció), aminek segítségével például meghatározható a periodicitás.

Az említett esetek mindegyikében a primer adatok között keresünk kapcsolatot, amely azonban nem minden helyzetben nyújt teljes körű megoldást. Tekintsük az 1. ábrát.

Az ábrán két, időbélyeggel ellátott adatsorunk van: a havi szintű csapadékösszeg és az éves kerületnövekedési értékek. Ha a két primer vektor között keresünk kapcsolatot, akkor nem tudjuk azt vizsgálni, hogy milyen összefüggés van az éves növekedés és a különböző hosszúságú időszakok csapadékösszegei között. A késleltetett és/vagy a különböző időszaki hatások vizsgálatához szükségünk van egy aggregáló, másodlagos idősorokat származtató eljárásra. Ez a művelet a feladattól függően lehet minimum, maximum, átlag, összeg, szorzat, sőt akár más, még komplexebb függvény is.

Lineáris korreláció-elemzés alkalmazására a meteorológiai paraméterek fák növekedésére gyakorolt hatásának vizsgálatában az európai erdészeti szakirodalomban több példát is találunk. Ilyen elemzéseket végeztek dendrométerrel mért növekedési adatokra Magyarországon *Manninger* (2004; 2008), Franciaországban *Bouriaud és mtsai.* (2005), illetve Spanyolországban *Gutiérrez és mtsai.* (2011) is. Törzskorongok vagy növedécsapok felhasználásával folytatott vizsgálatokat *Szabados* (2002; 2008), *Mäkinen és mtsai.* (2003), *Feliksik és Wilczynski* (2009), *Novák és mtsai.* (2010), *Maxime és Hendrik* (2011).

1. ábra

Származtatott adatsorok előállítása

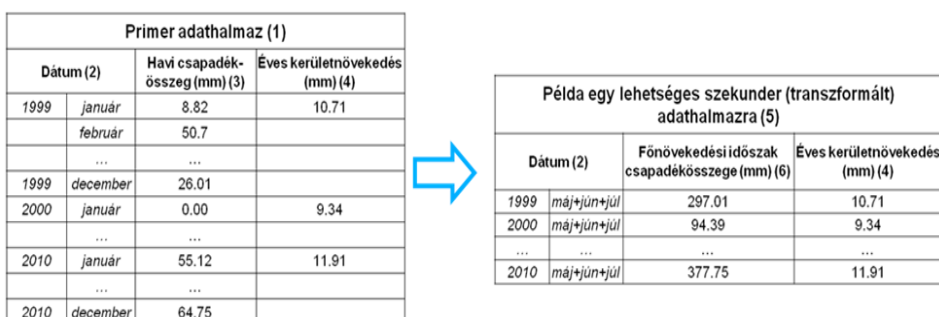


Figure 1: Preparation of derived time series

Primary dataset(1), Date(2), Monthly precipitation sum (mm)(3), Annual girth increment (mm)(4), An example for a possible secondary (transformed) dataset(5), Precipitation sum of main growth period(6)

Az erdészeti kutatásokban a késleltetett hatások vizsgálatára alkalmazzák az evolúciós módszert és a mozgó intervallumokat (*Büntgen és mtsai.*, 2006; *Oberhuber és mtsai.*, 2008; *Wilczynski és Podlaski*, 2007). Az evolúciós technika lépésenként az adatsor időben első vagy utolsó elemétől lépkedve képez ablakokat, míg a mozgó intervallumok technikája egy rögzített szélességű ablakot mozgat az adatsoron. Az eljárások egyes lépéseiben kiszámíthatók a korrelációs együtthatók, így az eljárás végére korrelációs együtthatók sora áll rendelkezésre, azaz a vizsgált változók közti kapcsolatok időbeli változása vizsgálhatóvá válik. Az elemzések feltétele, hogy kellően hosszú adatsorok álljanak rendelkezésre (*Biondi*, 1997).

Az erdészeti kutatásokban meghatározott időszakok vizsgálatára is találunk példákat. Ilyenek a *Novák és mtsai.* (2010) munkájában ismertetett időszaki csapadék- és hőmérséklet indexek és a *Gutiérrez és mtsai.* (2011) növekedésmérések előtti 5, 10, 15 és 30 napra vonatkoztatott időszaki meteorológiai jellemzői is.

