

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**ISMÉTELT FOURIER TRANSZFORMÁCIÓ ALKALMAZÁSA
A FA SŰRŰSÉG ELOSZLÁSI GÖRBÉIN**

Csóka Levente

Sopron
2007

Bevezetés és célkitűzés

A faanyag bioszintetikus termék, aminek következtében növekedésük meghatározott gén funkció és bonyolult enzimatikus reakciók szerint következik be. Ahhoz, hogy megérthessük a fa növekedését, ismernünk kell a belső folyamatok nagy halmazából minden egyes komponens, amelyek a radiális és magassági növekedésre hatással vannak (kémiai folyamatok, fizikai változások). Elfogadott tény, hogy a fák adott körülmények között, optimális kambiumi növekedésre törekednek és az őket ért hatásokat ellensúlyozni próbálják. A fák növekedését azonban erdészeti szempontból különböző tényezőkkel befolyásolni lehet.

Napjaink egyre növekvő fa-felhasználását csak akkor tudjuk fenntartani a környezetvédelmi szempontokat is figyelembe véve, ha a fakészletek különböző ültetvényekről pótoljuk. Az ültetvényes fatermesztés vágási ideje rövidebb, mint a természetes erdők éppén ezért a fatörzsön belül nagyobb arányú a juvenilis farész. A fa, kambium gyűrűje által növesztett első évgyűrű a bél közelében sajátságos tulajdonságúak. Ezekből a fiatal évgyűrűkből álló farészt juvenilis fának nevezzük, amely a juvenilis kambium növekedéséből származik. A fenyők juvenilis és érett fa részei jelentős különbségeket mutatnak a bélhez és a kéreghez közelítve, továbbá a fa csúcsa és gyökere felé is. Éppen ezért nem beszélhetünk egységes faszerkezetről egy fatörzsön belül sem. Nincs egységes faszerkezet, azaz minden faj az őt ért különböző környezeti hatásoknak megfelelő, sajátságos fejlődéssel rendelkezik.

A probléma felvetése

A fatörzs szöveti felépítéséből adódó különbségeknek a vizsgálata, több szempont szerint is fontos megismerni:

- faipari szempontból, mert lehetővé teszi a fatörzs egyes részeinek a legalkalmasabb célra való felhasználását, különös tekintettel a juvenilis és érett farészekre. Továbbá az egyes farészek elkülönítésére az idő és pénz igényes kísérleteket csökkenteni lehet a dolgozat által bemutatott módszerekkel.
- erdészeti szempontból, mivel állománynevelő eljárások, klónok nemesítése során, a célnak megfelelő szöveti felépítés kialakulását irányítani lehet és a fatermék felhasználási tulajdonságait, bizonyos körülmények között modellezni lehet erdőterületenként.

A dolgozat a japán ciprus (*Cryptomeria japonica* D. Don, japánul: sugi) fafaj e célból végzett vizsgálataival foglalkozik, olyan új módszerekkel, mint az ismételt Fourier transzformáció, autókorreláció, Hurst kitevő, Wavelet transzformáció, mely eljárásokat még nem használtak fák szöveti tulajdonságainak szétválasztására, jellemzésére. A vonatkozó szakirodalomból megismert sűrűség változás, évgyűrű szélesség, rosthosszúság és fibrilla szög eloszlás adatok alapján – eddigi tudásunk és ismeretünk szerint – egy fatörzsön belül a juvenilis és érett fa átmenet fokozatos átmenettel jellemezhető. Shiokura 1982-ben elsőként próbált kísérletet tenni arra, hogy ezt a fatörzsön belüli átmenetet a szegmentált regressziós elmélete alapján határozott pontként állapítsa meg. Őt követte Zhu, 2005-ben publikált, hasonló eredményekből levont következtetések alapján. Munkájukban azonban még nem írtak konkrét átmenetet a két említett farész között.

Az előbb említett két kutató munkája alapján és a dolgozatban bemutatott módszerek arra engednek következtetni, hogy a fák radiális növekedésében az érettségi kor jól meghatározható időben kezdődik. A fák érettségi korát nagyon nehéz pontosan definiálni, de a fizikai, kémiai, mechanikai különbségekből adódóan meghatározható egy bizonyos kor vagy évgyűrű szám, ami után ezek egyértelműen egyfajta szöveti jelleget jellemeznek.

