

SOPRONI EGYETEM, ERDŐMÉRNÖKI KAR, ROTH GYULA ERDÉSZETI ÉS  
VADGAZDÁLKODÁSI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA, AZ ERDŐGZADÁLKODÁS  
BIOLÓGIAI ALAPJAI PROGRAM

# Lokális geokörnyezet alapú faállomány-szerkezeti vizsgálatok a Roth-féle szálaló erdőben

PhD értekezés

Molnár Dénes

Témavezető: Dr. habil Frank Norbert

Sopron  
2017

**LOKÁLIS GEOKÖRNYEZET ALAPÚ FAÁLLOMÁNY-SZERKEZETI  
VIZSGÁLATOK A ROTH-FÉLE SZÁLALÓ ERDŐBEN**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében  
a Soproni Egyetem, Roth Gyula Erdészeti És Vadgazdálkodási Tudományok Doktori  
Iskolája Az Erdőgazdálkodás Biológiai Alapjai programja keretében.

Írta:  
Molnár Dénes

Témavezető: Dr. Frank Norbert

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton ..... % -ot ért el,

Sopron,

.....  
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr. ....) igen /nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr. ....) igen /nem

(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr. ....) igen /nem

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Sopron,

.....  
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....  
Az EDHT elnöke

## NYILATKOZAT

Alulírott **Molnár Dénes** jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a „*Lokális geokörnyezet alapú faállomány-szerkezeti vizsgálatok a Roth-féle száraló erdőben*” című PhD értekezésem önálló munkám, az értekezés készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény szabályait, valamint a Roth Gyula Erdészeti És Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskolája Doktori Iskola által előírt, a doktori értekezés készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.<sup>1</sup>

Kijelentem továbbá, hogy az értekezés készítése során az önálló kutatómunka kitétel tekintetében témavezetőmet, illetve a programvezetőt nem tévesztettem meg.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy az értekezést nem magam készítettem, vagy az értekezéssel kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Nyugat-magyarországi Egyetem megtagadja az értekezés befogadását.

Az értekezés befogadásának megtagadása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron,

.....  
doktorjelölt

---

<sup>1</sup> 1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1) A mű részletét – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára – a cél által indokolt terjedelemben – szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást – a szerző nevével együtt – fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.



## Tartalomjegyzék

<b>KIVONAT .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>1. BEVEZETÉS .....</b>	<b>3</b>
<b>2. CÉLKITŰZÉS .....</b>	<b>5</b>
<b>3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....</b>	<b>7</b>
3.1. A FOLYAMATOS ERDŐBORÍTÁS ELVE .....	7
3.2. A FOLYAMATOS ERDŐBORÍTÁS JOGI HELYZETE MAGYARORSZÁGON.....	9
3.3. ERDŐGAZDÁLKODÁS FOLYAMATOS ERDŐBORÍTÁS MELLETT.....	11
3.4. SZÁLALÓ SZERKEZETŰ ERDŐK KIALAKÍTÁSA.....	15
3.5. A ROTH-FÉLE VONALAS SZÁLALÁS.....	20
3.6. SZÁLALÁS HAZAI BÜKKÖSÖKBEN .....	22
3.7. A BÜKK KÉREGRÁKOS MEGBETEGEDÉSE.....	23
3.8. MÉRŐSZÁMOK A FAÁLLOMÁNY TÉRBELI STRUKTÚRÁJÁNAK JELLEMZÉSÉRE.....	26
<b>4. ANYAG ÉS MÓDSZERTAN.....</b>	<b>31</b>
4.1. A SOPRONI-HEGYVIDÉK ÁLTALÁNOS JELLEMZÉSE.....	31
4.1.1. Az erdészeti táj földrajzi fekvése, domborzata és geológiai viszonyai.....	31
4.1.2. A Soproni-hegység termőhelyi jellemzése.....	32
4.1.3. A Soproni-hegység növényföldrajzi viszonyai.....	33
4.1.4. A Soproni-hegyvidék erdőgazdálkodásának múltja és jelene .....	35
4.2. A VIZSGÁLT TERÜLET BEMUTATÁSA .....	38
4.2.1. Korábbi kutatások és felmérések a Roth-féle szálaló erdőben.....	38
4.2.2. A Sopron 182 B erdőrészlet általános jellemzése .....	42
4.3. A TEREPI FELVÉTEL MENETE ÉS ESZKÖZEI.....	44
4.3.1. Az adatgyűjtés rendszere.....	45
4.3.2. A felvételezés menete.....	48
4.3.3. A felmért pontok geometriai korrekciója .....	50
4.4. AZ ADATOK STATISZTIKAI FELDOLGOZÁSA.....	51
<b>5. EREDMÉNYEK .....</b>	<b>61</b>
5.1. A SOPRON 182 B ERDŐRÉSZLET FAÁLLOMÁNY-ÖSSZETÉTELE.....	62
5.1.1. Fafaj-összetétel.....	62
5.1.2. Fafaj-eloszlás az átmérő-kategóriákban.....	66

5.1.3. Fafaj-eloszlás a magassági kategóriákban.....	67
<b>5.2. AZ ÁLLOMÁNYSZERKEZET VÁLTOZATOSSÁGÁNAK ÉRTÉKELÉSE .....</b>	<b>68</b>
5.2.1. Az állomány átmérőszerkezete .....	68
5.2.2. Az állomány magassági értékeinek eloszlása.....	69
5.2.3. Fafajdiverzitás az állomány különböző magassági tartományaiban .....	69
5.2.4. Távolság- és pozíciófüggő vizsgálatok.....	70
<b>5.3. VÁLTOZATOSSÁG VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ KITERJEDÉSŰ TERÜLETEGYSÉGEKEN ....</b>	<b>76</b>
5.3.1. Átlagátmérő ( $D_g$ ).....	77
5.3.2. Átlagmagasság ( $H_g$ ).....	78
5.3.3. Egyedszám ( $N$ ).....	79
5.3.4. Élőfakészlet ( $V$ ).....	79
5.3.5. Törzspozíciók aggregációja ( $CE$ ) .....	80
5.3.6. Átmérők különbözősége ( $T_{id}$ ).....	82
5.3.7. Magasságok különbözősége ( $T_{ih}$ ).....	83
5.3.8. Elegyedés ( $M_i$ ).....	84
5.3.9. Komplex diverzitás ( $B$ ).....	85
<b>5.4. AZ ÉLŐFAKÉSZLET VÁLTOZÁSÁNAK MÉRÉSI LEHETŐSÉGEI.....</b>	<b>87</b>
5.4.1. A mintaterület felvételezés problematikája.....	87
5.4.2. Egyváltozós fatérfogat-függvény szerkesztése.....	88
<b>5.5. TÁMADÓVONALAK KÖRNYEZETÉNEK VIZSGÁLATA .....</b>	<b>91</b>
5.5.1. Pontsűrűség-vizsgálat.....	92
5.5.2. Vonalas szerkezetesség detektálása .....	93
5.5.3. Idős faegyedek a felújítási tengelyben.....	94
<b>5.6. A KÉREGRÁK TÜNETEIT MUTATÓ BÜKK EGYEDEK VIZSGÁLATA.....</b>	<b>94</b>
5.6.1. A fertőzött egyedek térbeli mintázatának vizsgálata.....	94
5.6.2. Összefüggések keresése a fák paraméterei és a tünetek súlyossága között.....	97
<b>6. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE, KÖVETKEZTETÉSEK.....</b>	<b>102</b>
<b>7. ZÁRÓ GONDOLATOK.....</b>	<b>111</b>
<b>8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....</b>	<b>113</b>
<b>9. TÉZISEK.....</b>	<b>114</b>
<b>10. IRODALOMJEGYZÉK .....</b>	<b>117</b>
<b>11. MELLÉKLETEK.....</b>	<b>133</b>

## Kivonat

A dolgozat a vegyeskorú erdők kialakításának legrégebbi hazai kísérleti területén, a Roth-féle száraló erdőben végzett részletes faállomány-felvétel alapján keres összefüggéseket a strukturált szerkezetű bükkös állományok mennyiségi és minőségi paramétereinek térbeli eloszlásában. Az állomány vizsgálata törzspozíciótól független és törzspozíciótól függő állományszerkezeti mutatók bemutatásával történt, érintve a differenciálódás előrehaladott stádiumának különböző területi léptékű elemzésén felül a kísérletet közvetlenül érintő problémákat is (élőfakészlet nyomon követése, száralóegységek szerkezetének megléte, bükk kéregrákkal fertőzött góccok az állományban).

Az egyszeri felvétel állapotvizsgálatot tett lehetővé, melynek alapján a Roth-féle vonalas-csoportos száralás módszere vegyeskorú faállomány-szerkezet kialakítására alkalmasnak bizonyult. A rendszeres fahasználatok elmaradása miatt a száraló egységek vonalas szerkezete csak részben alakult ki, de az átmérőszerkezet és a törzsek elhelyezkedése – erdőrészlet szinten – a száraló erdők jellegzetességeit hordozza. Egyes fafajok a területen természetes úton nem újulnak, az átalakítási folyamatban az elegyfajok arányának további csökkenése prognosztizálható. A szomszédos egyedek magassági és átmérő értékeinek különbözőségét, a fafajok elegyedését, törzspozíciók aggregációját nézve a terület faállományát változatos, differenciálódó és homogén szerkezetű részegységek mozaikja alkotja, amelyet a kevésbé változatos területrészek túlsúlya jellemez. A bükk *Neonectria*-fertőzése a kísérlet jövőjét veszélyezteti, a beteg törzsek gócpontokat alkotnak. A tünetek súlyossága összefüggésben áll a faegyedek méretével és szociális helyzetével.

Az 1937 óta futó kutatás történetében először került sor egyes fák pozícióinak bemérésére, a felmérési hálózat állandósításával lehetőség nyílt a terület egységesített, rendszeres felvételére, melynek alapján a szerkezeti változások is nyomon követhetők lesznek. A hat fafajra szerkesztett helyi egyváltozós fatérfogat-függvények a kísérleti területen felül a Soproni-hegység hasonló fatermésű átalakító és száraló üzemmódú bükköseiben is alkalmazhatók lehetnek.

---

## Abstract

### Spatial data-based analysis of stand structure in the Roth Selection Forest

The research was focused on exploring the structural complexity and spatial patterns of stand structure in the Roth Selection Forest, which is the oldest ongoing experiment on transition to uneven-aged stand structure in Hungary. 3424 trees reaching 15 cm breast height diameter were mapped on a 16.8 hectare area and a local one-variable volume function was created based on the measured trees. Both tree size distribution and neighbourhood-based variables were evaluated. Despite the whole stand showed similarity to the theoretical models of selection forests, the analysis on different spatial scales revealed that structural heterogeneity varied with subplot size. The linear structure of Roth's regularized selection method was hard to identify in the area. The stand was highly affected by beech bark disease, infected trees clustered into hot spots.



## 1. Bevezetés

„... Kárpátoknak  
Fenyvesekkel vadregényes tája!”

*Petőfi Sándor: Az Alföld*

A „vadregényes” szó hallatán elsőként sokaknak egy mesébe illő szépségű erdő jut eszébe a maga kiismerhetetlenségével és változatosságával, a benne csörgedező patakkaival, kesze-kusza aljnövényzetével, állatvilágával és vadcsapásaival. Amíg egy asztalterítő mintázata, vagy egy panelház építőelemei könnyen felismerhetők, addig az erdőben nehezebb meglátni a szerkezet törvényszerűségeit. A biológiában a struktúra általában nyitott, és folyamatos változásban van. Egy sejtípus alkotóelemei, vagy egy vonuló halraj jellegzetes formákat alkotnak; míg előbbi megfigyeléséhez az ember számára nagyításra van szükség, utóbbi szabad szemmel is tanulmányozható. Mindezzel szemben egy kiterjedt erdőterületen a megfigyelő ember olyan kicsinek számít, hogy egy pontból a faállománynak csak igen kis szeletét tudja vizsgálni. Az erdőt bejárva, több ponton megállva összegződik az a tapasztalat, amelynek alapján a területről átfogó kép alkotható.

A faállomány az erdőnek csak egy – bár igen meghatározó – alkotóeleme, lehatárolt területen lévő faegyedek összessége. Ezek a faegyedek növekednek, szaporodnak, majd elhalnak. Tér- és időbeni megjelenésük nem teljesen véletlenszerű, hanem az erdő önorganizációjának következménye. A faegyedek alaki tulajdonságait, fejlődését genetikájuk mellett múltbéli események, termőhelyi viszonyok és más élő szervezetekkel való interakcióik határozzák meg.

A természet részleges meghódításával az ember az erdőket első között állította szolgálatába. Megbolygatva önszabályozó mechanizmusukat, különböző struktúrájú faállományokat hozott létre: rendszerint olyanokat, amelyek a természetben korábban nem léteztek. Európában az erdőgazdálkodás jellemzően olyan erdőterületeket érint, amelyeket az ember már jelentősen átalakított, és jelenleg gazdasági, védelmi, valamint közjóléti céllal hasznosít. Egyes fafajok egymástól jelentősen eltérő ökológiai igényekkel rendelkeznek, adott területen és szerkezeti összetételben az erdő hármaskörének igényét különböző mértékben képesek kielégíteni.

A tartamos gazdálkodáshoz, a természeti értékek megőrzéséhez, az erdő szerkezetében bekövetkező változások felismeréséhez elengedhetetlen az erdők felmérése, térképezése. Magyarországon királyi oklevelekben találkozunk először a birtokhatárok leírásával, fahasználat szabályozására vonatkozó intézkedést pedig legkorábról Luxemburgi Zsigmond 1426-ból származó rendeletében találunk (Németh 1998). Jelentős fordulópontra volt Mária Terézia 1770-ben magyar nyelven is kiadott erdőrendtartása, amely előírta, hogy az erdőterületek lehetőség szerint „*a' Geométria, vagy a' földmérésnek tudománya, vagy a' lépéseknek számok vagy pedig más egyéb hasonló mód szerint megmértessenek*”. Ezen felül a szabad királyi városok számára kötelezővé tette az erdők fatömegének felmérését, a fahasználat és erdőfelújítás szabályozását. Az 1800-as évekre az erdőgazdálkodás rohamosan fejlődő tudománnyá nőtte ki magát, újonnan feltalált famérő eszközök pontosították az erdőállomány becslését, az erdőrendezés komoly műszaki háttérre tett szert. Ennek a folyamatnak köszönhető az 1879-es első polgári erdőtörvény kihirdetése, amely hazánkban az üzemterv szerinti erdőgazdálkodás kezdetét jelentette. Ez a rendszer alapjaiban a mindenkori elvárásokhoz idomulva mindmáig fennmaradt, azonban az elmúlt évszázadban jelentős fejlődésen ment át mind módszereit, mind műszaki eszközeit tekintve. A számítástechnika az 1970-es évek eleje óta az erdészeti nyilvántartás elengedhetetlen része lett, az országos erdőállomány adattárát 1976-tól évente aktualizálják. Napjainkban az Erdészeti Szakigazgatási Információs Rendszer (ESZIR) tartalmazza az erdőrészek leíró adatait, amelyek a tervszerű gazdálkodás elengedhetetlen kellékei.

Az erdész szakma információigénye messze túlmutat a birtokhatárok és erdőállományok fő paramétereinek ismeretén, a gazdálkodói oldal mellett jelentős szerephez jut a kutatás is. Erdészeti kísérleteink rendszerint olyan felméréseken alapulnak, amelyek esetében elkerülhetetlen a precizitás és a kiterjedt mintavétel. Jelen munka tárgya hazánk legrégebbi erdészeti kísérleteinek egyike, amelyben Roth Gyula 1937-ben kezdte meg saját erdőfelújítási módszerének alkalmazását, vegyeskorú állományszerkezet kialakítását. A dolgozat a területen végzett teljes törzsfelvételt felhasználva értékeli a faállomány-szerkezet átalakulásának jelenlegi stádiumát, georeferált adatok segítségével törvényszerűségeket keres a vizsgált faállomány horizontális és vertikális struktúrájában, vizsgálja az átalakítási kísérlet sikeres kimenetelét veszélyeztető *Neonectria*-fertőzés térbeli megjelenését.

## 2. Célkitűzés

Az erdő faegyedeinek életkora általában messze meghaladja a benne szellemi és fizikai feladatokat ellátó szakemberek munkaéveinek számát. A nagy területi kiterjedés, a térben és időben jelentősen változó termőhelyi viszonyok, a hosszú időtávlat rendkívül megnehezíti a fák és faállományok növekedésével, erdőnevelésével kapcsolatos egzakt ismeretek megszerzését. Ahhoz, hogy az erdőgazdálkodás során döntéseinket mért adatokkal alátámasztott ismeretek birtokában hozzassuk meg, jól beállított, hosszú lejáratú kísérletekre van szükség.

Vadas Jenő az Erdészeti Lapok hasábjain 1893-ban megtette az első lépéseket a hazai erdészeti kísérletügy megszervezésére. A cikk megjelenése óta eltelt több mint 120 évben hosszú lejáratú kísérleteknek köszönhetően a hazánkra vonatkozatható erdőművelési és faterméstani ismeretanyag jelentősen bővült, a gyakorlati erdőgazdálkodást is szolgálva. A korábbi kísérleti eredmények jellemzően egykorú faállományok vizsgálatára terjedtek ki, napjainkban azonban egyre nagyobb teret hódít magának a folyamatos erdőborítást biztosító erdőgazdálkodás, amely körültekintő szakmai hozzáállást igényel, de kevés hazai tapasztalattal rendelkezik.

A folyamatos erdőborítás témaköréhez köthető legrégebbi hazai kísérleti terület a Roth Gyula által Sopron közelében létesített hidegvíz-völgyi kísérleti erdő, amely Doktori Iskolánk névadójának kombinált vonalas-csoportos száralását hivatott a gyakorlatban vizsgálni és bemutatni. A kísérlet elmúlt nyolc évtizedében a faállomány szerkezetének változását egymástól eltérő felvételi módszerekkel követték, így a korábbi eredmények számszerűen nehezen összevethetőek.

Jelen dolgozat megírását a kísérleti erdő részletes faállomány-felvétele előzte meg, amelynek elsődleges célja a területen folyó tudományos munka felélesztése és a szerkezeti változások monitoringozására alkalmas felvételi módszer kidolgozása volt. További célként fogalmazódott meg ok-okozati összefüggések feltárása a differenciált állományszerkezet és egyes faegyedek mennyiségi és minőségi tulajdonságai között, kitérve a kísérleti területen gyakori bükk kéregrák tüneti megjelenésének térbeli vizsgálatára és a vonalas-csoportos száralás geodatbázis alapú elemzésére.

Felvetések és megválaszolandó kérdések:

- Az időben hosszan elnyújtott erdőfelújítás 1937-ben vette kezdetét a területen. Feltételezhető, hogy az eredetileg egykorú állomány mára erősen differenciált szerkezetet mutat mind horizontális, mind vertikális struktúrájában.
  - Milyen területi léptékben figyelhető meg egy hazai, elegyes szubmontán bükkösben a változatos állományszerkezet nyolc évtized alacsony erélyű szálaló (időszakonként szálalóvágásos) fahasználatát követően?
  - Megfigyelhetők-e homogén struktúrát mutató területegységek a vizsgált állomány felújítással érintett területén?
- Feltételezhető, hogy a Roth-féle vonalas szálalás elvei alapján végzett erdőfelújítás az állományban vonalas kiterjedésű korcsoportok megjelenését segítette.
  - Felismerhető-e az 1937-ben kijelölt szálalóegységek térbeli rendezettsége a törzspozíciók eloszlása alapján?
- A faállomány térbeli struktúráját értékelő indexek használata igen elterjedt a külföldi kutatói gyakorlatban.
  - Felismerhetők-e alkalmazhatósági korlátok a dolgozatban bemutatott indexek esetében?
- A Hidegvíz-völgyi kísérleti erdőre Palotay István (1965) fatömeg-tarifát készített.
  - Alkalmazható-e ma is a több mint fél évszázados tarifa a fakészlet nyomon követésére, vagy szükséges más módszer a visszatérő felvételezésekhez?
- Feltételezhető, hogy az erdőállomány bükk kéregrák által fertőzött egyedei gócokat alkotnak, és a bükk kéregrákos megbetegedése függ az alaki tulajdonságtól, az állományban betöltött szereptől.
  - Vannak-e egészséges egyedek ezeken a területrészeken, illetve milyen mértékű a kéregrák tüneteit mutató bükkfák aggregációja?
  - Melyek azok a mutatók, amelyek alapján felismerhető valamilyen tendencia a betegség súlyosbodásában?

### 3. Irodalmi áttekintés

Az irodalmi áttekintés a folyamatos erdőborítás melletti erdőgazdálkodás általános ismertetésén felül kitér a szálaló szerkezetű erdők létrehozására és szerkezeti elemzésére vonatkozó témakörökre is. A dolgozat témájának megfelelően bemutatásra kerül Roth Gyula vonalas szálalása, valamint a bükk szálaló gazdálkodásban betöltött szerepe és a fafaj kéregrákos megbetegedése.

#### 3.1. A folyamatos erdőborítás elve

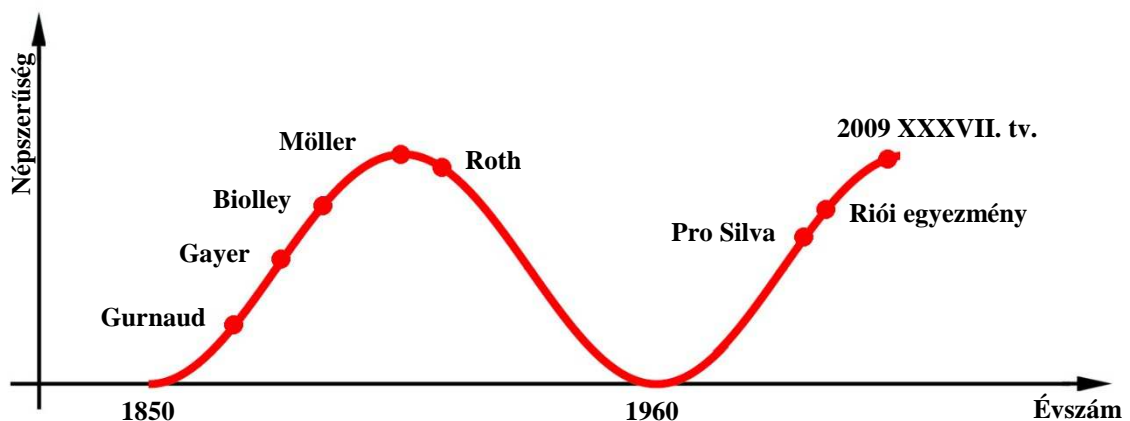
A folyamatos erdőborítást biztosító erdőgazdálkodás gondolata nem új keletű, hagyománya a XIX. századra nyúlik vissza. Az erdészettudomány számos definíciót és kitézelt alkotott rá, ezek közül mutatok be néhányat.

1. Egybefüggő erdő az, amelyet olyan módon kezelnek, hogy a talaj sosem válik fedetlenné, és az erdő borítása minden területen időben folyamatosan fenntartott (Troup 1927).
2. A folyamatos erdőborítás az erdészeti üzemmódoknak olyan jellegű használata, ahol a 0,25 hektárnál nagyobb tarvágásokat mellőzik, és egy vagy több lombkoronaszint állandó jelleggel fenntartott (Mason és mtsai 1999).
3. A folyamatos erdőborítás egy rendszer, amely a kis területű használatoktól a szálalásig azokat a kezeléseket foglalja magába, amelyek kerülnek a nagyobb területű végvágások létrehozását (Gadow 2005).
4. A folyamatos erdőborítás „olyan állapot, amikor a többkorú erdőállomány folyamatosan, egyenletesen borítja az erdő talaját és az erdő megújulása, felújítása az erdőállomány védelmében, véghasználati terület nélkül történik, az erdő tájképi megjelenése nem változik” (2009. évi XXXVII. törvény).
5. Ha az erdő fogalmának kritériumai „az erdő művelése során állandóan fennállnak, akkor a terület erdőborítása folyamatosnak tekinthető” (Kolozsár 2010).

Ezek a definíciók nem térnek ki a kezelési módokra, közös jellemzőjük, hogy a vágásterületek kialakításának mellőzését tartják a folyamatos erdőborítás legkielégítőbb feltételének.

A folyamatos erdőborítás laikusok számára nehézkesen definiálható fogalom, napjainkban – a korábbi meghatározás mellett – megjelent a német szakirodalomból már régről ismert örökerdő (*Dauerwald*) kifejezés is, amely előbbinél jóval hangzatosabb, a társadalom számára befogadhatóbb. Az örökerdő eszméje Alfred Möller német főerdőmestertől származik (Krutzsch 1999), állandó erdőborítottságot jelent a fahasználat módjának egyértelmű meghatározása nélkül.

A természetközeli erdőgazdálkodás és a folyamatos erdőborítás népszerűsége változó volt az elmúlt másfél évszázad erdőgazdálkodásában (1. ábra) (O’Hara 2002, Pommerening és Murphy 2004). A vágásterület nélküli (folyamatos erdőborítást biztosító) szálaló erdőgazdálkodás korai iskolája Európából ered, és a XIX-XX. század fordulójára datálható. Az 1900-as évek elejére már Franciaország, Svájc, Szlovénia, Németország és Ausztria egyes területein a gyakorlatban is kiterjedten alkalmazták (Pommerening és Murphy 2004). A francia szaknyelvben „*jardinage*”, német nyelvterületen „*Plenterwald*”-ként került a köztudatba (Puettmann és mtsai 2009), bevezetése mögött jelentős szakmai támogatás állt.



1. ábra: A folyamatos erdőborítás népszerűsége Európában  
(Pommerening és Murphy 2004 után)

A két világháború közti időszakban a szálalás folyamatosan veszített népszerűségéből, a jobban tervezhető korosztályos erdők kerültek előtérbe, és évtizedekig meghatározták az erdészeti politika irányvonalát (Roth 1938, Hann és Bare 1979, Reininger 2010).

A XX. század utolsó évtizedeiben az erdészetpolitikai folyamatok ismét paradigmaváltást hoztak. A riói Környezet és Fejlődés Konferencia, az Európai Erdők Védelme Miniszteri Konferenciái, az Európai Unió Erdészeti Stratégiája, a Pro Silva mozgalom mind-mind nyomást gyakoroltak az európai erdőgazdálkodás irányelveire (Kerr 1999). A fenntarthatóság központi szerepet kapott (Szaro és mtsai 2000, Iftekhar 2005, Cubbage és mtsai 2007), gazdasági vonatkozása mellett kiegészült a változó környezeti tényezőkhöz való alkalmazkodás (Diaci és mtsai 2011, Rist és Moen 2013), valamint a természetesség megőrzésének és a biodiverzitás fejlesztésének igényével (Bartha és mtsai 2006, Schütz 2011, Vitková és mtsai 2013). Az előtérbe került ökológiai eszmék megjelentek az erdőtörvényekben és az erdőgazdálkodás szakmai gyakorlatában is (Benecke 1996, Lähde és mtsai 1999b, Gamborg és Larsen 2003, Johann 2006, Larsen és Nielsen 2007, Lett és mtsai 2016).

### **3.2. A folyamatos erdőborítás jogi helyzete Magyarországon**

Hazánkban a Nemzeti Erdőstratégia adja meg az erdőgazdálkodás irányelveit, amelyekhez elsősorban a 2009. évi XXXVII. törvény és a 153/2009. (XI. 13.) FVM rendelet biztosítja a jogi hátteret. Az aktuális erdőtörvény alapelvei a fenntartható erdőgazdálkodás eszméje köré rendeződnek, kiemelt figyelmet szentelve a biológiai sokféleség, természetesség megőrzésének, a társadalmi igényeknek. A folyamatos erdőborítás fogalma 2009 előtt nem szerepelt egyetlen erdőtörvényünkben sem, de az 1996. évi LIV. törvény már megemlíti a szálalást mint fakitermelési módot, amely folyamatos borítottságot és készletgondozást biztosít.

Egy erdőrésztlet esetében az üzemmód határozza meg az alkalmazható erdőfelújítási eljárásokat és a fakitermelés módját. Az üzemmód lehet<sup>1</sup>:

- vágásos: az erdőben a véghasználatok rendszeres ciklikussággal követik egymást;
- szálaló: felújítási kötelezettséget keletkeztető véghasználati fakitermelés nem történik, a faállomány fakészlete a szálalási tervben foglaltaknak megfelelően alakul,

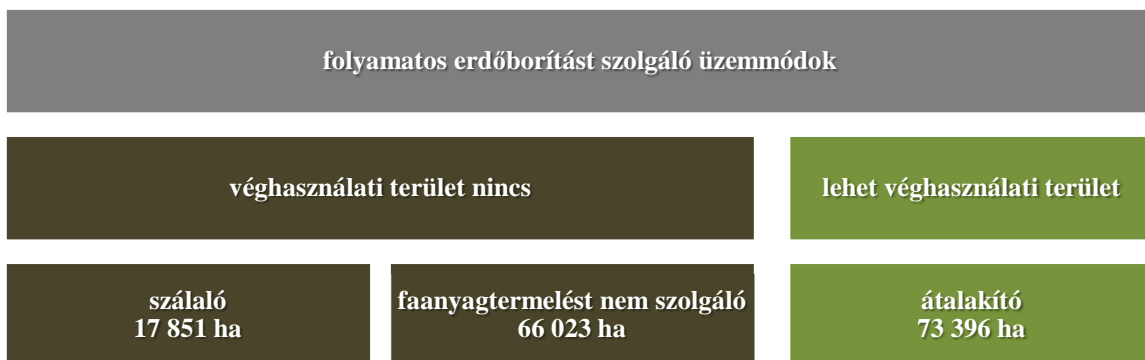
---

<sup>1</sup> 2009. évi XXXVII. törvény szerint

és a faállomány összetétele, kor- és térbeli szerkezete változatos, és ezzel a folyamatos erdőborítást szolgálja;

- átalakító: a fő szakmai cél a vágásos üzemmódról a szálaló üzemmódra való áttérés, ezért minden erdőművelési tevékenységnek és fakitermelési módnak az átalakítást, a folyamatos erdőborításra való átállást kell szolgálnia;
- faanyagtermelést nem szolgáló: az erdőben fakitermelés legfeljebb kísérleti, erdővédelmi vagy erdőfelújítási céllal folytatható, mivel ott a természeti folyamatok szabad érvényesülése a cél, ami a folyamatos erdőborítást szolgálja.

A folyamatos erdőborítás nem egy üzemmód, de magában foglalja azokat az üzemmódokat, amelyek kritériumiat biztosítják (Helliwell 1997). Szálaló és faanyagtermelést nem szolgáló üzemmódokban véghasználati fakitermelés nem történik, ezáltal a folyamatos erdőborítást eredendően biztosítják. Átalakító üzemmódban lévő erdőrészekben ezzel szemben keletkezhet véghasználati terület és felújítási kötelezettség; ez az üzemmód csak egy átmenet, amely a folyamatos erdőborítást segíti elő, de nem mindig biztosítja (2. ábra).



2. ábra: A folyamatos erdőborítást szolgáló üzemmódok megoszlása Magyarországon<sup>2</sup>

Állami tulajdonú, védelmi és közjóléti rendeltetésű, legalább származék természetességű erdőterületen az erdőtörvény a folyamatos erdőborítást biztosító üzemmódok növelését írja elő három erdőtervi ciklus alatt 1/3 területarányig. Az üzemmód megváltoztatását az erdőgazdálkodó kérelmezheti és az erdészeti hatóság engedélyezi.

<sup>2</sup> Miniszteri tájékoztató Magyarország erdőállományának 2015. évi helyzetéről, állapotáról (2016. január 1-i állapot)



Megfelelő mennyiségű gyakorlati tapasztalat és kutatási eredmény hiányában számos terepi szakember bizalmatlanná vált erdészeti politikánk változó irányvonalával szemben (Folcz és mtsai 2014). Tovább árnyalja a helyzetet, hogy az erdőtörvény szerint az átalakító és szálaló üzemmódban kezelt erdőkre átalakítási vagy szálalási tervet kell készíteni, de az erre vonatkozó végrehajtási rendelet még mostanáig sem született meg. Hogy a törvényi kötelezettségeknek a gazdálkodók magasabb szakmai színvonalon tudjanak eleget tenni, a folyamatos erdőborítást biztosító gazdálkodásban rejlő lehetőségek és nehézségek az erdészeti kutatások központi témájává váltak. Az erdők közjóléti célú védelmét és bővítését szolgáló feladatok ellátásának de minimis támogatása, a „Silva naturalis – A folyamatos erdőborítás megvalósításának ökológiai, konzervációbiológiai, közjóléti és természetvédelmi szempontú vizsgálata” program, valamint az erdészeti szaksajtó segítségével a témában szerzett hazai tapasztalatok szabadon elérhetővé váltak.

### **3.3. Erdőgazdálkodás folyamatos erdőborítás mellett**

Folyamatos erdőborítás melletti erdőgazdálkodás alatt olyan erdőkezelést értünk, ahol ugyan nem keletkezik vágásterület, mégis van haszoncélú fakitermelés. Ez úgy valósítható meg, ha az egy műveletben kitermelt faegyedek területi koncentrációja alacsony. Hazánkban a véghasználati terület nélküli faanyagtermelést a szálaló üzemmódban való gazdálkodás teszi lehetővé. A szálaló üzemmód alkalmazásának nem feltétele a vegyeskorú szálaló erdő, de annak kialakítására törekszik.

„A szálalóerdő természetes újulatból származó, elsősorban őshonos, a termőhelyre jellemző erdőtársulás fajaiból álló, elegyes, vegyes korú, vegyes méretű erdő (szálanként vagy csoportokban), melynek sajátos szerkezete (szálaló-szerkezet, kiscsoportos szerkezet) a természet teremtő erejének hatékony felhasználásával fenntartja az állandó erdőborítást, a folyamatos természetes felújulást és biztosítja az állandó vastagfa hozamot” (Erdőrendezési útmutató 2004).

A szálaló erdőalakot rendszerint ökológiai és társadalmi szempontból, de gyakran a faanyagnyerés szempontjából is előnyösnek tartják. A differenciált struktúrájú szálaló erdő erdőművelési, erdővédelmi, erdőrendezési, talajtani, fahasználati, természetvédelmi és vadgazdálkodási vonatkozásaiban is jelentősen különbözik a korosztályos erdőtől, ami jelentősen meghatározza a benne való gazdálkodás lehetőségeit.

Erdőművelési szempontból az örökerdő-elvek szerinti gazdálkodás során gyakran említett vezérelvek között szerepel a természetes erdőben, őserdőben lejátszódó folyamatok utánzása (Runkle 1982, Coates és Burton 1997, Mitchell és mtsai 2002, Hix és mtsai 2011), amelynek hatása bár hasonló, mégsem azonos a természetes erdődinamikával (Orwig és Abrams 1999). A lékdinamika, a természetes felújítás, a diverz struktúra megkívánja a jó terepismeretet és rendszeres bejárást a gazdálkodó szakemberektől. Az erdő nevelése kiemelt faegyedek megsegítése és az állományszerkezet fenntartása érdekében történik. Az újulat megjelenéséhez és fennmaradásához az állomány bizonyos mértékű (csoportos vagy szálankénti) megbontására van szükség (Webster és Lorimer 2005), melynek mértéke meghatározza a felújulni képes fafajok spektrumát (Poznanovic és mtsai 2014), a főállomány jövőbeni növekedését (Liu és mtsai 2014). Több kutatás hívja fel a figyelmet arra, hogy a többé-kevésbé zárt állományban végzett felújítás negatív hatással van a fajszámra, a ritkább elegyfajok visszaszorulását idézheti elő (Spiecker 2009, Clark és Covey 2012). Az elegyesség gazdaságosan csak olyan változatos termőhelyű területeken tartható fenn, ahol a gyengébb kompetitív képességgel rendelkező fafajok egyedei gyakori megsegítés nélkül is képesek fennmaradni (Schütz 1999, Kern és mtsai 2015). A faállomány fejlődése egy homogenizálódó egyensúlyi állapot felé tart, ezért a strukturált erdőalak csak rendszeres beavatkozásokkal tartható fenn (Schütz 1999). A vertikális differenciálódás következtében egyes fafajok fattyúhajtásodása a törzsmínőséget, a terebélyes korona fejlesztése pedig a felújulás esélyeit, a növtér megfelelő arányú kihasználtságát ronthatja (Schütz 2002).

Szálaló szerkezetű erdőben egyes faállomány-szerkezeti jellemzők (kor, átlagmagasság, átlagos mellmagassági átmérő) értelmüket veszítik, a korosztályos erdők hozamszabályozásában vizsgált paraméterek egy erdőrészleten belül jelentkeznek. Mivel szálaló szerkezetű erdőben időszakonként a korszaki növedéknek megfelelő famennyiség termelhető ki, a korosztályos erdők becslési eljárásai csak korlátozottan használhatók. Vegyeskorú erdők leírásának alapja a vastagsági osztály (Czirok és Siffer 2013). Szálaló erdők élőfakészletének követésére ellenőrző eljárást elsőként Gurnaude (1886) és Biolley (1897) fejlesztett ki, hazánkban Palotay (1965) készített először fatömeg-tarifákat. Kolozs és Veperdi (2012) FNM mintafák felhasználásával (Kolozs és mtsai 2009) számos fafaj és fafajcsoport egyváltozós fatérfogat-függvény paramétereinek kiszámítását végezték el a hazai erdészeti nagytájakra. Egyes szerzők szerint a koncentrikus körös mintavételi eljárások tovább csökkenthetik a terepi munkát (Davies és mtsai 2008, Hočevar és Hladnik 2009),

azonban hazai kutatók inkább az állandó sugarú mintakörök használatát javasolják (Veperdi 2010). A jövőben a terepen elvégzett becslés mellett a szimulációs eljárások (Peng 2000, Pukkala és mtsai 2009) és a távérzékelés módszereivel végrehajtott becslési módszerek (Seidel és mtsai 2011, Kristóf és mtsai 2013) terjedése várható.

Szálalás során a fahasználati munkákat zárt állományban végzik, a megmaradó faegyedek és újulatscsoportok kímélete elsődleges szempont. Ehhez az előközelítés távolságainak minimalizálására és jó feltártságra van szükség. Egy időben történik az állománynevelés, és – gyakran – a célátmérőt elért faegyedek kitermelése (Abetz és Klädtke 2002) is. A megmaradó faegyedek törzssérülései elsősorban nem a döntés, hanem a közelítés során keletkeznek (Vasiliauskas 2001, Tavankar és mtsai 2013). Az emelve közelítő eszközök, lovas közelítés alkalmazása (Malatinszky és Ficsor 2016) a szálaló fahasználatot kíméletesebbé, a ritkább visszatérés (legfeljebb 5 év) hatékonyabbá teszi (Bodonczai és mtsai 2006).

A természetes felújulás genetikai változatossága elősegíti a környezethez való adaptációt (Borovics 2010). Az elegyesség, a vegyeskorúság és a differenciált struktúra az erdőt ellenállóbbá teszik a biotikus és abiotikus károkkal (Nyland 2003, Csóka 2013, Lafond és mtsai 2017), valamint a klímaváltozás hatásaival szemben (Stokes és Kerr 2009, Milad és mtsai 2011, D'Amato és mtsai 2011). A kisebb léptékű bolygatások kevésbé sértik a faegyedek között létrejött mikorrhizás kapcsolatokat (Beiler és mtsai 2010), a változatos mikroélőhelyek, az erdőben hagyandó holtfa olyan élőlényeknek biztosítanak életfeltételeket, amelyek az erdő immunrendszerét javítják (Csóka 2013).

Ha a természet védelméről szóló 1996. évi LIII. törvény fahasználati korlátozásaira gondolunk, egyértelmű, hogy a természetvédelem számára kedvező a vágásterület minimalizálása, a szálalásos erdőgazdálkodási mód. A folyamatos erdőborítás fenntartása védelem az élőhelyek időszakos fragmentációjával szemben (Saunders és mtsai 1991), a kisebb területű záródáshiány nem kedvez a gyomok megjelenésének, viszont lehetővé teszi olyan fajok megmaradását, amelyek nagyobb mérvű bolygatást nem tűrnének el (Molnár és mtsai 2014). A természetesség kritériumainak is a differenciált struktúra felel meg (Bartha és mtsai 2006), a változatos élőhely több faj élőhely-igényének kielégítésére képes.