Az ablakmozgatás és az ablakszélesség növelésének együttes alkalmazására kidolgozott és a következő fejezetben ismertetett új módszer a fentieknél bővebb lehetőséget kínál a késleltetett hatások, valamint az egyes időszakok vizsgálatára.

Transzformált idősorok

Tegyük fel, hogy kiindulásként adott két azonos hosszúságú, időbélyeggel ellátott vektor:

$$\bar{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \text{ és } \bar{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

A komponensek számozását az első időbélyegtől tekintjük. Azaz 1 értékkel jelöljük az időben első elem, n -el az időben utolsó elem indexét. Feltesszük, hogy az adatoknak van egy természetes periodicitása. Jelölje C a periódus hosszát (pl. havi adatok esetén $C = 12$).

Az egyszerűsítés kedvéért azzal a feltételezéssel élünk, hogy az adatsor a választott ciklus első elemével kezdődik és az utolsó elemével ér véget. (Éves ciklus és havi bontás esetén ez január és december). Amennyiben ez az eredeti adatokra nem teljesül, akkor lerövidítjük az adatsort, és csak azt a maximális számú n adatot hagyjuk meg, amely megfelel a kritériumnak. Ez legfeljebb $2C-2$ komponensnyi veszteséget jelenthet, és ekkor teljesül, hogy a vektor dimenziója osztható a ciklusok elemszámával. Azaz a ciklusok száma a teljes vizsgált adatsorokban $M = \frac{n}{C}$.

Célunk az $\bar{x}$ és $\bar{y}$ adatsorok közötti kapcsolatok feltérképezése. Ehhez bevezetünk két, indexeket tartalmazó vektort $\overline{index_k}$ és $\overline{index_v}$, amelyek használatával az $\bar{x}$ adatsor elé emelünk egy ablakot. A két vektor tartalmazza az alkalmazott ablakban látható eredeti $\bar{x}$ értékek kezdeti és végponti indexeit. Azzal a feltételezéssel élünk, hogy az ablak egy adott C ciklusból nem lép ki, ezért nem okoz ciklusvesztést. A kezdőpont az ablak időben korábbi végpontja, míg a végpont az ablak időben későbbi végpontját jelöli.

Ebben az esetben az $\overline{index_k}$, illetve $\overline{index_v}$ vektorok első elemét az adatsor első ciklusának kívánt, k , illetve v indexű elemére állítjuk, míg az m ($1 \leq m \leq M$) indexű elemek az eredeti adatsor $(k + (m-1) \cdot C)$, illetve $(v + (m-1) \cdot C)$ indexű elemei lesznek. Az $\bar{x}_{tr,k,v}$ transzformált vektor m . elemét ekkor az $\bar{x}$ vektor megfelelő kezdő- és végindexű elemei által behatárolt ablakának komponenseiből származtatjuk egy G transzformáló függvény alkalmazásával:

$$\bar{x}_{tr,k,v} = \begin{pmatrix} G(x_k; x_v) \\ G(x_{k+C}; x_{v+C}) \\ \vdots \\ G(x_{k+(M-1)C}; x_{v+(M-1)C}) \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Módszerünk másik elemeként az $\bar{y}$ vektort transzformáljuk, amelyhez vezessük be az i és j egész számokat, illetve az α valós számot, amely a korrelációs számításához szükséges szignifikanciaszintet jelöli. Az i szám az időbeli eltolás mértékét adja oly módon, hogy meghatározza mennyit lépünk vissza az időben az aktuális időponthoz képest. Ennek megfelelően i a 0 értéktől értelmezhető, maximális értéke (I) pedig a konkrét feladattól függ, illetve úgy kell megválasztani, hogy a korrelációs számítás elvégezhető legyen. A j paraméter az ablak aktuális szélességét adja ($1 \leq j \leq J$), értéke n és i függvénye. l jelöli azt az aktuális időpontot, melyhez képest az eltolást végezzük.

