

## Transzformált adatsorok alkalmazása a fák növekedése és az időjárás paraméterek kapcsolatának vizsgálatában

*Use of transformed data sets in examination of relationship between growth of trees and weather parameters*

Edelényi Márton<sup>1</sup>, Pödör Zoltán<sup>2</sup>, Jereb László<sup>3</sup>

### INFO

Received 24 Sep. 2011  
Accepted 09 Oct. 2011  
Available on-line 28 Nov. 2011  
Responsible Editor: K. Rajkai

#### Keywords:

systematic transformation analysis method, STAM, time series analysis, derived dataset

### ABSTRACT

Analysing and stability improving methods were studied for the examination of relationships between tree growth and meteorological factors according to our requirements. In order to explore more complex relations from primary data sets secondary data series had to be systematically transformed and a uniform analysis process was developed for their investigation. The structure of the Systematic Transformation Analysing Method (STAM) has three main components. The first module derives input data from the original series without any essential changes. The transformation unit produces secondary data series using a moving window technique. The third component performs the examinations. STAM also allows the application in several other research fields.

### INFO

Beérkezés 2011 Szept. 24.  
Elfogadás 2011 Okt. 09.  
On-line elérés 2011 Nov. 28.  
Felelős szerkesztő: Rajkai K

#### Kulcsszavak:

szisztematikus transzformációs elemző módszer, STAM, idősor elemzés, származtatott adatsor

### ÖSSZEFOGLALÓ

A fák növekedése és az azt befolyásoló időjárás tényezők kapcsolatának vizsgálatára meghatározott szempontok szerint válogatott, erdészeti adatokat elemző, és az elemzések stabilitását javító módszereket tanulmányoztunk. A komplex összefüggések feltárásához a primer változókból módszeresen szekunder adatsorokat képeztünk és azok elemzésére egy egységes folyamatot fejlesztettünk ki. Az alkalmazott szisztematikus transzformációs elemző módszer (STAM) három komponenset foglal magában. Az első az eredeti adatokból input adatokat származtat azok értékének megváltoztatása nélkül. A szekunder adatsorokat létrehozó adat transzformáció mozgó ablak technikát alkalmaz. A harmadik komponens végzi az elemzéseket. A STAM módszer más szakterületeken is alkalmazható.

## 1. Bevezetés

A fák növekedése és az időjárás komponensek közti összefüggések elemzésében az adatok időbelisége, a késleltetett hatások fontos tényezők. A vizsgálatok két fő irányba sorolhatók. Az első irány alapvetően idősorok közti kapcsolatvizsgálás, amiben a függő változó a fanövekedés adatsora, míg a magyarázó változók a különböző környezeti paraméterek. Az elemzések alapvető célja annak meghatározása, hogy a fanövekedéssel mely komponensek, milyen időbeli felosztásban, esetleg milyen késleltetéssel mutatnak szignifikáns kapcsolatot. A feltárt összefüggések választ adhatnak arra, hogy a vizsgált környezeti paraméterek változásai hogyan hatnak a fák növekedésére, így közvetve a klímaváltozás hatásai is vizsgálhatók. A másik kutatási irányban a magyarázó változókkal és a sztochasztikus változékonyság figyelembevételével (pl. Calama és Montero, 2005) a fanövekedést modellezik. Ezek a modellek megfelelőek lehetnek az erdőművelés alternatíváinak kiértékelésére és szimulációjára (Monty et al., 2008), valamint a jövőbeni növekedés predikciójára (Pukkala et al., 2009; Nunes et al., 2011). A statisztikai elemzések első irányában kapott eredmények nem alkalmasak közvetlen előrejelzésre, scenárió-analízisre, viszont fontos a szerepük a modellezésben, és segítik a folyamatok mélyebb fizikai, biológiai, kémiai irányú kutatását.

<sup>1</sup> edelenyim@inf.nyme.hu

<sup>2</sup> podzol@emk.nyme.hu

<sup>3</sup> jereb@inf.nyme.hu

Manninger Miklóssal, az Erdészeti Tudományos Intézet munkatársával az első irányban a fák növekedése és az időjárási paraméterek között keressük a kapcsolatot, hasonlóan Gutiérrez et al. (2011) kutatásához. Előtanulmányként az időjárási tényezők (csapadék és hőmérséklet), illetve a vastagságnövekedés közti kapcsolatokat vizsgáló európai közleményeket tekintettük át a 2000-es évektől kezdődően. Számos értékes hazai publikációt (pl. Szabados, 2007; Somogyi, 2008; Nagy, 2009; Mátyás et al., 2010) is áttanulmányoztunk, de az előző szempontjaink alapján nem vettük azokat figyelembe. A felhasznált módszereket vizsgálatainkhoz való alkalmazhatóság szempontjából osztályoztuk, megállapítva továbbfejlesztésük irányát.

Jelen cikkben az áttekintett módszerek lényegét az erdészeti eredmények kifejtése nélkül ismertetjük. Bemutatunk egy saját fejlesztésű megoldást, amely az input adatok származtatását, a transzformált adatsorok létrehozását és az elemzések végrehajtását is magában foglalja. Módszerünk a szokásos elemzési megoldásokat alkalmazza és az erdészeti vizsgálatokon túlmenően más területek összefüggéseinek szisztematikus feltárására is alkalmas.