A szálalás alapeleme a magról történő természetes felújítás, amely csak olyan faállományokban végezhető, amelyek megfelelő mennyiségű magot teremnek, és bennük a magok csírázásának és az újulat megmaradásának feltételei is biztosítottak (Majer 1982). A vaddisznó a makk felszedésével, a csemeték kitűrésével, a szarvas és az őz a rügyek és hajtások fogyasztásával – magas vadlétszám mellett – megnehezíti a természetes felújítást. További problémát okoz, hogy táplálékhiány esetén a szarvas és az őz szelektív táplálkozást folytat (Náhlík és Tari 2006), ami az újulati szint fajszegénységét okozhatja (Varga 2000, White 2012). A már egyszer lerágott egyedek fokozottan kitettek egy újabb károsításnak (Moore és mtsai 2000), amely mortalitáshoz, minőségi romláshoz, korlátolt növekedéshez vezet. A vad kerítéssel ugyan kizárható, de a kisméretű felújítási csoportok üzemi léptékű körbekerítése mind szakmai, mind gazdasági szempontból ésszerűtlen lenne. Náhlík és munkatársai (2014) rámutatnak, hogy nagyobb kiterjedésű szálaló erdőben a vad eloszlása sokkal egyenletesebb lesz, mint vágásos üzemmód esetén, ez azonban megnehezíti a vadállomány hasznosítását.

A szálaló és korosztályos erdőben való gazdálkodás ökonómiai összehasonlítására empirikus és modellező eljárások léteznek, általában a folyamatos erdőborítás melletti erdőgazdálkodást hozzák ki jövedelmezőbbnek (Hanewinkel 2002). Mivel az összfatermés számottevően nem különbözik a két gazdálkodási mód között, a megtermelt faanyag értéke és a fakitermelési költségek határozzák meg a gazdaságosságban tapasztalható eltéréseket. Általában a szálalás előnyére írják az alacsonyabb erdőfelújítási költségeket, a folyamatos faanyagnyerést, az ápolások költségmegtakarítását és a magasabb értékű faanyag kitermelését (Bodonczi és mtsai 2006); hátrányai között egyes szegélyen álló faegyedek minőségromlása (Macdonald és mtsai 2010), a magasabb fakitermelési költségek, a gyakori visszatérés miatt valószínűbb törzssérülések és a sűrű közelítőnyom-hálózat kiépítésének kényszere említhetők meg. Hazai körülmények között Schiberna és munkatársai (2012), valamint Csépanyi (2013) foglalkoztak részletesen a folyamatos erdőborítás ökonómiai értékelésével, azonban megfelelő hazai referenciaterület (szálaló szerkezetű erdőtümb) hiányában csak óvatos következtetésekkel támasztják alá az örökerdő-elvek szerinti gazdálkodás ökonómiai előnyeit.

### 3.4. Szálaló szerkezetű erdők kialakítása

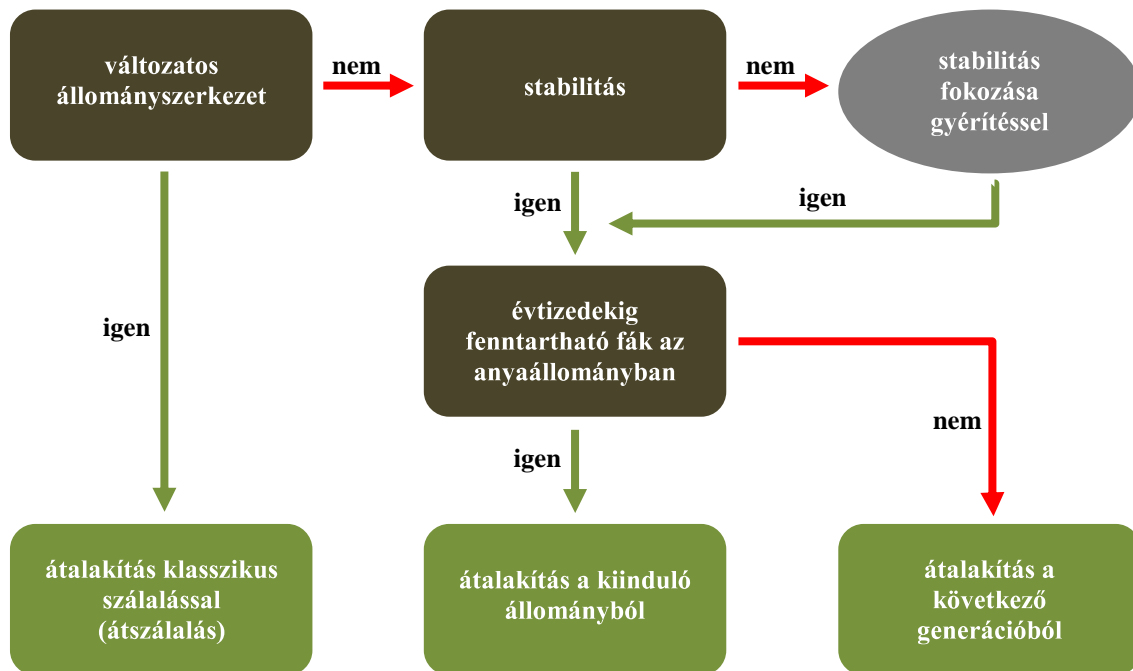
Egykorú erdők szálaló erdővé való alakítása során az egyszerű, homogén, jól megértett típustól haladunk az erősen változatos, számos komplex interakciót rejtő típus felé. Ez a változatosság eredhet horizontális mintázatból, faji és genetikai szintű diverzitásból, színtezettségéből, egymáshoz közeli faegyedek különböző korából (O'Hara 2001). Hazánk erdei jellemzően korosztályos erdők, a szálaló erdőalakba való átvezetés lehetőségét a szálaló és átalakító üzemmódok biztosítják.

Az erdő korosztályviszonyainak széthúzása, vertikális és horizontális strukturáltságának kialakítása számos kutatás témája. Schütz (2001) az átalakítás folyamatát konsekutív szakaszok egymásutánjának tekinti, amelyek során a beavatkozásokhoz kapcsolódó döntéshozatalban az alábbi célkitűzések hierarchiája állandóan fennáll:

1. Stabilitás megőrzése
2. Anyaállomány egyes egyedeinek megtartása
3. Megjelent újulat felszabadítása
4. Vertikális differenciáltság kialakítása

A fenti logikából következik, hogy a vertikális strukturáltság megteremtése a legnehezebb feladat, hiszen nem végezhető az első három pont rovására, valamint az újulatot sem szabadíthatjuk fel az anyaállomány teljes kitermelésével. Az átalakítás végére elképzelhető, hogy az erdő a szálaló erdő koreloszlását követi, de kevésbé lesz színtezett.

Az átalakítás technikáját és időtartamát a kiinduló állomány összetétele határozza meg (3. ábra). Hazánkban csak kevés erdőállományban lehet alkalmazni a klasszikus szálalással való átalakítást, amelynek előfeltétele egy részben már differenciálódott struktúra (Ripszám 2012). Gyakoribb eset, hogy nem áll rendelkezésre változatos állományszerkezet, az átalakítást makktermő korát már elérő, középkorú, termőhelynek megfelelő fafajok alkotta állományban kezdik meg. Ebben az eljárásban az átalakítás a kiinduló állományból történik, szükség esetén a stabilitás gyéritéssel való fokozása, a folytonos koreloszlású utódállomány megsegítése a cél, az anyaállomány egy részének hosszú idejű fenntartása mellett (Schütz 2001, Madas és mtsai 2005). Amennyiben az anyaállomány fái évtizedekig már nem tarthatók fenn, az átalakítás a következő generációból történik.



3. ábra: Döntési folyamatok egykorú erdő átalakítása során (Schütz 2001 alapján)

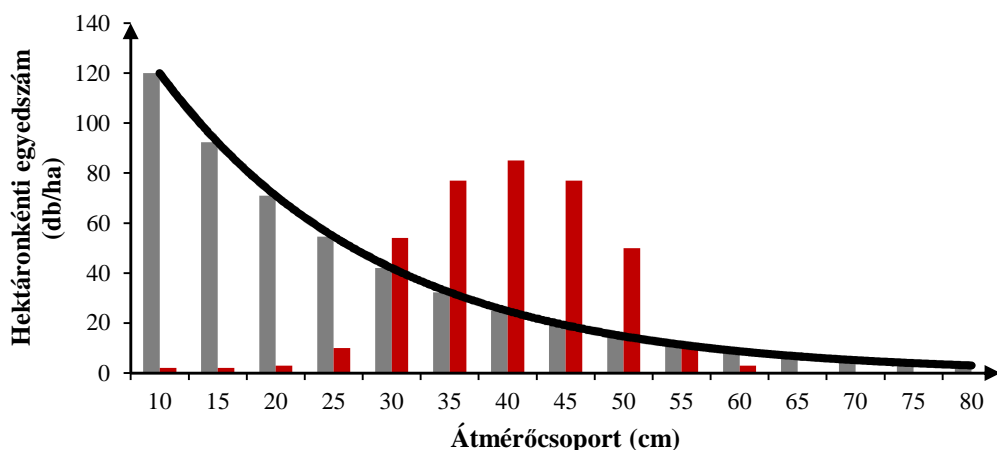
Egykorú erdőből a folytonos koreloszlás rendszeresen végrehajtott fahasználattal érhető el, az újulat megsegítése mellett. Ez történhet a területen szórtan, vagy csoportos jelleggel való lécek megnyitásával. Utóbbi módszer jobban kedvez a kevésbé árnyéktűrő fajok megjelenésének, a fennmaradó állományrészben viszont az idősebb egyedek érdekében megköveteli a gyéritéseket (Nyland 2003).

Az átalakítás – akár évszázados időtartamot is meghaladó – folyamata számos áldozattal jár (Nyland 2003):

- az elegyarány az árnyéktűrő fafajok felé tolódik el,
- az idő előrehaladtával növekszik a törzsek minőségromlásának kockázata,
- szükségessé válik a hagyományos fakitermelési módok és egyes eszközök cseréje,
- megváltozik bizonyos növények és állatok élőhelye,
- le kell mondanunk a vágásos erdőképről.

Vágásos erdők átalakítása közben fontos, hogy legyen egy elérendő célállapot, és a változás ütemét követni tudjuk ökológiai és ökonómiai szempontból egyaránt (Buongiorno 2001). Ehhez olyan modellekre van szükség, amelyek megfeleltethetők a szálaló erdők struktúrájának. Vegyeskorú állományok szerkezetét leggyakrabban az átmérők eloszlásával jellemzik (O'Hara 2002). Elsőként de Liocourt (1898) jellemezte a szálaló erdőt

átmérőcsoportok felhasználásával; csökkenő exponenciális görbére hasonlító eloszlása egy félreértés következtében de Liocourt törvényeként került az erdészeti szakirodalomba, konkrét matematikai összefüggést feltételezve az egyes csoportok elemszáma között (Prodan 1961, Gül és mtsai 2005, Kerr 2014). Az angol nyelvű szakirodalomban gyakran „fordított J átmérő eloszlás”-nak (*reverse-J diameter distribution*) nevezett modell (Kerr és mtsai 2002, Sterba 2004, Ducey 2006, Keyser és Loftis 2012, Vítková és Ní Dhubháin 2013) egy „q” konstans tartalmaz, amely a szomszédos átmérőcsoportokhoz tartozó törzsszám arányát mutatja meg. Átalakítás során alkalmazott legegyszerűbb módszer a modell görbe és a helyi eloszlás közelítése azáltal, hogy a felújulás megsegítéséhez abból a tartományból termelünk ki faegyedeket, amelyben a területhez tartozó átmérők az elméleti érték felett vannak (4. ábra). Ez a modell igen felszínes, hiszen nem ad iránymutatást az átmérőcsoportok horizontális eloszlására, illetve nem veszi figyelembe a vertikális tagozódást, a fafajok alaki tulajdonságaira visszavezethető, egykorú elegyes erdőben tapasztalható változatos átmérő szerkezetet sem.

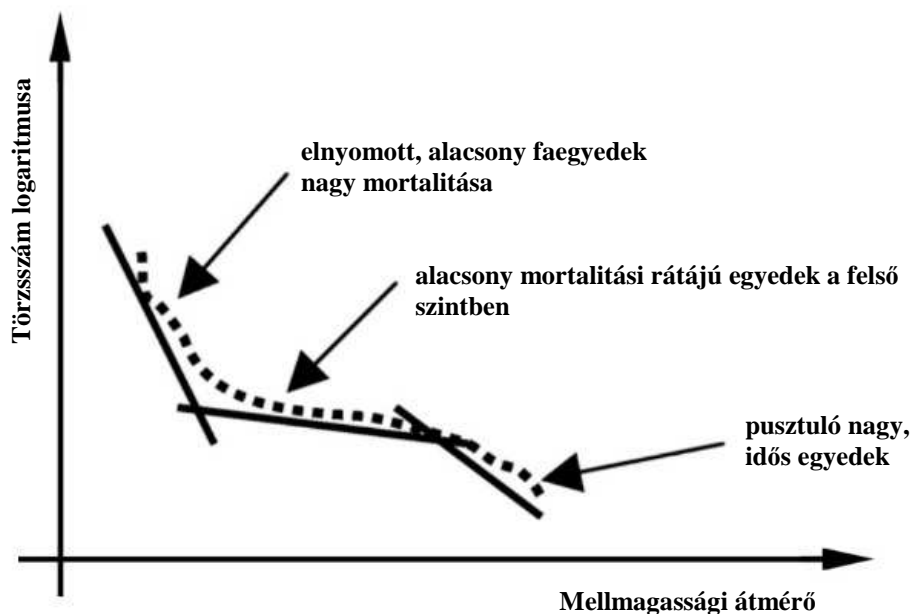


4. ábra: A szálaló szerkezetű (szürke) és a vágásos erdő (vörös) sematizált elméleti átmérő-eloszlása

Loewenstein (2005) felhívja a figyelmet arra, hogy a „q” konstans szerint exponenciálisan csökkenő átmérőeloszlás inkább szálaló szerkezetű erdők fenntartására, mintsem kialakítására alkalmas. A faállomány korcsoportjait célszerű önálló egységként kezelni, és a felső, középső, valamint alsó magassági osztályok záródásának 3:2:1 arányára törekedni a megfelelő felújuláshoz. Az átalakítás során az átmérőszerkezet ebben az esetben is a negatív exponenciális eloszlás felé vezet, de a vertikális tagozódás megsegítésére helyezi a hangsúlyt.

Ducey (2006) szerint azon a területen és fafaj-eloszlásban, ahol a klasszikus száralás nem megvalósítható, a szabályosan csökkenő átmérő-eloszlás sem reális elvárás. Kiterjedt területen – a terepi felmérés hatékonyságának szempontjait szem előtt tartva – nagyobb tartományt átfogó átmérőcsoportok körlapösszegét jobb iránymutatónak tartja az átmérőcsoportok egyedszámánál.

Több tanulmány is felhívja a figyelmet arra, hogy az állományszintek közti interakciók következtében az őserdők és száraló erdők eloszlása nem csökkenő exponenciális, hanem – az átmérőcsoportok egyedszámát logaritmikus skálán megjelenítve – elforgatott szigmoid alakot vesz fel (Goff és West 1975, Leak 2002, Rubin és mtsai 2006, Westphal és mtsai 2006, Gove és mtsai 2008). A „q” konstans szerinti csökkenést a különböző átmérőosztályokhoz tartozó egyedek jellemző szociális helyzete és egészségi állapota törli meg. Míg a vékonyabb mellmagassági átmérőjű egyedek sajátossága az elnyomottság miatti magas mortalitás, addig a középső tartományok egyedei rendszerint egészségesek és a felső koronaszintet alkotják. Ugyanúgy a felső szintbe tartoznak a legvastagabb egyedek is, de ebben a kategóriában már erőteljesebb az öregedés következtében bekövetkező mortalitás.



5. ábra: Feltételezett elforgatott szigmoid alakú átmérő-eloszlás száraló szerkezetű erdőkben  
(Westphal és mtsai 2006 alapján)



Csepányi (2007) a felújulás szempontjából optimális léknagyság és az átalakítási időszak hosszának függvényében meghatározta a hektáronként nyitandó lékek számát beavatkozásoként.

$$L = \frac{10\,000}{\frac{I}{f} \cdot M} \quad (1),$$

ahol:

- $L$  = lékek száma [db/ha];
- $I$  = az átalakítás időtartama [év];
- $f$  = visszatérési idő [év];
- $M$  = optimális lékméret [ $m^2$ ].

Elegyes erdőben, változatos termőhelyen a lékméretek igen változók lehetnek, de a számítás elvégzése mégis adhat egy nagyságrendi támpontot a gazdálkodónak.

Elterjedtek az átalakítás folyamatának szimulációs modellező eljárásai is (Hanewinkel és Pretsch 2000, Buongiorno 2001, Thurner és mtsai 2011), amelyek ugyan időben látványosan előremutatóak, de a szálalás gyakorlata során megkívánt „tömelletiségtől” jelentősen elrugaszkodnak, az erdőben lejátszódó folyamatok összetettsége következtetéseiket elnagyolttá teszi. A matematikai modellek ismerete szükségeszerű, azonban rugalmatlan követésük a felújulás elmaradásának, az anyaállomány minőségromlásának veszélyét rejti magában.

Egykorú erdők átalakításának lehetőségét – a gazdálkodói szándék mellett – elsősorban a törvényi előírások, a kiinduló faállomány és a termőhelyi viszonyok határozzák meg. Az átalakítás folyamata egy olyan állapothoz vezet, amely nem stabil, nem a természetes szukcesszió alakította ki, és csak rendszeres kezeléssel tartható fent (O’Hara 2001, Nyland 2003, Ducey 2006). A kialakított és fenntartott szálaló erdő folytonos fahozamot biztosít, folyamatos erdőborításával véd a talajerózió és abiotikus károk ellen, változatos szerkezetével – erdőrésztlet szinten – kedvez az élőhelyek sokféleségének; a tájleptékű változatossághoz azonban különböző használati módokra, különböző faállomány-szerkezetekre van szükség (Kerr 1999, Schütz 1999).

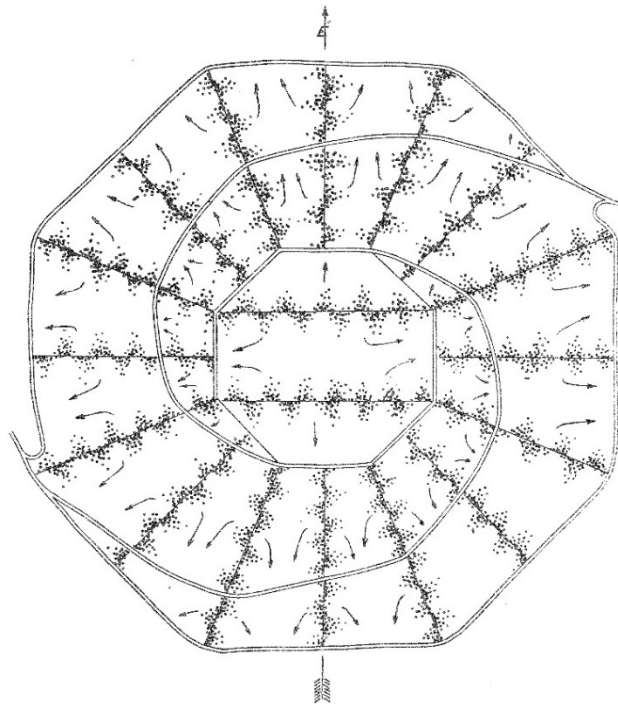
### 3.5. A Roth-féle vonalas szálalás

Az egykorú erdők szálaló erdőkké való alakítása ugyan az aktuális erdőtörvény megjelenését követően került be üzemi léptékben – főként állami tulajdonú területen – a hazai erdőgazdálkodási gyakorlatba, de a folyamatos erdőborítás elérésére már évtizedekkel ezelőtt is történtek kísérletek. Roth Gyula vonalas szálalása (Roth 1935) és Madas László Visegrád melletti szálalóvágása (Madas 1956) a hosszú időtávú természetes erdőfelújítás legrégebbi hazai példái. Jelen alfejezet – a dolgozat témájának megfelelően – a Roth Gyula által leírt vonalas szálalás jellemzőit foglalja össze az erdészprofesszor megjelent publikációi és a Soproni Egyetem levéltárának hagyatéki anyaga alapján.

Roth Gyula 1898-ban tette le az erdészeti államvizsgát, majd hat gyakorlatban eltöltött év után Vadas Jenő indítványozására 1904-ben áthelyezték Selmecbányára, az ottani erdészeti kísérleti állomás központjába (Frank 1998). 1907-ben jelölte ki 300 hektáros kísérleti területét a likavai erdőben (Kócs-hegység), amelyben a selmecbányai akadémián oktatott természetes felújítási módszereket valósította meg a gyakorlatban. 1914-ben a szálaló erdő gyakorlatával kívánta kibővíteni kísérletét, erre azonban az I. világháború miatt már nem nyílt lehetőség, a kutatóintézet a Felvidéket elhagyni kényszerült. A világháborút követő évek a hazai erdőgazdálkodás új feladatainak feltárásával, a kutatóintézet újjáépítésével és az 1936-os erdészeti világkongresszus megszervezésével teljesen lekötötték Roth Gyula erejét, így szálalásos terepi kutatásait csak 1937 tavaszán tudta megkezdeni (Roth 1958a). Kísérleti területeket jelölt ki a Soproni-hegységben, a Bükkben, a Vértesben, a Bakonyban, a Zselicben, valamint a Budapest körüli zöldövezetben (Magyar 1961), vezette az 1949-ben megalakult Szálaló Munkabizottságot (Roth 1952).

Külföldi tanulmányútjain szerzett tapasztalatait követően Wagner szálaló szegélyvágására (Wagner 1912) és Gayer csoportos felújítására (Gayer 1886) alapozva Roth Gyula saját eljárást írt le egykorú erdők időben elnyújtott átalakítására. Roth eljárását jegenyefenyő, bükk, valamint gyertyán főfafajú állományra fejlesztette ki, ahol – lombos állomány esetén – a tölgy, kőris, szil, juhar és hárs elegyfajként tartandó fenn. Módszerének célja egy „*határozott területi keretek közé szorított, térbelileg rendezett szálalóerdőnek megteremtése*”. Az átalakítandó erdőt ún. szálalóegységekre bontja, amelyek tengelyvonala (támadóvonal) határozza meg a felújítási folyamat térbeli rendjét. A támadóvonalak egymástól általában 100-300 méterre kerülnek kijelölésre, irányukat és hosszukat a

terepviszonyok szabják meg. Az első támadó bontást nevelővágások előzik meg, amelyek az újulatfoltok megjelenését szolgálják. A bontás a tengelyvonalban kezdődik és arra merőlegesen két irányban halad félkör alakban megbontva az állományt (6. ábra). A félkörök széle felé közeledve a bontás erélye csökken, a peremen előhasználat, közepén véghasználat jellegű kitermelés folyik. Az átalakítás előrehaladtával ezek a félkörök tovább bővülnek, és idővel a szomszédos szálalóegységek felújítása összeér. A felújítási időszak hosszától függően az eljárás szálalóvágásos, illetve szálalásos jelleget ölt. (Roth 1935)



6. ábra: „Roth-féle vonalas szálalás vágásainak elhelyezése a terephez viszonyítva. Nyolcoldalú hegykúp, az oldalak az égtájak felé fordulnak, közepe fennsík. A támadásvonalak mentén kivágott fák fekete pontokkal vannak jelezve, a nyilak a döntés és kivontatás, az utakra, rakodókra való kiközelítés irányát adják, meredek fal sehol sincsen, a bontás a tengelyvonalban legerősebb, onnan elmosódik a zárt állomány felé.”  
(Roth 1935)

Az átalakítás során követendő irányelvek:

1. A böhöncöket mielőbb ki kell vágni, de előtte a koronájukat (lehetőség szerint több lépésben) csökkenteni kell a gyomosodás és döntési kár mérséklése érdekében.
2. Fakitermelés mindig a főállomány érdekében történik.
3. Adott vastagsági osztályból először a gyengébb minőségű törzseket kell kivágni.
4. A 15 cm-nél alacsonyabb átmérő-kategóriából csak indokolt esetben szabad vágni.

Roth eljárásának nagy előnye a térbeli rend megteremtése olyan módon, hogy az mégis rugalmasan igazodik a helyi viszonyokhoz. Módszerének kihívása – a többi átalakításhoz hasonlóan –, hogy sűrű feltáráshálózatot, kíméletes fakitermelést igényel, és alacsony a terepi munkák volumenének területi koncentrációja.

### 3.6. Szálalás hazai bükkösökben

Egy kérdőíves vizsgálat szerint a hazai erdészek (erdőmérnökök és erdésztechnikusok) egyértelműen a bükkösöket tartják a szálalásra legalkalmasabbnak országunk erdőtípusai közül (Folcz és mtsai 2014). A bükk (*Fagus sylvatica* L.) területaránya 6,0%-a Magyarország erdőterületének (FM tájékoztató 2016), az élőfakészlet megoszlásából a dolgozat terepi felvételének évében 10,7%-ot tett ki (NÉBIH 2014). A prognosztizált klimatikus hatásokat figyelembe véve elterjedési területe a jövőben északi irányba fog eltolódni (Kramer és mtsai 2010). Hazánkban a bükkös erdőklíma területének jelentős csökkenése (Czúcz és mtsai 2011, Führer és mtsai 2011), valamint a bükkösök növekedésének visszaesése várható (Führer és mtsai 2016). Mivel a szárazság-érzékeny őshonos fajok által dominált erdők fenntarthatósága jelentős részben a gazdálkodás gyakorlatán múlik (Katona és mtsai 2013), bükköseink állapota kiemelt figyelmet kap az erdészeti kutatásokban.

Az európai bükknek mint fafajnak az általános jellemzőit, erdőművelési tulajdonságait hazai botanikai és erdészeti szakkönyvek (Roth 1935, Majer 1966; Bondor 1986; Gencsi és Vancsura 1997; Bartha 1999, Koloszar 2010) részletesen tárgyalják. A bükkösöket rendszerint természetesen újítják fel (Török 2006), a faj árnyéktűrése lehetővé teszi a hosszabb felújítási időszakot is (Csépanyi 2001), de az idős bükkfák esetében számolni kell az értékrontó álgesztesedés fokozódó veszélyével (Horváth 1998, Bíró 2004). A bükk koronája szabad állásban terebélyesedik, törzse oldalárnyalás hiányában általában alacsonyan ágas. Erdőtársulásai közül legjellemzőbbek a szubmontán, montán és acidofil bükkösök. A bükk a számára kedvező termőhelyeken rendkívül versenyképes, sűrű, fajszegény állományokat hoz létre. Ez a tulajdonsága rendkívül megnehezíti az elegyes, szálaló szerkezetű bükkösök kialakítását. Jellemző elegyfajai közül megfelelő termőhelyen a gyertyán könnyen feljön mellette, a szálalásra – fényigénye miatt – csak korlátozottan alkalmas kocsánytalan tölgy és a vad által kedvelt ritkább elegyfajok (kőrisek, juharok, hársak) (Molnár 2013, Katona és mtsai 2013) egyedei nehezen veszik fel vele a

versenyt a felújulási szintben erősebb emberi beavatkozás (ápolás, vadkárelhárító kerítés, egyedi törzsvédelem) nélkül. A változó klimatikus környezethez való adaptáció az elegyesség fejlesztése mellett a strukturális diverzitást, genetikai változatosságot, stabilitását veszített állományok átalakítását is magába foglalja (Brang és mtsai 2014), amelyet bükkösökben a fafaj erdőnevelési tulajdonságai és a természetes felújítás lehetővé tesznek.

Szálalással kapcsolatosan a legtöbb hazai tapasztalattal eddig bükkösökben rendelkezünk, de a vegyeskorú szerkezet kialakítása a szálaló üzemmódú erdőrészeket többségében még csak a kezdeti fázisban van. Kiterjedt erdőtömböket elsősorban az állami erdőgazdaságok területein jelöltek ki átalakító vagy szálaló üzemmódra, részben szakmai indíttatásból, részben pedig a törvényi elvárásoknak eleget téve.

### 3.7. A bükk kéregrákos megbetegedése

Mivel hazai bükköseink az area-határhoz közel – gyakran északi kitettségben, extraregionálisan – helyezkednek el, egyedeik érzékenyebbek a biotikus károsítókra, kórokozókra is (Mátyás 2010). Az európai bükk zónájának periferiáján tapasztalható pusztulás komplex etiológiájú folyamat, amelyet elsősorban az aszály vált ki, megsegítve a gyengültségi kórokozók megjelenését, másodlagos károsítók fellépését (Lakatos és Szabó 2007, Csóka és mtsai 2009, Janik és mtsai 2016). A hazai erdészeti témájú szakirodalomban kevés figyelmet kap a bükk kéregrákos megbetegedése (angolul: *beech bark disease*), pedig nemcsak faegyedek, hanem egész állományok leromlását is okozhatja. A fertőzött fák törzsein, ágain feltűnő elváltozások keletkeznek, a nyitott, elhalt szövetet tartalmazó rákos képződmények a megtámadott fák alaki tulajdonságait maradandóan meghatározzák. A bükkkrákos fák sínylődnek, ágszerkezetük rossz, koronáik ritkulnak, faanyaguk értéktelenné válik.

A megbetegedést gomba okozza, azonban a vonatkozó szakirodalomban a faj (fajok) megnevezése nem egységes. Hazánkban a bükkkrák gombáját *Nectria ditissima* néven ismerik, amelynek jelenlegi tudományos neve *Neonectria ditissima* Tul. & C. Tul. Hasonló tüneteket okoz a *Neonectria cinnabarina* Pers. és a *Neonectria faginata* M. L. Lohman, A.

M. J. Watson & Ayers, amely korábbi nevén (*Nectria coccinea* var. *faginata*) vált ismertté<sup>3</sup>. A bükk kéregrákot okozó tömlősgombák micéliumai a gazdanövényben vannak, tehát endofiták. Jellemzően nagy arányban kolonizálják az egészséges növényi részeket is, virulenciájuk alacsony. Egészen addig rejtve maradnak, amíg külső tényező hatására a gazdanövény le nem gyengül; ekkor válnak patogénné, és okozzák a rájuk jellemző tüneteket (Sieber 2007). A kórokozó termőtestének jelenléte ritkán szembetűnő, a betegség leginkább a nekrozisok alapján ismerhető fel. Sokkal gyakrabban jelennek meg a *Neonectria* termőtestek a már elhalt ágakon, amelyeken szaprotrófként a lebontást segítik.

A bükkcrák gombájának fertőzését gyakran egy tetűfaj, a *Cryptococcus fagisuga* Lindinger (bükk gyapjaspajzstetű) megjelenésével hozzák összefüggésbe. A faj Európában őshonos, Észak-Amerikába behurcolták. Gyakran passzívan – anemochor vagy zoochor úton – terjednek, majd megtelepedve táplálkozni kezdenek. Szájszervüket a szállítószövetekbe fúrva folyadékot vonnak el a gazdanövénytől. Ha néhány tetű egymáshoz relatív közel táplálkozik, a szállítónyalábok roncsolódnak, funkciójukat elvesztik (Lonsdale és Wainhouse 1987). A sérült részeket patogén gombák lepik el, megbetegítve és elpusztítva a környező szövetállományt. A rákos elváltozások kitüremkedései jól kolonizálható mikroélelőhelyet biztosítanak a tetvek számára, ahol bizonyos fokú védelmet élveznek a törzsön lefolyó csapadékkal és a predátorokkal szemben (Dukes és mtsai 2009). A gomba megjelenésének nem feltétele a tetű jelenléte. A betegségkomplex terjesztésében más élő szervezetek is részt vesznek pl.: *Bucculatrix ulmella* Zeller, *Extoedemia liebwedella* Zim., *Rhynchaenus fagi* L. (Mihál és Cicák 2001, Mihál és mtsai 2014). Előfordul egyes egyedekben az is, hogy vektorszervezettől függetlenül, endofitaként is megtalálhatóak bennük a gombafajok, amelyek csak stresszhatást követően válnak patogénné (Sieber 2007).

A bükk kéregrák globális szintű probléma: Európában, Észak-Amerikában, Ázsiában egyaránt megtalálhatók a fertőzés nyomai (Hirooka és mtsai 2013). A betegségre a XIX. század közepén figyeltek fel, hazánkban elsőként (D'Arbois de Jubainville után) Péch Dezső (1886) ismertette a *Nectria* fertőzést az Erdészeti Lapok hasábjain. Az európai bükk elterjedési területén belül a betegség térben és időben változó eréllyel jelenik meg, de a

---

<sup>3</sup> mycobank.org

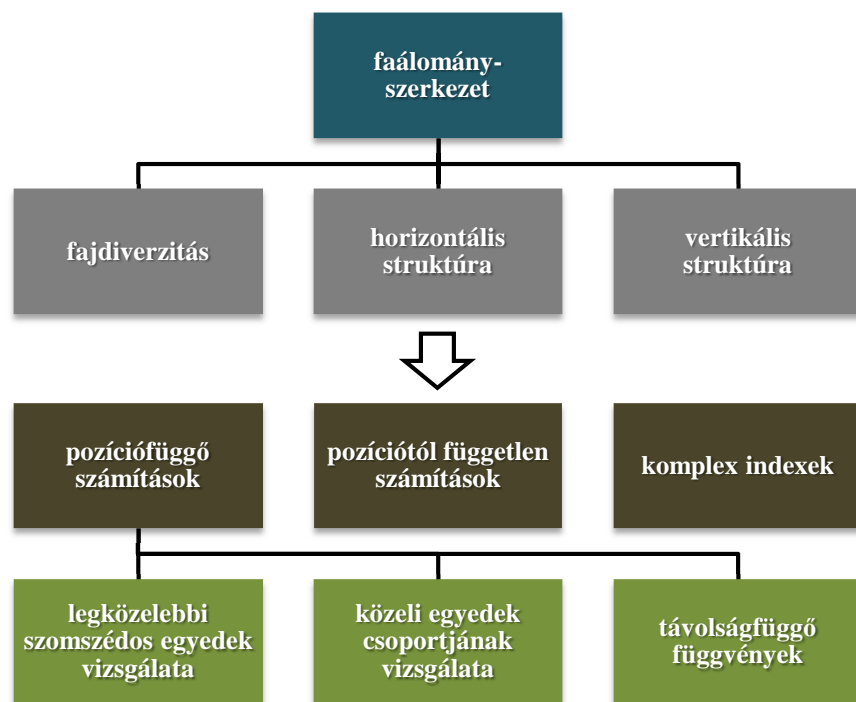
kiváltó kórokozók és a kéregtetű szinte mindenütt jelen vannak (Lonsdale és Wainhouse 1987, Zúbrik és mtsai 1999). A XX. század végén jelentősen megnövekedett a bükkösök fertőzöttsége a Kárpátok térségében is, egyes területeken epidémiához közeli helyzet alakult ki (Mihál és mtsai 2015).

Az észak-amerikai szakirodalom megkerülhetetlen a bükkkrák tanulmányozása során, hiszen a legnagyobb pusztítást ott okozta (és okozza a mai napig) *Fagus grandifolia* Ehrh. állományokban. Míg az európai bükkösök bizonyos mértékben adaptálódtak a rovar és a gomba együttes jelenlétéhez, a *Fagus grandifolia* állományoknak nem volt „idejük” felkészülni a fertőzésre, ami a XIX. században egy véletlen behurcolással vette kezdetét. A *Cryptococcus fagisuga* kéregtetű és a *Neonectria coccinea* var. *faginata* gombafaj Észak-Amerikában idegenhonosak, hajóval szállított *Fagus sylvatica* csemetékkal érkeztek az újskóciai Halifax városába az 1890-es években (Ehrlich 1934, Wingfield és mtsai 2016). A kéregtetű gyors terjedése következtében a fertőzött terület külső határa évente akár 10-15 kilométert tágul (Griffin és mtsai 2003), a bükkkrák jelenleg Északkelet-Amerika bükköseinek 50%-ában már jelen van (Garnas és mtsai 2011). Shigo (1972) a betegség megjelenési stádiumait három szakaszra osztotta. Az első periódusban (*advancing front*) a bükk kéregtetű megtelepszik az állomány idősebb fáin. A második szakaszban (*killling front*) nagymértékű pusztulás következik be, miután a fákat erős *Neonectria* fertőzés éri. Végül a harmadik stádiumban (*aftermath*) az állományt – a fertőzést túlélő – néhány idős faegyed, valamint magról, illetve sarjról felújult, de beteg, növekedésben visszamaradt fiatal egyedek alkotják.

A betegség kialakulását, súlyosságát és terjedését több tényező is befolyásolja. A bükk gyapjaspajzstetű egyedszámát a hőmérsékleti szélsőségek és a törzsön lefolyó csapadékvíz korlátozzák (Houston és Valentine 1988), az alacsony virulenciájú, opportunistá kórokozó *Neonectriák* patogenitása pedig nagyban függ a gazdanövény rezisztenciájától, amelyet annak genetikája és egészségi állapota határoz meg (Houston 2004, MacKenzie 2004, Koch és mtsai 2010). A betegség állományon belüli megjelenését összefüggésbe hozták már a lejtés és kitérttség értékeivel (Munck és Manion 2006), a bükk kérgének nitrogéntartalmával (Latty és mtsai 2003), légszennyezés által okozott stresszhatással (Cicák és Mihál 2005), erdőnevelési tevékenységekkel is (Cicák és mtsai 2003). Állományon belül a beteg fák jellemzően csak gyenge aggregációt mutatnak, a betegség terjedésének mechanizmusa még ma sem teljesen tisztázott (Garnas és mtsai 2013).

### 3.8. MÉRŐSZÁMOK A FAÁLLOMÁNY TÉRBELI STRUKTÚRÁJÁNAK JELLEMZÉSÉRE

A faállomány térbeli szerkezetének kvantitatív leírása a biodiverzitás faji és alfa diverzitás szintű jellemzését foglalja magába (Lähde és mtsai 1999b). Az állomány struktúráját alapvetően a faegyedek pozíciói, valamilyen vizsgált szempontból történő keveredésük és különbözőségük mutatják meg (Kint és mtsai 2000). Ennek megfelelően – a korábban az erdészettudománytól függetlenül leírt pontelemző és diverzitás-indexek mellett (Pommerening 2002) – számos törzspozíciótól függő és törzspozíciótól független számítási módszert alkottak meg, amelyek segítségével a vágásos, az átalakítás alatt lévő és a száraló szerkezetű erdők térbeli mutatói számszerűen összevethetőek. Ezek a mutatók jellemezhetik a faji összetételt, a horizontális és a vertikális struktúrát; lehetnek távolságtól függetlenek vagy távolságfüggők, melyek esetében a vizsgálat a teljes állományra vagy faegyedek kisebb-nagyobb környezetére terjed ki (7. ábra). A használható indexek köre a rendelkezésre álló adatbázis függvénye (Gadow és mtsai 2011).



7. ábra: A faállomány térbeli szerkezetét vizsgáló mutatók rendszere

A diverzitás-indexeket felhasználva összefüggések tárhatók fel az előforduló fajok száma, a különböző állományszintek borítottsága és az erdőgazdálkodás által megváltoztatott erdőszerkezet között (Cabacinha és Castro 2009, Clark és mtsai 2012,



Durak 2012). Bár a gyakorlatban a szerkezeti mutatókat csak igen elvétve használják, a nagyterületű erdőleltár során egy részük alkalmazható lenne (Sterba 2008, Gao 2014).