Az $\bar{y}_{tr,l,i,j}$ transzformált vektor m . elemét ekkor az $\bar{y}$ vektor megfelelő kezdő- és végindexű elemei által behatárolt ablak komponenseiből származtatjuk egy H transzformáló függvény alkalmazásával:

$$\bar{y}_{tr,l,i,j} = \begin{pmatrix} H(y_{l-i-j+I}; y_{l-i}) \\ H(y_{l-i-j+I+C}; y_{l-i+C}) \\ \vdots \\ H(y_{l-i-j+I+(m-1)C}; y_{l-i+(m-1)C}) \end{pmatrix}. \quad (3)$$

A fenti jelölések használatával széleskörű vizsgálat végezhető közvetve az $\bar{x}$ és $\bar{y}$, illetve közvetlenül az $\bar{x}_{tr,k,v}$ és az $\bar{y}_{tr,l,i,j}$ vektorok vonatkozásában. Az egyes

paramétereket illetően – feladattól függően – a $1 \leq k \leq v \leq C$, illetve a $k \leq l \leq v$ választások lehetségesek, míg az $0 \leq i \leq I$, illetve a $1 \leq j \leq J$ feltételek esetén az I maximális eltolás és a J maximális ablakszélesség C -nél nagyobb választása cikluson átnyúló hatások felismerésére is alkalmas. Ez utóbbi esetekben a ciklushatárt átlépő ablakok miatt kezelni kell a transzformált adatsorokban fellépő ciklusvesztést, illetve biztosítani kell az aktuális $\bar{x}_{tr,k,v}$ és $\bar{y}_{tr,l,i,j}$ transzformált vektorok komponensszámainak megfelelő egyezését a korrelációs számítás elvégezhetősége érdekében.

A módszer eredményeként az összes lehetséges i és j értékek esetén kiszámítjuk a korreláltság mértékét, amely értékeket mátrixban tárolunk. Mivel nemcsak a korrelációt, hanem a korreláció szignifikanciáját is vizsgáljuk, így az eljárás kimenete egy $(I+1)*J$ méretű mátrixpár:

$$R = \begin{pmatrix} r_{0,1} & r_{0,2} & \cdots & r_{0,J} \\ r_{1,1} & r_{1,2} & \cdots & r_{1,J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{I,1} & r_{I,2} & \cdots & r_{I,J} \end{pmatrix} \text{ és } S = \begin{pmatrix} S_{0,1} & S_{0,2} & \cdots & S_{0,J} \\ S_{1,1} & S_{1,2} & \cdots & S_{1,J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{I,1} & S_{I,2} & \cdots & S_{I,J} \end{pmatrix} \quad (4)$$

A mátrixpárok közül az R értékei megfelelnek az adott eltolással (i) és ablakszélességgel (j) képzett $\bar{x}_{tr,k,v}$ és $\bar{y}_{tr,l,i,j}$ vektorokra kapott korrelációs értékeknek. Az S egy logikai mátrix, ami az α paramétertől függő szignifikancia vizsgálat eredményét tartalmazza.

VIZSGÁLATI FELTÉTELEK

A vizsgált adathalmaz

A cikkben az Erdészeti Tudományos Intézet által 1999-2010 között mért adatokat (csapadék, hőmérséklet, illetve 11 fa kerületnövekedési értékei) használjuk fel.

Az adatok a nemzetközi erdővédelmi hálózat (ICP Forests) intenzív monitoring szintjéhez tartozó mátrai mintaterületéről származnak, melynek bükkös állománya az erdőterv szerint 100 éves. Fatermési szempontból az állomány a jó növekedésű (II. fatermési osztályú) bükkösök közé tartozik: átlagos magassága 32,5 m, átmérője 37,2 cm, törzsszáma 420 db/ha (2010). Az erdőszeti klímabesorolás szerint a mintaterület a bükkös klímában található, hidrológiai viszonyaira a szivárgó vízhatás jellemző. Az alapkőzet riolit, riolituffa, a mintaterület genetikai talajtípusa a ranker.