A dolgozatban bemutatott matematikai módszerek a fatörzset egészként kezelik, nem bontják részeire, évgyűrűire szét. Az egységet megőrizve ad olyan információt a fák növekedéséről, amit korábban csak hosszadalmas mérésekkel és bonyolult berendezésekkel tudtak meghatározni.

Az erdészet és faipar talán legtöbbet kutatott területe a fák anatómiai felépítésének különbözősége fafajon és önálló egyedeken belül. Mindkét területen jelentős eredményeket értek el, amelyek segítségével az ipar számára jobb tulajdonságú fákat nevelhetünk. Mindez annak is köszönhető, hogy a fák kémiai, fizikai, mechanikai tulajdonságai jól átörökíthetők.

Az értekezés témaköréből készült publikációk

Idegen nyelvű közlemény hazai szakfolyóiratban

- 1) Csoka, L., Zhu, J., Takata, K. (2004) Application of the second order Fourier transform on the density function of sugi trees. *Faipar* 52:12-18

Idegennyelvű közlemények külföldi szakfolyóiratokban

- 2) Csoka, L., Zhu, J., Takata, K. (2005) Application of the Fourier analysis to determine the demarcation between juvenile and mature wood. *J Wood Sci* 51:309-311
- 3) Csoka, L., Divos, F., Takata, K. (2007) Utilization of Fourier transform of the absolute amplitude spectrum in wood anatomy. *Applied Mathematics and Computation* (under publishing: doi: 10.1016/j.amc.2007.03.073)

Hazai tudományos ülésen elhangzott előadás

- 4) Csóka L. Fourier transzformáció alkalmazása a fa sűrűség eloszlási görbéin
NyME-FMK, MTA-VEAB, STT 2006. Március 14. Sopron

Nemzetközi konferenciák kiadványában teljes terjedelemben megjelent előadások

- 5) Csoka, L., Zhu, J., Takata, K. Application of the second order Fourier transform on the density function of sugi trees. IWT, Akita Prefectural University, Noshiro, Japan. May 11, 2004.
- 6) Feher, S., Takata, K., Csoka, L. Variation of wood density and MOE in plus tree clones planted in different sites. 55th Annual Meeting of the Japan Wood Res. Society, Kyoto, Japan. March 16-18, 2005.
- 7) Csoka, L., Divos, F., Takata, K., Grabner, M. Evaluate the demarcation between the juvenile and mature wood with different methodologies. JSPS Japan and Hungary Research Cooperative Program/Joint Seminar. Oct. 16-19, 2006. IWT, Akita Prefectural University, Noshiro, Japan. IUFRO Unit 5.02.01 and 5.01.06
- 8) Varga, D., Takata, K., Feher, S., Kitin, P., Csoka, L. Wood density and growth ring structure in *Cryptomeria japonica*. JSPS Japan and Hungary Research Cooperative Program/Joint Seminar. Oct. 16-19, 2006. IWT, Akita Prefectural University, Noshiro, Japan. IUFRO Unit 5.02.01 and 5.01.06

A juvenilis fát különböző kémiai és fizikai vizsgálatokkal is meg lehet határozni. Fafajtól függően alacsonyabb sűrűségű, rövidebbek a tracheidák, nagyobbak a sejtüregek, a sejtjeinek vékonyabb a fala, nagyobb a másodlagos sejtfa második rétegének fibriláris szöge, érzékenyebb károsítókkal szemben, több mint 10%-kal nagyobb a lignin és hemicellulóz komponensek mennyisége és valamivel kevesebb a cellulóz tartalma, mint az érett fának. Ez a farész a bél körül helyezkedik el a törzsön belül, 5-től 25 évgyűrű szélességben, magasságban kiterjed egészen a legmagasabb csúcsig. A juvenilis fa alkalmatlan számos ipari felhasználásra és kedvezőtlen gazdasági szempontokból, eltérő mechanikai, fizikai, kémiai tulajdonságai miatt. Fűrészipari termékek szárítása során vetemedik, zsugorodik (3-5%-ot élőnedves és szárított állapota között), alacsony szilárdsági értékei vannak, nehezebben csiszolható és furnér készítés (hámozás, késelés) során kritikus tényező. Másrészt a rost- és papíriparban a juvenilis fából készült papírnak alacsonyabb a tépő szilárdsága, magasabb a szakító és repesztő szilárdsága a magasabb lignin tartalomnak köszönhetően, mint az érett fából készült papíré. Továbbá nehezebben fehéríthető a magasabb lignintartalom miatt. Hasonló feltárási körülmények között a rost hozam 25%-kal kevesebb juvenilis fából. Annak ellenére, hogy kevesebb hozam érhető el kitűnő alapanyaga a papíripari technológiáknak újságpapír, egészségügyi papír, minőségi író-, nyomópapíroknak.