### ***Fajdiverzitás***

Szálaló szerkezetű erdő kialakításakor rendszerint fontos alapelv a faji diverzitás megőrzése, a ritka fajok elegyének biztosítása mind az idősebb, mind az újulati korosztályban. Elvárásként merülhet fel, hogy a számszerű értékelés súlyozottan vegye figyelembe a faállományokban csak szálanként előforduló ritkább fajokat. A faji szintű diverzitásvizsgálatok a fajgazdagság (lényegében az előforduló fajok száma), a heterogenitás, illetve az egyenletesség meghatározásának elvén működnek (Merganič és mtsai 2012). A számos faji diverzitásra megalkotott mutató közül a Shannon-index ( $H$ ) a legismertebb, amely lényegében a rendszer rendezetlenségét számszerűsíti (Shannon 1948).

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln p_i \quad (2),$$

ahol:

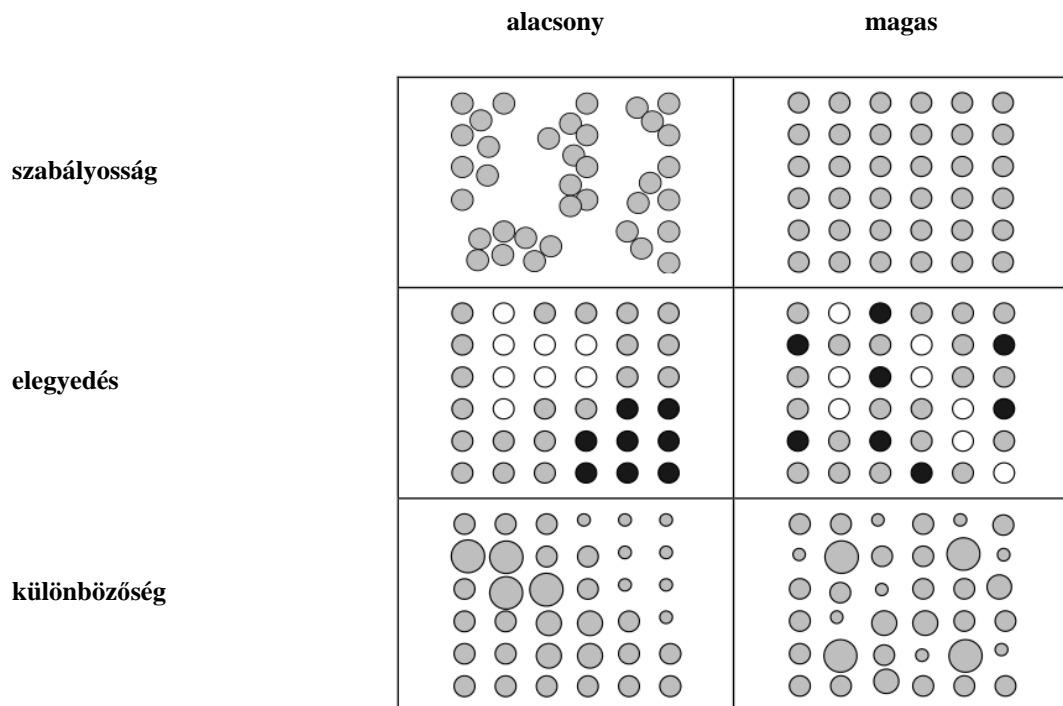
- $S$  = fajszám [db];
- $p_i$  =  $i$  faj relatív gyakorisága.

Az index érzékeny a ritka fajok jelenlétére, alapul véve, hogy egy-egy alacsony egyedszámú faj előfordulása jobban hozzájárul a diverzitáshoz, mint néhány domináns fajé. Pretzsch (1995) kiterjesztette Shannon indexét az állomány különböző magassági zónáira, melynek segítségével kimutatható, hogy az előforduló fajok a rendelkezésre álló vertikális teret milyen arányban hasznosítják. Szintén a Shannon-féle diverzitást veszik alapul egyes egyenletesség (*Evenness*) indexek is (Pielou 1966, Heip 1974), amelyek megmutatják, hogy az összes egyedszám milyen egyenletesen oszlik meg a fajok között.

### ***Horizontális struktúra***

Egy szálaló erdőben az egyes méretkategóriákba sorolható egyedek szálanként vagy kisebb csoportokban fordulnak elő, de a termőhelyi különbségek még egy egykorú erdőben is számottevő eltéréseket okozhatnak a fák méreteiben. A horizontális struktúra leírható a fák pozícióinak térbeli eloszlásával, a különböző fajhoz tartozó egyedek

elegyedésének mintázatával vagy a különböző méretű fák egymáshoz viszonyított elhelyezkedésének jellegzetességeivel (Gadow és Hui 2002) (8. ábra).



8. ábra: A horizontális struktúra főbb elemei (Gadow és Hui 2002)

A horizontális struktúra leírására számos különböző módszer született, amelyek közül néhány egyszerű (törzspozíciótól független) megközelítés az erdőrészlet leíró lap adataként (záródás, elegyedés módja) az erdőszeti gyakorlatban is elterjedt. Ha egy faállomány különböző területeit szeretnénk összehasonlítani, legkönnyebb a vizsgált faegyedeket felvételi területenként vizsgálni, ahol a vizsgált paraméterek kvadrátonkénti különbségei adják az elemzés lehetőségét. A fák méreteloszlásának elemzéséhez – a megfelelő paramétert behelyettesítve – használhatók a fajdiverzitás indexei is, azonban Valbuena és munkatársai (2012) felhívják a figyelmet arra, hogy különböző szerkezetű állományok összehasonlításánál az entrópiaindexek félrevezető eredményeket adhatnak, és az egyenletesség számítását javasolják az összevetésekhez. További analízist tesznek lehetővé a távolságfüggő vizsgálatok, melyeknek kiterjedt szakirodalma (Neumann és Starlinger 2001, Pommerening 2002, Aguirre és mtsai, 2003, Vorčák és mtsai 2006, Pretzsch 2010, Merganič és mtsai 2012) mutatja alkalmazhatóságukat különböző felépítésű adatbázisok elemzése során (Szmyt 2004). Legismertebb a törzsek relatív helyzetén alapuló Clark-Evans aggregációs index (Clark és Evans 1954), amely a legközelebbi szomszédától

való távolságot vizsgálja és összegzi a területen, majd összehasonlítja a véletlenszerű eloszlás modelljével. A szálaló üzemmód kis területi léptékű különbözőségeit jobban kifejezik azok a módszerek, amelyek egy központi törzshöz viszonyítva a legközebbi faegyedek csoportját vizsgálják. Gadow és Hui (2002) a központi törzs és a közeli törzsek irányszögét vették számításuk alapjául, módszerük segítségével a pozíciók eloszlásának szabályossága, egyes attribútumok keveredése és különbözősége egyaránt elemezhető. Földner (*in* Pretzsch 2010) a központi törzs legközelebbi szomszédjainak értékelésével alkotott képleteket az elegyedésre és a faméreték eltéréseire. Amíg a fent említett távolságfüggő módszerek nem igénylik a törzsek pontos pozícióinak ismeretét, addig Ripley K-függvényének (Ripley 1977) alkalmazásához minden egyed koordinátájára szükség van. Módszerével egy ponttól való távolság függvényében határozhatók meg a csoportos vagy véletlenszerű törzseloszlások.

### ***Vertikális struktúra***

Szálaló szerkezetű erdők esetén igen fontos jellemző a faállomány folytonos magassági eloszlása, amelyet akár ellenőrző eljáráshoz is alkalmazhatunk egykorú erdők átalakítása vagy szálaló szerkezetű erdők fenntartása során (Donoso 2005). A szintezettség az erdőrézlet leíró lapon is megjelenik, az erdők szerkezetesebbé alakításával azonban a szintek határai elmosódnak, a szemrevételezéssel megállapított magassági osztályok értelmüket veszítik. Amíg a pontanalízis lehetőségének köszönhetően a horizontális struktúra kvantitatív jellemzésére igen sok megközelítés adódik, a vertikális szerkezet leírására csak kevés mutatót ismerünk (Newmann és Starlinger 2001). A fajdiverzitás esetében már említett magassági osztályonként végzett diverzitásvizsgálat vagy a magassági értékek szórása, varianciája, szomszédos egyedek különbözősége nyújthat tájékoztatást az erdő szintezettségéről.

### ***Összetett indexek***

Az összetett indexek célja egy mutatóval összevontan értékelni a biodiverzitás különböző komponenseit. McElhinny és munkatársai (2005) a komplex indexek létrehozására az alábbi instrukciókat adják:

- a kiválasztott indexek csoportja a biodiverzitás vizsgálandó szintjén adjon átfogó képet;

- a gyakorlati alkalmazhatóság és bemutathatóság érdekében a képlet egyszerű matematikai számításokon alapuljon;
- az egyes jellemzők legyenek skálázottak;
- a komponensek szükség esetén szerepeljenek különböző súlyozással a képletben.

LeMay és Staudhammer (2005) a komplex vizsgálatokhoz a fákhöz rendelt változók és pozíciók összevonását, egyes – már széleskörűen használt – indexek bővítését javasolják az alábbiak figyelembevételével:

- mi számít a legváltozatosabb struktúrának a vertikális és horizontális struktúrát nézve;
- hogyan vonhatóak össze a folytonos változók (pl. átmérő és magasság) a fafaj-eloszlással mint diszkrét változóval;
- miként tükröződjön a térbeli heterogenitás az indexben?

Komplex indexet alkottak Lähde és munkatársai (1999a), akik a fafajonkénti törzsszámot, a körlapösszeget, az álló és fekvő holtfa fatérfogatát, különleges fák (kimagaslóan idős, nagytermetű faegyedek, ritka alfajhoz tartozó fák stb.) jelenlétét, a bomló faanyag mennyiségét és az aljnövényzet denzitását vonták össze. Jaehne és Dohrenbusch (1997) a fajösszetételt, vertikális és horizontális struktúrát, koronaméreték különbözőségét súlyozva alkották meg diverzitás-indexüket. Zenner és Hibbs (2000) komplex módszere – a fentiekől eltérően – nem különböző indexek addícióján alapul, hanem egyszerre értékeli szomszédos faegyedek hármas csoportjaiban a horizontális és vertikális struktúrát. A faegyedek csúcsait összekötő háromszögek területösszegét osztja vetületeik területösszegével, és a térbeli háromszögek vertikális komponensei adják a struktúra diverzitását. Beckschäfer és munkatársai (2013) a háromszögek tájolásával és a sűrűség bevonásával pontosították a számítást.

## 4. Anyag és módszertan

### 4.1. A Soproni-hegyvidék általános jellemzése

A vizsgált terület a Soproni-hegységben található, az alábbi alfejezetek a térség termőhelyi viszonyait és az erdőgazdálkodás múltját mutatják be röviden.

#### 4.1.1. Az erdészeti táj földrajzi fekvése, domborzata és geológiai viszonyai

A Soproni-hegység önálló erdészeti táj, a Nyugat-Dunántúl tájcsoport tagja, keletről és északkeletről a Soproni-dombság erdészeti táj, másik irányokból a magyar-osztrák országhatár övezi. A táj domborzati és geológiai értelemben nem ér véget az országhatáron, a Soproni-hegység Ödenburger Gebirge néven tovább folytatódik Ausztriában az Alpok keleti nyúlványaként. A Soproni-hegység középhegység jellegű, tengerszint feletti magassága Magyarországon 200-550 m közötti. A hegység legmagasabb pontja az osztrák oldalon lévő Brenntenriegel (606 m), hazánkban a Magas-bérc (557 m) csúcsa emelkedik ki legjobban. Orográfiailag erősen tagolt, töréses lépcsőkkel, széles hegyhátakkal, keskeny hegygerincekkel, sziklás sasbércekkel és mélyre vágódott patak völgyekkel. Danszky (1963) az erdészeti (erdőgazdasági) tájak listájában a Soproni-hegységet – eltérő adottságai miatt – a keleten elhelyezkedő Várisi-hegyvidékre és a nyugati Brennbergi-medencére osztotta. A hegység jellegzetes csúcsai keleten a Károly-magaslat (394 m), a Vas-hegy (401 m), a Várhely (482 m), az Ultra (479 m) és a Muck (522 m), nyugaton a Poloskás-bérc (467 m), a Havas-bérc (462 m), a Hermes-domb (507 m), a Magas-bérc (557 m), az Asztalfő (551 m), a Bögöly-hegy (380 m), a Görbe-halom (420 m), a Rideg-bérc (486 m) és a Bika-rét (509 m). A gerinceket elválasztó leghosszabb völgyek a Kánya-szurdok, a Kecske-patak völgye, a Tolvaj-árok, a Brennbergi-völgy, a Köves-árok, a Vadkan-árok és a Hidegvíz-völgy. A Rák-patak és a Kecske-patak révén a fő- és mellékvölgyek a felszíni vizeket az Ikva vízrendszeréhez csatlakoztatják. A hegységnek természetes állóvize nincs, a Fehérúti- és a Szalamandra-tó egyaránt mesterséges eredetű. A hegységben számos forrás működik, amelyek jellemzően ingadozó vízhozamúak.

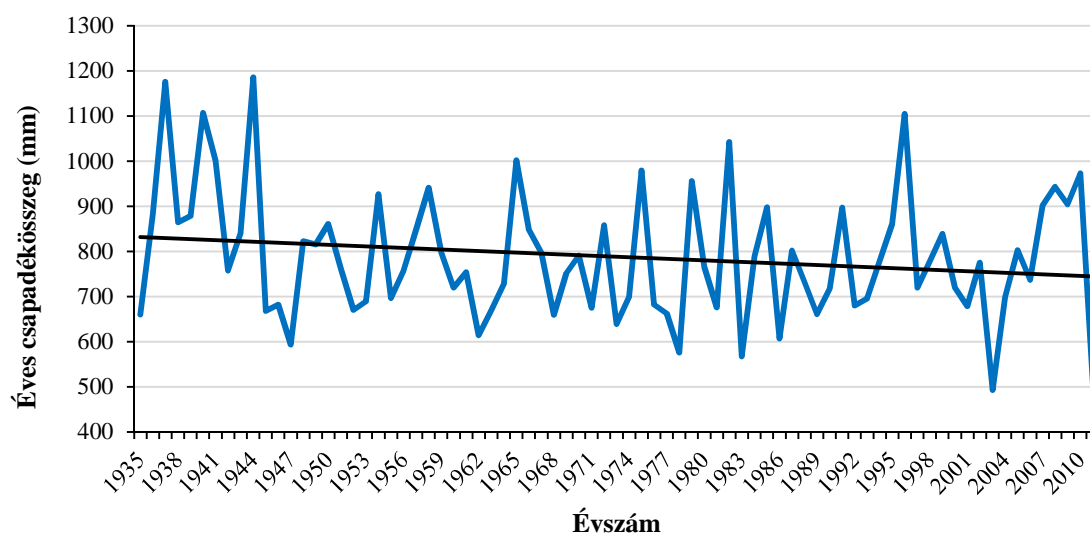
A Mórággyi-rög után a Soproni-hegység hazánk legrégebbi hegysége, a földtörténeti ókorból való. A hegységet az Alsó-Ausztriai-pi-takaróba tartozó, közepes mértékű átalakulást szenvedett metamorf kőzetegyüttes alkotja, fő tömegét a csillámpala és gneisz

adja (Budai és Konrád 2011). További felszíni kőzetek a fillit, kvarcit és egyes kristályos palák, a lejtőkön erőteljes az erózió. A Brennbergi-medence környezetében agyagos, kavicsos hordalékok jellemzőek, amit a vastagabb termőréteg és a csuszamlások is jeleznek. Az enyhe lejtők, kisebb fennsíkok vízmegtartó képessége jó (Halász szerk. 2006).

#### 4.1.2. A Soproni-hegység termőhelyi jellemzése

A közeli Alpok klimatikus hatásának következtében a hegység kimondottan hűvös-csapadékos éghajlatú. A leginkább szubalpin jellegű területek a zártabb részeken (pl. Hidegvíz-völgy) találhatóak, a hegységperem irányába haladva az éghajlat szárazabb és melegebb. A változatos domborzati viszonyoknak köszönhetően a kitértég is jelentős mezoklíma-alakító tényező. A leggyakoribb szélirány az ÉNY-i. (Dövényi szerk. 2010)

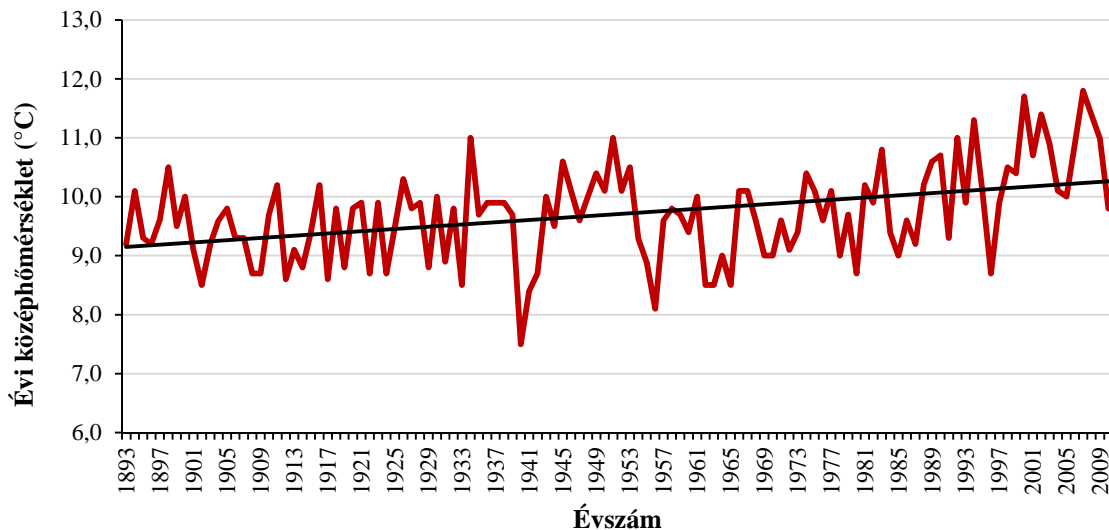
Az átlagos éves csapadékösszeg a nyugati részeken 750-850 mm, míg a hegység keleti felén 650-800 mm körül alakul. Nyugaton szubalpin jelleget tükröző, határozott júliusi csapadékmaximum van, a keleti részeken tavaszi és őszi maximum figyelhető meg, ami pannomediterrán hatásra utal (Danszky 1963). Az éves csapadékösszeg több évtizedes adatsor alapján csökkenő trendet mutat (9. ábra).



9. ábra: Csökkenő trend Brennbergbánya éves csapadékösszegében (1935-2011)<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Az éghajlati adatokhoz Kiss Márton adatbázisát használtam fel

Az évi középhőmérséklet 9,2 °C, a tenyészidőszaki 15,4 °C (Halász szerk. 2006), de ennél az átlagértéknél a zártabb, nyugati részek valamivel hűvösebbek. A hegység lábánál épült Sopron város több mint egy évszázados adatsora alapján az évi középhőmérséklet növekvő trendet mutat (10. ábra).



10. ábra: Növekvő trend Sopron város évi átlaghőmérsékletében (1893-2010)

A Soproni-hegységen belüli éghajlati különbözőségek megmutatkoznak az erdészeti klímaosztályok előfordulásában is. Az erdészeti táj kétharmadát gyertyános-kocsánytalan tölgyes klíma jellemzi (keleti oldal), a maradék egyharmad a nyugati területekre koncentrálódó bükkös klíma. A magas évi csapadékmennyiségnek köszönhetően magas a savanyú kémhatású barna erdőtalajok (savanyú barna erdőtalaj és podzolos barna erdőtalaj) aránya. A hegység kavicsos-homokos üledékein a pszeudoglejes és az agyagbemosódásos barna erdőtalajok jellemzőek, míg a völgylábak és patak völgyek tipikus genetikai talajtípusai a lejtőhordalék- és öntéstalajok (Csapody 1961, Stefanovits és mtsai 1999).

#### 4.1.3. A Soproni-hegység növényföldrajzi viszonyai

A Soproni-hegyvidék a Kőszegi-hegységgel együtt a Keleti-Alpok flóraidékéhez (*Noricum*), azon belül az osztrák Zittau nevét viselő *Ceticum* flórajárásába tartozik (Borhidi 2007). A hegység potenciális erdőterület, klímaregionális vegetációtípusai üde lombdők; a Brennbergbánya – Görbehalom vonalig bükkösök, keletebbre gyertyános-kocsánytalan tölgyesek. Számottevő a mészkérülő lombdők kiterjedése is. Fragmentálisan fellelhetőek

a száraz lomberdők, molyhos tölgyesek is. Égerligetek a völgyaljakban és szivárgóvizes völgyfőkön jellemzőek. A hegyláb és medence természetes vegetációját jórészt keményfás ligeterdők és gyertyános-kocsányos tölgyesek alkották, de ezek mára átalakultak, eljellegtelenedtek. A kultúrállományok közül a fenyvesek térfoglalása jelentős, ezenkívül a szelídgesztenyések emelhetők ki. Az inváziós fajok térfoglalása alacsony (Király és mtsai 2004, Király 2008).

A Soproni-hegység erdészeti táj őshonos fafajai <sup>5</sup> : bükk (*Fagus sylvatica*), kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), kocsányos tölgy (*Quercus robur*), gyertyán (*Carpinus betulus*), csertölgy (*Quercus cerris*), molyhos tölgy (*Quercus pubescens*), madárcseresznye (*Cerasus avium*), zselnicemeggy (*Prunus padus*), hegyi juhar (*Acer pseudoplatanus*), korai juhar (*Acer platanoides*), mezei juhar (*Acer campestre*), magas kőris (*Fraxinus excelsior*), hegyi szil (*Ulmus glabra*), mezei szil (*Ulmus minor*), vénic szil (*Ulmus laevis*), kislevelű hárs (*Tilia cordata*), vadalma (*Malus sylvestris*), vadkörte (*Pyrus pyraeaster*), madárberkenye (*Sorbus aucuparia*), barkócaberkenye (*Sorbus torminalis*), szelídgesztenye (*Castanea sativa*), házi berkenye (*Sorbus domestica*), bibircses nyír (*Betula pendula*), szőrös nyír (*Betula pubescens*), mézgás éger (*Alnus glutinosa*), fehér fűz (*Salix alba*), törékeny fűz (*Salix fragilis*), kecskefűz (*Salix caprea*), fehérnyár (*Populus alba*), rezgőnyár (*Populus tremula*), jegyenyefenyő (*Abies alba*), lucfenyő (*Picea abies*), erdeifenyő (*Pinus sylvestris*), közönséges boróka (*Juniperus communis*).

A természetszerű erdőket nyugat-dunántúli karakterfajok (*Cyclamen purpurascens*, *Galium sylvaticum*, *Knautia drymeia*) teszik jellegzetessé. A Soproni-hegység keleti felén jellemző dunántúli gyertyános-tölgyesek (*Cyclamini purpurascenti-Carpinetum*) gyér cserjeszintű állományok, koronaszintjükben a kocsánytalan tölgy és a gyertyán uralkodik. Gyakori elegyfajok a madárcseresznye, a bükk, a cser és a meghonosodott szelídgesztenye. A gyepszintben lévő egyvirágú gyöngyperje (*Melica uniflora*) tömeges előfordulása száraz, a bükksás félszáraz, a szagos müge (*Galium odoratum*) üde vízháztartást jelez. A hegység mészkerülő tölgyesei (*Castaneo-Quercetum*) általában elegyfajokban szegények, gyakori

---

<sup>5</sup> 153/2009. (XI. 13.) FVM rendelet szerint



törpecserjéi a csarab (*Calluna vulgaris*), a fekete áfonya (*Vaccinium myrtillus*) és egyes rekettye (*Genista*) fajok.

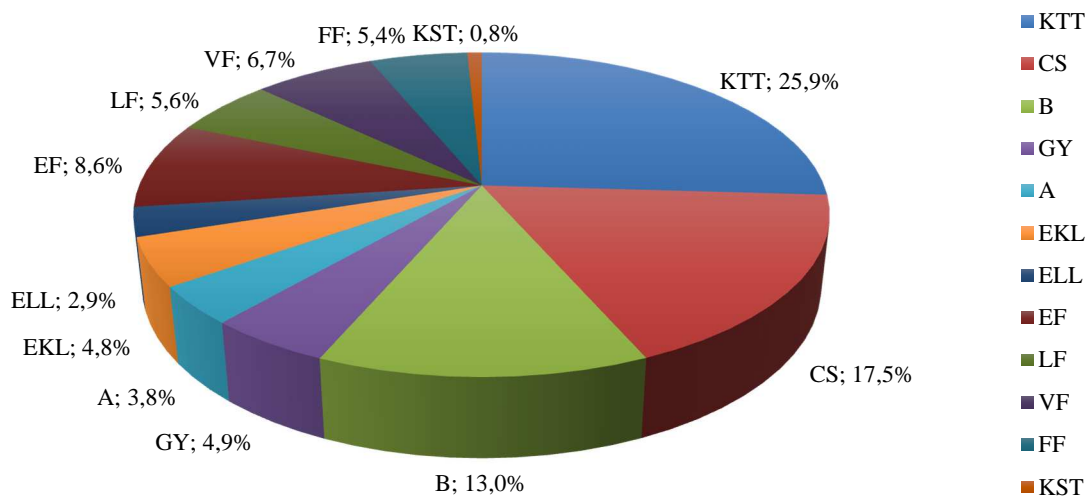
A hegység brennbergi oldalára jellemző szubatlanti klímahatás alatt álló bükkösök (*Cyclamini purpurascens-Fagetum*) cserjeszint nélküliek, állományalkotó fafaja a bükk, gyakoribb elegyfái a hegyi juhar, a korai juhar, a gyertyán és ritkábban a kocsánytalan tölgy és a jegenyefenyő. Gyakori egyvirágú gyöngyperjés (*Melica uniflora*), bukksásos (*Carex pilosa*) és hegyi csenkeszes (*Festuca drymeia*) száraz, félszáraz, nudum és szagos mügés (*Galium odoratum*) típusai üde vízgazdálkodásúak. A mészkerülő bükkösökben (*Galio rotundifolio-Fagetum*) a bükk és a kocsánytalan tölgy mellett általában jelen vannak a lucfenyő, az erdeifenyő és a vörösfenyő is. A laza, második koronaszintet gyertyán és kislevelű hárs alkotja (Borhidi 2007).

#### **4.1.4. A Soproni-hegyvidék erdőgazdálkodásának múltja és jelene**

Napjaink erdőállományait jelentős emberi behatás alakította ki, ezért a jelen erdőgazdálkodása nem értékelhető a múlt főbb irányvonalainak ismerete nélkül. A Soproni-hegyvidéken a tudatos erdőgazdálkodás csak az 1800-as évek második felében vette kezdetét. Előtte az erdők felújításának hiánya, legyengült tuskósarjak, agyonlegeltetett és alomtól megfosztott talajok voltak jellemzőek. A fakészlet állandóan csökkent, a növedék is fokozatosan kevesebb lett, az erdőtalajt szekérszámra hordták a gyümölcsösökbe és szőlőkbe (Tamás 1955). A túlhasználat következtében a gyertyános-tölgyesek és bükkösök elszegényedtek, másodlagos acidofil erdők jöttek létre, a hegység peremterületein lévő erdők kiligetesedtek, elfüvesedtek (Király 2008). Az 1879. évi erdőtörvény bevezette az üzemterv szerinti gazdálkodást, a vágásforduló felemelését, a legeltetés és alomszedés beszüntetését. A Soproni-hegység területén ekkor kezdődött meg az erdők teljes átalakítása összesen mindegy 7000 kataszteri holdon (kb. 4000 ha), főként luc-, erdei-, fekete- és jegenyefenyő tömeges telepítésével, akác és vörösfenyő behozatalával (Tamás 1955). A korszak meghatározó erdésze Muck Endre volt. A vágásforduló fokozatos növelésével és a sarjzattatás csökkentésével (Majer 1987) a magról történő természetes felújítás az 1950-es évekre kiterjedt területen is bevezethetővé vált. A világháborút követő évtizedekben a fenyők ismét előtérbe kerültek az erdősítési célállományok megválasztásánál, elterjedt a nagyüzemi csemetetermelés. Az erdőgazdálkodás gépesítettségének rohamos fejlődése a gazdálkodás intenzitását növelte; megjegyzendő azonban, hogy a nevelővágások elvégzése

is biztosabbá vált. A műszaki határzár kiépítésével háttérbe szorultak a környezet- és természetvédelmi szempontok, a fokozott erózió és vadkár negatív hatást gyakorolt az erdősítések fajösszetételére és minőségére (Mollayné és Molnár 2011). A rendszerváltást követően a fakitermelés és faanyagszállítás privatizálása, a jelentkező munkaerőhiány és a szűkár jelentették a legnagyobb kihívásokat. A jelen erdészeti politikáját az erdők természetességének növelése, a faanyag nyerése mellett közjóléti és természetvédelmi célú hasznosítása határozza meg.

A Soproni-hegyvidék jelenleg a Sopron-Fertőmelléki erdőtervezési körzet része, körzeti erdőterve 2015. január 1-jétől hatályos<sup>6</sup>. A területen a Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt. a meghatározó erdőgazdálkodó, erdőgazdálkodási tevékenységeit – a Fertő-menti-dombsorral és a Dudlesz-erdővel együtt – a Soproni Erdészet irányítja. Az erdészeti területen legjelentősebb a kocsánytalan tölgy aránya, de a hegyvidéki területeknek köszönhetően számottevő a bükk, a gyertyán, a luc- és vörösfenyő területfoglalása is (11. ábra).



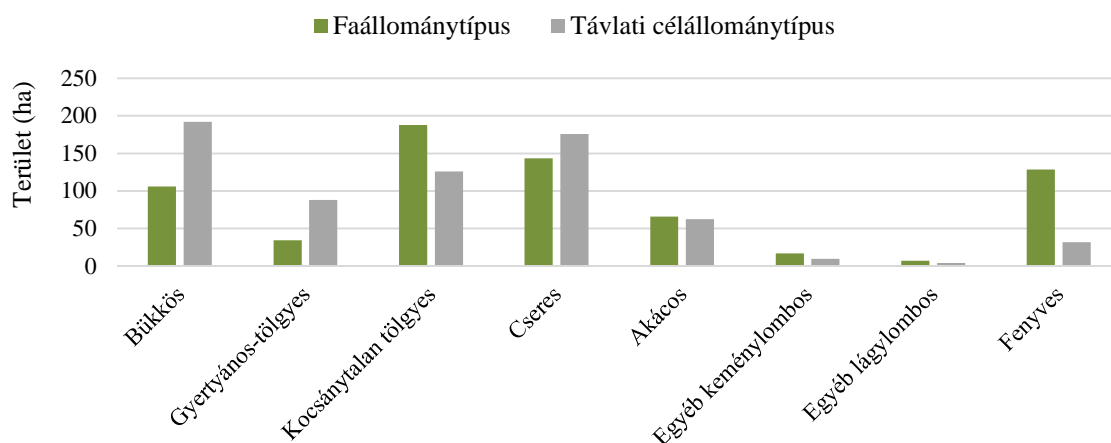
11. ábra: Fajfajok területfoglalása a Soproni Erdészet területén

A bükkösök nagy része bükkös, negyede azonban gyertyános-tölgyes klímában fordul elő, többnyire kipusztult lucfenyvesek helyén, mesterségesen felújítva. Felújításuk természetes úton történik, növekszik a folyamatos erdőborítást szolgáló üzemmódok aránya is. A gyertyános-kocsánytalan tölgyesek és acidofil kocsánytalan tölgyesek gyakran átmenetet

<sup>6</sup> Az alfejezet további része a vonatkozó erdőterv alapján kerül ismertetésre.

képeznek, a kocsánytalan tölgyesek idősebb állományai jellemzően tuskósarj eredetűek. A körzeti erdőterv a patakmenti égetársulásokat megőrizendő természetvédelmi értéknek, a nyíreket viszont átalakítandó rontott erdőknek minősíti. A lucfenyő egészségügyi szempontból (szű, gyökérrontó tapló) a körzet egyik legproblematisabb fafaja, az erdőterv kemény lombos típusokkal való felváltását írja elő. Elegyként jelentősége – az idegenhonossága miatt problémás vörösfenyőhöz hasonlóan – várhatóan a jövőben is megmarad.

A körzetben a Soproni-hegység erdőállományainak természetessége a legjobb, az erdőterületek nagy része az 1977-ben létrehozott Soproni Tájvédelmi Körzet része. A hegyvidéken meghatározó bükkösök és gyertyános-kocsánytalan tölgyesek térfoglalása emelkedik, főként rossz egészségi állapotú fenyvesek, elegyetlen kocsánytalan tölgyesek és gyertyán konszociációk ellenében (12. ábra).



12. ábra: A Soproni Erdészet faállomány-típusainak tervezett területi változása

A Soproni Erdészet vonatkozásában igen fajsúlyos az idősebb korosztályok volumene (a 71 év feletti korosztályok az élőfakészlet 60,5%-át adják), ami annak is köszönhető, hogy a Soproni Tájvédelmi Körzet részeként az erdőterületek jellemzően természetvédelmi elsődleges rendeltetésűek. A gazdasági szempontból kiemelten fontos kocsánytalan tölgy átlagos vágásérettségi kora 112, a bükké 116 év. Az erdőtervezési körzet állami tulajdonú erdeiben 2015,27 hektáron – főként a Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt. által vagyonkezelt területeken – a folyamatos erdőborítást biztosító üzemmódokat alkalmazzák. A száraló üzemmódú erdők csoportjába csak két erdőrészlet (összesen 20,96 ha) tartozik. A Soproni-hegyvidéken jelentős a parkerdők, tanerdők és kísérleti erdők aránya is.

## 4.2. A vizsgált terület bemutatása

A vizsgált terület bemutatása során a Sopron 182 B erdőrészlet ismertetésén felül a Roth-féle szálalás eddigi eredményeit foglalom össze Roth Gyula publikációi és hagyatéki anyaga, Tamás (1955), Majer (1986), Mollayné és Molnár (2011), valamint Koloszár (2013) összeállításai alapján.

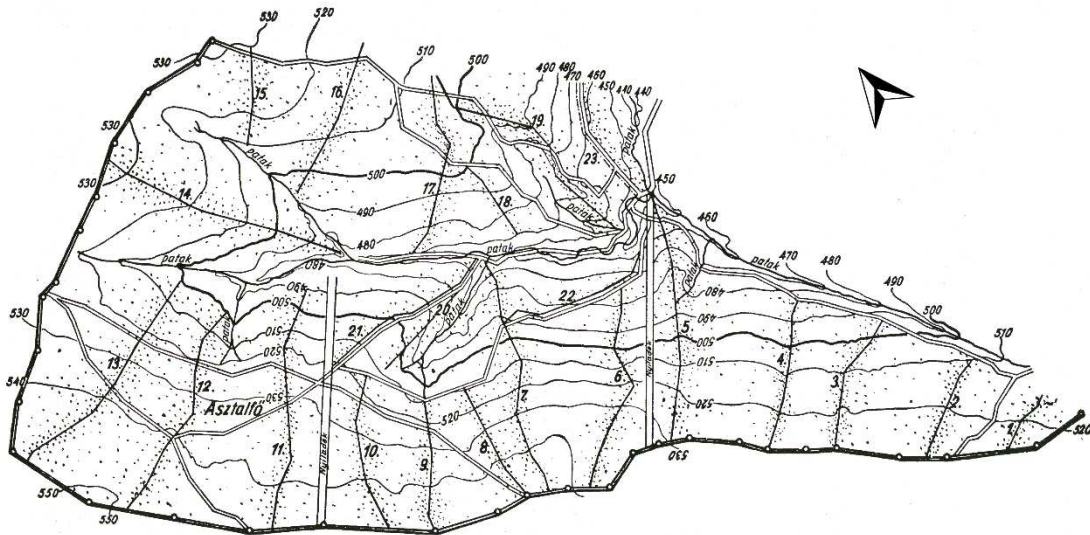
### 4.2.1. Korábbi kutatások és felmérések a Roth-féle szálaló erdőben

Roth Gyula vonalas szálalóvágásának és szálalásának módszerét még az akadémia selmecebányai évei alatt szerette volna kipróbálni a likavai kísérleti területeken, de erre az első világháború kitörése miatt már nem volt lehetősége. Ma is futó kísérletének területére a Sopronhoz közeli Hidegvíz-völgyben 1920 táján talált rá, és sikerült elérnie, hogy az akkor vágásérettnek tartott 120 hektárnyi állományt hagyják meg a szálaló erdővé való átalakításhoz. Feltáró út hiányában kutatását nem tudta volna beépíteni az általa szervezett Erdészeti Kutatóintézetek Nemzetközi Szövetségének 1936-os kongresszusi programjába, így az érdemi munkák csak a kongresszust követően kezdődtek meg.

A kísérleti terület kezdetben öt erdőtagot (77,4 ha) foglalt magába. Roth Gyula a térbeli rend biztosítása érdekében az erdőtömböt 23 vonallal (20 tengelyvonal és 3 szegély) 0,5-7 hektár nagyságú szálaló egységekre osztotta. A fakitermelések 1937-ben kezdődtek meg, azonban rendszerint csak jelentős késéssel követték a jelölés munkálatait. A területet három részre osztották, a jelölési-fahasználati munkák évente a terület egyharmadát érintették, átlagosan 3,3 m<sup>3</sup>/ha évenkénti eréllyel. Az erdőállomány képe a területen igen változatos volt, annak köszönhetően, hogy különböző eredetű, korú és fajú – helyenként ültetésből származó – faegyedek alkották. A túlhasználat következtében betelepült pionír fajokat a korabeli erdőgondnok még az 1920-as években visszaszorította, azonban a kivágott fák helyén gyomosodás lépett fel. Roth Gyula a szálalás kialakításának kezdetén az elgyomosodott helyek környezetében még lábon álló fákat érintetlenül hagyta, aminek következtében azok erősen ágasodtak ugyan, de a talajt is megfelelően árnyalták. A nudum foltokban a felújulást ültetéssel is segíteni kellett. A felújult foltok védelmében a kiterjedt koronájú, nagy fákat csonkították fakitermelés előtt.

Roth Gyula a Hidegvíz-völgyi szálaló erdőt nemcsak kísérletnek, hanem bemutató területnek is szánta egyetemi hallgatók és érdeklődők számára. A szálaló egységek

tengelyvonalait festéssel állandósította, bejáró ösvényeket tartatott karban, a jelölési munkákban időnként az egyetem hallgatói is részt vettek. Sébor János irányításával 1941-ben egyetemi gyakorlat keretében rétegvonalas térkép is készült a területről (13. ábra), amely megalapozta az átalakítási munkálatok tervezhetőségét.



13. ábra: Sébor János és hallgatói által készített rétegvonalas térkép a kísérleti területről 1941-ből (Roth 1953)  
(1-23-ig törtéző számozással a támadóvonalakat, pontokkal a kivágásra jelölt faegyedeket ábrázolták)

A második világháború időszaka a kísérletnek sem kedvezett. A tervszerű fahasználatok és jelölések szüneteltek, a szovjet csapatok elől visszavonuló német egységek útvonala a Hidegvíz-völgyet is érintette. A jelölések 1947-ben, azok végrehajtása 1949-ben kezdődött újra. Sajnálatos módon a zűrzavaros időszakban több olyan ellenőrizetlen fakitermelés volt, amely nem kedvezett az állomány szerkezetének, és amelyről kitermelési adatok sem álltak rendelkezésre.