Az adatok felbontása

A csapadék esetében az adott mintaterületen eseménytől függő észlelés van, tehát a csapadékhullást egy-két napon belül követi annak szabad területen, illetve állomány alatt történő leérése. A feldolgozásban az állomány alatti csapadékkal dolgoztunk, mert ez közelebb áll az állomány számára ténylegesen felhasználható csapadék mennyiségéhez, és feltételezzük, hogy ezen keresztül az oksági összefüggések jobban kimutathatók.

A hőmérsékleti adatok szabad területi és állomány alatti automata mérőállomásokról származnak, melyeknek adattárolása tízperces, illetve órás.

A kézi dendrométer szalagon végzett növekedési mérések gyakorisága márciustól novemberig heti, a nyugalmi időszakban kétheti. Ez elvben lehetővé teszi a heti felbontást, de a mérésekhez alkalmazott eszközök az ilyen rövid idő alatt bekövetkező változások megbízható mérésére nem igazán alkalmasak. A kézi mérőszalagokat alapvetően az éves növekedés mértékének meghatározásához, illetve annak szakaszokra bontásához fejlesztették ki.

Az eredmények értékelésekor figyelembe kell venni, hogy míg a csapadék és hőmérsékleti adatok területre (állományra) vonatkoznak, addig a növekedési adatok faegyedekre. A fák kiválasztása az állományfelvételi összesítő (átlagos átmérő, magasság és törzsszám magassági osztályonként) alapján történt, ezért lehetőség van arra, hogy ezekből állományra, magassági osztályra jellemző értéket kapjunk. A kiválasztott fák között a törzsszámarányának megfelelően alászorult egyed is van, amelynek nincs számottevő növekedése.

Adatok előkészítése

Az idősorok elemzése során lényeges az időbeliség, a mérések eredményeként adódó idősorok hosszának egyezése és teljessége, ezért kezelnünk és egységesítenünk kellett a különböző gyakoriságú mérési adatokat. A feldolgozás során havi adatokat állítottunk elő, illetve használtunk fel, mert a módszer kiterjeszthetősége miatt figyelembe vettük, hogy országos léptékben leginkább ilyen felbontású adatok állnak rendelkezésre.

A növekedési adatok esetében a hónapok közötti átmeneteknél az egymást követő mérések különbségét a napok arányában osztottuk fel a két hónap között.

A csapadék esetében a hónapok közötti átmeneteknél a csapadékhullás felvételi jegyzőkönyvben rögzített időpontja, illetve a szabad területi automata mérések szerint osztottuk fel a mérések eredményét.

A hőmérsékletnél napi szintű adataink vannak, így egyszerűen képezhetők a havi felbontású adatsorok.

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

Az idősorokra kidolgozott eljárás segítségével a fent leírt adatsoron széleskörű statisztikai elemzést valósítottunk meg. A vizsgálatok során az $\bar{x}$ vektor tartalmazza egy-egy fa (vagy egy-egy magassági osztály átlagos) havi szintű kerületnövekedési adatait, míg $\bar{y}$ az ehhez köthető havi csapadékösszeget, vagy havi középhőmérsékletet. Az éves periódus feltételezésével C értéke 12.

Elemzéseinkben két tényező (csapadék-növekedés, hőmérséklet-növekedés) egymásra gyakorolt hatását három különböző szempontból néztük meg.

Első vizsgálati irány: az éves növekedés és a származtatott környezeti paraméterek összefüggéseinek vizsgálata

A 2 ábrán azt szemléltetjük, hogy az egyes fák éves kerületnövekedési adatainak és a teljes előző év, valamint az adott év júliusig tartó időszakának (összesen 19 hónap) havi csapadékösszegeire milyen korrelációs értékek adódnak. Az ábrán a kék színű felület-részek negatív, míg a sárga színűek pozitív korreláltságot mutatnak.