Anyagok és módszerek

A kutatás első lépéseként 18 azonos fafajból származó mintát gyűjtött a szerző Japán különböző területeiről, amelyek kor szerinti megoszlásban átfogóan jellemzik ezt a fafajt. A fák kora 28 és 221 év között változik. A 28 év körüliek ültetvényekről származó klónok.

A kutatás második lépcsőjében közel 600 klón lett megvizsgálva a dolgozatban bemutatott módszerrel. 25 kiválasztott klón típust ültettek a '70-es évek elején Komenono, Takakuma, Tano és Ehime tartományokban, Japánban. Minden területen négy (X1, X2, Y1, Y2) kísérleti ültetvény volt és minden ültetvényben két azonos típusú klónt ültettek négyzethálós elrendezésben, melyben a fák egymástól 2 m-es távolságban voltak.

Fakorongokból kéregtől kéregig radiális szeletek lettek kivágva 5 mm vastagságban és 18 mm szélességben. A fakorongok a fa mellátmérőjéből származnak. A minták szabványos körülményeknek megfelelően, 20°C hőmérsékletű és 65% relatív páratartalmú kondicionáló helyiségbe kerültek 5 napra, forró vizes extrakció nélkül. A próbatestekről ezt követően Röntgen film készült, 340 másodperces besugárzási idővel. A Röntgensugárzás intenzitása 14 mA, feszültsége 17 kV volt. A próbatestek a sugárforrástól 250 cm-re helyezkedtek el. Az előhívott Röntgen filmek densitométerrel (JL Automation 3CS-PC) lettek elemezve és egy speciális szoftver segítségével sűrűség görbék készültek. A sűrűség függvény a fatest évenkénti radiális növekedését fejezi ki a távolság függvényében a beltől a kéregig. A fák növekedése az évek folyamán dinamikusnak tekinthető, de a Röntgen besugárzás során nyert filmekből a sűrűség függvények statikusan mutatják az időbeni változásokat, amit könnyebben értelmezhetünk.

A sűrűség függvények rezgésekhez való hasonlítása lehetővé teszi a **Fourier vizsgálatot**, mely során a sűrűség változásait az évgyűrűkben együttesen, hullám-természetként kezelhetjük a távolság változásában. Az eddigi kutatási eredmények nem találtak összefüggéseket az évgyűrű szélesség és a hozzá tartozó maximális sűrűség között.

A természetben lejátszódó folyamatokból származtatott fasűrűség görbék jellegzetessége, hogy gyakran nem adnak egyértelmű információt. Hagyományos módon explicit függvénnyel általában nem érdemes leírni, mert a sűrűség görbét kialakító növekedési mechanizmusban számottevő a véletlen elem. Összehasonlítva a különböző korú fák sűrűség görbéit azt tapasztaljuk, hogy ugyanaz a görbe csak igen kis valószínűséggel jön létre újból. A görbéket kialakító mechanizmusok viszont minden esetben hasonlóak, csak az adott fa egyed másképpen reagál az őt ért hatásokra. A következő matematikai elemzések (**autókorreláció** és **Hurst kitevő**) egyik alapkérdése arra vonatkozik, hogy a vizsgált sűrűség görbékben felfedezhető-e valamilyen szabályszerűség, a vizsgált jelenség függ-e korábbi értékétől, öröklődik-e valamilyen növekedési jellegzetesség, ami beépül az évgyűrű szerkezetbe, vagy pedig véletlenszerűnek mondható-e a fák növekedése. Szabályszerűség esetén az egymás után következő évgyűrű változások adatai egymáshoz hasonlóak lesznek, vagy éppen ellenkezőleg, teljesen különböznek egymástól.