A kísérlet első 15 éve ugyan az élőfakészlet pontosabb felvételezése nélkül telt el, de a felújulási viszonyok (I. melléklet), az állomány szembetűnő minőségi javulása Roth Gyulát bizakodóvá tette, és az időközben megalakuló OEE száraló erdő munkabizottság további területeket vont hasonló kísérlet alá az ország különböző részein. A hidegvíz-völgyi száraló erdőben Roth Gyula az erdőgazdaságot évenkénti 200-220 m<sup>3</sup> faanyag kitermeléséről biztosította, amelyet a professzor és Stefanik László jelölései alapján végeztek el. A munkabizottság kutatócsoportjának szakmai elhivatottsága a faállományban bekövetkező

szerkezeti változások minél pontosabb nyomon követését kívánta meg. Az első igazán precíz fakészlet-felvételezést az ERTI soproni állomása részéről Stefanik László végezte el 1952-ben. Mintakörös felvételezéssel (kb. a terület 10%-át érintve) felvette az egész területet, majd a 9-es és 16-os vonal környezetében negyed hektáros területeken teljes felvételezést végzett. A becslés mindkét módszer esetében 447 m<sup>3</sup> hektáronkénti fakészletet eredményezett. Roth Gyula a munkabizottság eredményes működésében egy száraló erdőkre szakosodott brigád létrehozásának lehetőségét látta, és a hidegvíz-völgyi száraló erdő tervezett munkálatainak finanszírozásához kísérletet tett a Magyar Tudományos Akadémiánál anyagi támogatás megszerzésére az alábbiakhoz:

- döntendő fák koronáinak csonkítása;
- száraz ágak lenyесése az álló törzsekről;
- közelítő ösvények helyreállítása és rendben tartása;
- száraló egységek jelzéseinek fenntartása;
- csemeték vadrágás elleni védelme dróthálóval;
- szerszámos bódé építése.

Az eszközökre és a munkák elvégzésére kért támogatás sajnos elmaradt, csak az ERTI tudott korlátozott anyagi segítséget nyújtani. Tovább nehezítette a helyzetet az is, hogy új törvényi rendelkezés értelmében a faanyagért cserébe már nem lehetett munkát végeztetni, így a döntendő fák koronáinak csonkítása is nehezkessé vált. 1953-ra elkészült azonban az első pontosnak tekinthető üzemtervi felvétel, amely szerint a terület fafaj-összetétele 30% bükk, 26% lucfenyő, 15% gyertyán, 12% vörösfenyő volt, a maradék 14%-ot kocsánytalan tölgy, kislevelű hárs, hegyi juhar, erdei fenyő, mézgás éger, szálanként jegenyefenyő, magas kőris, hegyi szil, nyír és rezgőnyár alkották. Roth Gyula ellenőrző eljárásként további 50 m oldalhosszúságú, négyzet alakú, ún. precíz területek kijelölését szorgalmazta, ahol a számozott fákat 5 évente egyesével felvételezik, és ezáltal következtetnek az állomány növedékére, amely a fahasználat mértékét szabja meg. Végül az ellenőrző eljárások megkönnyítésére 2552 mért fa adatát felhasználva Palotay István készített fatömeg-tarifát a kísérleti területre 1959-ben (Palotay 1965).

Roth Gyula 1961-es halálát követően Majer Antal vette át a kutatás vezetését. Ugyanebben az évben készült el az aszfaltozott feltáró út is, amelynek hiánya a kísérlet korábbi szakaszaiban számos nehézséget okozott. Palotay István és munkatársai 1963-ra

elkészítették a terület első száraló jellegű üzemtervét, amely a kitermelhető faanyag mennyiségének növelését irányozta elő. Ennek megfelelően Majer Antal az üzemtervi időszakban évente hektáronként átlagosan 9 m<sup>3</sup> kitermelendő faanyagot jelölt ki.

1975/76 telén a jelenlegi Sopron 181 B<sup>7</sup> erdőrészletben hatalmas széldöntés történt, amelynek következtében az egész részlet faállományát ki kellett termelni. Az erdő ugyan természetesen felújult, de a természeti csapás a 14-es támadóvonal és 6,6 hektár erdőterület kiesését okozta a kísérletből. 1981 és 1983 között a Sopron 178 A erdőrészlet faállományát – amelyben az 1-5. számú támadóvonalak futottak – három lépésben kitermelték és mesterséges kiegészítéssel felújították, feltételezhetően Majer Antal tudta és beleegyezése nélkül. Ezáltal újabb 14,1 hektárral csökkent a kísérlet területe. Mivel az üzemterv által előirányzott kitermelhető famennyiség adott volt, a két erdőrészlet kiesésével a megfelelő erélyű kezelés lehetősége is megghiúsult, egyedül a 182-es tagban sikerült érdemi fakitermelést végezni. A fennmaradó területeken mindez az anyaállomány összezáródásával és az újulat tömeges pusztulásával járt.

Az 1983-ban kezdődő tíz éves időszakra az üzemterv a fakitermelés erélyének növelését tette lehetővé az elmaradt kezelések pótlása és a kialakulóban lévő száraló szerkezet megmentése érdekében. Sajnos a természetvédelmi hatóság korlátozásai ezt meggátolták, és a fahasználati lehetőség tizedét sem sikerült megvalósítani. A kísérleti terület korosztályviszonyai tovább romlottak, ezért a kísérletet Májer Antalt követően vezető Koloszár József a terület csökkentése mellett döntött. A Sopron 179 B, 179 C erdőrészletek, valamint a Sopron 180-as erdőtag egykorúvá váló faállományai (6; 7; 8; 11; 12; 13; 20; 21; 22; és részben a 9; 10 támadóvonalak és -szegélyek) kikerültek a kísérletsorozatból.

A kísérletből megmaradt Sopron 179 C erdőrészletről, valamint a Sopron 182-es erdőtagról Bácsy László vezetésével 1991-ben és 1992-ben erdőmérnök hallgatók új rétegvonalas térképet készítettek (II. melléklet), az állományszerkezeti vizsgálatokkal – a tanszék munkatársain kívül – diplomatervező hallgatók is foglalkoztak. Sikerült elérni a természetvédelmi korlátozások mérséklését is, így 1994-95-ben a 182-es erdőtagban,

---

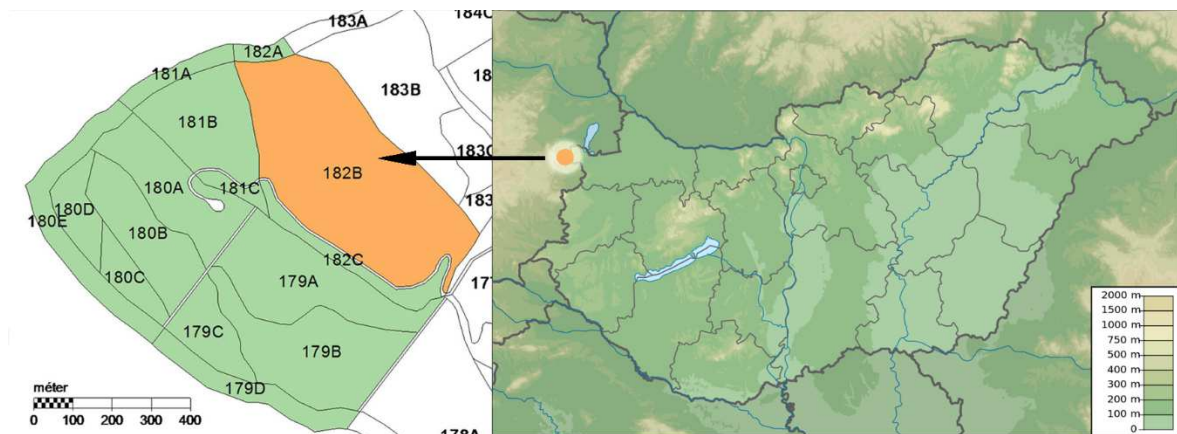
<sup>7</sup> Az egyszerűség kedvéért a jelenlegi erdőrészlet-beosztást használom, a korabeli beosztás visszakövethető Koloszár (2013) könyve alapján.

1998-ban a 179 C erdőrészletben is megtörténhetett a kitermelendő faanyag kijelölése. A 179 C erdőrészlet tervezett fakitermelését sajnos nem sikerült időben végrehajtani, így annak elvesztésével és a Sopron 182 C erdőrészlet leválasztásával a kísérlet 19,4 hektáron, a Sopron 182 B erdőrészletben (15-19. támadóvonalak) folytatódott 2003 után.

A Sopron 182 B erdőrészletet az erdészttársadalom Roth-féle száraló erdőként ismeri, ez az egyetlen terület, amely a kísérlet elmúlt 80 évében – ha változó eréllyel is – megkapta a vegyes korszerkezet kialakításához szükséges kezeléseket. Roth Gyula tiszteletére – a jelenlegi erdőtervezési ciklustól – az eredeti kísérleti terület csaknem egésze emlékerdő lett, és a jövőben is a kutatást fogja szolgálni (Molnár és Frank 2015).

#### 4.2.2. A Sopron 182 B erdőrészlet általános jellemzése

A kutatás mintaterületének választott Sopron 182 B erdőrészlet a Soproni hegységben, a Hidegvíz-völgy felső szakaszán, a Magyarország-Ausztria országhatár közvetlen szomszédságában található (14. ábra). A területre aszfaltburkolatú út vezet, az erdőrészlet délkeleti sarkában faház, déli oldalán időjárás-biztos út melletti rakodó van. A terület szomszédságában, egy több évszázados bükkfa közelében található Roth Gyula emlékműve. Az erdőrészlet környezetét többségében bükk főfafajú állományok alkotják, az egykori műszaki határzár nyomvonalán máig jelentős a nyír területfoglalása. A vizsgált terület mellett, a patakhoz közel élnek hazánk erdeinek legtermetesebb lucfenyő egyedei.



14. ábra: A Roth Emlékerdő és a Sopron 182 B erdőrészlet (narancssárga) elhelyezkedése

A Sopron 182 B erdőrészlet területén utoljára 1867-ben volt tarvágás, melynek során feltehetően egy többségében sarjból álló, rövid vágásfordulóval kezelt faállományt termeltek



ki a több évszázada túlhasznált erdőből. Számottevő idős faegyed hiányában a felújulás zömében sarjról történt meg, és kialakult egy bükk főfafajú állomány. Az elegyfák gyertyán, kocsánytalan tölgy, idős lucfenyő, nyír és nyár egyedek voltak. Ebben a rontott állományban kezdte meg Roth Gyula 1937 tavaszán első jelölési munkáit, amellyel elindította hazánk legrégebb óta tartó terepi erdészeti kísérletét. A kísérlet elmúlt nyolc évtizedében az erdőrészlet területét illetően gyakran történtek változtatások, jelenlegi kiterjedése, általános adatai az Országos Erdőállomány Adattár alapján (III. melléklet) kerülnek ismertetésre:

- részlet területe: 19,40 ha
- elsődleges rendeltetés: természetvédelmi
- további rendeltetések: Natura 2000, kísérleti
- tengerszint feletti magasság: 450-550 m
- fekvés: változó
- domborzat: változó
- lejtés: változó
- termőhelytípus-változat: B-TVFLN-PGBE-MÉ-V
- üzemmód: száraló

A változó klimatikus környezetben visszaszoruló bükk jövőbeni éghajlati viszonyai az előrejelzések szerint – országos összehasonlításban – kedvezőek a területen (Führer és mtsai 2010, Czúcz és mtsai 2013). A termőréteg vastagsága és a terület víztartó- és fatermőképessége – részben a korábbi bolygatások miatt, részben a változatos felszínből következően – nem egyöntetű. Az erdőrészlet a jelenlegi erdőterv hatályba lépésével került száraló üzemmódba, előtte vágásos üzemmódban végzett száralóvágás volt jellemző a területen. Ekkor létesült a környező erdőrészletek bevonásával a Roth Emlékerdő, amely a Soproni Egyetem kísérleti területe is egyben. A rendeltetések és az üzemmód következtében az erdőterv hatályba lépésével (a legfontosabbakat kiemelve) az alábbi részletszintű leírások kerültek megfogalmazásra:

- A száralás tervezett fatérfogata a számított folyónövedéssel egyezik.
- Faktitermelések jelölése előtt a mindenkori Erdőművelési és Erdővédelmi Intézetet értesíteni kell.
- Az erdőkezelés a kísérleti és természetvédelmi célok figyelembevételével történhet.

- Erdőgazdálkodás csak a természetvédelmi célokkal összhangban, a védett természeti területek természetvédelmi kezeléséért felelős szervvel egyeztetett helyen és időben végezhető.
- Vegetációs időszakban fakitermelés csak a természetvédelmi hatóság engedélyével végezhető.

Jelen kutatást megelőzően utoljára 2005-ben, Csepregi Imre intézeti mérnök irányításával végeztek részletes felmérést az erdőrészletben, ekkor történt meg a 20 cm mellmagassági átmérő feletti törzsek számozása is. Dendrometriai felvételek alapján a 2006-os fahasználat utáni állapotot az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat: Faállomány-szerkezet a 2006-os bontást követően (Kolozsár 2013)  
( $N$  = hektáronkénti törzsszám [db/ha],  $V$  = hektáronkénti fatömeg [ $m^3$ ])

átmérőosztályok d1,3 (cm)	B		KTT		GY		Fenyő		egyéb		összesen	
	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V
7,0-14,9	13	2	-	-	10	1	-	-	7	1	30	4
15,0-24,9	22	10	-	-	7	4	8	5	6	3	43	22
25,0-36,9	14	15	1	1	2	3	7	8	2	2	26	29
37,0-50,9	12	32	4	9	2	3	5	13	1	2	24	59
51,0-69,9	11	60	4	19	1	2	2	5	1	3	19	89
70,0-	4	32	1	6	-	-	1	5	-	-	6	43
<b>összesen:</b>	76	151	10	35	22	13	23	36	17	11	148	246

### 4.3. A terepi felvétel menete és eszközei

Jelen kutatás terepi munkái célként tűzték ki a Sopron 182 B erdőrészlet pontos állományfelvételét, a Field-Map terepi adatgyűjtő és térképező műszer-együttes teljes területű felvételben való tesztelését, valamint geoinformatikai módszerekkel elemezhető adatbázis létrehozását. A kutatáshoz kapcsolódóan az Erdőmérnöki Karon két diplomamunka is született (Fábián 2014, Barton 2015), a terepi felvételek egy kisebb kutatócsoportot keltettek életre. Jelen fejezetben szükségesnek tartottam a felvételi módszerek részletes ismertetését, ugyanis a leírt rendszer a Sopron 182 B erdőrészlet faállomány-monitoringjának lehetőségét alapozza meg.

### 4.3.1. Az adatgyűjtés rendszere

A terepen felvételezett mennyiségi és minőségi jellemzőket és az adatgyűjtés során alkalmazott műszereket az 2. táblázat mutatja be.

2. táblázat: A terepen felvett adatok és a felvételhez használt eszközök összefoglalása

vizsgált paraméter	felvétel jellemzői	használt eszköz	jelen dolgozatban feldolgozásra került
fafaj	-	-	igen
törzspozíció (EOV)	-	Field-Map	igen
mellmagassági átmérő [mm]	két, egymásra merőleges irányból, mm-es pontosság	átlaló	igen
famagasság [m]	0,1 m-es pontosság	Vertex IV	igen
koronaalap magassága [m]	0,1 m-es pontosság	Vertex IV	igen
elhalt koronaalap magassága [m]	0,1 m-es pontosság	Vertex IV	igen
koronavetület [m <sup>2</sup> ]	általában 4 jellegzetes vetületponton mérve	Field-Map	igen
törzsmínőség	jó, közepes, rossz (TAEG útmutatásai szerint)	-	nem
fattyúhajtásosodás	nincs, gyenge, erős	-	nem
betegség tünet	nincs, koronában, törzsön	-	igen
betegség tünet foka	-, gyenge, közepes, erős	-	igen
fakitermelésre jelölt-e	igen, nem	-	nem
megjegyzések	pl.: villás törzs, tőkorhadás, bükk kéregrák	-	részben

Ahhoz, hogy a technika várható további fejlődése ellenére a jövőben is jól összehasonlítható és reprodukálható felvételezés szülessen, a faegyedek minőségi és mennyiségi paramétereinek meghatározása mellett szükség volt a felvett törzsek pozícióinak tárolására is. A rendelkezésre álló eszközök áttanulmányozása után a választás a Field-Map rendszerre esett, amely egy adatgyűjtő és –feldolgozó egységekből álló, számítógép által vezérelt eszköz.

Legfontosabb összetevői:

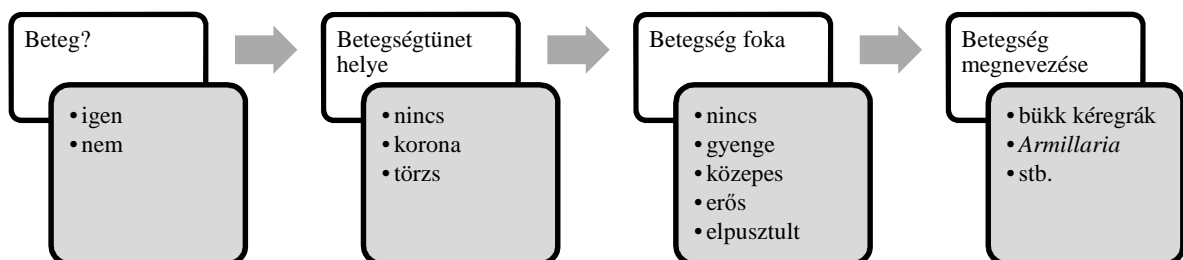
- érintőtollal vezérelhető terepi számítógép (HammerHead);
- LaserTech MapStar II digitális iránytű;
- TruPulse 200 lézeres távolság- és magasságmérő műszer;
- monopod állvány a műszerek csatlakoztatási lehetőségeivel.

A műszer terepen GIS (geoinformációs rendszer) adatgyűjtőként üzemel, faegyedekhez kötött pozíciókat és magassági adatokat tárol és jelenít meg felhasználói felületén. Az adatbeviteli űrlap személyre szabható, így minden adat a terepi számítógép segítségével került bevitelre. Az eszköz mérőegységei felállási sokszögpontok (ún. referenciapontok), törzspoziciók és koronavetület-töréspontok mérésére szolgáltak a terepi felvételezés során.

A magassági értékek méréséhez (famagasság, koronaalap magassága, elhalt koronaalap magassága) – a jobb pontosság érdekében – Vertex IV (Haglőf) ultrahangos kézi famagasságmérőt használtam, amely a mérőműszerből és a vele összehangolt transzponderből áll. A készülék nagy előnye, hogy sűrű vegetációban is használható, és bázistávolságtól függetlenül (akár 30 m-nél is messzebről) képes meghatározni a faegyed magasságát.

A mellmagassági átmérő méréséhez 1 m skálahosszúságú, milliméteres beosztású átlalót használtunk.

Minden esetben feljegyeztem a látható sérüléseket, betegségi tüneteket a 15. ábrán látható logika szerint. Mivel egyedül a bükk kéregrákos betegsége fordult elő nagy számban, csak ez a betegség képezi jelen munka tárgyát.



15. ábra: Betegségi tünetek (és sérülések) osztályozásának rendszere

A *Neonectria* fajok peritéciumai és a *Cryptococcus fagisuga* tetűfaj jelenléte nem állandó a fertőzött fákon, ezért a felvételezett bükk egyedek a nemzetközi szakirodalomból ismert módon (Griffin és mtsai 2003, Mihál és mtsai 2015), a kéregnekrózis súlyossága alapján kerültek osztályzásra (IV. melléklet); átlagolt értékeik a fertőzöttség mutatószámát adják:

1. egészséges: tünetmentes vagy elhanyagolhatóan kevés nekrózis a kérgen;
2. gyengén fertőzött: kisebb rákos sebek, repedések a kérgen, amelyek jellemzően kis csoportokban helyezkednek el és csak a törzshöz közel állva (~5 m) tűnnek fel;
3. közepesen fertőzött: a nekrózisok az előbbinél sűrűbben jelentkeznek, kisebb kitüremkedések találhatóak a törzsön, a tünetek távolabbról ( $\geq 5$  m) is jól látszanak;
4. erősen fertőzött: a nekrózisok koncentráltan, kiterjedt területen jelentkeznek, a törzs alaki tulajdonságait messziről felismerhetően meghatározzák;
5. elpusztult: kéregrákos fertőzés következtében elpusztult bükk faegyed.

A módszer előnye, hogy szabad szemmel látható tünetek alapján értékel (gyorsaság, egyszerűség), hátránya viszont a kategóriahatárok elmosódása, valamint a fertőzött, de még tünetmentes egyedek kihagyása (pontosság).

A fattyúhajtások vizsgálatát és a törzsmínőség álló fa szemrevételezésével történő értékelését túlságosan szubjektív mutatónak találtam ahhoz, hogy geostatistikai számítások alapjául vegyem őket; mint rendelkezésre álló adatok azonban – a fakitermelésre jelölt egyedek feljegyzésével együtt – hasznosak lehetnek egy későbbi, összehasonlító felmérés során.

A terepen való könnyebb tájékozódás érdekében bevitelre kerültek a 2005-ben végzett faállomány-felvétel során számozott faegyedek sorszámai is. Mivel a 2005-ös felvétel más rendszerben és más műszerekkel történt – bár a törzsek pozíciói a felmérés következtében már ismertek –, adatai csak állomány szintű összehasonlító vizsgálatokhoz nyújthatnak alapot.

### 4.3.2. A felvételezés menete

Az egyes fák felvétele 2013. szeptember 6. és 2014. március 11. között történt. A munkában Fábián Ferenc diplomatervező volt segítségemre, aki részt vett faegyedek minőségi értékelésében<sup>8</sup> (betegségek, sérülések, fattyúhajtások), a mellmagassági átmérők felvételezésében, valamint figuránsként a pozíciók és magasságok mérésében. A terepi mérés menetét diplomamunkájában részletesen tárgyalja (Fábián 2014).

Mivel sem a vizsgálati területen, sem annak közvetlen szomszédságában nem található geodéziai alappont, szükség volt olyan pontok meghatározására, melyek alapján a felvételi hálózatot tájékozni lehetett. Bazsó Tamás egyetemi tanársegéd geodéziai pontosságú alappontot mért be Leica 1200 típusú műszerrel, RTK (*real time kinematic*) mérési módszert alkalmazva. Ez a pont lett a mérés kiindulópontja, innen vezettük a vizsgálati terület határán végigfutó keretszög-vonalat. A hosszabbik oldalakon átellenben lévő keretszög-pontokat mellékszög-vonalakkal kötöttük össze, amelyek töréspontjai egyben állomány-felvételi felállási pontok is voltak. A töréspontok távolságát úgy választottam meg, hogy az egy pontból mérendő faegyedek jól láthatóak legyenek, maximális távolságuk ne haladja meg a 30 métert. A szögölés pontjait állandósítottuk, a felvétel során egyedi számozást kaptak (V. melléklet). Adott felvételi pontból felmért faegyedek sorszámait is bevitelre kerültek.

A Field-Map műszer egy relatív koordináta rendszerben gyűjtötte az adatokat, amelynek origója a bemért geodéziai pontosságú alappont volt. A pozíciók külpontosan kerültek felvételezésre, prizmáról visszavert lézerjel segítségével. Mivel a munka több helyen is sűrű állományban folyt, egyes esetekben szükség volt akár 4,5 m-es prizmabotra is, amely bizonyos mértékben rontotta a pontosságot. Ahhoz, hogy a magasra állított prizmabotos mérések számát minimalizáljuk, a sűrűbb állományrészekben elsősorban lombtalan állapotban, a téli és kora tavaszi hónapokban mértünk (VI. melléklet). A koronavetületet általában négy jellemző vetületi töréspontban vettük fel, figyelembe véve, hogy a Field-Map szoftverébe beépített koronavetület-lekerekítő funkció reális képet adjon. Azoknál az egyedeknél, amelyek koronái ezt indokoltá tették, négyenél több vetületpontot is

---

<sup>8</sup> A minőségi értékelések közös döntéshozatallal születtek meg.

felvettünk. A magassági értékek és átmérők mérését 1-2 napos váltakozásban, külön fázisban végeztük, a mért értékeket – a későbbi adatbevitelhez – jelölőkrétával a törzsre jegyeztük fel. A magasságméréseket legalább famagasságnyi távolságból, jó rálátást biztosító pontokból végeztem el. A mellmagassági átmérőket - két, egymásra merőleges irányból – Fábián Ferenc mérte, egyes fák átmérőjét a mért értékek mértani közepe adta.

A teljes törzsfelvételt – Roth Gyula (1935) elveit követve – a 15 cm-es mellmagassági átmérőt elérő egyedekre végeztük el. A felmérésből kihagytuk az erdőrészlet északkeleti peremét (egykorú bükkös), a délkeleti oldalt (meredek árokpart) és a nyugati oldalon lévő, épített közelítő nyom által leválasztott sávot, melyeket a kísérlet korábbi szakaszaiban felújítási célú beavatkozás nem érintett (16. ábra). A faállomány-felvételezés során 132 kitűzött referenciapontból összesen 3424 faegyed került felvételezésre, 16,80 hektáros, egybefüggő területen. Egy faegyedre vonatkozóan átlagosan 9-10 mérést hajtottunk végre, az alapadatbázis csaknem 70 ezer faadatból állt.



16. ábra: A 16,80 hektáros felmért terület elhelyezkedése  
a Sopron 182<sup>o</sup> B erdőrészleten belül

<sup>9</sup> A dolgozatban bemutatott térképek északi tájolásúak.

Bár a terepi munkát segédemmel együtt a legjobb tudásunk szerint végeztük, az adatbázisban természetesen adódtak/adódhatnak hibák. Ennek okai lehetnek:

- akadhatott olyan faegyed, amely nem került felvételezésre;
- akadhatott olyan faegyed, amely többször is felvételezésre került;
- sűrű állományrészben előfordulhatott hibás magasságmérés a szomszédos – hasonló magasságú – facsúcsok felcserélése miatt;
- előfordulhatott bediktálás során félrehallásból származó hiba;
- előfordult elírásból származó hiba;
- előfordult a szoftver rendellenes működése következtében előállt hiba.

A Field-Map terepi számítógépén valós időben megjelenített törzstérképnek és a bemért törzsek zsírkrétával való jelölésének köszönhetően a kihagyott, illetve többször bemért egyedek száma vélhetően nullához közeli volt. A törzsfelvételt nehezítette, hogy a Field-Map műszer többször meghibásodott, ami részleges adatvesztéssel is járt. A teljes felvételt követően megtörtént a hiányzó adatok pótlása és a hibásnak vélt értékek terepi ellenőrzése, szükség szerinti javítása is.

#### ***4.3.3. A felmért pontok geometriai korrekciója***

A Field-Map rendszert elsősorban mintakörös felvételekre használják, digitális iránytűje és lézeres távolságmérője rendszeres kalibrálás ellenére sem képes geodéziai pontosságú mérések elvégzésére. Már a terepi munkák elején nyilvánvalóvá vált, hogy egy kiterjedt sokszög-hálózat esetén a műszer mérési hibái összeadódnak, és az alapponttól távolodva az adatbázis olyan mértékű hibákkal lesz terhelt, amely lehetetlenné teszi az adatok korrekt geoinformatikai elemzését.

A Földmérési és Távérzékelési Tanszék munkatársaival a mérési ponthálózat geodéziai műszerrel való újramérése mellett döntöttünk. A terepi munkát Czimber Kornél egyetemi docenssel és Bazsó Tamás egyetemi tanáregéddel közösen hajtottuk végre, az alkalmazott eszköz Sokkia PowerSet 3000 típusú mérőállomás volt. A mérési adatok feldolgozását Bazsó Tamás végezte el.

A felmért faállomány törzspozícióinak geometriai korrekcióját Barton Iván (2015) készítette el. A Field-Map által hibásan felmért referenciapontok hibavektora a mérőállomás



adatainak segítségével számíthatóvá vált. Az elcsavarodás miatt az alappontokról (referenciapontokról) mért részletpontokat (törzspozíciókat és koronavetület-töréspontokat) egy  $\beta$  szöggel el kellett forgatni, hogy az eredeti pozíciók visszanyerhetőek legyenek. A pontok javítása Helmert-transzformációval történt (Watson 2006). Terepi ellenőrzéssel összehasonlítva a transzformált Field-Map pozíciók 0,37 m-es átlagos eltérése volt tapasztalható, 0,18 m szórás értékkel. A terepmagasság értékeinek korrekciójához a magasság adatainak teljes cseréjére volt szükség. A területről 2012-ben készült légi lézerszkennelt felvételtől nyert digitális domborzatmodell terepmagasságai kerültek be a javított pozíciókat tartalmazó adatbázisba.

Barton (2015) a bemért koronavetület-pontok alapján – a Field-Map szoftvertől eltérő lekerekítést alkalmazva – saját vetületeket szerkesztett. A koronavetület-leíráshoz a harmadfokú Bézier-görbét találta megfelelőnek (Bézier 1974), amellyel az ellenőrzés végett tükrös koronavetület-mérő műszerrel felvett referenciaméretek és az átlagosan 4 pontra generált méretek között nagyfokú egyezés mutatkozott. Ezt követte a háromdimenziós koronamodell létrehozása (VII. melléklet). A fák koronaformáját a vetület, a teljes magasság, a koronaalap magassága, valamint a fafajhoz rendelt korona-paraméter határozták meg (Barton 2015)<sup>10</sup>.

#### 4.4. Az adatok statisztikai feldolgozása

A statisztikai feldolgozást megelőzően megtörtént a hiányzó adatok feltöltése, valamint a hibásnak talált értékek javítása. A részletesebb elemzéshez a kiindulási adatokból az alábbi faegyed szintű adatokat vezettem le:

- $g$  = *mellmagassági körlap [m<sup>2</sup>]*
- $v$  = *egyed fa térfogata [m<sup>3</sup>]*
- $A_k/g$  = *módosított koronaterpeszség*
- $d_{1,3}/h$  = *állékonysági mutató*
- $h_k/h$  = *korona részarány*
- $Szh$  = *szociális helyzet*

---

<sup>10</sup> A dolgozat további részében a Barton Iván (2015) által számított koronaalakokkal számolok.

A körlap a két mért mellmagassági átmérő és az ellipszis terület-képletének felhasználásával került kiszámításra. Egyes fák térfogatának meghatározása a Király-féle kétváltozós fatérfogatfüggvénnyel történt. Az új mutatóként bevezetett módosított koronaterpeszség a koronavetület és a mellmagassági körlap arányát fejezi ki, ezáltal a koronaterpeszség mutatószámát annyiban változtatja meg, hogy területi értékekkel számol. Az állékonysági mutató és a korona részarány meghatározása a szakirodalomnak megfelelően (Kolozsár 2002), a szociális helyzet egyszerűsített, utólagos meghatározása azonban – Kraft (1884) rendszerét alapul véve – egyedi szisztéma alapján történt az alábbiak szerint:

1. *kimagasló* =  $h_i \geq 1,3 \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n h_j$ ;
2. *uralkodó* =  $0,8 \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n h_j \leq h_i < 1,3 \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n h_j \wedge k_f < 0,5$ ;
3. *közbeszorult* =  $0,8 \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n h_j \leq h_i < 1,3 \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n h_j \wedge k_f \geq 0,5$ ;
4. *elmaradó* =  $h_i \leq 0,8 \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n h_j \wedge k_f < 0,5$ ;
5. *alászorult* =  $h_i \leq 0,8 \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n h_j \wedge k_f \geq 0,5$ ;

ahol

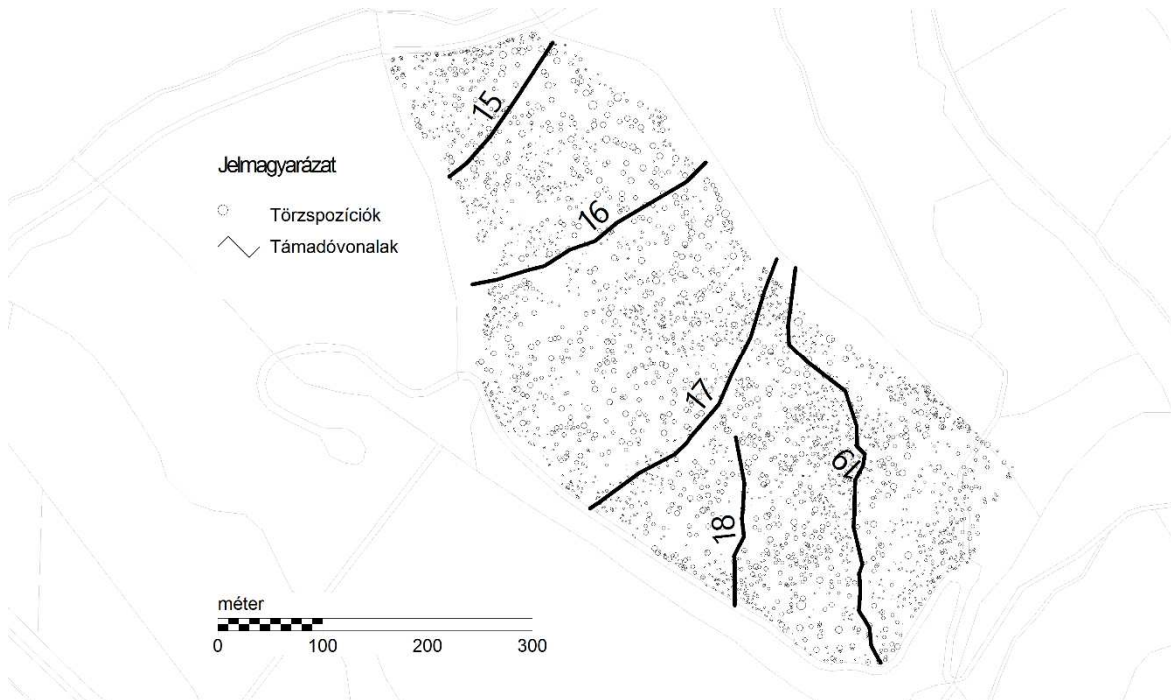
- $h_i$  = vizsgált egyed magassága [m];
- $h_j$  = szomszédos egyed magassága [m];
- $n$  =  $i$  egyed koronasugarának kétszeresén belül található szomszédos egyedek száma;
- $k_f$  = koronafedettség mértéke.

A teljes adatbázis elemzéséhez leíró statisztikát, hierarchikus klaszteranalízist, valamint korrelációs vizsgálatokat (általános esetben Pearson, sorrendi skála esetén Spearman) végeztem. Az adatfeldolgozásban elsődlegesen használt számítógépes szoftverek a Microsoft Excel, a DigiTerra Map v3, a DigiTerra Explorer v7 és a PAST3 voltak. A vonalas szerkezetek detektálását Hammer (2009) algoritmus, az egyváltozós fatérfogatfüggvények szerkesztését Kolozs és Veperdi (2012) alapján végeztem el.

A törzsekhez tartozó koordináták lehetővé tették az eredmények tematikus térképekkel történő szemléltetését. A térképek előnye, hogy az eredményeket nem

táblázatszerűen vagy grafikonon ábrázolják, a faegyedekre kiszámolt értékek átlagolás (adatvesztés) nélkül, a területre jellemző térbeli mintázatban jelennek meg. A dolgozatban bemutatott tematikus térképek statikus állapotot jelenítenek meg, analitikus, komplex-analitikus és szintetikus szerkezetűek.

Egyes területalapú vizsgálatokhoz szükség volt a faegyedekhez tartozó adatok csoportosítására, bizonyos törzsek pozíciófüggő leválogatására. Ez kernel-sűrűségbecsléssel, a terület meghatározott részeinek raszterizálásával vagy bizonyos objektumokhoz (törzsek, vonalak) való csatolásával történt. Az egyik ilyen objektum a felmért terület 1835 m hosszúságú határvonala volt, amelynek 7,5 m széles sávja képezte a puffertérzónát. A határzónába eső egyedek többségénél feltételezhető, hogy az erdőrészleten belül a határvonal felé eső részen már nincsen szomszédjuk, így azokban a kimutatásokban és számításokban, ahol kihagyásuk indokolt volt, nem szerepeltettem őket. Szintén kitüntetett szerepet kaptak a Roth Gyula által 1937-ben kijelölt támadóvonalak övezetei, a támadóvonalak digitalizálása az 1991-ben hallgatói gyakorlat során készült térkép alapján történt (17. ábra).



*17. ábra: A Roth Gyula által 1937-ben kijelölt támadóvonalak elhelyezkedése a kísérleti területen*

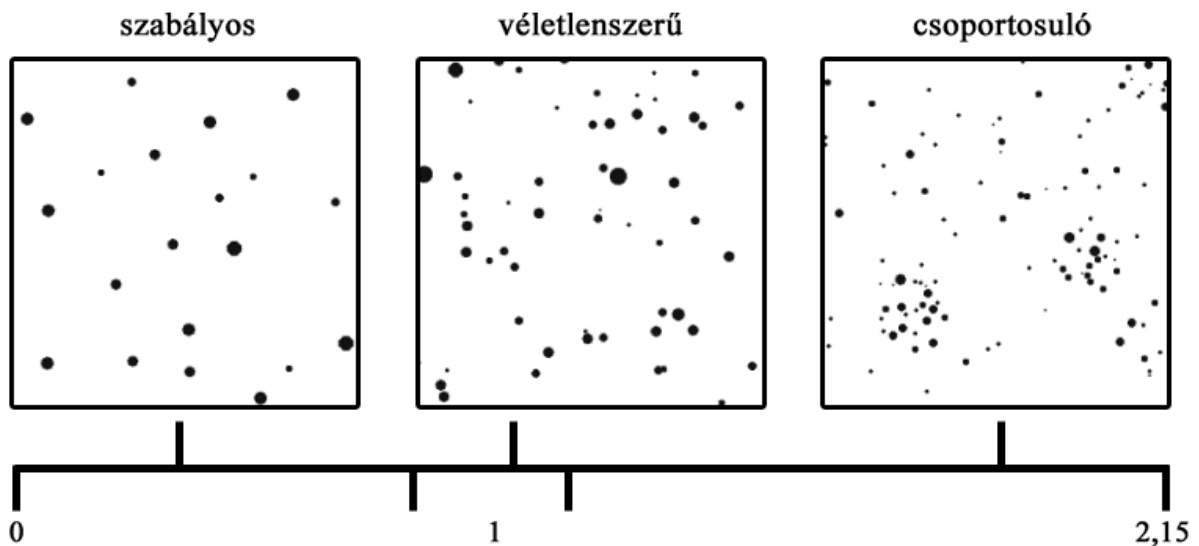
A faállomány pozíció-adatai lehetővé tették a térképi megjelenítésen felül a pozíciófüggő strukturális vizsgálatokat, valamint egyes koordinátától független mutatók leválasztott területegységre történő kiszámítását. A kiszámításra került struktúra-indexek a következők:

### *Clark és Evans (1954) aggregációs indexe*

A Clark és Evans-féle aggregációs index (*CE*) az egymáshoz legközelebb eső faegyedek mért távolságait és a törzsek random (véletlenszerű) elméleti eloszlását hasonlítja össze:

$$CE = \frac{\bar{r}_{mért}}{\bar{r}_{várható}} \quad (3).$$

A változó a törzsek eloszlásának mintázatát vizsgálja, értékei 0,0 és 2,1491 közé eshetnek. Az 1,0 alatti értékek (0-hoz közeledve) a csoportosulást, a legmagasabb értékek a szabályos hatszög alakú elrendeződést, az 1,0-hez közeli értékek a törzsek – száraló erdőre jellemző – véletlenszerű elhelyezkedését mutatják (18. ábra).



18. ábra: *CE index jellemző értékei a ponteloszlás függvényében*  
(megj.: A ponteloszlás és az index értékét jelentősen befolyásolja a vizsgált terület kiterjedése és a pontok mennyisége)  
(Pretzsch 2010 alapján)

Az aggregációs index mért és várható komponensei a szomszédos egyedek átlagos tőtávolságából tevődnek össze:

$$\bar{r}_{\text{mért}} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n} \quad (4),$$

ahol

- $r_i$  = távolság a legközelebbi szomszédos faegyedtől [m];
- $n$  = egyedszám [db];

valamint

$$\bar{r}_{\text{várható}} = 0,5\sqrt{\rho} \quad (5),$$

ahol

- $\rho$  = egyedsűrűség [db/m<sup>2</sup>].