## 2. Alkalmazott elemzési módszerek

Szakirodalmi áttekintésünk alapján az alkalmazott módszereket két fő csoportra osztva tárgyaljuk. Elsőként azokat az elemzési módszereket ismertetjük, melyeket a magyarázó és a függő változók közti kapcsolatok feltárására használtak. Majd bemutatunk egy olyan eljárást, melynek segítségével a módszerek és a kapott eredmények megbízhatóságát és stabilitását javították.

### 2.1. Elemzési módszerek

Az idősorok közti kapcsolatok analízisében gyakran használt alapmódszer a lineáris korreláció-elemzés. Sok esetben a kapcsolatok nem lineáris jellegűek, ez azonban matematikailag egy jóval bonyolultabb problémára vezet. Ez is oka lehet annak, hogy az áttekintett irodalomban is jellemzően lineáris kapcsolatokat vizsgáltak, bár a cikkekben ténylegesen alkalmazott módszerek általában ennek az alaptechnikának valamilyen szempontból továbbfejlesztett változatai voltak.

#### *Főkomponens-analízis (Principal Component Analysis – PCA)*

A főkomponens elemzés egymással esetleg korreláló változók olyan lineáris kombinációit keresi, ahol az előállított főkomponensek már korrelálatlanok. Az első főkomponens képviseli az eredeti adathalmaz varianciájának legnagyobb részét, a következő a másodikat, és így tovább. Ideális esetben az eredeti adatok varianciája adekvát módon leírható néhány főkomponenssel. A módszer előnye az adatredukció, így alkalmas lehet a növekedést reprezentáló évgűrű adatsorok csoportosítására, illetve egy egységes növekedési mutató előállítására is. A PCA-t Oberhuber et al. (2008) és Novák et al. (2010) a rendelkezésre álló évgűrű adatsorok csoportosítására alkalmazták, míg Feliksik és Wilczynski (2009) a növekedést reprezentáló évgűrű adatsorok közti hasonlóságokat és különbségeket okozó faktorokat határozta meg főkomponens-elemzéssel.

#### *Klaszterelemzés*

Az adatsorok csoportosításának egy másik lehetséges módja a klaszterezés. Ez egy adathalmaz pontjainak hasonlóság szerinti szeparációja, amelyben az egyes klaszterek elemei lényegesen jobban hasonlítanak egymáshoz, mint a különböző csoportba kerültek. A megoldás alkalmazásával Feliksik és Wilczynski (2009) a hasonló növekedést produkáló egyedeket osztotta közös csoportba. A módszer segítségével cseh kutatók azt vizsgálták, hogy a gyérités befolyásolja-e a növekedés-környezeti paraméterek kapcsolatát (Novák et al., 2010). Lebourgeois et al. (2005) csoportosította a bükk fákat válaszfüggvény-elemzés eredményei alapján, míg Piovesan et al. (2005) olaszországi növekedési adatsorokra alkalmazott PCA és klaszterezés eredményét vetette össze.

#### *Korreláció- és regresszió-elemzés*

Az idősorok közti kapcsolatok elemzésének egyik jellegzetes feladata annak vizsgálata, hogy a magyarázó változók hogyan hatnak a függő változóra. Számszerűen ezeket a korrelációs együttható ( $r$ ) és a determinációs együttható ( $R^2$ ) jellemzi, amely paraméterek a kapcsolatok irányát és erejét is mérik. Vizsgálható az is, hogy a relációk hogyan írhatóak le egy függvény-jellegű összefüggéssel. Az

előbbi korreláció-, az utóbbit regresszió-analízisnek nevezzük. A kapcsolatok mindkét esetben lineáris és nemlineáris jellegűek is lehetnek. A szerzők jellemzően lineáris elemzést alkalmaztak az éves növekedés és a havi bontású csapadék és/vagy hőmérséklet kapcsolatának vizsgálatában (Briffa et al., 2002; Makinen et al., 2003; Manninger, 2004; Pichler és Oberhuber, 2007; Szabados, 2008; Rybníček et al., 2009; Feliksik és Wilczynski, 2009; Novák et al., 2010; Gutiérrez et al., 2011). Többváltozós lineáris regresszió-elemzést alkalmazott Bouriaud et al. (2005) a növekedés, mint függő és a pentádokra bontott csapadék, talajvízhiány, átlaghőmérséklet és az erdősűrűség, mint független változók között. Tuovinen (2005) lineáris korreláció-analízissel vizsgálta az évgyűrűk szélessége, a korai és kései pászta, valamint a havi csapadékösszeg és átlaghőmérsékletek közti kapcsolatok irányát.

### ***Válaszfüggvény-elemzés (ResponseFunction – RF)***

A főkomponens regresszió néven is ismert elemzés egy többváltozós technika, ahol a független változók az eredeti magyarázó változókra alkalmazott PCA főkomponensei. Így az RF az a regressziós egyenlet, amelyet a fenti paraméterekre alkalmazott többváltozós regresszió eredményeként kapunk zárt módon leírva a magyarázó és a függő változók közti statisztikai kapcsolatokat. A módszer kijelöli a célváltozóra szignifikáns hatással bíró magyarázó paramétereket, meghatározza a feltárt kapcsolatok erősségét és irányát. A PCA a változók számát csökkenti, a kapott főkomponensek függő változóval való összevetése miatt alkalmas a különböző magyarázó változók együttes hatásainak elemzésére. A módszert Parn (2003) az éves növekedés és a havi bontású csapadék és hőmérséklet adatok közti kapcsolatok feltárásában használta.