Az autókorreláció azt tanulmányozza, hogy ugyanazok a változók megfelelő intervallumok eltelte után mennyire hasonlítanak egymásra. Autókorrelálatlanság esetén az egyes értékek véletlenszerűen szóródnak, a különbségek nem rajzolnak ki szabályos mintázatot. Ha egy adathalmaznak az autókorrelációjának hosszú a csillapodása (matematikailag végtelen), akkor Gauss-féle rendszerről beszélünk. A fa sűrűség görbéit stacionáriusnak tekinthetjük, hiszen a stacionárius folyamatok olyan folyamatokat jelölnek, melyek statisztikus karakterisztikái (pl. eloszlásfüggvény, gyakoriság) függetlenek attól, hogy a folyamatot mely időszakában mintavételezzük. Azért, hogy eldönthessük, hogy ezek a sűrűség görbék véletlen ingadozásúak az átlaguk körül, esetleg valamilyen háttéren, a sűrűség függvényeket autókorrelációs vizsgálatnak vettem alá. A sűrűség görbék lognormális eloszlást követnek, alul és felül jól meghatározható korláttal.

A Hurst kitevő, a fraktálokkal van közvetlen kapcsolatban, amit ott durvasági (roughness) kitevőnek is neveznek. A Hurst egyenletben szereplő H kitevő értéke 0 és 1 között változhat. Ha az adott idősorunknak a H értéke 0.5 és 1 közé esik, akkor az a függvény úgy jellemezhető, hogy tartalmaz hosszútávú-memória elemeket, tehát a fejlődés változása hasonlít önmagára a kezdetekben és végében egyaránt, habár a két pont között látszólag változatos pályát fut be.

Olyan jelenségek vizsgálatánál, melyeknél a frekvencia időben változik – mint pl. a sűrűség függvény esetében is –, időfüggő frekvencia-analízist is alkalmazhatunk. Ilyen például a **Wavelet transzformáció**, ami egy lineáris operátor. A Wavelet transzformáció továbbfejlesztett Fourier transzformáció, amely nem csak a jel frekvencia tartalmát mutatja meg, hanem azok időbeni elhelyezkedését is. Egy egyváltozós függvényt, a mi esetünkben a sűrűség függvényt, egy kétváltozós függvénné alakít, mely a függvény komponenseit adja meg, különböző felbontásban.

Az új tudományos eredmények összefoglalása

A doktori értekezésben összefoglalt kutatómunka során a juvenilis és érett fa matematikai vizsgálataival a következő új tudományos eredmények kerültek megállapításra:

- 1) Elsőként fogalmaztam meg zárt formában az abszolút amplitúdó spektrum Fourier transzformációját, a következő alakban: $\sum_j \cos(2\pi k_{0j} x) \Rightarrow \left| \sum_j e^{-i2\pi k_{0j} \ell} \right|$
- 2) Komplex, folytonos függvények esetén, az ismételt Fourier spektrumon jelentkező lokális minimum helyek olyan periódusokat jeleznek, ahol az eredeti adatsorban nincs periodicitás.
- 3) Miután igazolódott a sűrűség függvények vizsgálata során, hogy az ismételt Fourier transzformációs spektrumnak kapcsolata van az eredeti függvénnel, megállapítottam, hogy ez az eljárás egy lehetséges eszköz lehet a fa anatómiai kutatások területén.
- 4) Megállapítottam, hogy a Wavelet transzformációs elemzés meghatározó jellegű lépcsője a faipari kutatásoknak. Ezt bizonyítja, hogy a különböző korú fák esetén is lehetséges az érettségi szakasz elhatárolása a sűrűség görbék alapján.
- 5) Igazoltam az autokorrelációs vizsgálatok és a Hurst kitevő alapján, hogy a Röntgen filmes technika hiteles képet ad a fák növekedését leíró törvényszerűségekről.
- 6) Megállapítottam, hogy adott kísérleti területen, a különböző helyeken nevelt azonos klónok tulajdonságaikat megőrzik a környezeti hatások eltérő váltakozása ellenére is. Ez magyarázható a klónok azonos reakciójával az őket ért hatásokra.
- 7) Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a juvenilis és érett kor jól elkülöníthető, ellentétben az eddigi ismereteinkkel, miszerint a juvenilis kor fokozatosan fordul át érett korba.