A két összetevőből a képlet általános alakja:

$$CE = \frac{1}{n} \cdot \sum_i^n r_i \cdot 2 \cdot \sqrt{\rho} \quad (6).$$

Teljes területtel számolva szükség van a random eloszlás várható távolságának és sűrűségének a mintaterület területével és kerületével való korrekciójára:

$$\bar{r}_{\text{korrr}} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{A}{n}} + 0,051368 \cdot \frac{P}{n} + 0,041 \cdot \frac{P}{n^{\frac{3}{2}}} \quad (7),$$

ahol

- $A$  = a vizsgált terület kiterjedése [m<sup>2</sup>];
- $P$  = a vizsgált terület kerülete [m].

A random eloszlástól való eltérés szignifikanciaszintjét – a területnek megfelelő korrekció elvégzését követően – az alábbi képlet vizsgálja:

$$T_{CE_{korr}} = \frac{\bar{r}_{mért} - \bar{r}_{korr}}{\sigma_{\bar{r}_{korr}}} \quad (8),$$

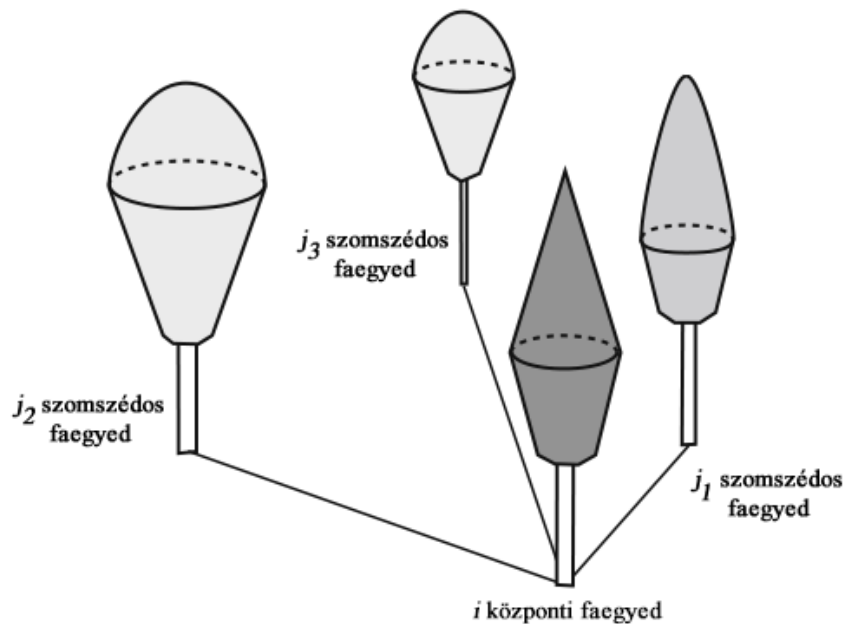
ahol:

$$\sigma_{\bar{r}_{korr}} = \sqrt{0,0703 \cdot \frac{A}{n^2} + 0,037 \cdot P \cdot \sqrt{\frac{A}{n^5}}} \quad (9).$$

Amennyiben  $T_{CE_{korr}} > 1,96; 2,58; 3,30$ , akkor az eltérés a random eloszlástól szignifikáns értéket mutat 5;1 és 0,1% szignifikanciaszinten (akár azokban az esetekben is, amelyekben  $CE$  értéke 1-hez közeli).

### Átmérő-különözőség (Füldner in Pretzsch 2010)

A Füldner-féle átmérő-különözőség indexe egy kiválasztott központi faegyed közvetlen közelében vizsgálja a mellmagassági átmérő méreteinek heterogenitását (19. ábra).



19. ábra: Az átmérő-különözőség indexe egy központi faegyedet és három legközelebbi szomszédját veszi vizsgálandó egységnek (Pretzsch 2010 alapján)

$$T_i = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m r_{ij} \quad (10),$$

felhasználva, hogy

$$r_{ij} = 1 - \frac{\min(d_i, d_j)}{\max(d_i, d_j)} \quad (11),$$

ahol

- $i$  = központi faegyed ( $i = 1, \dots, n$ );
- $j$  = központi faegyed szomszédja ( $j = 1, \dots, n$ );
- $d_i$  = központi faegyed mellmagassági átmérője [cm];
- $d_j$  = szomszédos faegyed mellmagassági átmérője [cm].

Mivel a képlet alapján (11) a kiválasztott két faegyed átmérője közül mindig a kisebbik érték van a számlálóban,  $r_{ij}$  értéke nem lehet negatív,  $T_i$  értékei pedig 0,0 és 1,0 között alakulhatnak. Ha az átmérők különbözősége kicsi, akkor a  $T_i$  index 0,0-hoz közelít, az átmérőszerkezet differenciálásával pedig 1,0-hez tart. Földner módszere – a fentiekhez hasonló módon – magassági adatok különbözőségének vizsgálatára is használható. A diverzitás az index tükrében az alábbiak szerint határozható meg:

- $T_i \geq 0,7$  = rendkívül differenciált szerkezet;
- $0,5 \leq T_i < 0,7$  = magas szintű differenciálódás;
- $0,3 \leq T_i < 0,5$  = közepes szintű differenciálódás;
- $T_i < 0,3$  = alacsony mértékű differenciálódás<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> Az utolsó kategórián belül 0,2 alatt a változatosságot „monoton”-nak tekintettem.

### ***Fafaj-profil index (Pretzsch 1995)***

A fafaj-profil indexe Shannon (1948) diverzitás-függvényén (12) alapszik, de számításba veszi, hogy az előforduló egyedek különböző magasságúak. Az állományt a legmagasabb egyed magasságának százalékában (0-50%; 50-80%; 80-100%) zónákra osztja, és ezeken a zónákon belül vizsgálja a diverzitást.

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} \cdot \ln p_{ij} \quad (12),$$

ahol

- $S$  = fajszám;
- $Z$  = magassági zónák száma (jelen esetben  $Z = 3$ );
- $p_{ij}$  = a faj törzsszám szerinti elegyaránya a magassági zónában.

### ***Füldner-féle elegyedési index (Füldner in Pretzsch 2010)***

Füldner elegyedési indexe a szomszédos egyedek vizsgálatával jellemzi a különböző fajhoz tartozó faegyedek elhelyezkedését az állományban. A mutató (13) előnye, hogy a központi egyedtől eltérő fajú szomszédos törzsek arányát fejezi ki, ezáltal kiszűri azokat a hibákat, amelyeket az elegyfajok csoportos megjelenése okoz egyes diverzitás-mutatókban.

$$M_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (13),$$

ahol

- $i$  = központi faegyed;
- $j$  = szomszédos faegyed ( $j = 1, \dots, n$ ),

és

$$v_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{a szomszédos } j \text{ egyed a központi } i \text{ egyeddel azonos fajhoz tartozik} \\ 1, & \text{a szomszédos } j \text{ egyed a központi } i \text{ egyedtől eltérő fajhoz tartozik} \end{cases}$$

$M_i = 0$ , amennyiben a szomszédos egyedek mindegyike azonos fajú a központi egyedével, és 1,0-hez tart a különböző fajú törzsek számának növekedésével.



### ***Komplex diverzitás index (Jaehne és Dohrenbusch 1997)***

Jaehne és Dohrenbusch indexe állomány vagy állományrész szinten, négy strukturális jellemző összevonásával vizsgálja a szerkezeti diverzitást:

$$B = p \cdot A + q \cdot S + V + K \quad (14),$$

ahol

- $A$  = *fafaj-kompozíciós index;*
- $S$  = *magassági eloszlás indexe;*
- $V$  = *horizontális eloszlás indexe;*
- $K$  = *korona-differenciációs index;*
- $p, q$  = *fontossági faktorok ( $p = 4; q = 3$ ).*

*Fafaj-kompozíciós index:*

$$A = \log(N) \cdot (Z - M_{a_{max}} + M_{a_{min}}) \quad (15),$$

ahol

- $N$  = *fafajok száma;*
- $Z$  = *kontroll-paraméter (1,5);*
- $M_{a_{max}}$  = *leggyakoribb fafaj dominanciája;*
- $M_{a_{min}}$  = *legritkábban előforduló fafaj dominanciája.*

*Magassági eloszlás indexe:*

$$S = 1 - \frac{H_{min}}{H_{max}} \quad (16),$$

ahol

- $H_{min}$  = *legvékonyabb faegyed magassága [m];*
- $H_{max}$  = *legvastagabb faegyed magassága [m].*

*Horizontális eloszlás indexe:*

$$V = \left(1 - \frac{r_{min}}{r_{max}}\right) \cdot f \cdot st \quad (17),$$

ahol

- $r_{min}$  = szomszédos egyedek között mért legkisebb távolság [m];
- $r_{max}$  = szomszédos egyedek között mért legnagyobb távolság [m];
- $f$  = korrekciós tényező fiatal állományokra (jelen esetben elhagyható);
- $st$  = korrekciós tényező sarj eredetű állományokra (jelen esetben elhagyható, mert nincsenek sarjcsoportok az állományban)

*Korona-differentációs index:*

$$K = \{1 - \log(K_{a_{min}})\} + \left(\frac{K_{d_{min}}}{K_{d_{max}}}\right) \quad (18),$$

ahol

- $K_{a_{min}}$  = legalacsonyabb koronalap [m];
- $K_{d_{min}}$  = legkisebb koronaátmérő [m];
- $K_{d_{max}}$  = legnagyobb koronaátmérő [m].

Az összetett index elemei csak a szélsőségeket (maximum és minimum értékek) veszik figyelembe, a mutató nem hordoz információt a strukturális elemek teljes eloszlásáról. A teljes állomány jellemzésére nem alkalmas, azonban különböző területrészek összehasonlítását leegyszerűsíti. A faállomány diverzitása az index tükrében az alábbiak szerint határozható meg:

- $B \geq 9,0$  = rendkívül változatos faállomány-szerkezet;
- $8,0 \leq B < 9,0$  = igen változatos faállomány-szerkezet;
- $6,0 \leq B < 8,0$  = differenciálódó faállomány-szerkezet;
- $4,0 \leq B < 6,0$  = homogén faállomány-szerkezet;
- $B < 4,0$  = teljesen monoton (ültetvényyszerű) faállomány-szerkezet

## 5. Eredmények

A módszertani részben részletezett kiértékelési eszközöket felhasználva jelen fejezetben ismertetem a kísérleti terület legújabb és eddigi legpontosabb állományleírását, amelyet összesen 3424, 15 cm-es mellmagassági átmérőt elért faegyed felmérése alapján végeztem.

A faállomány struktúrájának matematikai elemzésével feltárom a változatos korszerkezetből adódó differenciáltság mértékét, valamint a faállomány fajösszetételének mintázatát. A vizsgálatok eredményeit tematikus térképeken, grafikonokon, valamint táblázatos formában mutatom be. Szálalás során cél az összetételében, kor- és térszerkezetében változatos faállomány kialakítása és fenntartása; ezt a változatosságot az elegyesség, a horizontális és vertikális struktúra mutatói számszerűen értékelik. Mivel az erdőrészlet strukturális változatossága különböző komplexitású területegységekből tevődik össze, megvizsgáltam, hogy a differenciálódó állományszerkezet mekkora területi léptékben ismerhető fel, illetve mekkora egybefüggő területet alkotnak a homogén területrészek.

A szerkezeti komplexitás vizsgálatán felül – a geoadatbázist felhasználva – három olyan témára térek ki, melyek a sikeres szálalási kísérlet folytatását döntően befolyásolják:

- 1) A törzspozíciók elhelyezkedését alapul véve megvizsgálom, hogy az 1937-ben kijelölt támadóvonalak környezetében felismerhető-e a vonalas szerkezet, illetve a szálalóegységek határai elkülöníthetők-e az állomány képe alapján.
- 2) Megvizsgálom a változatos korösszetételű állomány mintaterület felvételezésének lehetőségét és a területre rendelkezésre álló – 1960-ban készült – fatömeg-tarifa alkalmazhatóságát; ezen felül 6 faj esetében egyváltozós fatérfogat-függvényt szerkeszték, ami az átmérő függvényében ad becslést az élőfakészletre.
- 3) Külön fejezet részben tárgyalom a bükk kéregrákos megbetegedésének tüneteit mutató egyedek elterjedésének térbeli mintázatát. A betegség tünetek megjelenését állományszerkezeti jellemzőkkel hozom összefüggésbe, és felderítem azokat a gócpontokat, amelyek a fertőzés központjai, és a kísérlet sikeres továbbvitelét gátolhatják.

## 5.1. A Sopron 182 B erdőrészlet faállomány-összetétele

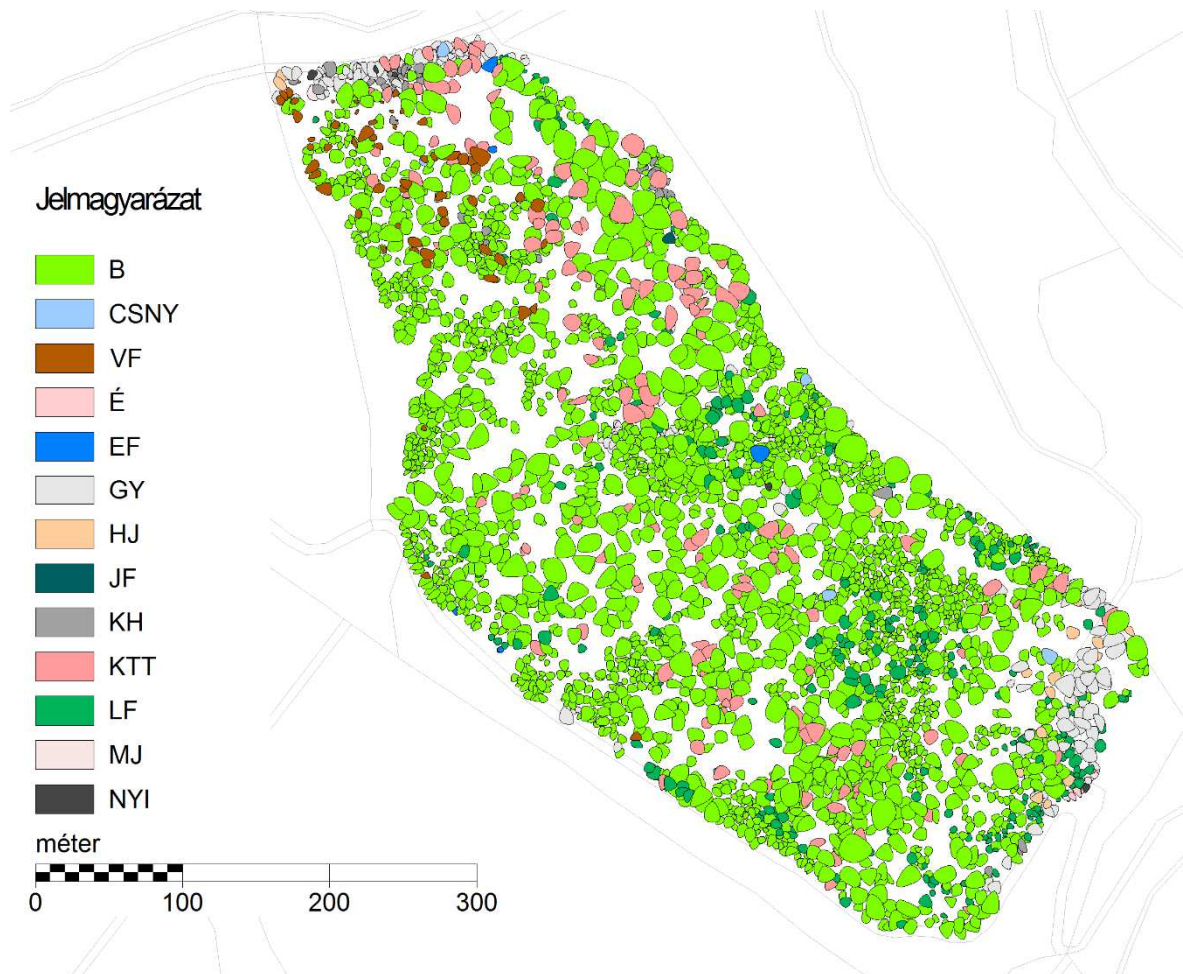
### 5.1.1. Fafaj-összetétel

A vizsgált terület faállományában összesen 14 fafaj képviselteti magát (3. táblázat, VIII. melléklet), amelyek közül – a hatályos erdőtörvény végrehajtási rendelete értelmében – az európai vörösfenyőt kivéve valamennyi őshonosnak számít a Soproni-hegység erdészeti tájban. Uralkodó faj a bükk, amely a törzsek több mint háromnegyedét teszi ki, de a fatérfogat elegyarányában is 70% feletti. Jelentős elegyfajok a kocsánytalan tölgy, a lucfenyő, a vörösfenyő, a gyertyán és a kislevelű hárs. Hegyi juhar, madárcseresznye, bibircses nyír, mézgas éger, mezei juhar, szelídgesztenye, erdefenyő, jegenyefenyő 50 példány alatti egyedszámban van jelen a területen. Borhidi (2010) osztályzását alapul véve az erdőrészletben egyaránt megtalálhatóak a Soproni-hegység klímaregionális és edafikus (acidofil) bükköseire jellemző fafajok, a faállomány a két társulás közötti átmenetet jelzi. A fenyők magas aránya emberi behatás következménye.

3. táblázat: A 16,8 hektáros mintaterület faállományszerkezeti adatai

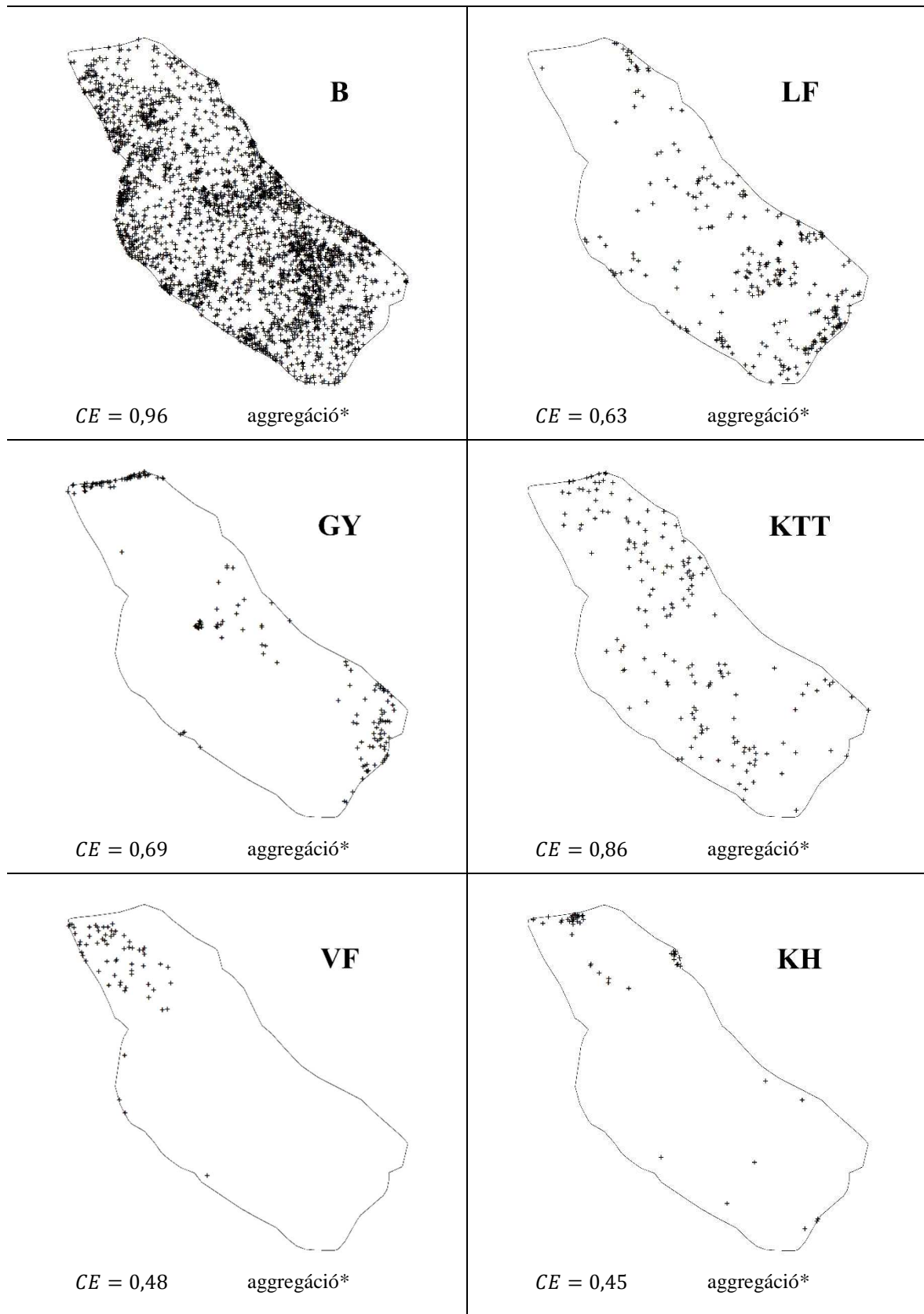
	N (db/ha)	N %	G (m <sup>2</sup> /ha)	G %	V (m <sup>3</sup> /ha)	V %
<b>B</b>	156,61	77,18	14,25	70,77	233	71
<b>LF</b>	17,38	8,57	1,65	8,22	22	7
<b>GY</b>	9,94	4,90	0,67	3,31	10	3
<b>KTT</b>	9,70	4,78	2,47	12,29	45	14
<b>VF</b>	3,69	1,82	0,61	3,02	10	3
<b>KH</b>	3,10	1,53	0,17	0,83	2	<1
<b>HJ</b>	1,07	0,53	0,10	0,51	1	<1
<b>CSNY</b>	0,30	0,15	0,07	0,35	1	<1
<b>EF</b>	0,30	0,15	0,02	0,40	1	<1
<b>NYI</b>	0,30	0,15	0,08	0,11	<1	<1
<b>É</b>	0,24	0,12	0,01	0,05	<1	<1
<b>MJ</b>	0,18	0,09	0,01	0,05	<1	<1
<b>JF</b>	0,06	0,03	0,01	0,07	<1	<1
<b>SZG</b>	0,06	0,03	<0,01	0,01	<1	<1
<b>összesen</b>	202,92	100	20,13	100	327,09	100

A fajok eloszlása a területen igen változatos képet mutat (20. ábra). Míg a bükk az állomány egészén előfordul, egyes fajok csak az erdőrészlet bizonyos részein található meg. A kisebb területű koronák csoportjai jellemzően a kísérlet elmúlt évtizedeinek felújításait jelzik és igen fajszegények. A kocsánytalan tölgy teljesen kiszorul a felújítási foltokból, a gyertyán és a kislevelű hárs jelenléte is egyedül az állományszegélyen jellemző. Lucfenyő többfelé csoportosan, vörösfenyő elsősorban a terület északnyugati részén található.



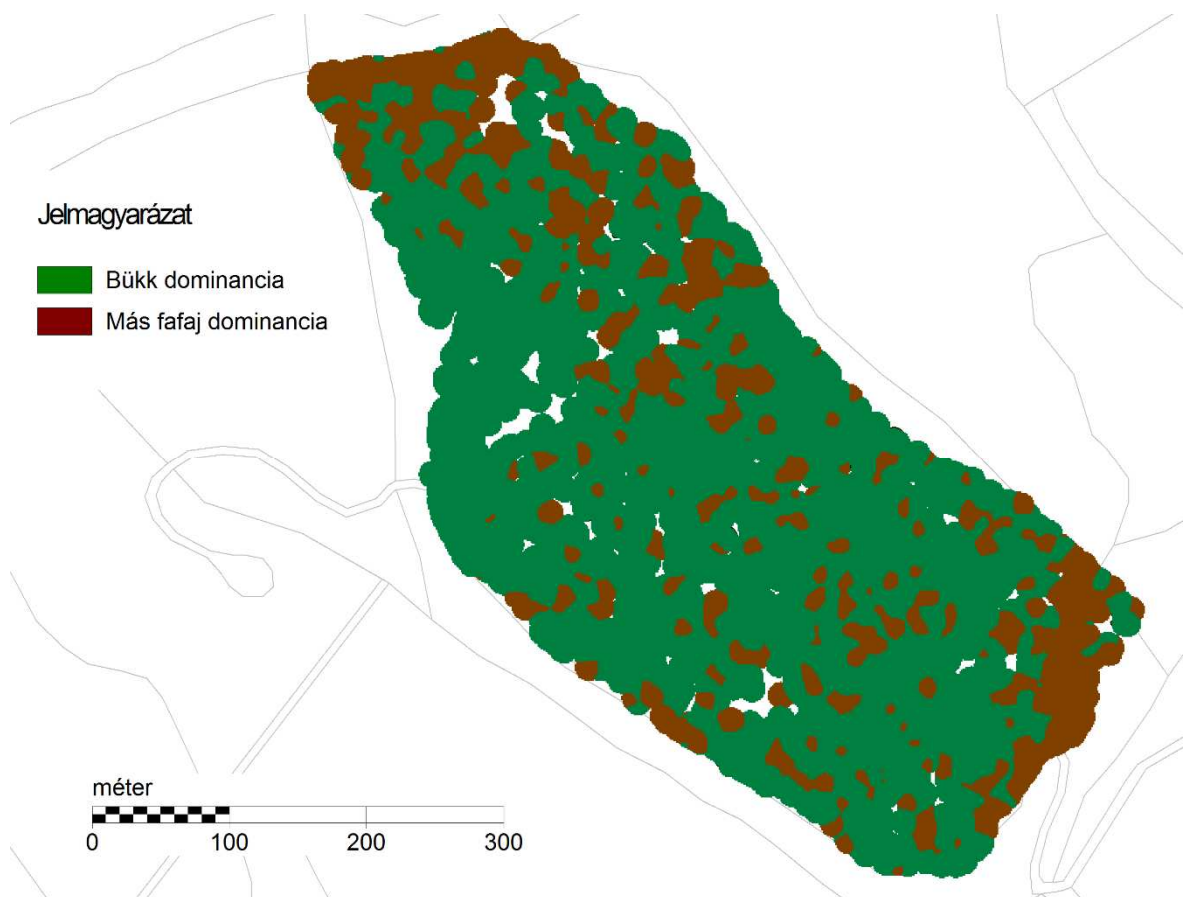
20. ábra: Az állomány koronavetület-térképe fajajonként színezve

A különböző fajok elegyedési mintázatáról a hozzájuk rendelt Clark-Evans mutató (továbbiakban: *CE*) ad számszerű tájékoztatást (21. ábra). A mutató szerint a 6 legnagyobb egyedszámban előforduló faj mindegyikében felfedezhető a törzspozíciók szignifikáns mértékű aggregációja. A képlet számítási módszerének következtében a csoportosulás (a kiterjedt terület és a hozzá tartozó viszonylag alacsony tőszám miatt) azokban az esetekben is szignifikáns, amelyekben *CE* értéke 1-hez közeli eredményt ad.



21. ábra: Fafajok törzspozícióinak karakterisztikája a CE-index alapján  
\*szignifikancia szint  $\alpha = 0,001$

A terület nagy részén a bükk van túlsúlyban, dominanciáját a koronavetületek függvényében a kernel-sűrűségbecslés szemlélteti (22. ábra). Az ESRI ArcGIS® sávszélesség-választó algoritmus szerint 9,3 m-es sávszélességgel <sup>12</sup> végzett denzitásvizsgálat alapján a területen a fafaj-dominancia a bükk és egyéb fafajok összessége között 75,3% és 24,7% arányban oszlik meg. Az elegyfajok uralta területrészek jelentős hányada az északnyugati útszegélyre és a délkeleti meredek partoldal feletti peremrészre koncentrálódik. A két területtípus összege nagyobb, mint a vizsgált terület (16,80 ha), mivel a 9,3 m-es sugarú mintakörök – a koronavetületekhez hasonlóan – túlnyúlnak a terület peremén. A fehéren maradt részeken 15 cm-es mellmagassági átmérőnél vékonyabb egyedek, újulatfoltok és fel nem újult területek találhatóak.



22. ábra: A kernel-sűrűségbecslés a bükk dominanciáját szemlélteti

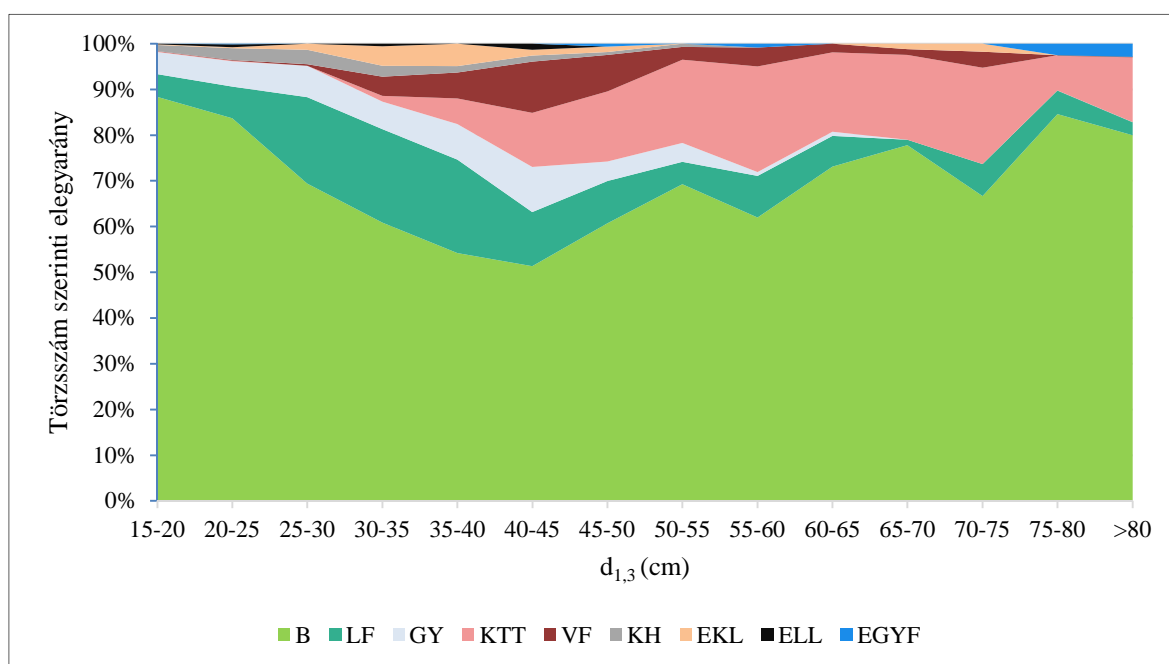
<sup>12</sup> A dolgozat további részében is a pontsűrűség és területnagyság által meghatározott 9,3 m-es sávszélességet alkalmazom.

### 5.1.2. Fafaj-eloszlás az átmérő-kategóriákban

Az erdőrészletben előforduló fajok esetében jelentős különbségek mutatkoznak az átmérők értékeiben (4. táblázat). A maximális mellmagassági átmérők az idős fáknak köszönhetően igen nagyok, az átlagátmérők értékeit azonban egyes fajok esetében (B, LF, GY) a vékonyabb egyedek nagyarányú jelenléte alacsonyan tartja. A bükk törzsszám szerinti elegyaránya minden átmérőcsoportban 50% feletti, a szálás életfázis felső határáig 88,3%-ról indulva csökkenő, azt követően növekvő tendenciát mutat (23. ábra). Kocsánytalan tölgy és vörösfenyő egyedek jellemzően csak a magasabb átmérőkategóriákban találhatók, átmérőik a legkisebb arányú ingadozást mutatják a vizsgált fajok között.

4. táblázat: A mellmagassági átmérő értékei fajokonkénti bontásban (<sup>1</sup>CSNY, <sup>2</sup>NYI, <sup>3</sup>EF)

	$D_{max}$	$D_g$	SD	CV
<b>B</b>	113,3	34,0	17,3	50,8
<b>LF</b>	98,2	34,8	14,1	40,6
<b>GY</b>	60,5	29,2	11,2	38,2
<b>KTT</b>	91,8	57,0	12,4	21,7
<b>VF</b>	74,4	45,8	10,4	22,8
<b>KH</b>	52,4	26,3	8,4	31,8
<b>EKL</b>	<sup>(1)</sup> 75,0	38,2	11,9	31,2
<b>ELL</b>	<sup>(2)</sup> 43,8	28,3	9,2	32,4
<b>EGYF</b>	<sup>(3)</sup> 92,2	63,2	23,6	40,6



23. ábra: Törzsszám szerinti elegyarány a különböző átmérőcsoportokban

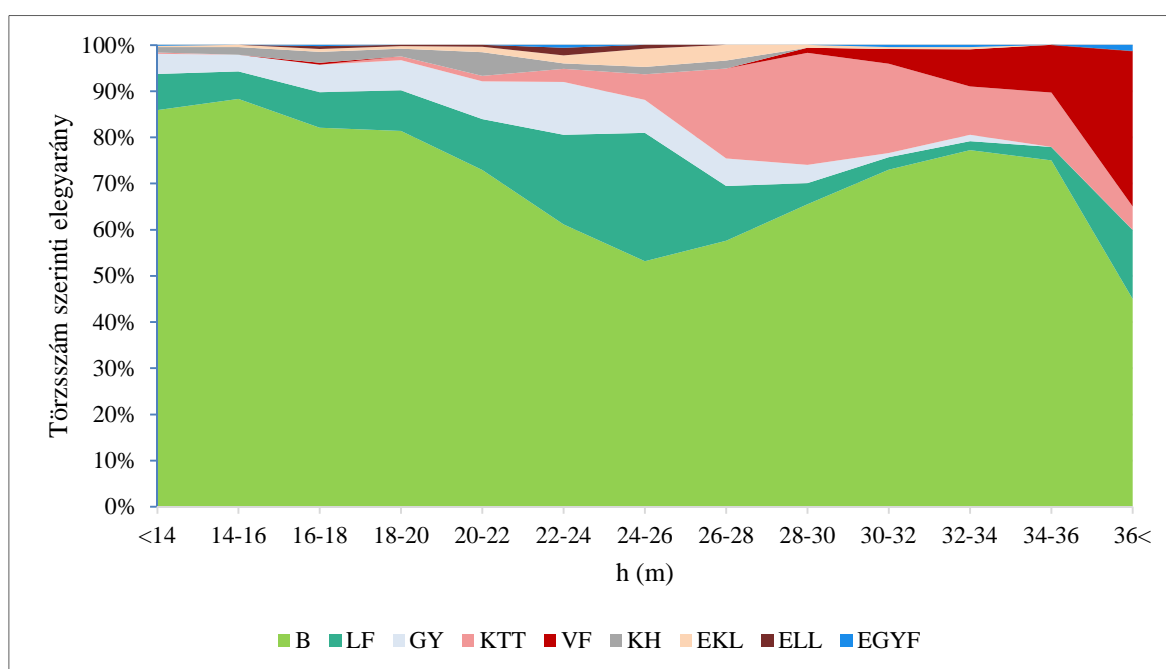


### 5.1.3. Fafaj-eloszlás a magassági kategóriákban

A magassági eloszlás az átmérők esetében tapasztaltakkal számos egyezőséget mutat (5. táblázat, 24. ábra). A magasságok maximális értékei országos léptékben is kimagaslók. A bükk elegyaránya jellemzően 50% feletti a magassági kategóriákban, a 20 méter alatti egyedek között a 80%-ot is meghaladja. Az alacsonyabb magassági osztályokban a bükkön kívül csak a lucfenyő, a gyertyán, valamint a kislevelű hárs jellemzőek. A kocsánytalan tölgy, az erdeifenyő, a jegenyefenyő és az egykorú állományokban rendszerint fátolszintet alkotó vörösfenyő csak a felső magassági osztályokra jellemzőek, magasságaik szórása alacsony.

5. táblázat: A magasság értékei fajok szerinti bontásban (<sup>1</sup>HJ, <sup>2</sup>NYI, <sup>3</sup>EF)

	$H_{max}$	$H_g$	SD	CV
<b>B</b>	37,9	27,1	7,1	26,2
<b>LF</b>	43,8	25,6	6,7	26,1
<b>GY</b>	33,6	22,5	5,2	23,3
<b>KTT</b>	36,6	29,9	3,9	13,2
<b>VF</b>	38,9	34,9	3,8	11,0
<b>KH</b>	26,3	20,1	4,0	19,8
<b>EKL</b>	<sup>(1)</sup> 32,0	23,4	5,1	22,0
<b>ELL</b>	<sup>(2)</sup> 24,2	21,7	2,8	12,7
<b>EGYF</b>	<sup>(3)</sup> 35,5	29,0	7,2	24,9

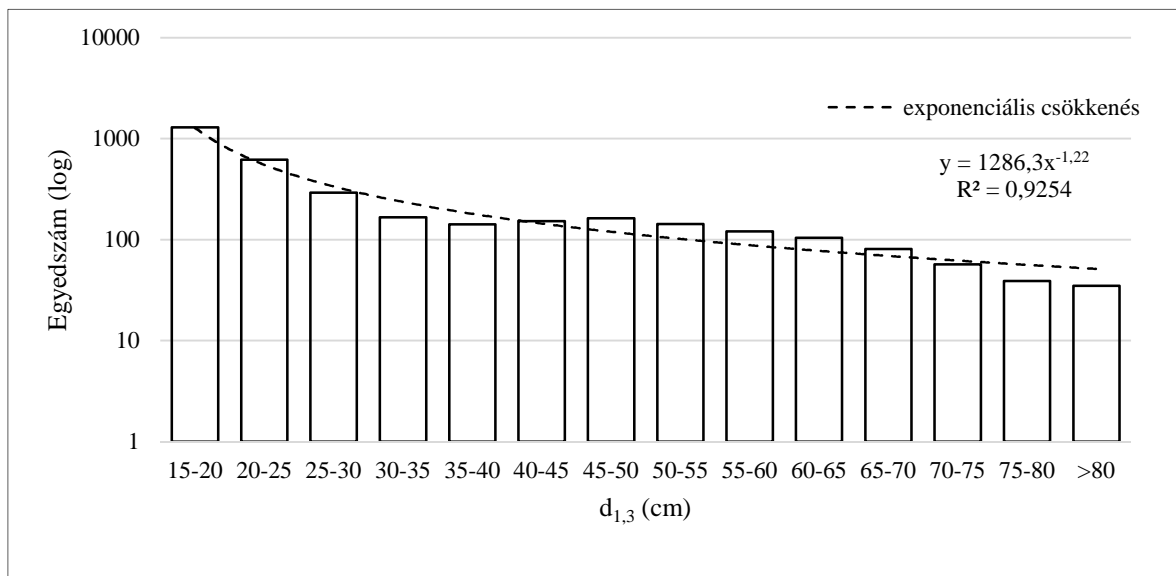


24. ábra: Törzsszám szerinti elegyarány a magassági kategóriákban

## 5.2. Az állományszerkezet változatosságának értékelése

### 5.2.1. Az állomány átmérőszerkezete

A száraló szerkezet értékelésében a leggyakrabban használt mutató a mellmagassági átmérők eloszlása, amely a vonatkozó szakirodalom szerint exponenciálisan csökkenő vagy – logaritmikus skálán mérve – fordított szigmoid alakot vesz fel. A mért mellmagassági átmérőket 5 cm-es kategóriákba rendezve a 25. ábra mutatja. A törzsek eloszlása jól közelíti az exponenciálisan csökkenő alakot ( $R^2=0,9254$ )<sup>13</sup>, azonban a referenciagörbéhez képest a 25-40 cm-es átmérő tartományban hiányt, a 45-70 cm-es tartományban többletet mutat. Az eltérések az oszlopdiagram képzeletbeli burkológörbáját a 90°-kal elforgatott szigmoid alakjához közelítik. A burkológörbe 40 és 50 cm-es tartomány közötti emelkedése ugyan nem elégíti ki az elforgatott szigmoid szigorúan monoton csökkenő feltételét, de egy faállományt tekintve a kapott értékek – erdőrésztlet szinten – így is jól közelítik az elméleti modelleket. A modell az átmérők eloszlását fafajtól függetlenül vizsgálja, de a 23. ábrára visszatekintve megfigyelhető, hogy a hiányos egyedszámú kategóriák azokban a tartományokban jelentkeznek, amelyekben a bükk alacsonyabb elegyarányban van jelen.