### ***Evolúciós módszerek, mozgó időintervallumok vizsgálata***

A kutatásokban sokszor nem a teljes idősort használták az elemzés egy-egy lépésében. Ennek oka volt az eljárás pontosságának mérése tanuló és validáló halmazok alkalmazásával, másrészt megfelelő hosszúságú adatsorok esetén vizsgálták a kapcsolatok időbeli változását is az előre- és a visszalépéses evolúció, valamint a mozgó intervallumok használatával.

Az előrelépéses evolúció első iterációjában a vizsgált intervallum kezdőpontja az időben legkorábbi adat. A módszer lépésként időben előre haladva növeli a vizsgált adatsor hosszát. A visszalépéses evolúció során a kezdőpont az időben legkésőbbi adat és az adatsor hosszának növelése is fordított irányú. Mozgó intervallumok esetén a vizsgált intervallum hossza alkalmasan rögzített, a kezdőpont az időben legkorábbi adat, majd minden egyes lépésben az intervallum egy-egy ciklussal előbbre ugrik. Mindhárom technika esetében lépésként kiszámításra kerül a korrelációs együttható, így a kapcsolatok hosszú távú időbeli változása válik elemezhetővé.

Az évgyűrű adatsorok akár több 100 évre visszamenőleg is rendelkezésre állnak, míg csapadék és hőmérséklet adatok csak rövidebb időszakra (80-100 év). Ilyen hosszúságú adatsor már alkalmas lehet annak kimutatására, hogy a korábbi időszakhoz képest változtak-e a releváns kapcsolatok a növekedés-klíma vonatkozásában. Ezt vizsgálta Büntgen et al. (2006), akiknek a növekedés-hőmérséklet vonatkozásában több mint 200 év hosszúságú adatsor állt rendelkezésükre. Wilczynski és Podlaski (2007) 1933-2002 közti időszakra elemezték a növekedés és a havi csapadék, valamint hőmérséklet adatok kapcsolatának változását, más kutatók ugyanezen komponensek közti kapcsolatok feltárásában mozgó intervallumokra alkalmazott válaszfüggvény-analízist használtak (Oberhuber et al., 2008).

## **2.2. Az eredmények megbízhatóságának és stabilitásának növelése**

Az eredmények megbízhatóságának és stabilitásának növelésére jellemzően használt módszer a bootstrap, amelyet tipikusan akkor alkalmaznak, amikor a statisztika eloszlása ismeretlen vagy a normalitás feltételei nem teljesülnek. A módszer az eredeti mintából ismétléses mintavételezéssel képez másodlagosakat, melyek hossza rendszerint megegyezik az eredetiével. Az így előállított adatsorok száma elméletileg korlátlan. Az eljárás hatékonysága függ az eredeti minta reprezentativitásától. (Ramachandran és Tsokos, 2009)

Több kutató is felhasználta a bootstrap eljárást a korreláció- és válaszfüggvény-elemzésükben (Piovesan et al., 2005; Wilczynski és Podlaski, 2007; Martín-Benito et al., 2008; Bogino et al., 2009), Carrer és Urbinati (2001) a két módszer hatékonyságát a neurális hálókkel hasonlította össze. Van der

Werf et al. (2006), valamint Cufar et al. (2008) csak a korreláció-elemzésükhöz, míg néhányan (Lebourgeois et al., 2005; Pichler és Oberhuber, 2007; Oberhuber et al., 2008) csak a válaszfüggvény elemzésükben használták a módszert. Tuovinen (2005) a regressziós elemzésének javításához használta a bootstrap-et.

### 2.3. Alkalmazás

Az alábbi táblázatban összefoglaltuk, hogy az áttekintett cikkekben melyik elemzési módszert használták fel a kapcsolatok feltárására.