A kapott eredményekből leszűrhető, hogy a megelőző év szignifikáns csapadék-ablakai jellemzően negatív korreláltságban állnak az adott év növekedésével. Szignifikáns összefüggések akkor adódnak, ha a csapadéklablakokban az előző év júniusa és augusztusa egyidejűleg benne van, azonban ezek a szignifikáns időszakok sosem nyúlnak át az adott évbe. Pozitív korreláltságot tapasztaltunk az előző év őszi visszanyúló időszakok esetén, amennyiben azok az adott év márciusával zárultak. Ezek azok az időszakok, amik még a leginkább magyarázhatóak, amelyek a legközelebb állnak ahhoz, amit nyugalmi vagy tárolási időszaknak hívunk. A növekedés évében csak akkor jelenik meg szignifikáns pozitív összefüggés, ha az időablakban benne van a január. Az általunk legfontosabbnak vélt május-július hónapok (fő növekedési vagy fő

vízfelhasználási időszak) semmilyen ablaknál nem hoznak szignifikáns összefüggést. Néhány hónap (pl. az adott év januárja) erősen rányomja bélyegét az összefüggésekre. Ezeket logikai magyarázatokkal nehéz vagy nem lehet alátámasztani.

2. ábra

A havi csapadék és az éves kerületnövekedés kapcsolata

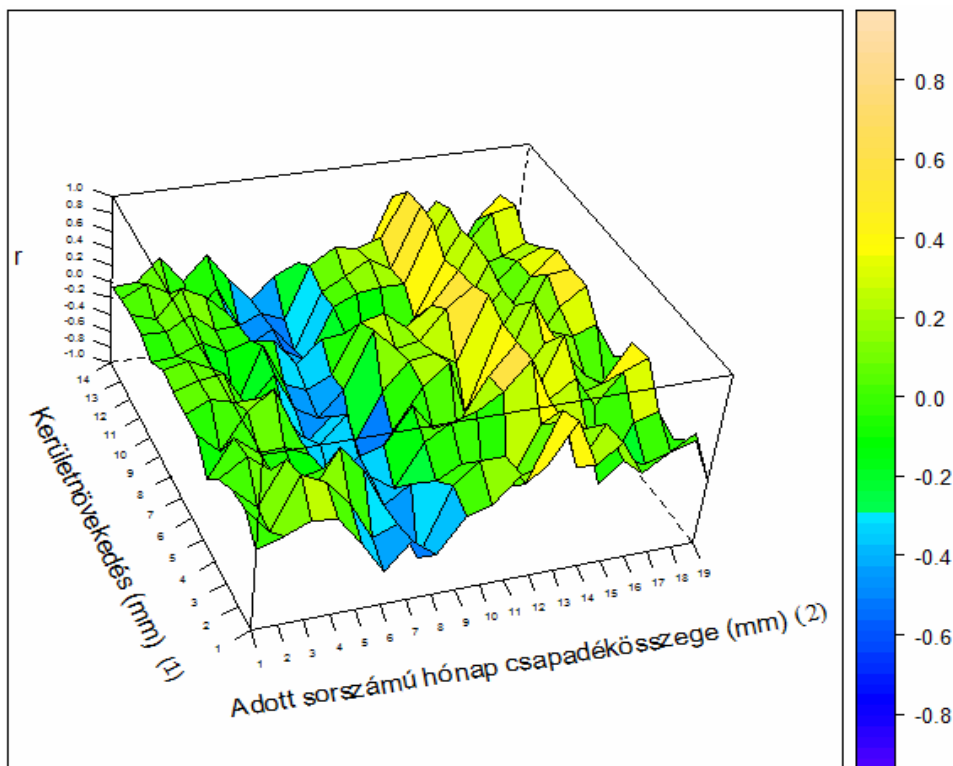


Figure 2: The connection between the annual girth increment and the monthly precipitation

Annual girth increment (mm)(1), Precipitation of given month (mm)(2)

A havi átlaghőmérséklet mellett a szélsőértékeket (napi minimumok, illetve maximumok havi átlagai) is bevontuk az elemzésbe. Ha az átlaghőmérsékleteket vesszük, akkor erősebb, a fák nagyobb részére vonatkozó összefüggés csak az adott évi júniusnál jelenik meg. Ez is negatív, tehát a magasabb átlaghőmérséklet kisebb növekedéssel jár. Ennek igazolhatósága elsősorban a júniusi csapadékviszonyoktól függ, amit esetleg a két paraméter együttes vizsgálata mutat majd ki. A szignifikáns értékek többsége negatív, tehát az átlaghőmérséklet növekedése inkább jár a növekedés csökkenésével, mint annak fokozódásával. A szélesebb időablakok között, az előző év augusztusától kezdődően bármely hónapnak az adott év januárjáig tartó időszaka (szeptember kivételével, 2-6 hónap változó ablakszélességgel) azzal jellemezhető, hogy magasabb átlaghőmérséklet esetén nagyobb a következő év növekedése. A június csak önmagában ad szignifikáns eredményt,