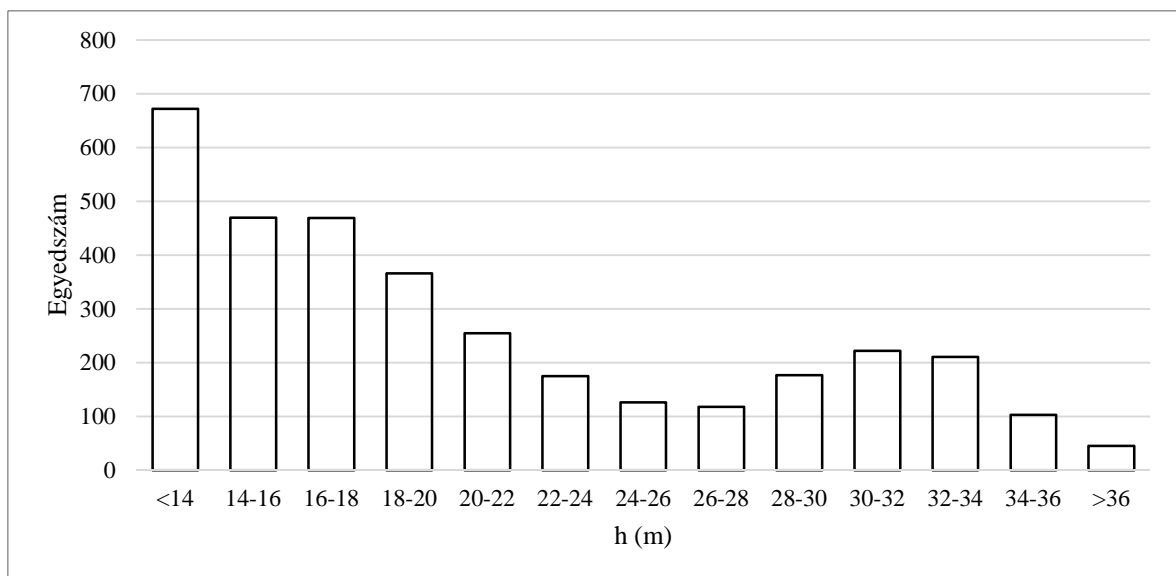


25. ábra: 5 cm-es átmérőcsoportok és a hozzájuk tartozó egyedszám (logaritmikus skálán)

<sup>13</sup> 2 cm-es átmérőcsoportokat választva  $R^2=0,7141$ ; 10 cm-es kategorizálással  $R^2=0,9107$  (A görbe illeszkedését a 80 cm feletti kategóriában végzett összegzés kis mértékben módosítja.)

### 5.2.2. Az állomány magassági értékeinek eloszlása

Az átmérők eloszlásával szemben a magassági eloszlás görbéje általában nem szerepel a száraló szerkezet kritériumai között, de elvárás, hogy egy száraló szerkezetű erdőben a lombkoronaszintek összeolvadjanak. A 15 cm mellmagassági átmérőt elérő egyedek mért magasságait 2 m-es kategóriákba rendezve a 26. ábra mutatja. Mivel az alsóbb kategóriákban a területen 15 cm átmérő alatti egyedek is előfordulnak, a diagramra trendvonal csak elvi hibával lett volna illeszthető. A vizsgált faállományban a magassági kategóriák folytonosak, 36 m-es magasságig minden kategóriában legalább 100 egyed található. A mellmagassági átmérő értékekhez hasonlóan a grafikon azokban a tartományokban mutat visszaeséseket, amelyekben a bükk alacsonyabb törzsám szerinti elegyarányban fordul elő.



26. ábra: 2 m-es magassági osztályok és a hozzájuk tartozó egyedszám

### 5.2.3. Fafajdiverzitás az állomány különböző magassági tartományaiban

Hazai lombos száraló erdőben a célok között szerepel az elegyesség fenntartása, amelyet a rendelkezésre álló fafajok spektrumának és elegyarányának függvényében a diverzitás-indexek számszerűsítenek. Az adott termőhely olyan mértékben befolyásolja a rajta megélni képes fajok összességét, hogy a száraló erdőkre nincs meghatározott etalonérték, viszont hasonló adottságú állományok vagy állományrészek összehasonlíthatók. A felmért területen a Shannon-féle diverzitás ( $H$ ) értékét annak standardizált változatával ( $E$ ) együtt a 6. táblázat mutatja be; az állomány magassága – a kiugróan magas egyedek

kihagyásával – 36 m-ben került meghatározásra. A bükk magas egyedszámának következtében az alsó szint diverzitása a legkisebb, a középső és felső szint értékei – a fafajok kiegyenlítettebb jelenlétének köszönhetően – magasabbak. A fafaj-profil index  $A = 2,6478$ ; standardizált formája  $A_{rel} = 70,84\%$ ; amely esetünkben gazdag fajkészlet egyenetlen eloszlását jelzi egy színtezett erdőben.

6. táblázat: Shannon-féle diverzitás az állomány különböző szintjeiben (magassági adatok szerint)

	alsó szint < 18,0 m	középső szint 18,0-28,8 m	felső szint > 28,8 m
<b>H</b>	0,59	1,07	0,98
<b>E (%)</b>	23,35	46,32	44,69

A fentiekől eltérő eredményt ad a koronák térfoglalásának vizsgálata a különböző állományszintekben. A számítás alapját az állomány két méterenként vett koronametszetei adják a meghatározott magassági zónákban. A koronák térfoglalása alapján számolt faji diverzitást a 7. táblázat mutatja be. A középső szint faji változatossága a legalacsonyabb, elsősorban a bükk egyedek terebélyes koronái miatt. A fafaj-profil index  $A = 2,6014$ ; standardizált formája  $A_{rel} = 69,60$ ; a magassági adatokkal kapott értékekkel csaknem megegyeznek.

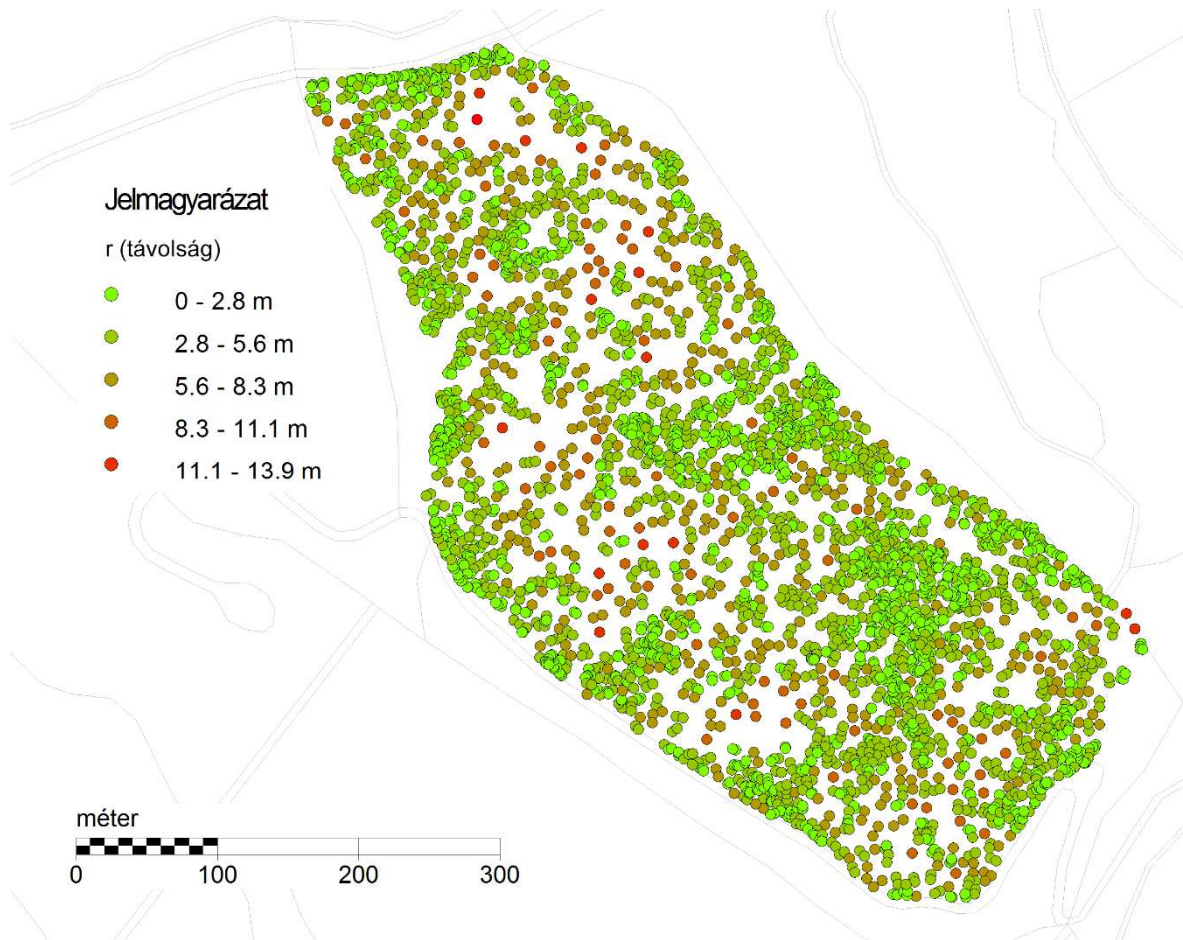
7. táblázat: Shannon-féle diverzitás az állomány különböző szintjeiben (koronák térfoglalása szerint)

	alsó szint < 18,0 m	középső szint 18,0-28,8 m	felső szint > 28,8 m
<b>H</b>	0,87	0,69	1,04
<b>E (%)</b>	33,15	26,10	39,32

#### 5.2.4. Távolság- és pozíciófüggő vizsgálatok

A következőkben bemutatott mutatószámok a kiválasztott törzsek közvetlen szomszédjai között vizsgálják a strukturális összefüggéseket. A módszerek előnye, hogy tematikus térképek segítségével eredményeik adatvesztés nélkül, egyedszinten is megjeleníthetők.

A törzsek térbeli eloszlását a legközelebbi szomszéd elvén alapuló  $CE$  aggregációs index jellemzi, amely száraló szerkezet esetén random eloszlást mutat. A szomszédos egyedek távolságát a 27. ábra szemlélteti.



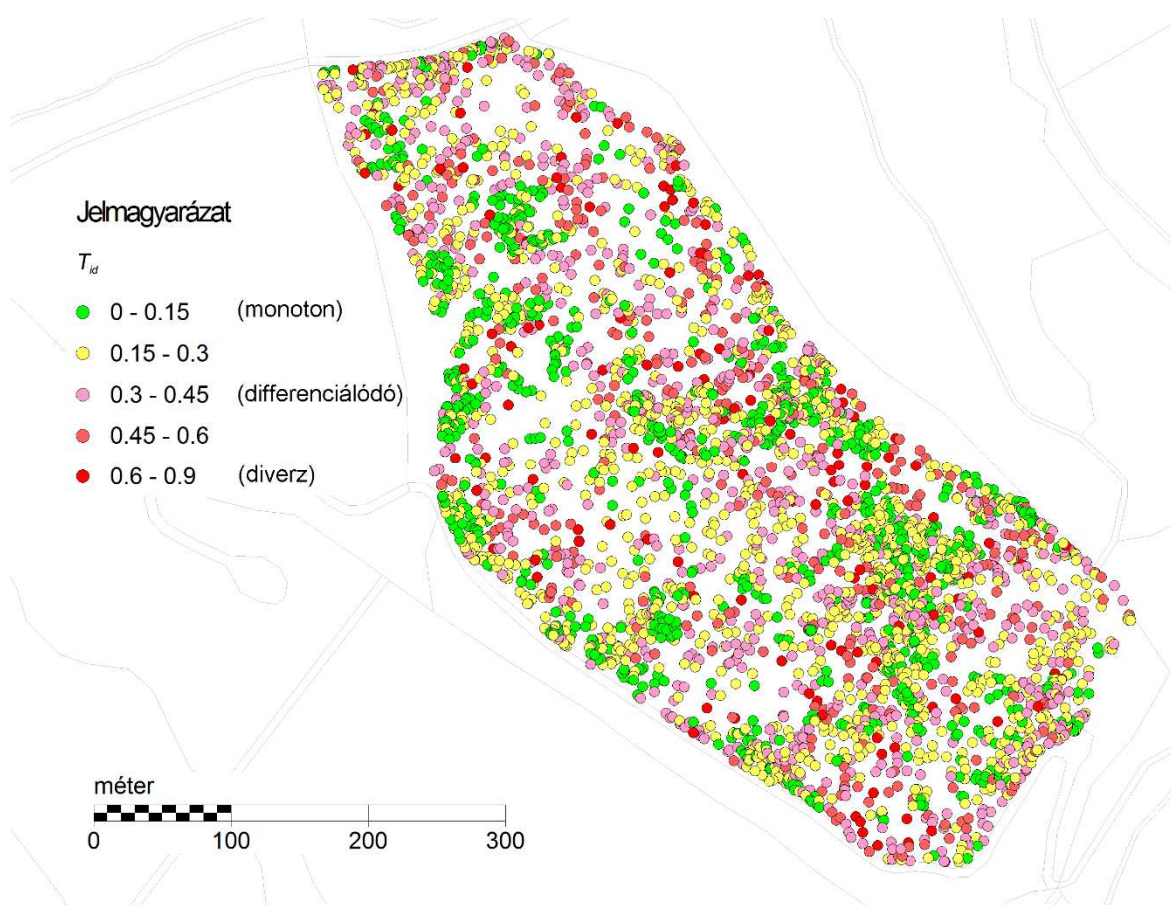
27. ábra: Legközelebbi szomszédok távolsága

A  $CE$  aggregációs index értéke 3,51 m tőtávolság mellett a faegyedek véletlenszerű (random) térbeli eloszlását mutatja, az állomány különböző magassági szintjeiben azonban aggregáció mutatható ki (8. táblázat). (Az aggregáció szignifikancia szintjét a mért átlagos tőtávolságon felül jelentősen befolyásolja a területre eső egyedszám is.)

8. táblázat: Törzspozíciók eloszlási jellemzői a  $CE$  index alapján  
(\*szignifikáns aggregáció  $\alpha = 0,001$ )

	összes egyed	alsó szint (< 18 m)	középső szint (18-28,8 m)	felső szint (> 28,8 m)
$\bar{r}_{mért}$	3,51 m	4,07 m	4,93 m	7,33 m
$\bar{r}_{várható}$	3,53 m	5,16 m	6,22 m	7,98 m
$CE$	0,99	0,78*	0,79*	0,91*

Szálaló szerkezetű erdőben jellemzően a különböző mellmagassági átmérőjű egyedek csoportos vagy szálánkénti eloszlásban, térben elegyedve fordulnak elő. A központi egyedhez legközelebbi három egyed vizsgálatával törzsenként számított  $T_{id}$  átmérő-különbségi indexet a 28. ábra mutatja be. A Pearson-féle lineáris korreláció ugyan csak gyenge pozitív kapcsolatot jelez a legközelebbi törzsek távolsága és az átmérő-különbség indexe között ( $r = 0,27$ ), de a tematikus törzstérképen így is megfigyelhető, hogy a homogén átmérőszerkezetű csoportok a magasabb denzitású állományrészekre koncentrálnak.



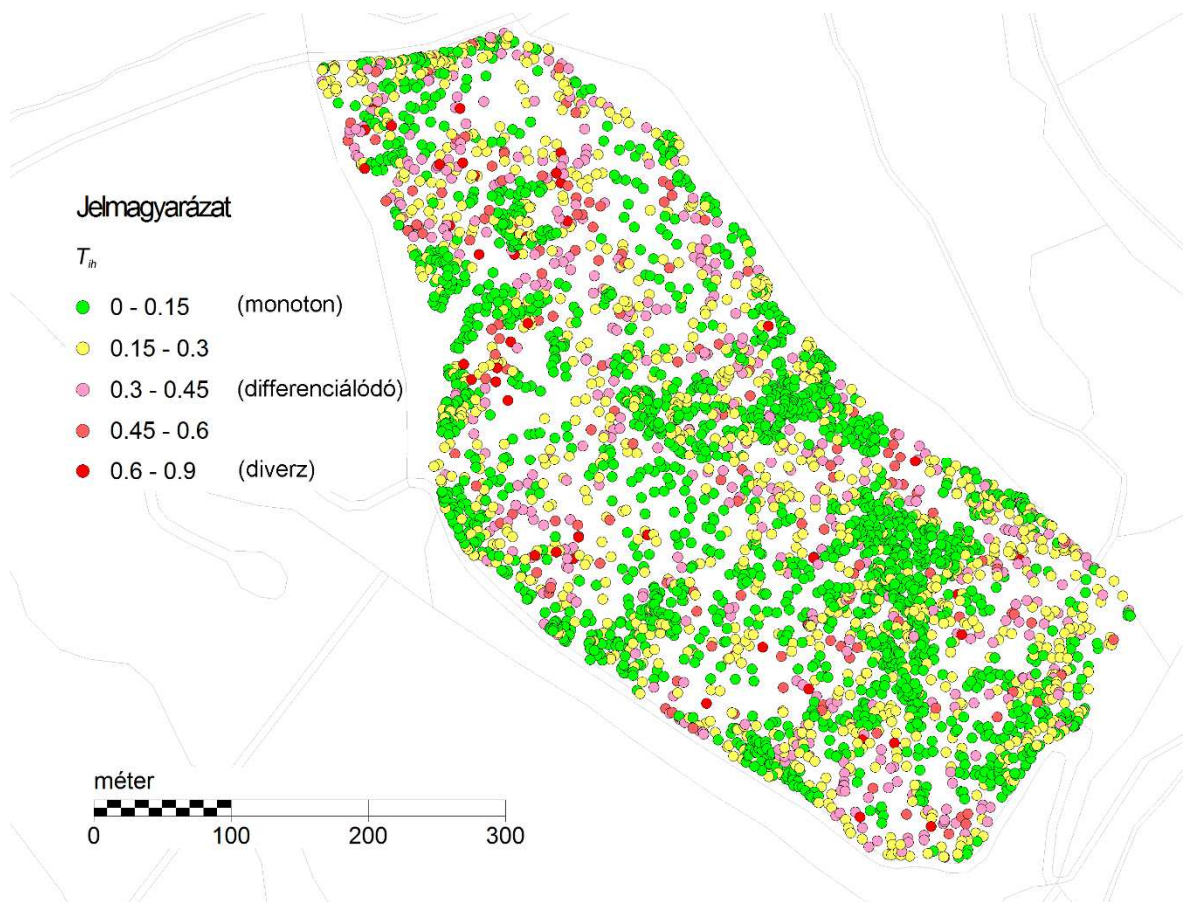
28. ábra: Földner-féle  $T_{id}$  átmérő-különbsőség

Az index átlagos értékei ( $\bar{T}_{id} = 0,27$ ) szerint az átmérők változatossága alacsony, amely egy térben változatos átmérőeloszlású erdőben 0,5 feletti érték lenne. A ferdeség és a kvartilisok értékei jól mutatják a mutató eloszlásának baloldali asszimetriáját (9. táblázat), az egyedeknek csak 8,96%-a éri el a 0,5-ös (magas szintű differenciálódás) értéket.

9. táblázat: Az átmérő-különbsőség leíró statisztikája ( $Q$ : kvartilis)

$\bar{T}_{id}$	$SD$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	ferdeség
0,27	0,15	0,15	0,25	0,36	0,84

Szálaló szerkezetű erdők jellegzetessége a szintezettség, a rendelkezésre álló teret jelentősen eltérő magasságú törzsek koronái használják ki egymás szomszédságában. A magasságok különbözőségének értékelésében a  $T_{ih}$  index meghatározása a  $T_{id}$  indexhez hasonló módon történt. A számított értékeket bemutató 29. ábra a sűrűbb állományrészek magasságértékeinek nagyfokú egyhangúságát jelzi. A legközelebbi törzsek távolsága és a magassági értékek különbözősége közötti korrelációvizsgálat gyenge pozitív kapcsolatot jelez ( $r = 0,23$  Pearson).



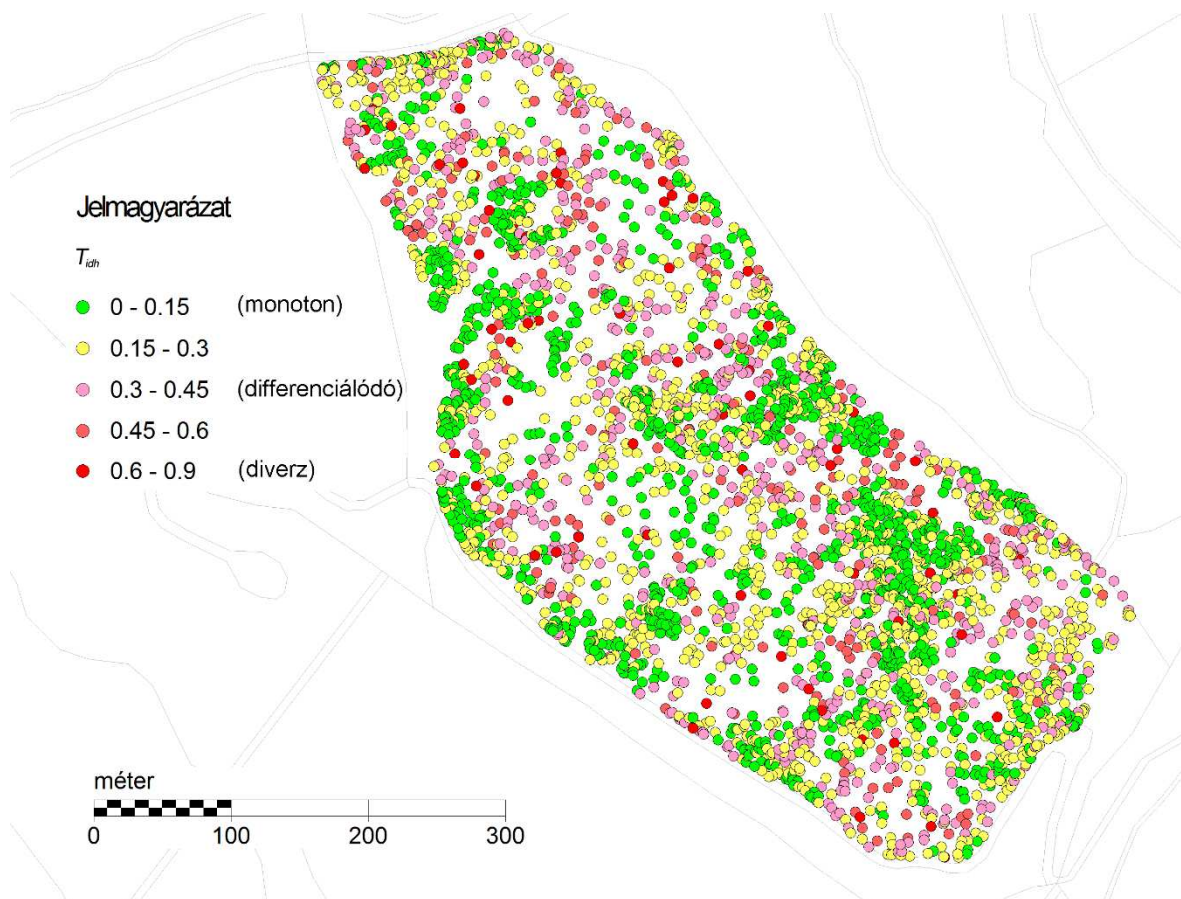
29. ábra: Földner-féle  $T_{ih}$  magasság-különбözőség

Az index átlagos értékei ( $\bar{T}_{ih} = 0,18$ ) szerint a magasságok változatossága alacsonyabb, mint az átmérőké. A ferdeség és a kvartilisok értékei a mutató baloldali asszimmetriájú eloszlását mutatják (10. táblázat), az egyedeknek csak 2,11%-a éri el a 0,5-ös értéket.

10. táblázat: A magassági különбözőség leíró statisztikája

$\bar{T}_{ih}$	$SD$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	ferdeség
0,18	0,14	0,08	0,14	0,25	1,24

Az átmérők és magasságok  $T_{id}$  és  $T_{ih}$  különbözőségi indexei egymással erősen korreláló ( $r = 0,75$  Pearson) eredményeket adnak (IX. melléklet). A két index számtani átlagát képezve – az összetett mutatók kialakításnak elvei (McElhinni és mtsai 2005, LeMay és Staudhammer 2005) alapján komplex indexet létrehozva ( $T_{idh}$ ) – a horizontális és vertikális változatosság térbeli eloszlása együtt is bemutatható (30. ábra).



30. ábra: A  $T_{idh}$  komplex index értékei

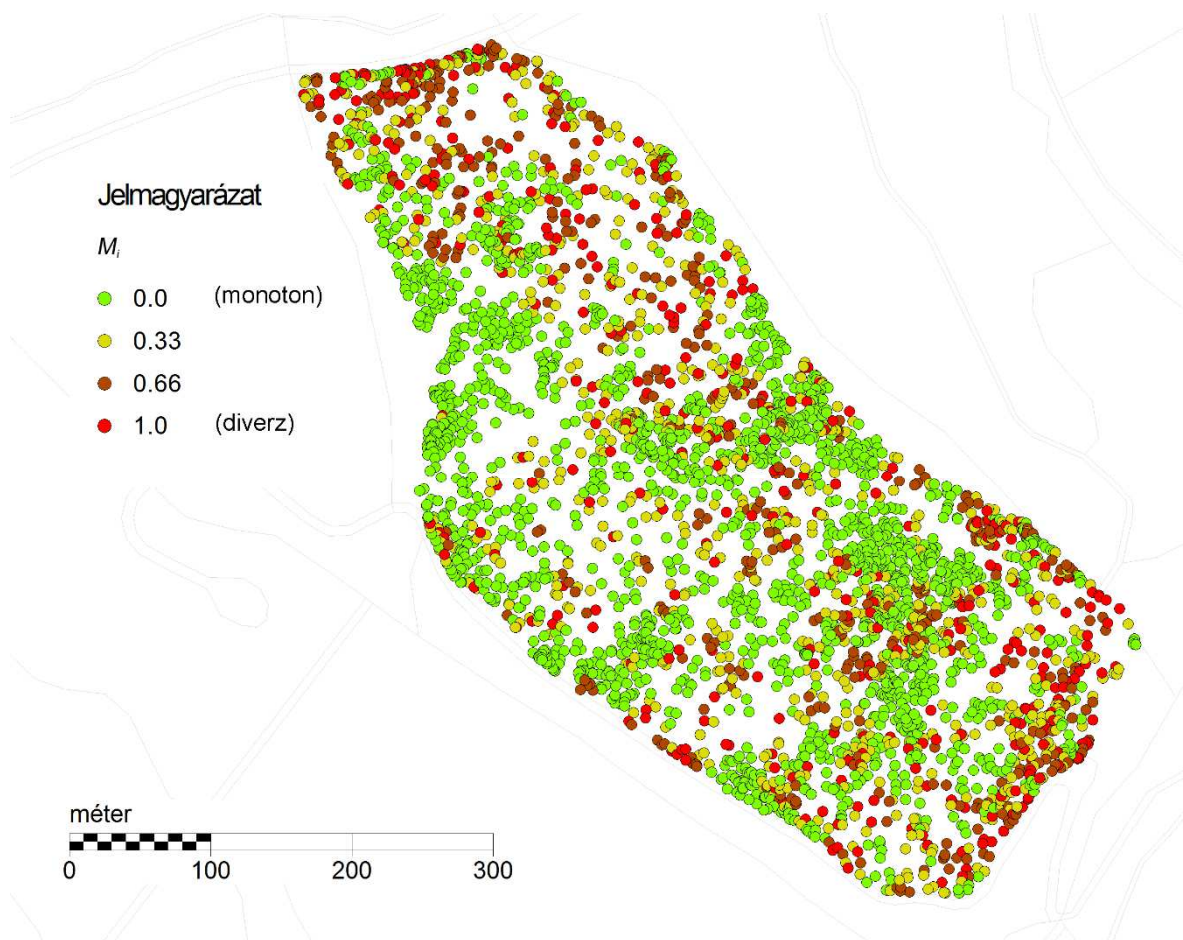
Az indexek összevonása a szórás kismértékű csökkenését eredményezi, a többi érték a  $T_{id}$  és  $T_{ih}$  megfelelő értékei között helyezkedik el (11. táblázat).

11. táblázat:  $T_{idh}$  komplex index leíró statisztikája

$\bar{T}_{idh}$	$SD$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	ferdeség
0,22	0,13	0,12	0,19	0,30	1,09



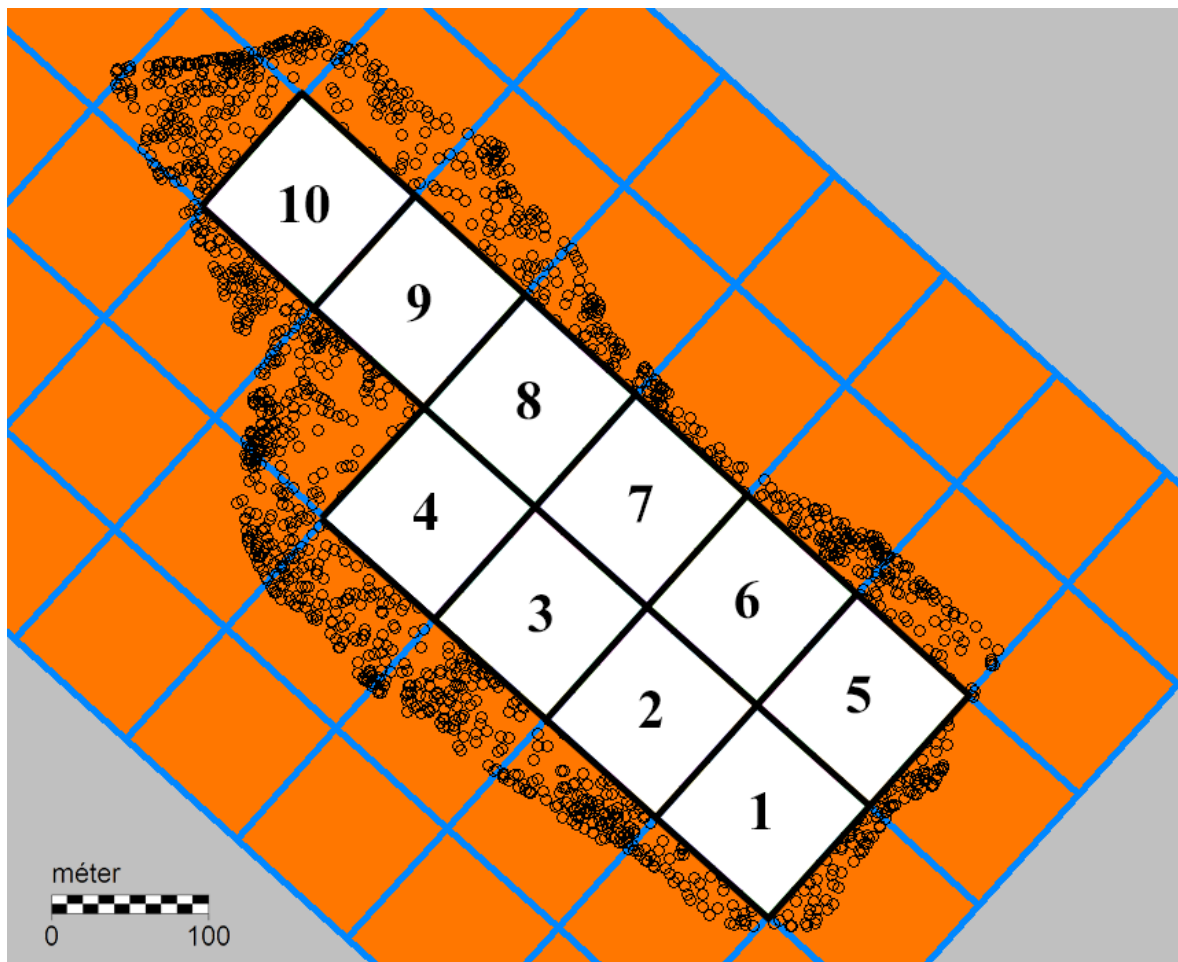
Elegyes száraló erdőben a különböző fajhoz tartozó egyedek kis területegységen belül (pl. 20-30 méter sugarú kör) is megtalálhatók. Négy törzsből álló csoportokban a szomszédos egyedtől eltérő fajú fák arányát az  $M_i$  elegyedési index adja meg (31. ábra). A törzsek 46,7%-ának legalább egy különböző szomszédja van, az index átlagolt értéke szerint ( $\bar{M}_i = 0,27$ ) egy kiválasztott törzshöz átlagosan 0,80 különböző fajú szomszéd tartozik. A tematikus térképen jól látszik, hogy az erdőrészlet nyugati oldalán, illetve a 19-es támadóvonal (lásd 17. ábra) övezetében lévő rudas korú állományrészek igen elegyetlenek, nagyobb faji változatosság az erdőrészlet nyílt peremrészein (északnyugati rész, aszfaltút melletti sáv), valamint a délkeleti, meredek oldalban tapasztalható. Mivel a képlet a központi egyed szomszédai között nem vizsgálja a faji különbözőséget, a bükk magas törzsszám-aránya miatt a 0,66-os értékek (egy azonos faj, két különböző a központi egyedhez képest) az index maximális értékéhez képest ( $M_i = 1 \rightarrow$  lehet, hogy mindhárom szomszédos egyed bükk) gyakran nagyobb változatosságot jeleznek.



31. ábra: Szomszédos faegyedek  $M_i$  elegyedési indexe

### 5.3. Változatosság vizsgálata különböző kiterjedésű területegységeken

A differenciálódó faállomány-szerkezet különböző területi léptékekben történő vizsgálatához lehatárolásra került az erdőrészlet belső részén 10 db, egyenként 1 ha-os négyzet (32. ábra), tovább osztva 50; 33,3; 25; 20 és 10 m oldalhosszúságú négyzetekre.



32. ábra: A részterület vizsgálat területi lehatárolása

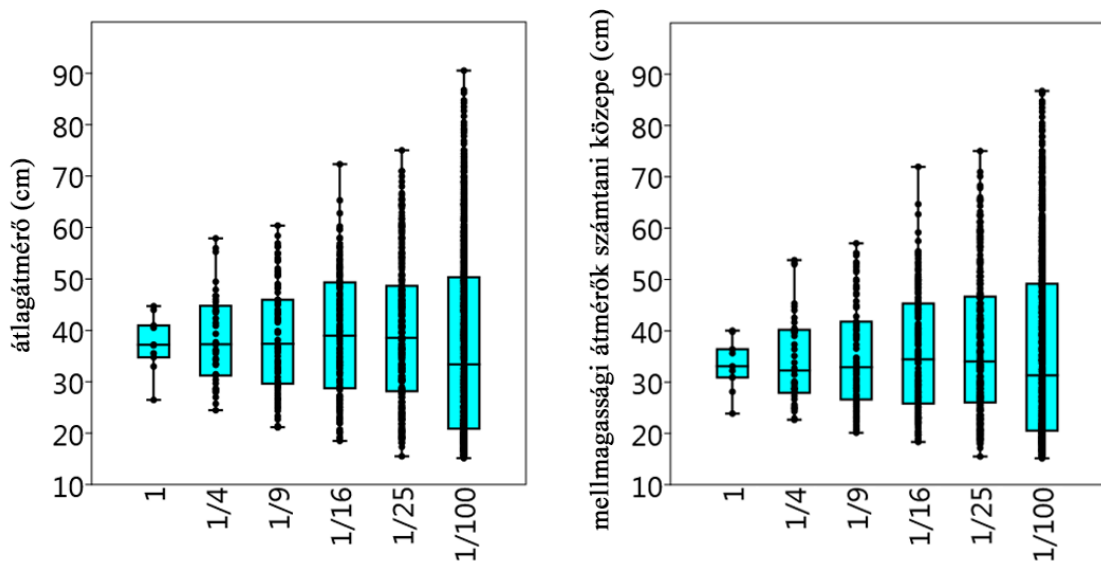
A különböző méretű területegységek nem mindegyikében található mért faegyed, a feltöltött és üres cellák számát a 12. táblázat foglalja össze.

12. táblázat: A leválasztott részterületek kiterjedése, száma és feltöltöttsége

cella területe (ha) és egyben megnevezése	1	1/4	1/9	1/16	1/25	1/100
cellák száma	10	40	90	160	250	1000
van/nincs mért egyed	10/0	40/0	90/0	160/0	249/1	796/204
cella oldalhossza (m)	100	50	33,3	25	20	10

### 5.3.1. Átlagátmérő ( $D_g$ )

A mellmagassági átmérők számtani közepe és az erdészeti szakirodalomban általánosan alkalmazott, átmérők négyzetes középértékével megadott átlagátmérő ( $D_g$ ) értékei egymáshoz hasonlóan alakulnak az egyes területi kategóriákban (33. ábra). A képlet különböző számítási módjának következtében  $D_g$  értékei valamivel nagyobb tartományt fognak át, jellemzően magasabbak, mint a számtani középpel megadott átlagos átmérők. 25 méteres oldalhosszúságú területek (1/16 ha) esetében már megfigyelhető, hogy 1-1 nagyobb termetű faegyed az átlagértéket jelentősen megnöveli, és előfordulnak olyan kvadrátok is, amelyekben az átlagátmérő értékei a területkategórián belül számított mediánnak csaknem a kétszeresét adják. Megjegyzendő, hogy a 36,08 cm-es átlagátmérő értéke a kiválasztott 10 hektáron ugyan magasnak tűnhet, de a 15 cm-es mellmagassági átmérő alatti állományrész nem került felvételezésre.

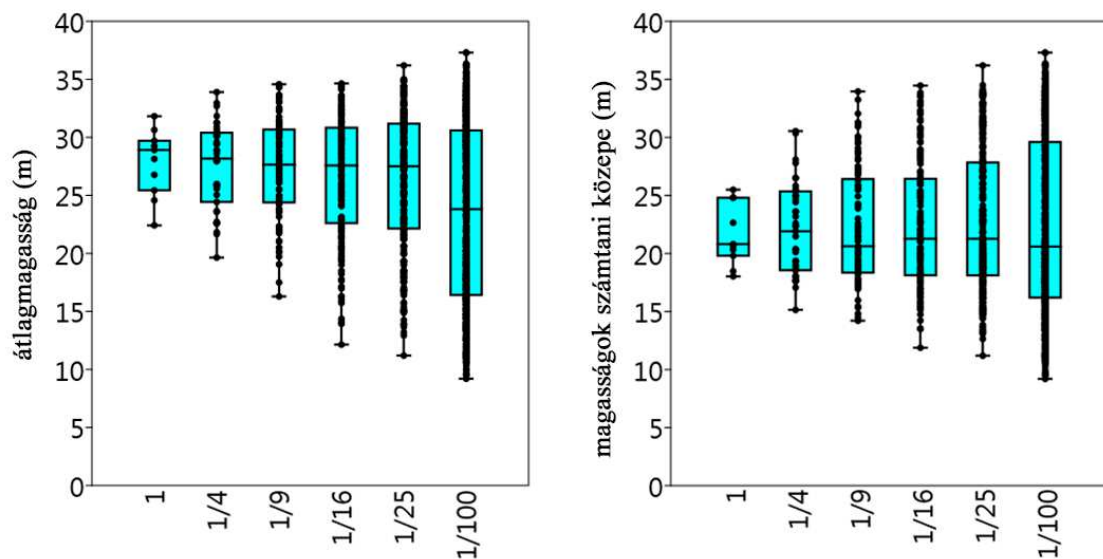


33. ábra: Az átlagátmérő ( $D_g$ ) és az átmérők számtani középértékének eloszlása a különböző területi kategóriákban.<sup>14</sup> (10 hektáron:  $D_g = 36,08$  cm)  
(Az interkvartilis terjedelmet a „doboz” szemlélteti, tartományán belül megjelenített vízszintes vonal az értékek mediánja, a dobozon kívüli szakasz a minimum és maximum értékekkel bezárólag a minta alsó és felső negyede.)