**1. táblázat.** Áttekintett cikkekben alkalmazott elemzési módszerek

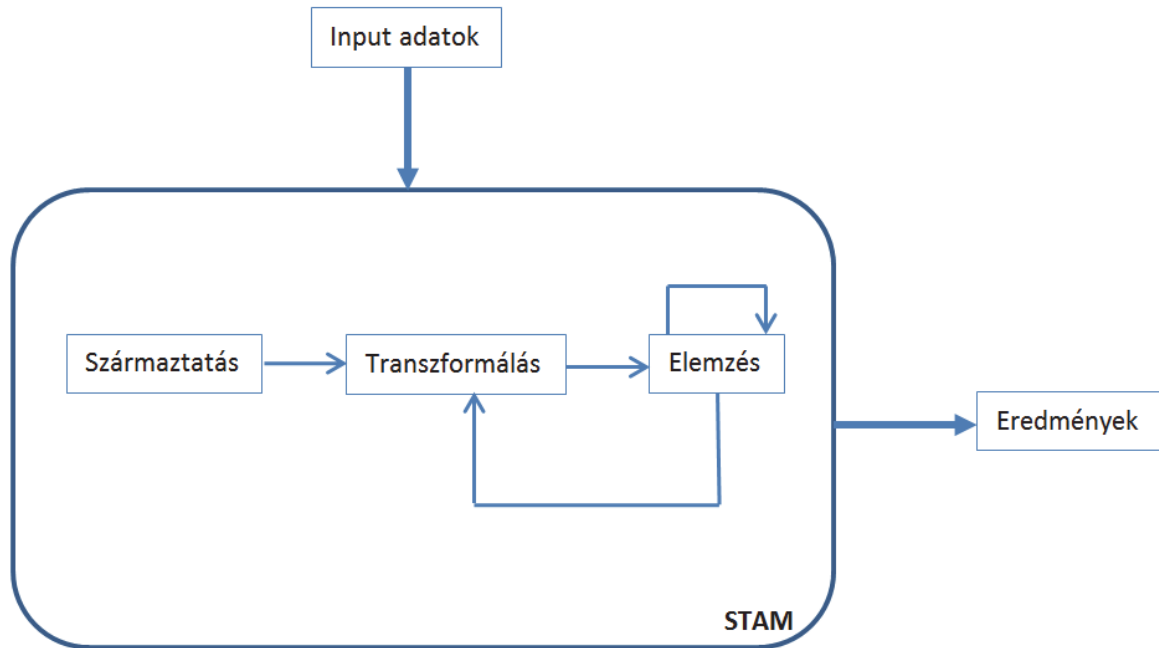
Szerzők	Módszer(ek)	Szerzők	Módszer(ek)
Bogino et al. (2009)	2,4	Martín-Benito et al. (2008)	2,4
Briffa et al. (2002)	1,5	Novák et al. (2010)	1,5,6
Bouriaud et al. (2005)	1	Oberhuber et al. (2008)	4,5,7
Büntgen et al. (2006)	7	Parn (2003)	3
Carrer és Urbinati (2001)	2,4	Pichler és Oberhuber (2007)	1,4
Cufar et al. (2008)	2	Piovesan et al. (2005)	2,4,5
Feliksik és Wilczynski (2009)	1,5,6	Rybníček et al. (2009)	1
Gutiérrez et al. (2011)	1	Szabados (2008)	1
Lebourgeois et al. (2005)	2,4,6	Tuovinen (2005)	1,2
Makinen et al. (2003)	1	van der Werf et al. (2006)	2
Manninger (2004)	1	Wilczynski és Podlaski (2007)	2,4,7,8

**Módszerek rövidítései:** 1 Pearson-féle lineáris korreláció-(regresszió)-elemzés, 2 bootstrap korreláció-elemzés, 3 válaszfüggvény-elemzés, 4 bootstrap válaszfüggvény-elemzés, 5 főkomponens-analízis, 6 klaszter analízis, 7 mozgó intervallumok, 8 evolúciós-elemzés

### 3. Szisztematikus Transzformációs Elemző Módszer

Az előzőekben áttekintett cikkek egyik fontos tapasztalata volt, hogy a fák növekedése és az időjárási paraméterek közötti kapcsolatok feltárásában elengedhetetlen több magyarázó paraméter együttes és késleltetett hatásának elemzése. Megállapítottuk, hogy több áttekintett cikk az éves növekedés és a kijelölt időszak havi csapadék és hőmérséklet adatai közti kapcsolatot kereste, néhány esetben származtatott adatsorokat is képeztek, azonban ezek jellemzően tapasztalatokon alapultak. Carrer és Urbinati (2001) két speciális jellemzőt használt: május, június, júliusi csapadékösszeg és február, március, április maximumhőmérsékletek átlagát. Briffa et al. (2002) több szezonális komponenst is létrehozott: például előző év októberétől adott év márciusáig vagy októbertől szeptemberig. Hasonló speciális időszakokat használt Büntgen et al. (2006): például februártól ápriliséig, áprilistől szeptemberig terjedő hőmérsékletátlagok és csapadékösszegek. Novák et al. (2010) kijelölt időszakok csapadékösszegeinek és átlaghőmérsékleteinek hányadosát képezte, például a február-júliusi csapadékösszeg és az április-augusztusi átlaghőmérséklet aránya. Ezek a vizsgálatok nélkülözték a lehetőségek széles körének módszeres figyelembevételét, így szükség volt arra, hogy a transzformált (pl. aggregált) magyarázó változókat szakmai szempontból a maguk teljességében tudjuk vizsgálni.

A szisztematikus elemzés megvalósítására egy egységes keretet dolgoztunk ki. Az 1. ábrán látható a kialakított keretrendszer, a Szisztematikus Transzformációs Elemző Módszer (Systematic Transformation Analysis Method – STAM) sematikus vázlatát. A módszer három komponensből áll, és a transzformálási valamint elemzési modult tekintve iteratív folyamatként értelmezhető. A fejlesztés során fontos szempont volt, hogy a struktúra alkalmas legyen más szakterületek adatainak kezelésére is.



1. ábra. A módszer sematikus ábrája

### 3.1. Szármasztatás

A STAM első komponense az adatsorok opcionális szármasztásáért felel. Ez alatt olyan tevékenységet értünk, amely az eredeti adatokat nem változtatja meg, csupán azok idő vagy más szempont szerinti összevonását vagy felbontását végzi. Példaként említhető a különböző gyakoriságú vagy esemény szintű mérések azonos időbeli egységgé alakítása, vagy a magyarázó változók csoportosítása főkomponens vagy klaszter-elemzés alkalmazásával. Ugyanakkor ebbe a csoportba sorolható az adatok olyan logaritmikus leképezése is, amelyet például Monty et al. (2008) alkalmazott növekedési modelljeik előállításánál.