ha további hónapokat teszünk mellé, akkor elveszítjük ezt az összefüggést. A minimum hőmérsékleteket vizsgálva az átlaghoz hasonlóan kevés szignifikáns összefüggés kerül elő, s azok is elszórtabban, kevésbé általánosan (egyidejűleg kevesebb fánál) jelennek meg. A változó szélességű ablakok az átlagos napi minimum hőmérséklet és a növekedés kapcsolatát nem finomítják.

Az átlaghoz és a minimumhoz képest valamivel több szignifikáns összefüggés jelenik meg a maximum hőmérsékletnél. Ez arra utalhat, hogy a maximum hőmérsékletnek nagyobb hatása van a növekedésre, mint az átlagnak vagy a minimumnak. A maximum hőmérséklet vizsgálatakor megerősödött az előző év őszének, elsősorban a novembernek a pozitív hatása, ami logikailag nehezen magyarázható. Ugyancsak szélesebb körben jelentkezett az adott évi június negatív hatása. Az ablakos vizsgálat szerint a május-június, illetve a június maximum hőmérsékletének emelkedése az éves növekedés csökkenésével jár.

Második vizsgálati irány: a havi növekedési adatok és a származtatott adatsorok összefüggéseinek vizsgálata

A növekedésmenet ismeretében tényleges növekedés május elejétől augusztus végéig várható, ezért csak ezen hónapok növekedési adatait vizsgáltuk. Az eredménymátrixokat minden fára és minden számításba vehető hónapra előállítottuk.

A vizsgálat eredmény-mátrixpárjaira mutat egy példát a 3. ábra, amelyen egy adott fa júliusi növekedési adata és a csapadék adatok közötti kapcsolat látható. A sárga háttérszínnel jelölt korrelációs értékek mutatják a szignifikáns eredményeket, így a mátrixpár egyidejűleg ábrázolható. A jobbról balra tartó irány a csapadékhónapok szélességét, míg a fentről lefelé tartó irány a hónapok közötti eltolást jelzi. Pl. a (0,1)-es cella (-0,34) a júliusi növekedés és a júliusi csapadék adat közötti lineáris kapcsolat erősségét mutatja. Míg a (4,7)-es elem a júliusi növekmény és az azt megelőző év augusztusa és az adott év február hónapja között lehullott csapadékösszeg közötti korrelációs értéket jelöli (0,77).

3. ábra

Az R (és S) eredmény mátrix illusztrálása

Július (1)		Szélesség (2)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Eltolás (3)	0	-0.34	-0.61	-0.48	-0.61	-0.53	-0.59	-0.49	0.61	0.68	0.86	0.77	0.50
	1	-0.32	-0.17	-0.30	-0.20	-0.23	-0.15	0.58	0.65	0.79	0.79	0.54	0.51
	2	0.08	-0.19	-0.02	-0.09	0.04	0.66	0.75	0.88	0.88	0.53	0.44	0.11
	3	-0.39	-0.09	-0.20	-0.01	0.66	0.70	0.82	0.83	0.54	0.43	0.06	-0.02
	4	0.21	0.09	0.22	0.59	0.64	0.81	0.77	0.46	0.37	-0.03	-0.10	-0.18
	5	-0.20	0.13	0.64	0.69	0.71	0.68	0.38	0.27	-0.11	-0.18	-0.26	-0.45
	6	0.30	0.70	0.73	0.77	0.70	0.40	0.29	-0.12	-0.19	-0.28	-0.47	-0.38
	7	0.47	0.52	0.56	0.53	0.23	0.15	-0.23	-0.28	-0.37	-0.54	-0.46	-0.54
	8	0.22	0.32	0.38	0.12	0.06	-0.34	-0.37	-0.47	-0.65	-0.56	-0.64	-0.69
	9	0.32	0.38	0.08	0.02	-0.36	-0.39	-0.50	-0.66	-0.58	-0.65	-0.69	-0.62
	10	0.22	-0.08	-0.10	-0.46	-0.50	-0.61	-0.74	-0.67	-0.75	-0.76	-0.68	-0.49
	11	-0.18	0.16	0.51	-0.54	-0.63	-0.77	-0.69	-0.77	-0.78	-0.71	-0.54	-0.50