<sup>14</sup> Az 5.3 fejezet doboz ábráin – átlagolt értékek bemutatása esetén – csak azokat a kvadrátokat vettem számításba, amelyekben volt mért faegyed.

### 5.3.2. Átlagmagasság ( $H_g$ )

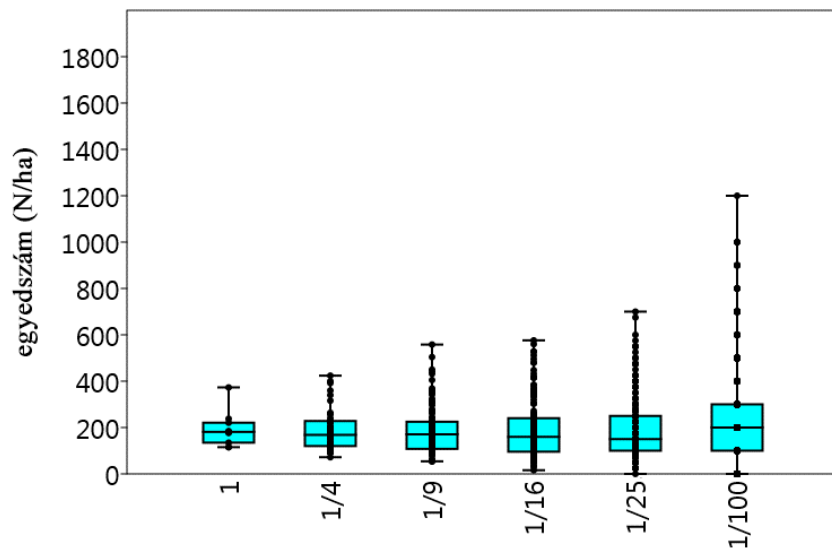
Az átlagmagasság ( $H_g$ ) és a magasságok számtani átlaga – az átmérők esetében tapasztaltakhoz képest – jelentős különbségeket hordoz az átlagmagasság számításánál való súlyozás miatt, amely eloszlását balra ferdíti (34. ábra). A 27,73 m-es átlagmagasság igen magasnak mondható egy olyan állományban, amely folyamatos felújítás alatt áll, azonban szükséges megjegyezni, hogy a mérési mellmagassági határátmérő (15 cm) csökkentésével ez az érték alacsonyabb lenne. A területi felbontás növelésével (kvadrátok területének csökkentésével)  $H_g$  értékei a minta alsó negyedében 20 méterig (1/25 ha) egyre nagyobb tartományt fognak át. A tíz méteres oldalhosszúságú minták összességénél – az alacsony egyedszám torzító hatása miatt – az interkvartilis terjedelem ugrásszerűen megnövekszik, a medián csaknem 4 m-rel a 10 hektárra számított átlagérték (27,73 m) alatt marad. A kiugróan magas (35 m feletti) átlagmagasságú területek olyan egységeket jeleznek, amelyekben jellemzően csak idős, természetes faegyedek találhatók.



34. ábra: Az átlagmagasság ( $H_g$ ) és a magasságok számtani középértékének eloszlása a különböző területi kategóriákban. (10 hektáron:  $H_g = 27,73$  m)

### 5.3.3. Egyedszám (N)

A hektáronkénti egyedszám vizsgálatában (35. ábra) már az 1 ha-os terület egységek között is van olyan terület, amely az átlagértékhez (192 db/ha) képest kiugró, csaknem kétszeres értéket ad (373 db/ha). Famagasságnyi távolságon belül (20-30 m sugarú kört közelítve az 1/9; 1/16 és 1/25 hektáros kvadrátok) egyes területeken 500-700 törzs is található hektáronként számítva. A 1/25 és 1/100 hektáros kvadrátok adatsorai elérik az abszcisszát, mivel mindkét területkategóriában található olyan egységek, amelyekben nem volt 15 cm-es mellmagassági átmérőt elért, felvételezett faegyed.

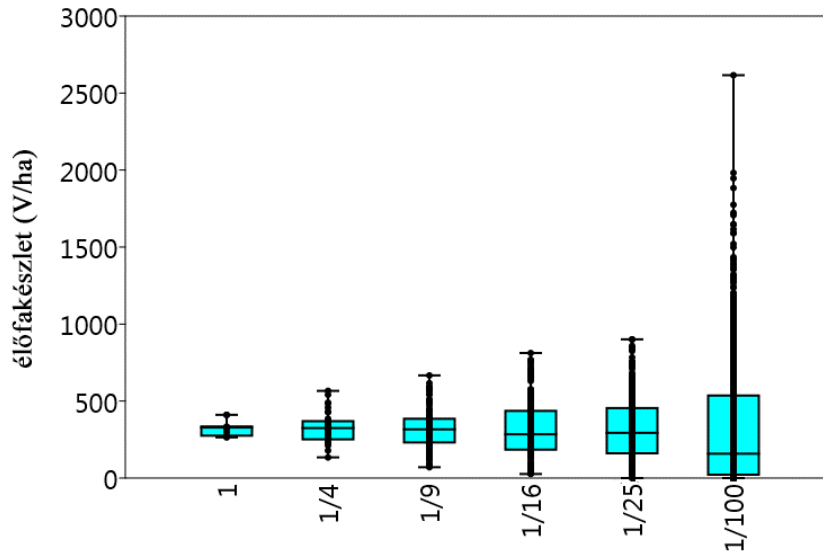


35. ábra: A hektáronkénti törzsszám (N/ha) eloszlása a különböző területi kategóriákban.  
(10 hektáron:  $N = 192$  db/ha)

### 5.3.4. Élőfakészlet (V)

A fajlagos élőfakészlet a területen igen nagy változatosságot mutat, amelyet jól kirajzolnak a területi lehatárolás alacsonyabb kategóriái (36. ábra). Mivel csak a 15 cm mellmagassági átmérőt meghaladó állományrész került felvételre, feltételezhető, hogy az alacsony értékeket adó terület egységek egy részén a valóságban a 15 cm-nél vékonyabb átmérőjű egyedek adják a fatérfogat jelentős hányadát. Már az 1/4 hektáros kvadrátok között is található olyan, amelynek fatérfogata hektárra vetítve eléri a fatermési tábla szerinti (Mendlik 1983) II. fatermési osztályú 90 éves bükkös főállományának  $561 \text{ m}^3/\text{ha}$ -os fajlagos fatérfogatát (13. táblázat). Az értékek nagyfokú szóródása jelzi, hogy a faállomány szerkezeti differenciálódása nem a szálankénti száraló szerkezethez közelít, de 1 ha-os

léptékben nézve többé-kevésbé homogén képet mutat. Szembetűnőek a 10 m-es felbontású vizsgálat kiugróan magas értékei, amelyeket egymáshoz közel álló nagytermetű fák, jellemzően idős, ikertörzsszel rendelkező bükkök okoznak.



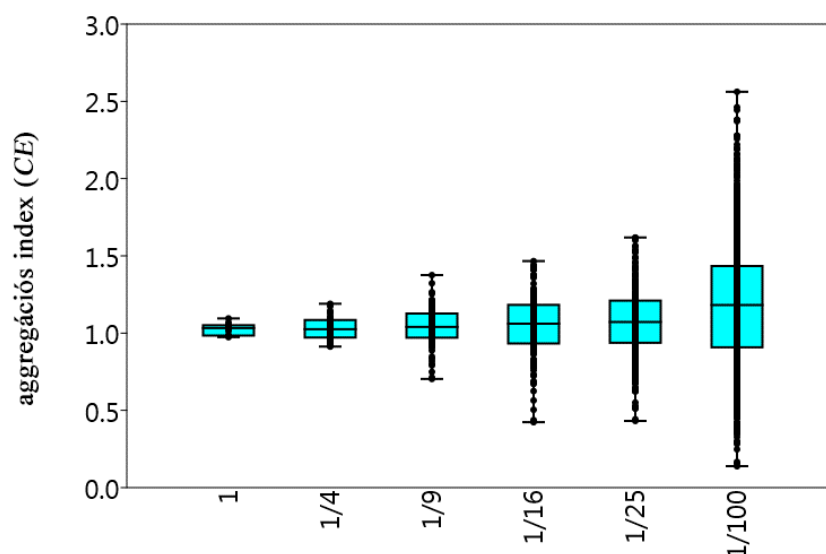
36. ábra: A fajlagos élőfakészlet (V/ha) eloszlása a különböző területi kategóriákban. (10 hektáron:  $V = 324,4 \text{ m}^3/\text{ha}$ )

13. táblázat: Szélsőértékek és relatív szórás a különböző területegységek fajlagos fatérfogatában ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )

cella területe (ha)	1	1/4	1/9	1/16	1/25	1/100
min	264,4	134,3	70,7	26,7	0	0
max	410,3	566,5	666,7	812,1	900,8	2615,9
CV	16,14	29,44	41,06	56,29	62,66	119,40

### 5.3.5. Törzspozíciók aggregációja (CE)

A törzspozíciók vizsgálatában a CE értékek mediánjai jellemzően 1,0-hez közeliek, azonban a kisebb területi léptékekben egyre nagyobb szóródást mutatnak (37. ábra). Mivel Clark és Evans aggregációs indexének képlete a terület nagyságát figyelembe véve számol (lásd 54. oldal), a CE nagyobb mértékű szóródása a kisebb területegységeken nem jelenti a kategóriák közötti jelentős különbözőséget a törzspozíciók elhelyezkedésében.



37. ábra: CE aggregációs index eloszlása a különböző területi kategóriákban.  
(10 hektáron:  $CE = 1,01 \rightarrow$  random eloszlás)

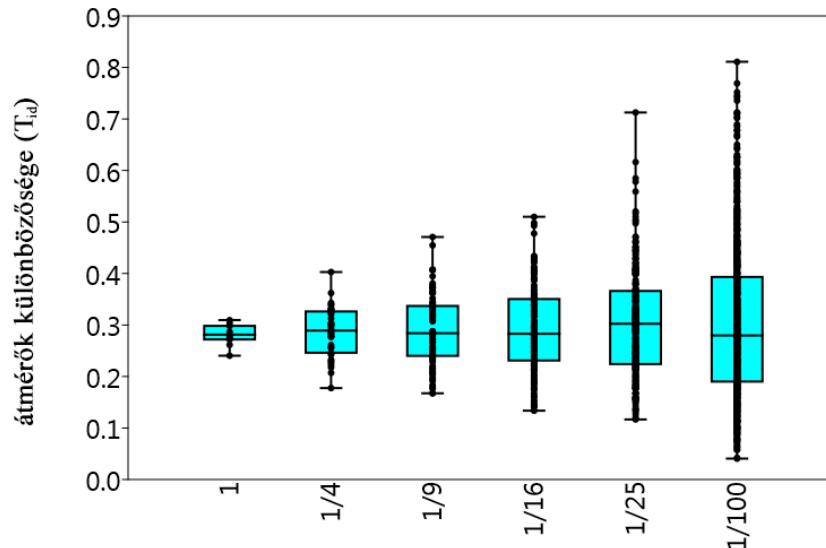
A vizsgált kvadráttípusok mindegyikéről elmondható, hogy döntően a törzsek véletlenszerű eloszlását mutatják, tehát az erdőrészlet belső részén kiválasztott 10 ha-os terület minden vizsgált léptékben kielégíti a változatos törzseloszlás jelen kritériumát (14. táblázat). A véletlenszerű eloszlástól eltérő területegységek előfordulása jellemzően 10% körüli, amelyben az aggregáló csoportok vannak többségben a szabályosságot mutató törzseloszlással szemben.

14. táblázat: A random eloszlástól való eltérés százalékos megoszlása különböző szignifikancia szinteken a vizsgált területegységeken

cella területe (ha)		1	1/4	1/9	1/16	1/25	1/100
szabályosság	$\alpha = 0,001$	0	0	0	0	0,4	0
szabályosság	$\alpha = 0,01$	0	0	1,1	0	0	0
szabályosság	$\alpha = 0,05$	0	0	0	2,5	1,2	0,4
random		90,0	95,0	95,6	89,4	91,6	88,7
aggregáció	$\alpha = 0,05$	10,0	2,5	2,2	5,6	4,8	6,9
aggregáció	$\alpha = 0,01$	0	2,5	1,1	2,5	1,6	2,9
aggregáció	$\alpha = 0,001$	0	0	0	0	0,4	1,1

### 5.3.6. Átmérők különbözősége ( $T_{id}$ )

Az átmérők különbözőségének  $T_{id}$  indexe a terület összességén alacsony változatosságot mutat ( $T_{id} = 0,28$ ), de a területi felbontást növelve előjönnek azok a különbségek, amelyek már a 28. ábra tematikus térképén is kirajzolódtak (38. ábra). Az értékek fele jellemzően 0,3 feletti, tehát legalább mérsékelt differenciálódást jelez a szomszédos egyedek átmérői között, az 1/16 hektár nagyságú minták esetében pedig már előfordul 0,5 feletti, nagyfokú differenciálódást jelző érték is. Ezzel szemben az 1/9 hektáros területi léptéktől kezdve megjelennek olyan területek is, amelyeknél a mutató – egykorú foltokat jelezve – 0,2 alatti értéket mutat. A vizsgált állományrész famagasságnyi oldalhosszúságú területein (1/9; 1/16 és 1/25 hektáros kvadrátok) egyaránt előfordulnak változatos és homogén facsoportok, de a területegységek többsége csak gyengén differenciált, a medián körüli értékek jellemzően a 10 ha-ra számított átlagérték közelében maradnak. Megjegyzendő, hogy a szomszédos egyedek vizsgálata túlnyúlik a terület-lehatároláson, tehát nem befolyásolja az eredményt, ha egy parcellában csak kevés egyed található.



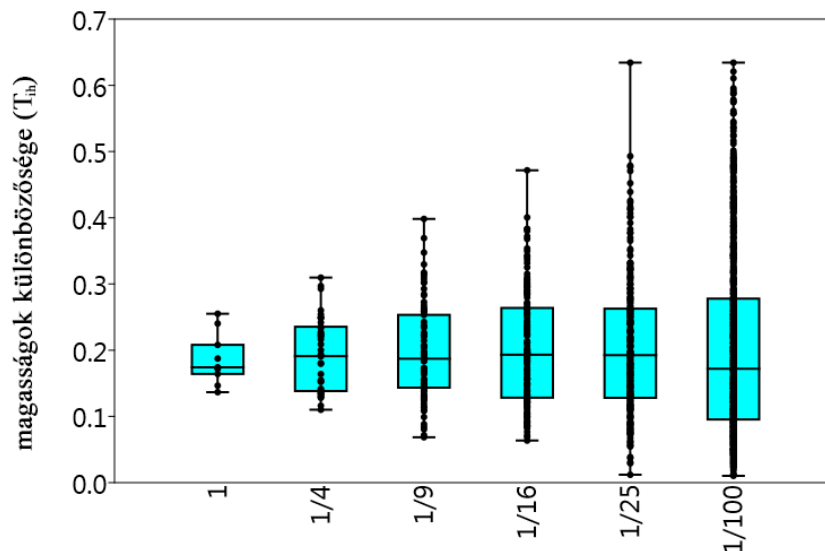
38. ábra: Az átmérő-különbsőség ( $T_{id}$ ) index átlagának eloszlása a különböző területi kategóriákban.

(10 hektáron:  $T_{id} = 0,28 \rightarrow$  alacsony változatosság)



### 5.3.7. Magasságok különbözősége ( $T_{ih}$ )

Az állomány magassági differenciáltsága ( $T_{ih}$ ) az átmérőkéhez képest is igen gyengének mondható (39. ábra), ez az a szerkezeti mutató, amelyben a kapott értékek kis területléptékben sem tesznek eleget a szálankénti szálaló szerkezet kritériumainak<sup>15</sup>. A 20 m oldalhosszúságú területek közül (1/25 ha) kevesebb mint minden negyedik kvadrát éri el a mérsékelt differenciálódás szintjét ( $T_{ih} = 0,3$ ), a mérsékelt differenciálódás először az 1/4 ha-os területeken jelenik meg. A gyakran előforduló alacsony értékek az egykorú foltok szűk tartományú magassági szintbe való rétegződését jelzik már nagyobb területgységeken (1/4 ha) is. Megjegyzendő, hogy a szomszédos egyedek vizsgálata ebben az esetben is túlnyúlik a terület-lehatároláson, tehát nem befolyásolja az eredményt, ha egy parcellában csak kevés egyed található.



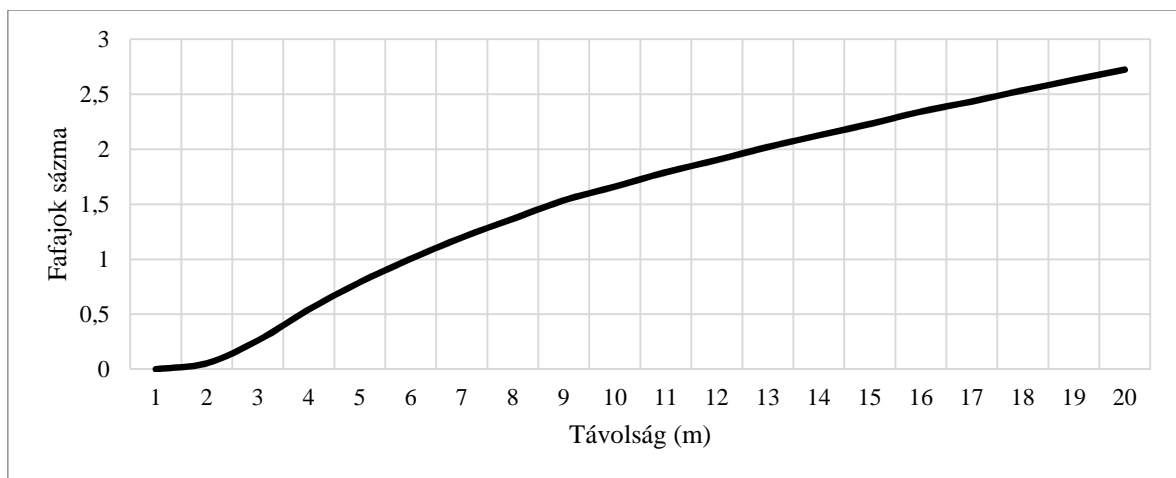
39. ábra: A magassági különbözőség ( $T_{ih}$ ) index átlagának eloszlása a különböző területi kategóriákban.

(10 hektáron:  $T_{ih} = 0,18 \rightarrow$  igen alacsony változatosság)

<sup>15</sup> Megjegyzendő, hogy a területen sohasem volt cél a szálankénti szálaló szerkezet kialakítása.

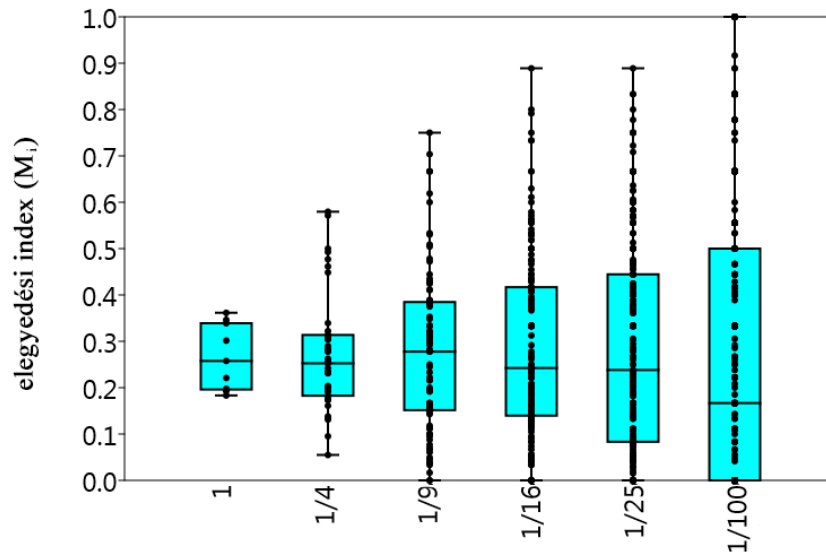
### 5.3.8. Elegyedés ( $M_i$ )

Az előforduló fajok számát a távolság függvényében a 40. ábra szemlélteti. Látható, hogy egy véletlenszerűen kiválasztott törzs esetében a fajszám növekedése a közvetlen (1-3 m) környezetben emelkedik, majd ez az emelkedés a törzstől távolodva egyre visszafogottabb tendenciát mutat. Egy kiválasztott törzs 20 m-es sugarú környezetében átlagosan nem egészen 3 különböző fajfaj található, a legközelebbi eltérő fajhoz tartozó faegyed átlagosan 6 m távolságban van.



40. ábra: Különböző fajfajok száma a távolság függvényében

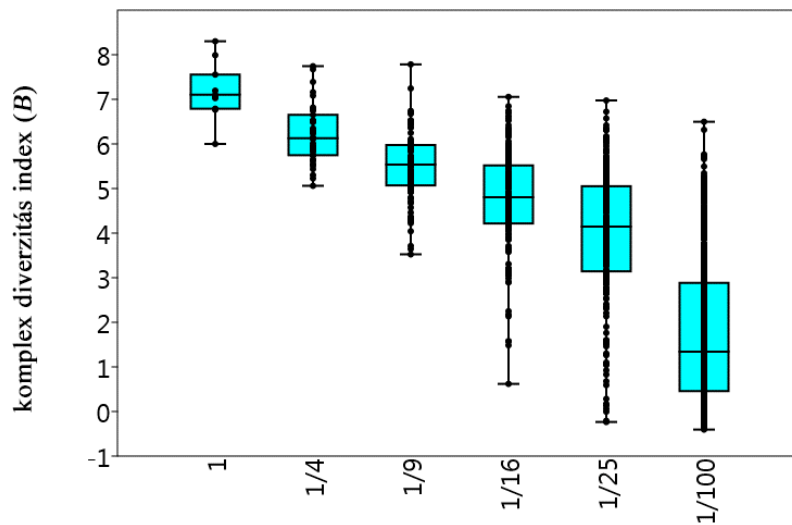
A különböző területi kategóriákban vizsgált  $M_i$  elegyedési index igen nagy szóródást mutat (41. ábra), a 10 hektárra számított átlagérték ( $T_{ih} = 0,25$ ) alacsony változatosságot jelez. Szembetűnő, hogy már az 1/9 ha-os területek között megjelennek azok, amelyekben csak egyetlen fajfaj (jellemzően bükk) található. Az 1/9; 1/16; 1/25 és 1/100 hektáros területek homogén (minden szomszédos faegyed azonos fajhoz tartozik) egységeinek aránya rendre 2,2%; 6,9%; 17,3%, valamint 42,96%. Ugyanezekben a területi kategóriákban már számottevő a változatos (0,5 feletti) fajfajösszetételű kvadrát is. Megjegyzendő, hogy a szomszédos egyedek vizsgálata ebben az esetben is túlnyúlik a terület-lehatároláson, tehát nem befolyásolja az eredményt, ha egy parcellában csak kevés egyed található.



41. ábra: Az elegyedési index ( $M_i$ ) átlagának eloszlása a különböző területi kategóriákban. (10 hektáron:  $T_{ih} = 0,25 \rightarrow$  alacsony változatosság)

### 5.3.9. Komplex diverzitás ( $B$ )

A komplex diverzitás index ( $B$ ) (Jaehne és Dohrenbusch 1997) meghatározásához az állományrész szerkezeti mutatóinak szélsőértékei szükségesek, nem vizsgálja azok eloszlását. Minél kisebb területet választunk, annál kisebb a valószínűsége, hogy az egymáshoz legközelebbi törzsek távolságának, a koronák sugarának vagy fák magasságának maximális és minimális értékei széles tartományt ölelnek át. Mindezek mellett a mutató alkalmas annak jellemzésére, hogy a szélsőségek hogyan egyenlítődnek ki a terület csökkenésével (42. ábra). Eloszlásának mediánja és számtani közepe a területi felbontást növelve csökkenést, az értékek relatív szórása emelkedést mutat, a sűrűségfüggvények ferdesége változó irányú a különböző területkategóriákban (15. táblázat). Azokban a kvadrátokban, amelyekben az index értéke negatív, jellemzően csak egy törzs volt.



42. ábra: A komplex diverzitás index ( $B$ ) átlagának eloszlása a különböző területi kategóriákban.

15. táblázat: A komplex diverzitás index ( $B$ ) eloszlásának mutatói a vizsgált területnagyság függvényében

cella területe (ha)	1	1/4	1/9	1/16	1/25	1/100
$\bar{B}$	7,18	6,22	5,45	4,75	4,00	1,72
medián	7,08	6,14	5,53	4,81	4,15	1,34
ferdeség	0,12	0,54	-1,49	-0,77	-0,72	0,70
CV	9,07	10,28	17,19	23,95	36,17	86,84

Az index az 1 ha-os részterületek mindegyikében differenciált faállomány-szerkezetet mutat, a felbontást növelve azonban már egyöntetű foltok megjelenését jelzi (16. táblázat). Míg az 1/4 ha-os területken még többségben vannak a differenciált faállományú kvadrátok, az 1/9 ha-os területektől kezdve ez az arány már a homogén faállomány-szerkezet felé tolódik el. Famagasságnyi oldalhosszúságú egységeken vizsgálva (20-30 m) egyaránt előfordulnak differenciált, homogén és monoton területek is.

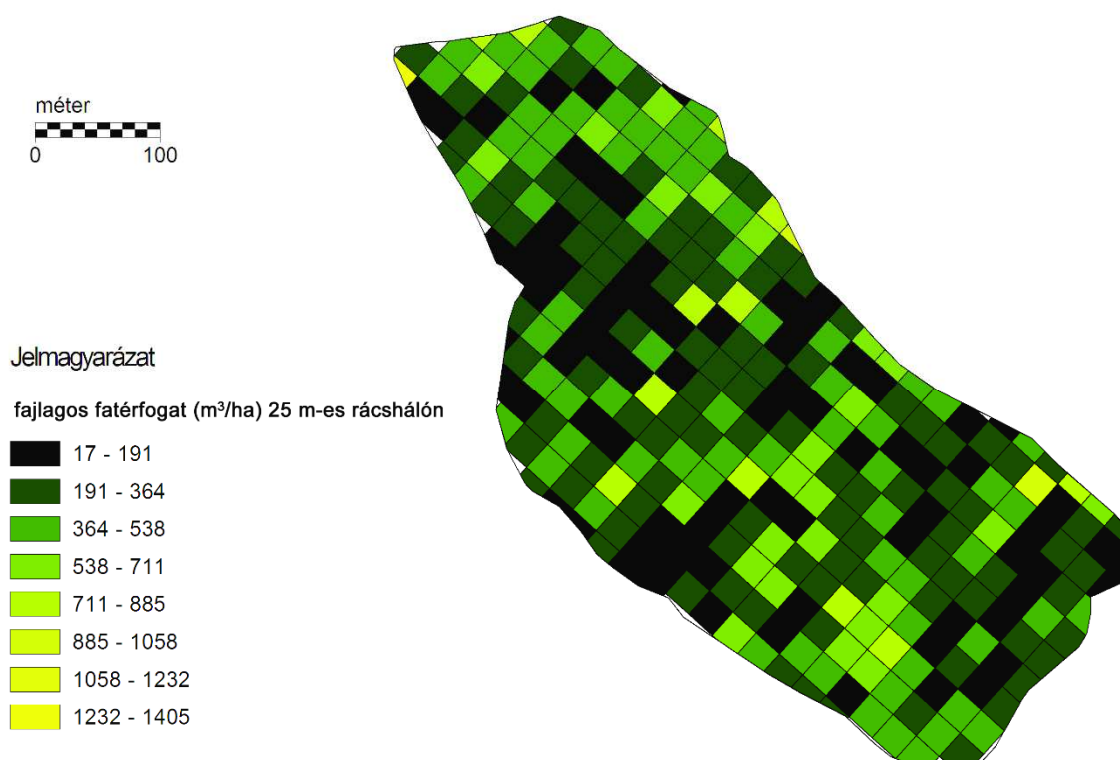
16. táblázat: A faállomány-szerkezet változatosságának területi aránya a különböző méretű kvadrátokban a komplex diverzitás indexe ( $B$ ) szerint

cella területe (ha)	1	1/4	1/9	1/16	1/25	1/100
rendkívül változatos faállomány-szerkezet	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
igen változatos faállomány-szerkezet	10,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
differenciálódó faállomány-szerkezet	90,0%	57,5%	24,4%	10,6%	5,3%	0,3%
homogén faállomány-szerkezet	0,0%	42,5%	72,2%	69,4%	49,0%	9,1%
monoton faállomány-szerkezet	0,0%	0,0%	3,3%	20,0%	45,4%	90,7%

## 5.4. Az élőfakészlet változásának mérési lehetőségei

### 5.4.1. A mintaterület felvételezés problematikája

A 15 cm mellmagassági átmérőt elérő faegyedek fajlagos élőfakészlete területegységenként igen nagy változatosságot mutat (43. ábra).



43. ábra: A 15 cm mellmagassági átmérő feletti állományrész fajlagos fatérfogata 25 m oldalhosszúságú rácshálón vizsgálva

Az 5.3 fejezetben lehatárolt területen belüli kvadrátok alapján a leválasztott terület egységeken a törzsszámok relatív szórása olyan mértékű (17. táblázat), hogy a szakirodalmi adatok szerint (X. melléklet) – a kísérleti erdő fakészletének nyomon követésére – szabályos hálózatban történő mintaterületes felvételezés 10%-os elvárt pontosság mellett nem javasolható.

17. táblázat: A törzsszám mintaterületenkénti relatív szórása a különböző területi kategóriákban

cella területe (ha)	1	1/4	1/9	1/16	1/25	1/100
CV	39,29	47,80	56,50	62,72	67,37	70,62

#### 5.4.2. Egyváltozós fatérfogat-függvény szerkesztése

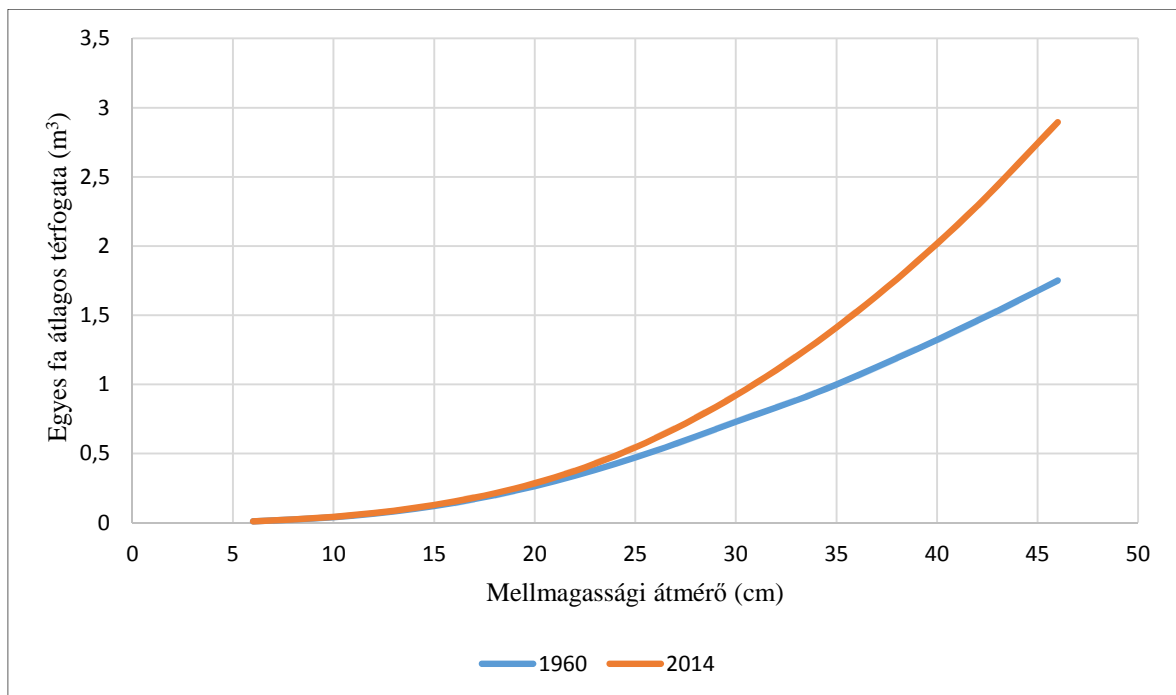
A teljes törzsfelvétel egyszerűsítésére 1960-ban fatömeg-tarifa táblázat készült a kísérleti területre<sup>16</sup>, amelyet a jelen felmérés alapján számolt tarifákkal összevetve – a korábbi felvételezés szerinti csoportosításban – a 18. táblázat mutat be.

18. táblázat: Összehasonlító fatérfogat-tarifa táblázat ( $V \rightarrow$  szilv)

$d_{1,3}$	LF			VF			B, KTT, J, KH, É			GY		
	1960 (sv)	2014 (sv)	1960/ 2014	1960 (sv)	2014 (sv)	1960/ 2014	1960 (sv)	2014 (sv)	1960/ 2014	1960 (sv)	2014 (sv)	1960/ 2014
6	0,01	0,02	<b>63,2%</b>	0,02	0,03	<b>77,1%</b>	0,02	0,01	<b>181,6%</b>	0,01	0,01	<b>94,2%</b>
10	0,03	0,06	<b>54,5%</b>	0,08	0,09	<b>93,9%</b>	0,05	0,04	<b>118,8%</b>	0,04	0,04	<b>93,5%</b>
14	0,11	0,12	<b>88,0%</b>	0,17	0,19	<b>91,1%</b>	0,13	0,10	<b>127,8%</b>	0,10	0,11	<b>93,3%</b>
18	0,24	0,23	<b>104,0%</b>	0,30	0,33	<b>89,6%</b>	0,25	0,20	<b>127,1%</b>	0,20	0,21	<b>94,0%</b>
22	0,42	0,38	<b>111,6%</b>	0,47	0,53	<b>87,9%</b>	0,42	0,33	<b>126,1%</b>	0,34	0,37	<b>92,5%</b>
26	0,65	0,57	<b>114,9%</b>	0,67	0,79	<b>85,0%</b>	0,63	0,59	<b>107,1%</b>	0,52	0,58	<b>89,7%</b>
30	0,93	0,80	<b>115,9%</b>	0,87	1,15	<b>75,9%</b>	0,88	0,88	<b>99,5%</b>	0,73	0,86	<b>85,2%</b>
34	1,26	1,09	<b>115,7%</b>	1,09	1,51	<b>72,0%</b>	1,18	1,25	<b>94,8%</b>	0,94	1,21	<b>78,0%</b>
38	1,62	1,43	<b>113,4%</b>	1,33	1,93	<b>69,0%</b>	1,53	1,67	<b>91,6%</b>	1,19	1,63	<b>72,9%</b>
42	1,99	1,82	<b>109,2%</b>	1,58	2,39	<b>66,1%</b>	1,93	2,16	<b>89,4%</b>	1,46	2,15	<b>68,0%</b>
46	2,38	2,28	<b>104,6%</b>	1,84	2,90	<b>63,4%</b>	2,37	2,71	<b>87,4%</b>	1,75	2,75	<b>63,6%</b>
50	2,76	2,79	<b>98,9%</b>	2,10	3,46	<b>60,7%</b>	2,85	3,33	<b>85,7%</b>			
54	3,15	3,37	<b>93,6%</b>	2,36	4,07	<b>58,0%</b>	3,37	4,01	<b>84,1%</b>			
58	3,53	4,01	<b>88,1%</b>	2,64	4,72	<b>55,9%</b>	3,93	4,75	<b>82,7%</b>			
62	3,92	4,60	<b>85,2%</b>	2,91	5,43	<b>53,6%</b>	4,53	5,56	<b>81,5%</b>			
66	4,29	5,30	<b>80,9%</b>	3,18	6,18	<b>51,5%</b>	5,17	6,43	<b>80,4%</b>			
70	4,68	6,06	<b>77,2%</b>	3,45	6,98	<b>49,4%</b>	5,85	7,37	<b>79,4%</b>			
74	5,07	6,87	<b>73,8%</b>	3,72	7,83	<b>47,5%</b>	6,55	8,37	<b>78,3%</b>			
78	5,46	7,72	<b>70,7%</b>				7,25	9,43	<b>76,9%</b>			
82	5,86	8,63	<b>67,9%</b>				7,95	10,56	<b>75,3%</b>			
86	6,25	9,59	<b>65,2%</b>				8,65	11,75	<b>73,6%</b>			
90	6,64	10,60	<b>62,6%</b>				9,35	13,01	<b>71,9%</b>			
94	7,03	11,67	<b>60,3%</b>				10,05	14,33	<b>70,1%</b>			
98	7,43	12,78	<b>58,1%</b>				10,75	15,72	<b>68,4%</b>			
102	7,83	13,94	<b>56,2%</b>				11,45	17,16	<b>66,7%</b>			
106	8,23	15,16	<b>54,3%</b>				12,15	18,68	<b>65,1%</b>			
110	8,63	16,43	<b>52,5%</b>				12,85	20,25	<b>63,4%</b>			

<sup>16</sup> A tarifa-táblázatot a kísérleti erdő területén mért 2552 fa magassági adatának felhasználásával és magassági görbék szerkesztésével Palotay István készítette. A szilv értékek kerekített értékek, a két tarifa összehasonlítása kerekítés nélkül történt.

A 18. táblázatban feltüntetett jelentős eltérések grafikus megjelenítése jól mutatja, hogy Palotay 1960-as fatömeg-tarifája, valamint a jelen felmérésből Kolozs és Veperdi (2012) alapján számított tarifa egymástól különböző elven került meghatározásra. A példaként vett gyertyán esetében 22 cm-es mellmagassági átmérőig a két grafikon szorosan egymás mellett halad, majd kettőjük távolsága egyre nagyobbá válik, a magasabb értéket a 2014-es tarifa adja (44. ábra). Mivel a felvételezés során gyakoriak voltak a 40 cm-es mellmagassági átmérőt meghaladó gyertyán egyedek is, a két különböző függvénnyel számolt gyertyán fatérfogat különbsége túl nagy hiba lehetőségét rejti magában. Hasonló (esetenként nagyobb) eltérések tapasztalhatók a lucfenyő és a vörösfenyő függvényei esetében, valamint megemlítendő az is, hogy az 1960-ban készült képlet a bükköt, kocsánytalan tölgyet, juharokat, kislevelű hársat és égert azonos számítással kezeli.



44. ábra: Gyertyán fatömeg-görbe Palotay 1960-as és jelen munka 2014-es számításai szerint

A felmérés által rendelkezésre álló nagy pontosságú adattömeg indokoltá tette fajok szerinti lebontásban a térfogatok függvényesítését. Az adatok szűrését követően összesen 6 faj esetében nyílt lehetőség fatömeg-görbe szerkesztésére, amelyeket másodfokú polinomiális (kvadrátikus) trendvonal illesztésével a XI. melléklet szemléltet.

Mivel a polinomiális görbék illesztése a 15 cm-es mellmagassági átmérő alatti tartományban esetenként negatív értékeket eredményezett, – az erdészeti nagytájakra megszerkesztett egyváltozós fatérfogat-függvényekhez hasonlóan (Kolozs és Veperdi 2012) – minden fafaj esetében szükség volt egy  $d_v$  határátmérő meghatározására, amelynél függvényváltás szükséges. A függvényváltás  $d_v$  határátmérője megegyezik azon  $d$  átmérő egész számra kerekített értékével, melynek esetén a hatvány és a polinomiális képlet egyező fatérfogatot ad. A függvényparamétereket fafajonként a 19. táblázat foglalja össze<sup>17</sup>.