### 3.2. Transzformálás

A második fázis során célunk a magyarázó és a függő változók szisztematikus transzformálása úgy, hogy a kapott másodlagos adatsorok felhasználásával az elemző modul képes legyen a kapcsolatok minél teljesebb feltérképezésére. A STAM koncepcióban azonos hosszúságú idősorokból indul:

$$\bar{x}_1 = \begin{pmatrix} x_{11} \\ \vdots \\ x_{1n} \end{pmatrix}, \bar{x}_2 = \begin{pmatrix} x_{21} \\ \vdots \\ x_{2n} \end{pmatrix}, \dots, \bar{x}_H = \begin{pmatrix} x_{H1} \\ \vdots \\ x_{Hn} \end{pmatrix} \text{ és } \bar{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix},$$

ahol  $\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_H$   $H$  darab magyarázó,  $\bar{y}$  pedig a függő változó. Az elemzés elvégezhetősége miatt feltételeztük, hogy a szármasztási fázis végrehajtása után mindegyik magyarázó idősor azonos időbélyeggel kezdődik, illetve ér véget. A komponensek számozását a legkésőbbi időponttól tekintettük, illetve feltettük, hogy az adatoknak van egy természetes periodicitása. A leírásban  $C$  jelöli a periódus hosszát, így a ciklusok száma a teljes vizsgált adatsorokban  $M = \frac{n}{C}$ .

Bevezettünk kettő,  $M$  komponensű segédvektort ( $\overline{index}_k$  és  $\overline{index}_v$ ), amelyekben az  $\bar{y}$ -nal jelölt függő változó fölémelt ablakok kezdeti és végponti indexeit tároltuk. Az  $\overline{index}_k$ , illetve  $\overline{index}_v$  vektorok első elemét az eredeti adatsor első ciklusának megfelelő  $k$ , illetve  $v$  indexű elemére állítottuk. Ezek segítségével a havi adatokból szisztematikus módon időszaki adatokat tudunk képezni, ami a gyakorlatban annyit jelenthet, hogy éves felbontás esetén  $\overline{index}_k$  rögzíti  $\bar{y}$  megfelelő januári adatainak indexeit, míg  $\overline{index}_v$  a decemberiekét. A  $t$  ( $1 \leq t \leq M$ ) indexű elemek az eredeti adatsor  $(k + (t - 1)C)$ , illetve  $(v + (t - 1)C)$  indexű elemei. A segédvektorok által kijelölt aktuális ablakot felhasználva, egy megfelelő  $TR_1$  transzformációs (pl. összegzés, átlag, minimum) függvényvel képeztünk egy  $\bar{y}_{tr,k,v}$ -vel jelölt transzformált adatsort:

$$\bar{y}_{tr,k,v} = \begin{pmatrix} TR_1(y_k; y_v) \\ TR_1(y_{k+c}; y_{v+c}) \\ \dots \\ TR_1(y_{k+(M-1)c}; y_{v+(M-1)c}) \end{pmatrix}$$

A modul másik elemeként a magyarázó  $\bar{x}_h$  ( $1 \leq h \leq H$ ) vektorokat transzformáltuk, amelyhez bevezettük az  $i$  és  $j$  egész számokat. Az  $i$  szám az időbeli eltolás mértéke, mely a 0 értéktől értelmezhető, maximális  $I$  értéke a konkrét feladattól függ. A  $j$  paraméter az ablak aktuális szélessége ( $1 \leq j \leq J$ ), továbbá  $l$  jelöli azt az aktuális időpontot, melyhez képest az eltolást végezzük. Az  $\bar{x}_{h,tr,l,i,j}$  transzformált vektor elemei az  $\bar{x}_h$  fölé helyezett ablakok adataira alkalmazott  $TR_2$  transzformáló függvénnyel álltak elő. Az ablakok pozícióját meghatározó indexek a függő változó transzformálásakor már definiált  $index_k$  és  $index_v$  segédvektorokhoz hasonló módon adhatók meg.

Bizonyos esetekben szükség lehet arra, hogy a transzformálás ne az ablak összes, hanem csak bizonyos feltételeknek megfelelő elemeit használja fel, például csak a bizonyos értéket meghaladó, azt el nem érő, vagy két határ közti értékeket. Ezt a transzformáció során alkalmazott  $F$  peremfeltétel alkalmazása teszi lehetővé.

Mindezek figyelembevételével egy transzformált  $\bar{x}_{h,tr,l,i,j}$  vektort az alábbi módon állítottunk elő:

$$\bar{x}_{tr,l,i,j} = \begin{pmatrix} TR_2(F(x_{l+i}; x_{l+i+j-1})) \\ TR_2(F(x_{l+i+c}; x_{l+i+j-1+c})) \\ \vdots \\ TR_2(F(x_{l+i+(asz-1)*c}; x_{l+i+j-1+(asz-1)*c})) \end{pmatrix},$$

ahol  $asz$  az adott paraméterezés mellett létrejött ablakok számát jelöli.

A fenti jelölések használatával a STAM elemzési fázisában széleskörű vizsgálat végezhető közvetve a magyarázó és a függő vektorokra, illetve közvetlenül az  $\bar{y}_{tr,k,v}$  és az  $\bar{x}_{h,tr,l,i,j}$  vektorok vonatkozásában. Az egyes paraméterekre az  $1 \leq k \leq v \leq C$ , illetve a  $k \leq l \leq v$  választások lehetségesek, míg az  $I$  maximális eltolás és a  $J$  maximális ablakszélesség  $C$ -nél nagyobb választása cikluson átnyúló hatások felismerésére is alkalmas. Amennyiben az eredeti adatsor nem teljes ciklust tartalmaz vagy a ciklushatárt az ablakok átlépik, a transzformált adatsorokban fellépő adatvesztésre külön figyelmet kell fordítani.