Figure 3: Illustrating of R (and S) result matrices

July(1), Width(2), Time shifting(3)

Az eredményekről általánosan elmondható, hogy a nagy eltolású és széles időablakok ellentétes hatást mutatnak, míg a kis eltolású és széles, vagy nagy eltolású, de keskeny időablakoknál az összefüggés pozitív. Az előbbi azt jelenti, hogy a 9-11 hónappal korábbi 6-11 hónapos időszak csapadéka a júliusi növedékre negatív hatással van, míg az utóbbi annak felel meg, hogy a júliusi növekedést pozitívan befolyásolja a megelőző 7-11 hónap csapadéka. Ez az összefüggés ismételt az adott évi januári, illetve a megelőző év augusztusi csapadéka meghatározó voltát mutatja.

A havi növekedési adatok és a hőmérséklet közötti összefüggések kevésbé egységesek. Faegyedtől függően a májusi és júliusi eredményeket tartalmazó mátrixban olykor ellentétes irányú összefüggések is megjelennek. A fák júliusi-augusztusi növedékének elemzésekor a keskeny, átlós szignifikancia-sáv azt mutatja, hogy szűk az az időablak, ami jó összefüggést mutat, mégpedig negatív előjelűt. Ezeknek a hónapoknak a növekedését a május-június magasabb hőmérséklete visszaveti.

Harmadik vizsgálati irány: a főnövekedési időszak (május-július) növekedési adatainak kapcsolata a származtatott adatsorokkal

A három hónap adatából vettük a növekedés maximumát, s ennek a hónapja szolgáltatja az alapot a környezeti paraméterekből képzett eltoláshoz. A logikailag alátámasztható eljárás nem hozott értékelhető eredményt.

A vizsgálatnak az a hátránya, hogy a viszonyítási hónap évről-évre változhat, s ezért a szignifikáns összefüggések esetében sem lehet egyértelműen megmondani, hogy melyek azok a hónapok, amelyek a hatást kiváltják. A relatív skála egyik származtatott adatsor esetében sem kapott igazolást, ezért az adatokból általánosítható relatív összefüggést – pl. hogy a legnagyobb növekedést hozó hónap előtti két hónap a meghatározó a növekedésben – jelenleg nem lehet leszűrni.

KÖVETKEZTETÉSEK

A kidolgozott eljárás – megfelelő minőségű és hosszúságú adatsorok esetén – az eddigieknél szélesebb körű elemzésre ad lehetőséget. A módszer a transzformált idősorokon képes bármilyen típusú korrelációelemzést megvalósítani feladattól függően.

Módszerünknek köszönhetően vizsgálható az egyes hónapok, illetve a különböző hosszúságú időszakok csapadék- és hőmérsékletviszonyainak kapcsolata a havi, valamint az éves növekedéssel.

Az eljárás erdészeti adatokon való eddigi alkalmazása kimutatott olyan összefüggéseket, melyek logikailag igazolhatóak, de olyanokat is, melyek ismereteinkkel nem magyarázhatóak. Ez a tapasztalat arra hívja fel a figyelmet, hogy a növekedés és a környezeti paraméterek összefüggéseinek feltárásához önmagukban nem elegendők a széles körben alkalmazott havi csapadék, illetve hőmérsékleti adatok.