Az előállt másodlagos adatsorok átkerülnek az elemző modulba. Az adatsorok származtatása független az elemzési eljárástól, ugyanis a módszer lényegét éppen az adja, hogy a transzformációs fázisnak köszönhetően a szakmailag értelmes és lehetséges összes származtatott adatsort előállítja.

### 3.3. Elemzés

Az elemzési fázisban az eredeti és a transzformált adatsorokat vizsgálhatjuk akár a 2.1.-es bekezdésben említett, akár egyéb módszerek alkalmazásával. Az 1. ábrán az elemzésbe visszatérő nyíl azt jelképezi, hogy a 2.2.-es alfejezetben említett bootstrap, vagy más hasonló módszer alkalmazásával a vizsgálatot az eredmények stabilitásának érdekében többször is elvégezhetjük. Az elemzési fázisból a folyamat visszatérhet a második fázisba, ahol egy másik transzformálással egy új elemzési folyamat indulhat. A STAM a számszerű eredményeket mátrix szerkezetben szolgáltatja, ahol az egyes sorok az alkalmazott eltolás, az oszlopok a szélesség mértékének felelnek meg. A vizsgálati módszertől függ, hogy az egyes cellákban milyen struktúrákban tárolódnak az eredmények (regressziós együtthatók, korreláció, hiba mértéke stb.).

### 3.4. A STAM illusztrálása

Célunk a transzformációs modul működésének bemutatása havi bontású adatok esetén (magyarázó változó: csapadék; függő változó: egy egyedi fa növekedése). Hagyományos módon az egyes hónapok, illetve a szubjektív módon képzett időszaki csapadék adatok növekedésének kapcsolatát vagyunk képesek meghatározni. Az illusztráció során a származtatási fázissal, illetve a függő változó

transzformálásával nem foglalkoztunk, valamint a két adatsor közti összefüggések elemzésében az egyszerűség kedvéért lineáris korreláció-elemzést használtunk.

Példánkban a STAM alkalmazásával azt kerestük, hogy a fa júliusi növekedése ( $l = 6$ ) milyen kapcsolatot mutat a havi csapadék adatokkal. A transzformációs modul által generált másodlagos adatsorokkal minden szakmailag értelmezhető időszak vizsgálata lehetséges.

index	dátum	x=csapadék(mm)	transzformáció	$x_{tr,li,j}$
1	2010.12	23,4		
2	2010.11	15,8		
3	2010.10	15,6		
4	2010.09	32,4		
5	2010.08	17,8		
6	2010.07	23,4		
7	2010.06	12,4		
8	2010.05	15,8		
9	2010.04	25,1		
10	2010.03	27,7		
11	2010.02	23,6		
12	2010.01	16,7		
13	2009.12	43,2	TR →	$x_{tr}[1]$
14	2009.11	12,8		
15	2009.10	17,3		
16	2009.09	32,4		
17	2009.08	...		
18	2009.07	22,8		
...	...	...		
22	2009.03	21,5	TR →	$x_{tr}[2]$
...	...	...		
28	2008.09	12,2		
...	...	...		
133	2000.03	20,9	TR →	$x_{tr}[11]$
...	...	...		
136	1999.09	10		
...	...	...		
144	1999.01	18,9		

2. ábra. Ablakképzés illusztrálása

Tegyük fel, hogy adottak a  $C = 12$ ,  $I = 11$ , és  $J = 12$  paraméterek, ahol  $C$  értéke az éves ciklikusságot definiálja,  $I$  és  $J$  pedig az  $l$  kiindulóponthoz képest értelmezett maximális eltolás és ablakszélesség. Ezen paraméterezés mellett adott év júliusi növekményét maximum 2 évre visszamenőleg az ( $1 \leq j \leq J$ ) szélességű és ( $0 \leq i \leq I$ ) eltolású minden lehetséges transzformált időszaki csapadék adattal vethetjük össze.

Példaként legyen  $i = 4$  és  $j = 7$ ! Ennek megfelelően az  $\bar{x}_{tr,6,4,7}$  transzformált vektor azt jelenti, hogy a STAM a 2010. júliusi kiindulóponthoz képest 4 hónapot lép időben vissza (márciusra) és ott egy 7 hónap szélességű ablakot nyit (2. ábra), amelyben az adott év márciusa és a 2009. év szeptembere közötti csapadékadatok szerepelnek. Ezt a  $C$  ciklusváltozónak megfelelően a teljes idősorra, azaz valamennyi évre kiterjesztve álltak elő az ablakok, amelyekre az alkalmas transzformációs függvényt végrehajtva (példában összegzés) adódott az aktuális másodlagos  $\bar{x}_{tr,6,4,7}$  adatsor. Mivel az  $\bar{x}_{tr,6,4,7}$  az 1999-es növekedésre nem értelmezhető, ezért azt kivettük a növekedési adatsorból. Az így kapott két adathalmazra az elemző modulban korreláció-analízist alkalmazva adódott az eredménymátrix (4; 7) cellájában szereplő 0,85-ös érték (3. ábra). A 3. ábrán félkövér és dőlt betűvel a szignifikáns korrelációs együtthatók kerültek megjelölésre.

		j értékei											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
i értékei	0	-0,07	0,36	0,36	0,44	0,54	0,56	<b>0,67</b>	<b>0,66</b>	<b>0,74</b>	<b>0,86</b>	<b>0,82</b>	0,52
	1	0,51	0,38	0,47	0,50	0,49	0,56	0,61	<b>0,68</b>	<b>0,78</b>	<b>0,83</b>	0,56	0,45
	2	0,11	0,29	0,39	0,39	0,49	0,63	<b>0,74</b>	<b>0,80</b>	<b>0,86</b>	0,50	0,33	0,02
	3	0,24	0,33	0,40	0,48	0,63	<b>0,68</b>	<b>0,75</b>	<b>0,82</b>	0,51	0,31	-0,04	-0,10
	4	0,27	0,32	0,42	<b>0,66</b>	<b>0,73</b>	<b>0,82</b>	<b>0,85</b>	0,50	0,30	-0,07	-0,13	-0,19
	5	0,05	0,40	<b>0,71</b>	<b>0,77</b>	<b>0,70</b>	<b>0,73</b>	0,40	0,19	-0,17	-0,22	-0,29	-0,43
	6	0,40	<b>0,77</b>	<b>0,82</b>	<b>0,75</b>	<b>0,75</b>	0,42	0,21	-0,18	-0,23	-0,31	-0,45	-0,39
	7	0,60	<b>0,66</b>	0,55	0,59	0,25	0,08	-0,28	-0,31	-0,39	-0,52	-0,46	-0,50
	8	0,27	0,25	0,39	0,11	-0,06	-0,42	-0,43	-0,52	<b>-0,66</b>	-0,59	-0,63	<b>-0,68</b>
	9	0,20	0,38	0,05	-0,10	-0,45	-0,46	-0,56	<b>-0,68</b>	-0,52	<b>-0,65</b>	<b>-0,69</b>	-0,60
	10	0,39	-0,05	-0,18	-0,51	-0,53	-0,63	<b>-0,71</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,70</b>	<b>-0,71</b>	-0,62	-0,37
	11	-0,20	-0,29	-0,50	-0,50	<b>-0,69</b>	<b>-0,78</b>	<b>-0,73</b>	<b>-0,77</b>	<b>-0,77</b>	<b>-0,69</b>	-0,45	-0,42

3. ábra. Példa egy eredménytáblára

#### 4. Összegzés

A fanövekedés-klíma kapcsolatokra vonatkozó európai szakirodalom alapján az általánosan elfogadott elemzési módszereket mutattuk be. Az előtanulmányok alapján megállapítottuk, hogy a kutatásokban a szignifikáns havi környezeti paramétereket határozták meg és használták fel, valamint gyakran tapasztalatokon alapuló időszaki komponenseket is képeztek. Megállapítható, hogy a fák növekedése és az időjárási paraméterek egyértelmű feltárása az időszaki komponensek olyan teljes körű, szisztematikus előállítását és elemzését követeli meg, amellyel a késleltetett hatások is felfedhetők.

Az említett feladat megoldására egy három komponensből álló eljárást (STAM – Systematic Transformation Analysis Method) fejlesztettünk ki. A STAM magában foglalja az adott szakterület szempontjából releváns periódusok módszeres, teljes körű vizsgálatát úgy, hogy a maximális eltolás és szélesség értékek rögzítésével a konkrét értékek előzetes definiálása nélkül azok sorozatát a módszer automatikusan képezi. A rendszer .NET környezetben, C# programnyelven készül, a transzformációs modul már rendelkezésre áll. Az elemzésre jelenleg egyváltozós lineáris korreláció-analízist alkalmaz. Az eredménymátrix Excel fájlformátumban készül el.

A transzformációs modul alap gondolata hasonlóságot mutat a bemutatott evolúciós és mozgó intervallumok módszerével. Azokhoz képest azonban módot ad arra, hogy nem csak időben folytonos (megszakítás nélküli) adatsorokat elemezzünk, valamint alkalmas a magyarázó és a függő változók fölé emelt ablakok külön-külön kezelésére. A STAM a komplex rendszerek vizsgálatában többváltozós elemzésekre is lehetőséget kínál, illetve, ha az egyes magyarázó változók elé nem azonos paraméterezésű ablakokat emelünk, még összetettebb hatásokat is vizsgálhatunk.

A STAM fő előnye az egyes modulok egységbe illesztése. Ez által az elemzési folyamat a maga teljességében kezelhető és az alábbi előnyöket nyújtja:

- Különböző ciklusértékekkel a vizsgált időszakok köre (pl. pentádok, dekádok, hetek) bővíthető.
- Az elemzési modulban számtalan vizsgálati eljárás felhasználható, és azok hatékonysága és jósága könnyen összevethető.
- Javítható az elemzések stabilitása, megbízhatósága a „bootstrap” technika alkalmazásával. A technikával az elemzett adatok nem ismert eloszlásából adódó probléma is kezelhető.
- Felhasználható fanövekedési modellek építésében. Az elemzési fázisban ugyanis a modellhez szükséges attribútumokat és a hozzájuk rendelt súlyok például lépésenkénti regresszióval (stepwise regression) meghatározhatók.



## Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak Manninger Miklósnak, az Erdészeti Tudományos Intézet munkatársának a témakörben végzett kutatómunka sokirányú támogatásáért. A probléma felvetése és a módszer transzformációs moduljának a koncepciója a TÁMOP-4.2.2-08/1-2008-0020 számú projekt kapcsán jött létre, ugyanakkor a megoldás általános alkalmazhatóságának kiterjesztése módot ad arra, hogy a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0006 számú projekt keretében készülő döntéstámogató keretrendszer komponensét is alkossa.