Az erdészeti alkalmazás során végzett munka egy olyan értékelés kezdete, amelyben még számos további elemzési lehetőséget látunk. Ilyen lehetőség lehet a vizsgálatba bevont adatok körének bővítése, a bemeneti adatok felbontásának változtatása, a havi adatoktól való eltérés, valamint a hasznosuló csapadék pontosabb meghatározásával – a talaj vízkapacitásának figyelembevételével – a bemeneti adatok finomítása. Tervezzük, hogy az eljárással teszteljük az erdészetben és ahhoz kapcsolódó szakmákban alkalmazott szakmai indexeket, mint például a Pálfa-féle aszályossági indexet (PAI) vagy az erdészeti aszályossági indexet (FAI) is. Az eddigi egytényezős vizsgálatok helyett többváltozós hatások vizsgálatát is tervbe vettük.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott módszer a TÁMOP-4.2.2-08/1-2008-0020 számú „Erdő- és mezőgazdálkodás, valamint a megújuló energiaforrás technológiák és a klímaváltozás” című projekt támogatásával jött létre.

IRODALOM

- Biondi, F. (1997): Evolutionary and moving response functions in dendroclimatology. *Dendrochronologia*, 15. 139-150. p.
- Bouriaud, O., Leban, J.M., Bert, D., Deleuze, C. (2005): Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce. *Tree Physiology*, 25. 651-660. p.
- Büntgen, U., Frank C.D., Schmidhalter, M., Neuwirth, B., Seifert, M., Esper, J. (2006): Growth/climate response shift in a long subalpine spruce chronology. *Trees* 20. 99-110. p.
- Feliksik, E., Wilczynski, S. (2009): The effect of climate on tree-ring chronologies of native and non-native tree species growing under homogenous site conditions. *Geochronometria*, 33. 49-57. p.
- Gutiérrez, E., Campelo, F., Camarero, J. J., Ribas, M., Muntán, E., Nabais, C., Freitas, H. (2011): Climate controls act at different scales on the seasonal pattern of *Quercus ilex* L. stem radial increments in NE Spain. *Trees*, 25. 4. 637-646. p.
- Mäkinen, H., Nöjd, P., Kahle, H. P., Neumann, U., Tveite, B., Mielikäinen, K., Röhle, H., Spiecker, H. (2003): Large-scale climatic variability and radial increment variation of *Picea abies* (L.) Karst. in central and northern Europe. *Trees*, 17. 173-184. p.
- Manninger M. (2004): Erdei fák éves és korszaki növekedésmenete és kapcsolódása egyes ökológiai tényezőkhöz. In: Mátyás Cs., Vig P. (ed.): Erdő és Klíma IV., Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 151-162. p.
- Manninger M. (2008): A növekedés és a csapadék összefüggései az alföldi mérések alapján, In: Szulcsán G. (ed.) Kutatói nap, tudományos eredmények a gyakorlatban, Alföldi Erdőért Egyesület kiadványa, Szeged, 50-53. p.
- Maxime, C., Hendrik, D. (2011): Effects of climate on diameter growth of co-occurring *Fagus sylvatica* and *Abies alba* along an altitudinal gradient. *Trees*, 25. 265-276. p.
- Novák, J., Slodicák, M., Kacálek, D., Dusek, D. (2010): The effect of different stand density on diameter growth response in Scots pine stands in relation to climate situations. *Journal of Forest Science*, 56. 10. 461-473. p.
- Oberhuber, W., Kofler, W., Pfeifer, K., Seeber, A., Gruber, A., Wieser, G. (2008): Long-term changes in tree-ring-climate relationships at Mt. Patscherkofel (Tyrol, Austria) since the mid-1980s. *Trees* 22: 31-40. p.
- Szabados I. (2002): Az évgyűrűszélesség és egyes termőhelyi tényezők kapcsolata. PhD értekezés (NYME-EMK).
- Szabados I. (2007): Időjárási fluktuáció hatása a produkcióra dendrokronológiai kutatások alapján. In: Mátyás Cs., Vig P. (ed.): Erdő és Klíma V., Nyugat-magyarországi Egyetem : Sopron, 297-306. p.
- Wilczynski, S., Podlaski, R. (2007): The effect of climate on radial growth of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) in the Swietokrzyski National Park in central Poland. *Journal of Forest Research*, 12. 24-33. p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Edelényi Márton

Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar,
Informatikai és Gazdasági Intézet

9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 9.

University of West Hungary, Faculty of Wood Sciences

Institute of Informatics and Economics

H-9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 9.

Tel.: 36-99-518-486 Fax: 36-99-518-367

e-mail: edelenyim@inf.nyme.hu