## Hivatkozások

- Bogino, S., Nieto, M. J. F., Bravo, F. 2009. Climate Effect on Radial Growth of *Pinus sylvestris* at Its Southern and Western Distribution Limits. *Silva Fennica*. 43(4): 609–623.
- 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(6): 651–660.
- Briffa, K. R., Osborn, T. J., Schweingruber, F. H., Jones, P. D., Shiyatov, S. G., Vaganov, E. A. 2002. Tree-ring width and density data around the Northern Hemisphere: Part 1, local and regional climate signals. *The Holocene*. 12(6): 737–757.
- Büntgen, U., Frank D. C., Schmidhalter, M., Neuwirth, B., Seifert, M., Esper, J. 2006. Growth/climate response shift in a long subalpine spruce chronology. *Trees*. 20(1): 99–110.
- Cufar, K., Prislán, P., de Luis, M., Gricar, J. 2008. Tree-ring variation, wood formation and phenology of beech (*Fagus sylvatica*) from a representative site in Slovenia, SE Central Europe. *Trees*. 22(6): 749–758.
- Calama, R., Montero, G. 2005. Multilevel linear mixed model for tree diameter increment in stone pine (*Pinus pinea*): a Calibrating Approach. *Silva Fennica*. 39(1): 37–54.
- Carrer, M., Urbinati, C. 2001. Assessing climate-growth relationships: a comparative study between linear and non-linear methods. *Dendrochronologia*. 19(1): 57–65.
- Feliksik, E., Wilczynski, S. 2009. The effect of climate on tree-ring chronologies of native and nonnative tree species growing under homogenous site conditions. *Geochronometria*. 33: 49–57.
- 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.
- Lebourgeois, F., Bréda, N., Ulrich, E., Granier, A. 2005. Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Trees*. 19(4): 385–401.
- Makinen, H., Nöjd, P., Kahle, H. P., Neumann, U., Tveite, B., Mielikainen, 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(2): 173–184.
- 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.
- Martín-Benito, D., Cherubini, P., del Río, M. and Canellas, M. 2008. Growth response to climate and drought in *Pinus nigra* Arn. trees of different crown classes. *Trees*. 22(3): 363–373.
- Mátyás Cs., Berki I., Czúcz B., Gálos B., Móricz N., Rasztoivits E. 2010. Future of Beech in Southeast Europe from the Perspective of Evolutionary Ecology. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica*. 6: 91–110.
- Monty, A., Lejeune, P., Rondeux, J. 2008. Individual distance-independent girth increment model for Douglas-fir in southern Belgium. *Ecological Modelling*. 212(3-4): 472–479.
- Nagy L. 2009. Éghajlati alkalmazkodóképesség és válaszreakció előrejelzése erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) populációkon. PhD értekezés (NYME EMK)
- Novák, J., Slodíák, 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.
- Nunes, L., Tomé, J., Tomé, M. 2011. Prediction of annual tree growth and survival for thinned and unthinned even-aged maritime pine stands in Portugal from data with different time measurement intervals. *Forest Ecology and Management*. 262(8): 1491–1499.

- 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(1): 31–40.
- Parn, H. 2003. Radial growth response of Scots pine to climate under dust pollution in northeast Estonia. *Water, Air, and Soil Pollution*. 144(1–4): 343–361.
- Pichler, P., Oberhuber, W. 2007. Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003. *Forest Ecology and Management*. 242(2–3): 688–699.
- Piovesan, G., Biondi, F., Bernabei, M., Di Filippo, A., Schirone, B. 2005. Spatial and altitudinal bioclimatic zones of the Italian peninsula identified from a beech (*Fagus sylvatica* L.) tree-ring network. *Acta Oecologica*. 27(3): 197–210.
- Pukkala, T., Lahde, E., Laiho, O. 2009. Growth and yield models for uneven-sized forest stands in Finland. *Forest Ecology and Management*. 258(3): 207–216.
- Ramachandran, K. M., Tsokos C. 2009. 13-as fejezet. Empirical Methods. In *Mathematical Statistics with Applications*, 657–701. Academic Press.
- Rybníček, M., Cermák, P., Kolár, T., Premyslovská, E., Zid, T. 2009. Influence of temperatures and precipitation on radial increment of Orlické hory Mts. Spruce stands at altitudes over 800 m a.s.l.. *Journal Of Forest Science*. 55(6): 257–263.
- Somogyi Z. 2008. Recent Trends of Tree Growth in Relation to Climate Change in Hungary. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica*. 4: 17–27.
- Szabados I. 2007. Időjárás fluktuáció hatása a produkcióra dendrokronológiai kutatások alapján. In: Mátyás Cs., Vig P.(ed.): *Erdő és Klíma V.*, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 297–306.
- Szabados I. 2008. A csapadék hatása a cser évgyűrűméretére. *Erdészeti Kutatások*, Budapest. 92: 121–128.
- Tuovinen, M. 2005. Response of tree-ring width and density of *Pinus sylvestris* to climate beyond the continuous northern forest line in Finland. *Dendrochronologia*. 22(2): 83–91.
- van der Werf, G. W., Sass-Klaassen, G. W. U., Mohren, G. M. J. 2007. The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry site in the Netherlands. *Dendrochronologia*. 25(2): 103–112.
- 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(1): 24–33.