19. táblázat: A Sopron 182 B erdőrésztletre számított helyi függvényparaméterek

	$d_v$ (cm)	$q_1$	$q_2$	$b_1$	$b_2$	$b_3$
<b>B</b>	15	0,0001	2,6262	0,0021	- 0,0388	0,2320
<b>LF</b>	60	0,0002	2,4394	0,0016	- 0,0288	0,2350
<b>GY</b>	60	$8 \cdot 10^{-5}$	2,7282	0,0023	- 0,0514	0,3929
<b>KTT</b>	15	0,0004	2,2989	0,0018	- 0,0231	0,1243
<b>VF</b>	30	0,0004	2,3285	0,0015	- 0,0042	- 0,0781
<b>KH</b>	25	0,0002	2,4318	0,0013	- 0,0184	0,1278

ahol  $d_v \geq d$  esetén

$$Szilv = q_1 \cdot d^{q_2} \quad (19),$$

illetve  $d_v < d$  esetén

$$Szilv = b_1 \cdot d^2 + b_2 \cdot d + b_3 \quad (20),$$

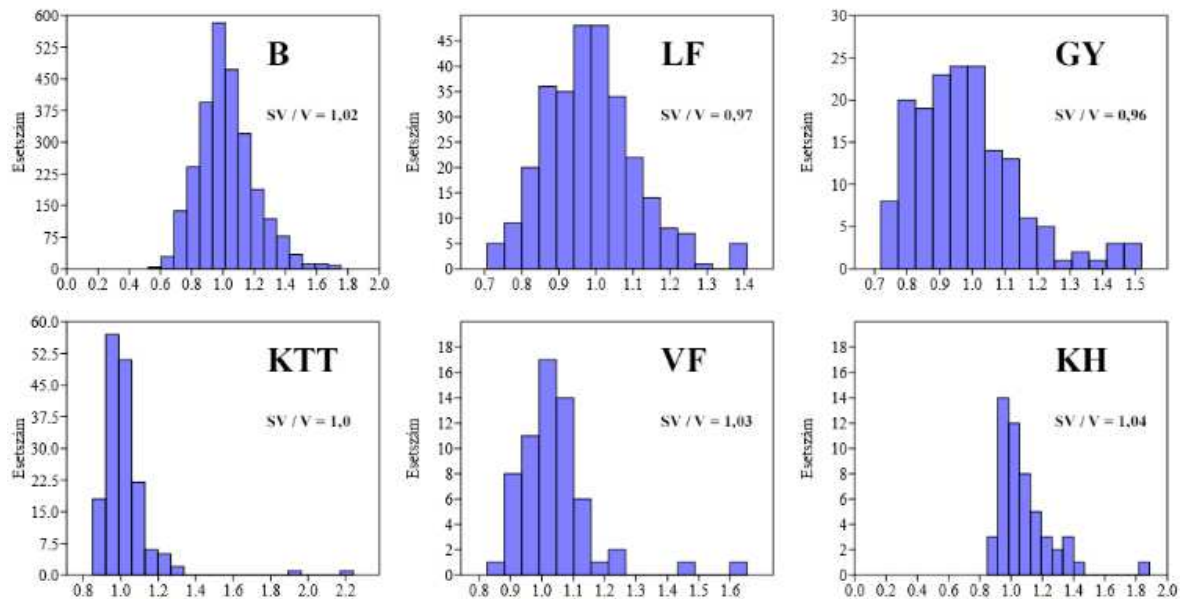
illetve:

- $d$  = mellmagassági átmérő (cm);
- $d_v$  = hatvány- és kvadratikus függvény közötti váltás átmérője;
- $q_1; q_2; b_1; b_2; b_3$  = paraméterek.

<sup>17</sup> A függvénnyel kapott tarifa-értékek a 15 cm mellmagassági átmérő alatti tartományban fenntartással kezelendők, hiszen ebből az intervallumból nem állt rendelkezésre minta a felvételezés adatbázisában, és a görbe szerkesztése extrapolációval történt.



A helyi tarifát összehasonlítva a Király-féle kétváltozós fatérfogat függvényvel az előfakészlet minden vizsgált fafaj esetében 5%-os hibahatáron belüli egyezőséget mutatott (45. ábra). Egyedenként végzett pontos fatérfogat-becslésre a képlet természetesen nem alkalmas, de a kétváltozós függvényvel törzsenkénti összehasonlításban mutatkozó nagy egyezőség a magassági értékek alacsony szóródását mutatják.



45. ábra: A helyi tarifával és a Király-féle függvényvel számolt fatérfogat összehasonlítása egyedenként és fafajonként összesítve

## 5.5. Támadóvonalak környezetének vizsgálata

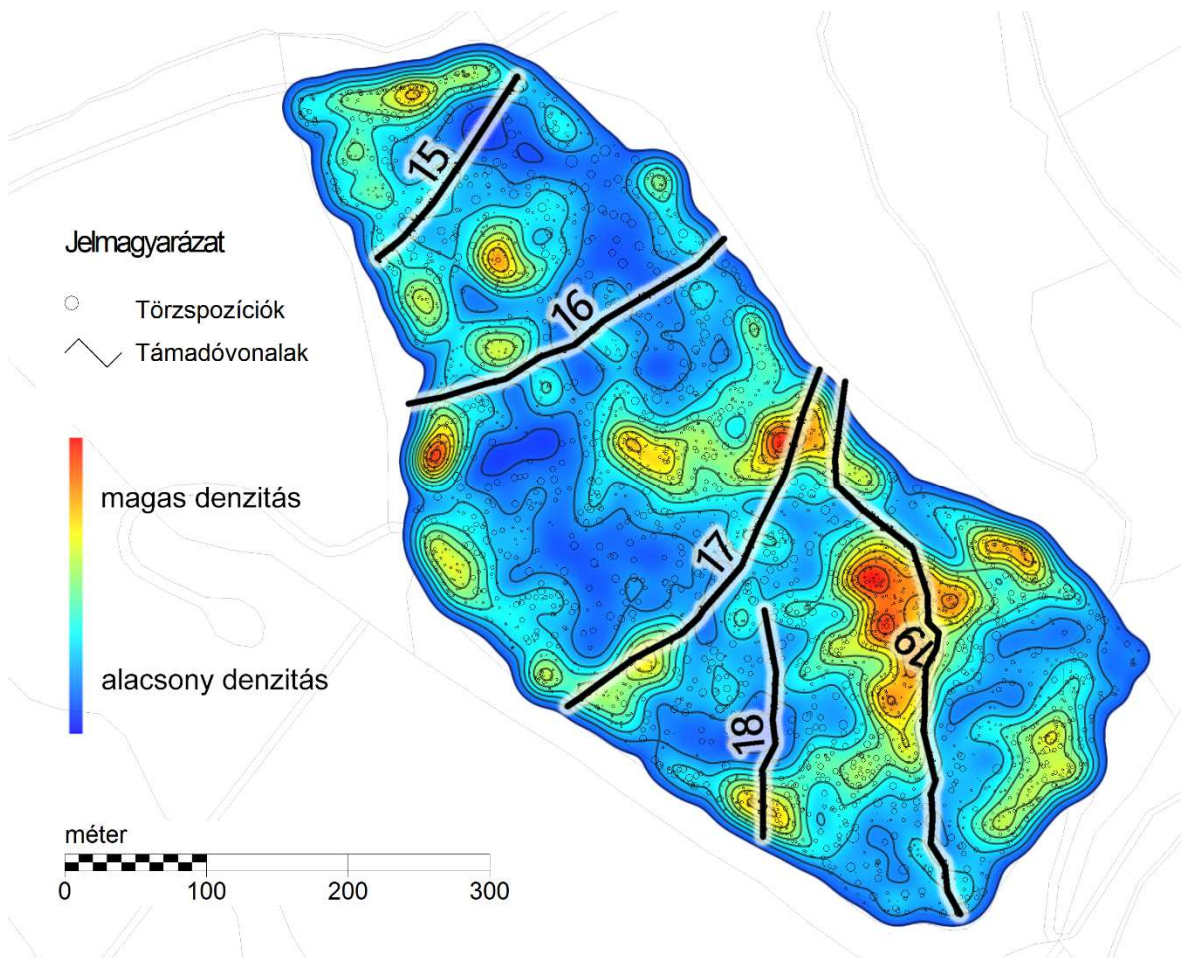
Annak megvizsgálására, hogy az 1937-ben kijelölt támadóvonalak a faállomány horizontális eloszlásában felismerhetők-e, több módszer is rendelkezésre állt:

- faállomány-szerkezeti jellemzők szimmetriájának vizsgálata a támadóvonal két oldalán;
- pontsűrűség-vizsgálat;
- vonalas szerkezetesség detektálása.

Mivel a szimmetriavizsgálat – a tengelyvonal rögzített helye miatt – túl szigorú követelményeket állított volna egy természetesen felújult erdő faállományának szabályosságával szemben, az elemzés az utóbbi két megközelítésben kerül bemutatásra.

### 5.5.1. Pontsűrűség-vizsgálat

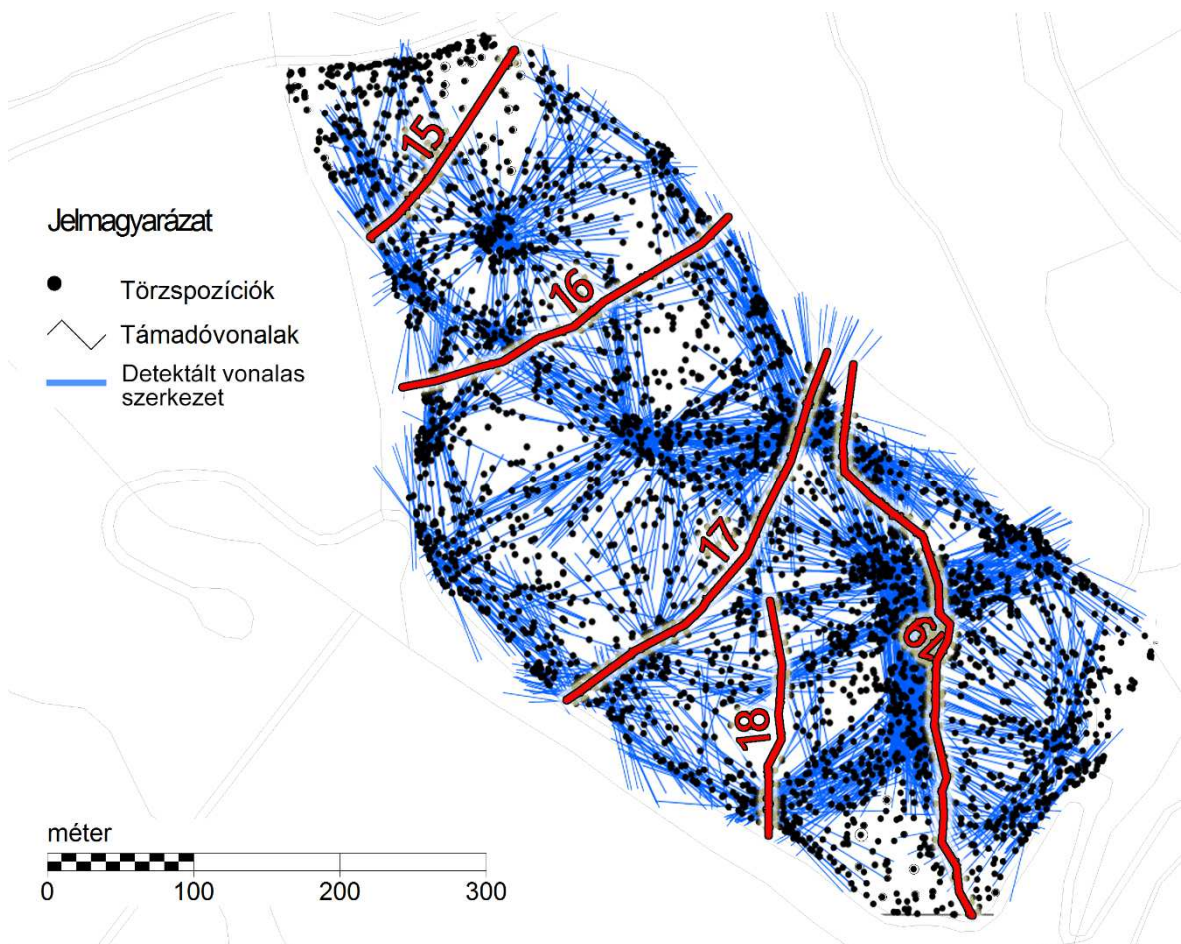
A Gauss-kernel sűrűségfüggvénnyel végzett vizsgálat a terület térképét a törzspoziciók denzitása szerint tematizálja (46. ábra). Az izovonalak – a domborzati térképek szintvonalaihoz hasonlóan – kirajzolják a hasonló denzitású területrészeket, a vonalak közelsége a denzitás horizontális változását mutatja (pl. fiatal és idős, megbontott állományrész határa). Az alacsony sűrűségű területek jelentős hányadán 15 cm-es mellmagassági átmérő alatti fák állnak az idős egyedek között, de akadnak fel nem újult foltok is. Mivel a területen Roth Gyula elve szerint az első fakitermelést már 1937-ben elvégezték, a támadóvonalak övezetében legalább 50-70 éves, 15-25 cm-es mellmagassági átmérőjű törzsekből álló, az állomány többi részéhez képest sűrű foltoknak kell állniuk; ilyet a 19-es támadóvonal mentén és a 17-es támadóvonal végein találunk. 15 cm-es mellmagassági átmérőt el nem érő, kiterjedt felújult rész található a 15. vonal északkeleti részén, a 16. vonal közepénél, valamint a 18. vonal közepén.



46. ábra: Törzspoziciók denzitása és a támadóvonalak elhelyezkedése

### 5.5.2. Vonalas szerkezetesség detektálása

A kétdimenziós (Z koordináták nélküli) ponthalmazban végzett elrendeződés-vizsgálat kijelöli azokat a szakaszokat, ahol a törzspozíciók bizonyos csoportjának vonalasan tömörülő szerkezete ismerhető fel (47. ábra). A módszer a terület határológörbéjének töréspontjai közelében kevésbé érzékeny, de a belső területekre jól alkalmazható. Az erdőszegélyen kívül kirajzolódnak a magas denzitású belső állományrészek is. Azokban az esetekben, amelyekben ezek a sűrűbb részek elrendeződésükben meghatározott irányt jelölnek ki, az egy irányba mutató detektáló vonalak sűrűn helyezkednek el. Ilyen vonalas elrendeződés található a 19-es támadóvonal közvetlen környezetében, valamint a 17-es vonaltól északi irányban. A módszer a ritkább foltokban kevésbé hatékony, így a felújuló foltok alaki elrendeződéseit sem képes felderíteni.



47. ábra: Törzspozíciók vonalasan elrendeződő csoportjainak vizsgálata folytonos szektor módszerrel (Hammer 2009)  
( $r = 40 \text{ m}$ ;  $\alpha = 0,1$ )

### 5.5.3. Idős faegyedek a felújítási tengelyben

Jellemző a területre, hogy a támadóvonalak övezetében igen eltérő korú – gyakran az elmúlt 1-2 évtized felújításaiból származó – állományfoltok vannak, és bontott állományrészeket a felújítási tengelyektől távolabb eső területeken is találni. Annak ellenére, hogy Roth Gyula elvei szerint a felújítás a tengelyekre merőlegesen (csoportos jelleggel) már az 1930-as évek végén elkezdődött, a támadóvonalak közvetlen környezetében még mindig találhatók nagytermetű, idős faegyedek (20. táblázat).

20. táblázat: 50 cm mellmagassági átmérőnél vastagabb faegyedek száma a támadóvonalak 40 m-es övezetében

	Támadóvonal sorszama				
	15	16	17	18	19
0-10 m	5	8	5	5	3
10-20 m	5	6	13	8	3
20-30 m	9	8	10	14	6
30-40 m	7	7	11	11	3
összesen	26	29	39	38	15

## 5.6. A kéregrák tüneteit mutató bükk egyedek vizsgálata

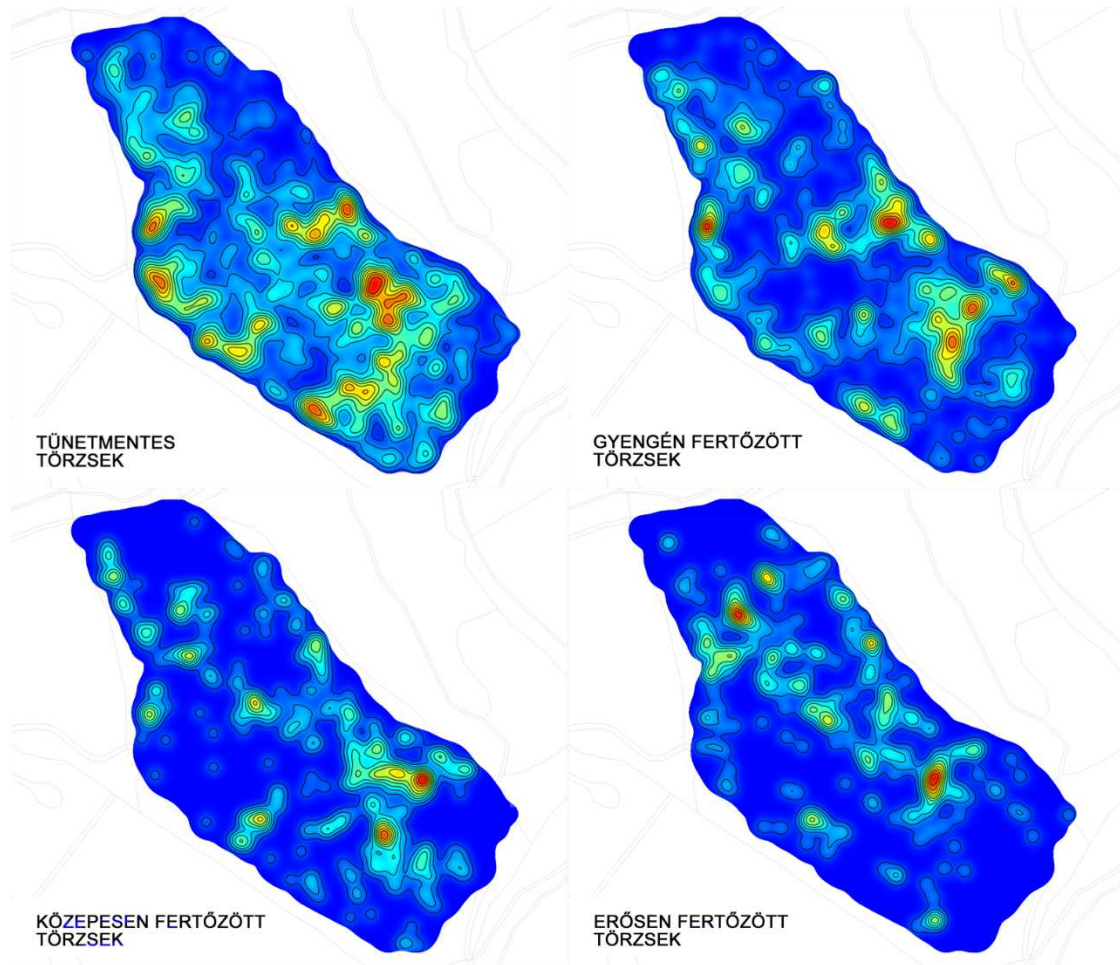
### 5.6.1. A fertőzött egyedek térbeli mintázatának vizsgálata

A kísérleti erdő felmért 16,8 ha-os területén álló 2637 felmért bükk faegyed jelentős hányada a bükk kéregrákos gombabetegségével fertőzött, amely az erdőfelújítási kísérlet jövőbeni sikerességét veszélyezteti. A nekrozis megjelenése szerinti osztályozás alapján (21. táblázat) a legtöbb egyed az „egészséges” kategóriába tartozik, tehát a fertőzésnek legfeljebb igen kezdeti tünetét mutatja. A második legtöbb törzs a 2-es (gyengén fertőzött) kategóriába kerül, a közepesen, illetve erősen fertőzött bükkök (3; 4) az összes törzsszám 22%-át teszik ki. Az 5. kategória üresen marad, mivel a terepi felmérés során nem került regisztrálásra olyan elhalt bükkfa, amelyet egyértelműen a bükk kéregrák pusztított el.

21. táblázat: Bükk egyedek megoszlása a fertőzöttségi kategóriákban

	egészséges (tünetmentes) 1.	gyengén fertőzött 2.	közepesen fertőzött 3.	erősen fertőzött 4.	fertőzésben elpusztult 5.
N (egyedszám)	1218	836	328	259	0

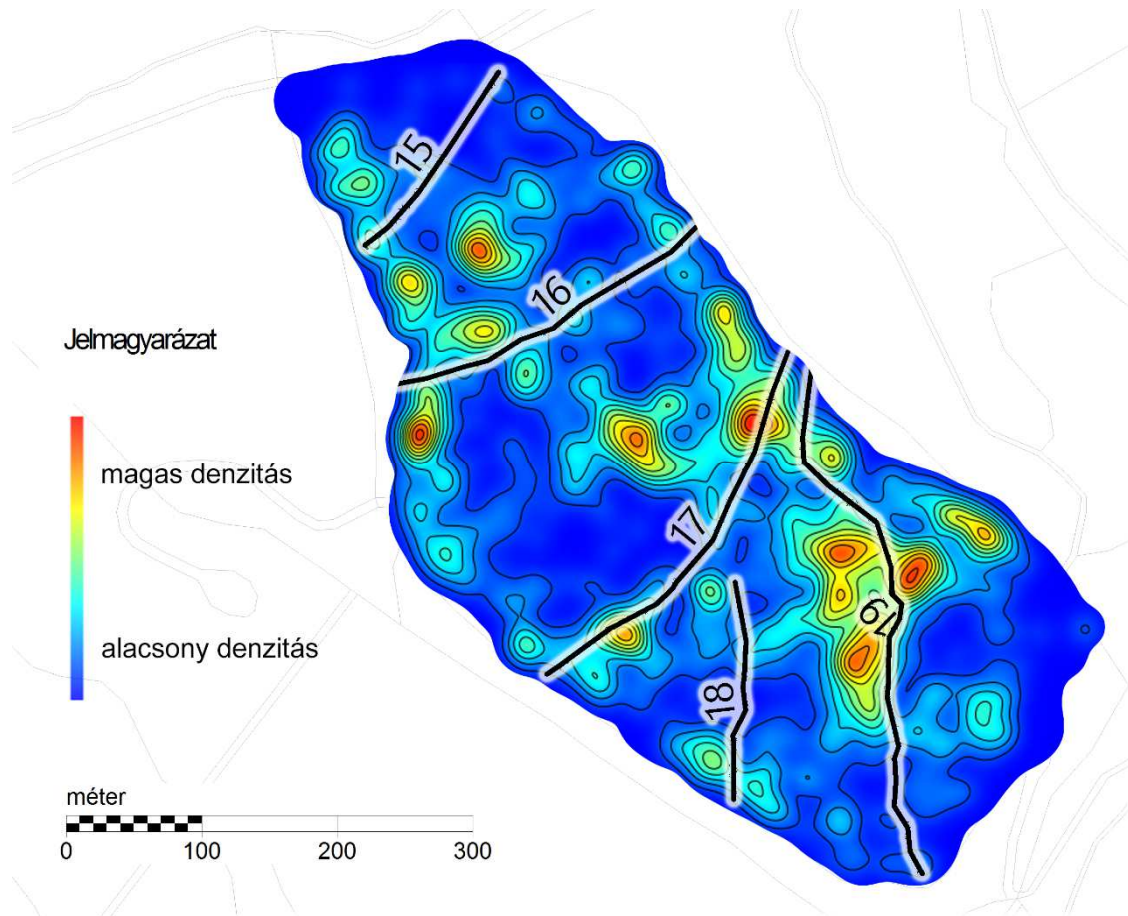
A különböző erősségű tüneteket mutató bükk egyedek pozíciói nagyfokú térbeli változatosságot mutatnak, a kernel-sűrűségbecsléssel készített térképvázlatokon az egyes kategóriák térbeli aggregációja figyelhető meg (48. ábra). Látható, hogy vannak olyan részek, ahol legfeljebb gyengén fertőzött egyedek találhatóak, de olyan területek is léteznek, ahol gyengén, közepesen és erősen fertőzött bükkök egymással keverten helyezkednek el.



48. ábra: Különböző fertőzöttségű bükk faegyedek denzitása a vizsgált területen  
(A térképek a kategórián belüli relatív denzitást mutatják, kék színtől a piros felé haladva az alacsony, illetve magas denzitású részek lehatárolásával.)

A *Neonectria*-fertőzés tüneteit mutató bükkök kernel-sűrűségbecsléssel való együttes ábrázolása kirajzolja azokat a területeket, ahol a betegség gócpontjai találhatóak (49. ábra). A beteg törzsek nagyobb denzitása természetesen egybeesik a sűrűbb állományrészek elhelyezkedésével. Szembetűnő, hogy a délnyugati erdőszegély fertőzöttsége elmarad a felújítási egységek bükkös foltjaitól. A térképet az 48. ábrával összevetve megállapítható, hogy a legmarkánsabb gócpont a 19-es támadóvonal övezetében

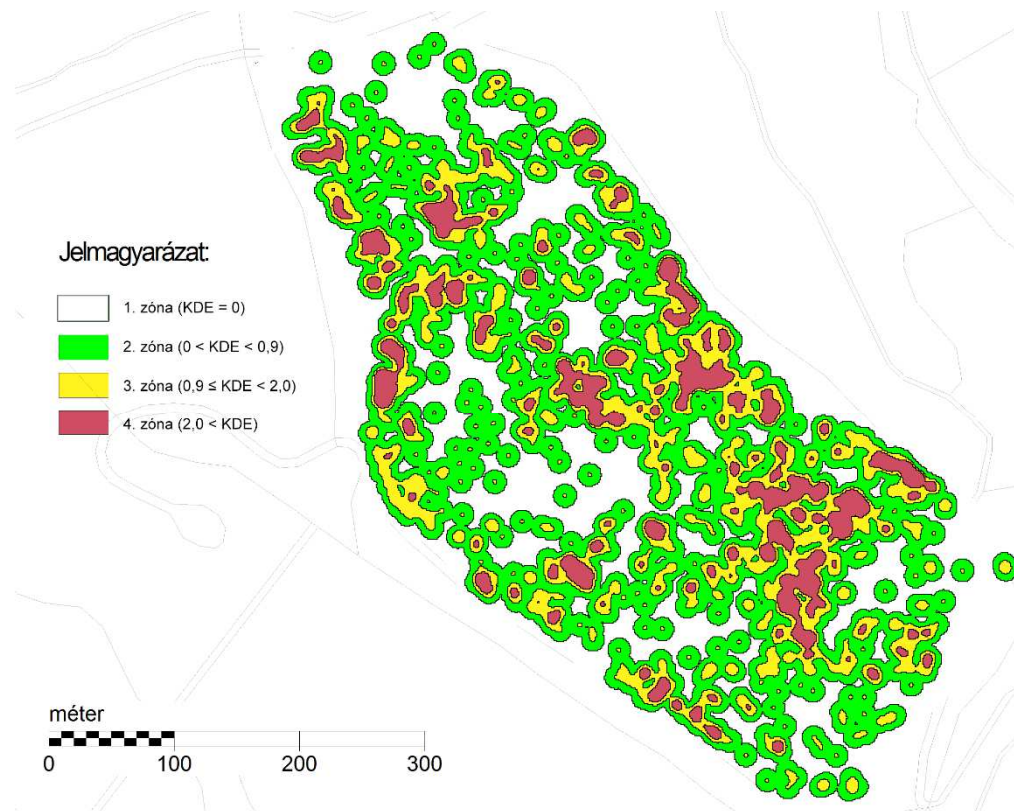
található, de erősen fertőzött bükkfák dominálnak a 15-16. támadóvonal közötti állományrész fertőzési gócpontjában is.



49. ábra: *Neovectria* által fertőzött bükk egyedek törzsspozícióinak vizsgálata kernel-sűrűségbecsléssel

A fertőzés terjedési mechanizmusának ismeretében a különböző területrészek denzitás-értékeinek kategorizálásával prediktív becslés végezhető arra vonatkozóan, hogy melyek a veszélyeztetett és kevésbé veszélyeztetett területrészek, tehát az egészséges faegyedek mely területrészekeken kitéttek a jövőbeni károsításnak. Az 50. ábra szerinti tematizálás a területet négy kategóriára osztja:

1. zóna (a teljes terület 22,44%-a): beteg törzstől legalább 9,3 m-re eső területrészek;
2. zóna (a teljes terület 47,89%-a): A betegség nincs jelen, de fertőzött területet vesz körül;
3. zóna (a teljes terület 19,96%-a): A betegség nagy valószínűséggel jelen van;
4. zóna (a teljes terület 9,71%-a): a betegség forrópontjai, fertőzött góccok az állományban.



50. ábra: Kernel-sűrűségbecsléssel leválogatott, *Neonectria* fertőzéssel különböző mértékben érintett területi kategóriák

Az egészséges törzseknek csupán 15,8%-a esik a 4. zónába, de csak 19,0%-a él fertőzött egyedtől legalább 9,3 m távolságra; többségük veszélyeztetett státuszú (2. 3. és 4. zóna). Az alacsony területi hányad ellenére a beteg egyedek több mint fele a 4. zónában található (22. táblázat).

22. táblázat: Felmért bükkök száma a fertőzés sűrűségi zónáiban

	tünetmentes	gyengén fertőzött	közepesen fertőzött	erősen fertőzött
1. zóna	231	-	-	-
2. zóna	495	-	-	-
3. zóna	298	388	137	132
4. zóna	192	449	190	127

### 5.6.2. Összefüggések keresése a fák paramétereit és a tünetek súlyossága között

A betegség tünetek súlyossága és a különböző mért és származtatott faparaméterek többsége között a Spearman-féle rangkorreláció jellemzően gyenge, de szignifikáns kapcsolatot jelez (23. táblázat). A károsítás mértéke a mellmagassági átmérővel, a

magassággal, a koronavetülettel, az állékonysági mutatóval és a szociális helyzettel (4.4. fejezet skálája alapján) negatív, a módosított koronaterpeszséggel pozitív kapcsolatban áll.

23. táblázat: A közvetlenül mért és származtatott faparaméterek, valamint a fertőzés mértéke közötti korreláció (\* $p = 0,05$ )

	$d_{1,3}$	$h$	$A_k$	$d_{1,3} / h$	$h_k / h$	$A_k / g$	szociális $h$ .
$r_s$	-0,15575*	-0,20509*	-0,13746*	-0,06006*	-0,01233	0,14157*	-0,1751*

A száraló erdőszerkezet feltétele, hogy a faállományon belül az átmérő- és magassági kategóriák hiánytalanul képviseltetik magukat. Az átmérőcsoportok közül épp azokban (25-35 cm) a legmagasabb az átlagos fertőzöttség indexe, amelyekben – az exponenciálisan csökkenő elméleti átmérőeloszlást alapul véve – törzsszámhiány tapasztalható (24. táblázat). Az 5 cm-es kategorizálás után a Spearman-féle rangkorreláció szerint a fertőzöttség és az átmérők közötti negatív és szignifikáns összefüggés jóval erősebb, mint egyedenként nézve ( $r_s = -0,87$ ;  $p = 0,05$ ). Az átmérőcsoportok emelkedésével az egészséges egyedek arányának növekedése igen erős, pozitív korrelációt mutat ( $r_s = 0,92$ ;  $p = 0,05$ ).

24. táblázat: A bükk kéregrák fertőzöttség súlyossága a különböző átmérőcsoportokban

$d$	törzsszám %	1	2	3	4	átlagos fertőzöttség
[15,20[	43,5%	40,2%	34,6%	14,8%	10,4%	1,95
[20,25[	19,6%	41,4%	34,2%	14,1%	10,3%	1,93
[25,30[	7,7%	31,2%	41,6%	13,9%	13,4%	2,09
[30,35[	3,8%	42,6%	32,7%	9,9%	14,9%	1,97
[35,40[	2,9%	54,5%	23,4%	10,4%	11,7%	1,79
[40,45[	2,9%	59,0%	24,4%	6,4%	10,3%	1,68
[45,50[	3,8%	62,6%	23,2%	9,1%	5,1%	1,57
[50,55[	3,8%	70,7%	19,2%	5,1%	5,1%	1,44
[55,60[	2,9%	56,0%	28,0%	10,7%	5,3%	1,65
[60,65[	2,9%	69,7%	22,4%	5,3%	2,6%	1,41
[65,70[	2,4%	71,4%	19,0%	1,6%	7,9%	1,46
[70,75[	1,4%	60,5%	21,1%	0,0%	18,4%	1,76
[75,80[	1,3%	72,7%	15,2%	12,1%	0,0%	1,39
[80,85[	0,7%	77,8%	16,7%	5,6%	0,0%	1,28
[85, $d_{max}$ ]	0,4%	90,0%	0,0%	10,0%	0,0%	1,20

A magassági csoportosításban a magasabb törzsek esetében szignifikánsan alacsonyabb az átlagos fertőzöttség ( $r_s = -0,97$ ;  $p = 0,05$ ), valamint – az átmérők csoportosításához hasonlóan – megfigyelhető, hogy a nagyobb fák esetében szignifikánsan növekszik az egészséges egyedek aránya ( $r_s = 0,96$ ;  $p = 0,05$ ). A 25-35 cm-es mellmagassági



átmérők esetében tapasztalt fertőzöttségi szint (2,09) a 14 m alatti magasságú állományrészben mutatható ki.

25. táblázat: A bükk kéregrák fertőzöttség súlyossága a magassági csoportokban

h	törzsszám %	1	2	3	4	átlagos fertőzöttség
[h <sub>min</sub> ,14[	21,9%	37,8%	30,5%	14,9%	16,8%	2,11
[14,16[	15,8%	40,7%	34,0%	15,9%	9,4%	1,94
[16,18[	14,6%	40,5%	34,5%	14,3%	10,6%	1,95
[18,20[	11,3%	36,9%	40,9%	14,8%	7,4%	1,93
[20,22[	7,1%	39,2%	41,4%	10,8%	8,6%	1,89
[22,24[	4,1%	50,5%	32,7%	11,2%	5,6%	1,72
[24,26[	2,6%	50,7%	35,8%	9,0%	4,5%	1,67
[26,28[	2,6%	54,4%	27,9%	11,8%	5,9%	1,69
[28,30[	4,4%	60,3%	22,4%	8,6%	8,6%	1,66
[30,32[	6,2%	70,4%	21,6%	6,2%	1,9%	1,40
[32,34[	6,2%	67,5%	21,5%	4,9%	6,1%	1,50
[34,36[	2,7%	73,6%	13,9%	2,8%	9,7%	1,49
[36,h <sub>max</sub> ]	0,6%	80,0%	13,3%	0,0%	6,7%	1,33

Az átmérő és fmagasság szerinti vizsgálat nem vette számításba a faegyedek állományban betöltött pozícióját, a szociális helyzet szerinti osztályozás<sup>18</sup> azonban rámutat, hogy a faegyedek szomszédos törzsekhez viszonyított relatív helyzete összefüggésben van a betegség tünet megjelenésével, és az elnyomott törzsekhez (alászorult, elmaradó, közbeszorult) magasabb fertőzöttségi fok tartozik (26. táblázat).

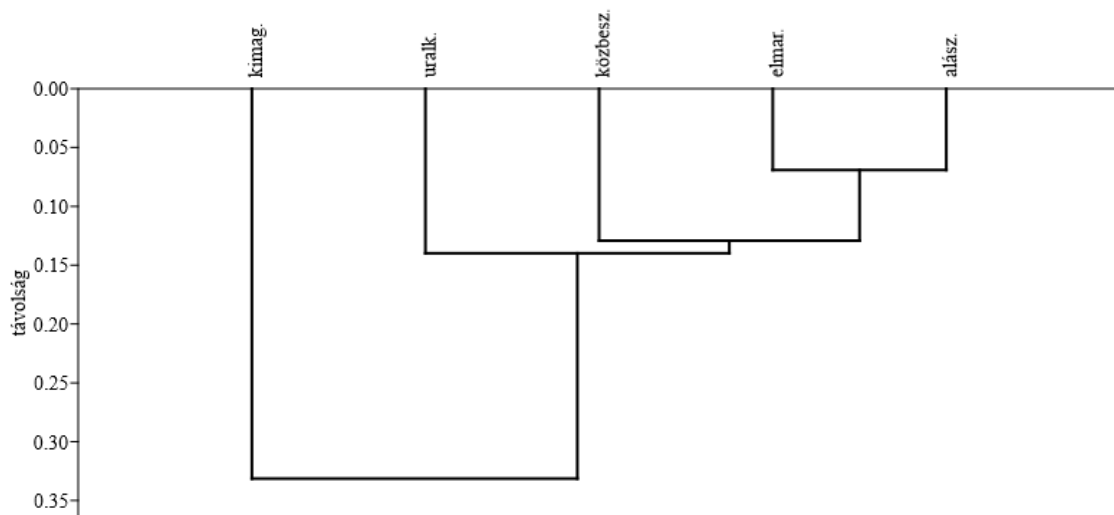
26. táblázat: A bükk kéregrák fertőzöttség súlyossága a szociális osztályokban

	törzsszám %	1	2	3	4	átlagos fertőzöttség
alászorult	5,5%	36,6%	29,0%	20,0%	14,5%	2,12
elmaradó	27,9%	37,9%	33,1%	14,6%	14,4%	2,06
közbeszorult	4,5%	37,8%	41,2%	12,6%	08,4%	1,92
uralkodó	52,4%	48,0%	32,8%	11,3%	7,9%	1,79
kimagasló	9,7%	67,7%	19,3%	7,9%	5,1%	1,50

Klaszteranalízis alapján az elmaradó és alászorult, valamint a közbeszorult és uralkodó kategóriák állnak közel egymáshoz a kár mértékének megoszlása szerinti

<sup>18</sup> 15 cm feletti mellmagassági átmérőjű egyedek adataiból számolva

osztályozásban (51. ábra). A dendrogram alapján a faegyed környezetéhez viszonyított magassága áll szorosabb összefüggésben a károk eloszlásával, mint a korona fedettsége.

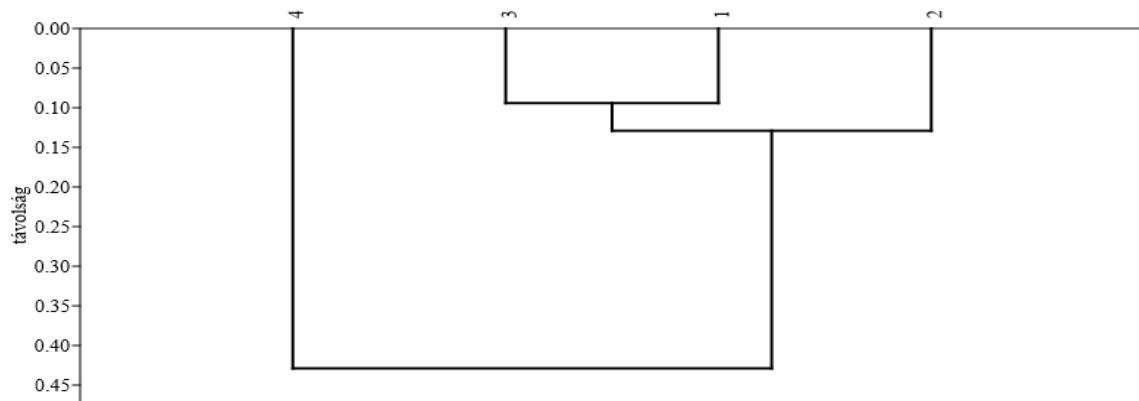


51. ábra: Dendrogram a szociális helyzet kategóriában tapasztalt kár-eloszlásról (euklidészi távolság számításával, átlagos láncmódszer szerint)

A mért és számított faparaméterek kombinációjában egyedül a különböző átmérőcsoportokban vizsgált állékonysági mutató adott érdemi összefüggést. Míg az egészséges, gyengén és közepesen fertőzött kategóriákban az állékonysági mutató átlaga a 15-40 cm-es átmérőkategóriákban hasonló volt (27. táblázat, 52. ábra), az erősen fertőzött törzsek esetében – nevé ellenére – jellemzően az előzőeknél magasabb értéket adott. Mindez lehet annak a következménye, hogy az erősen fertőzött egyedek deformált törzsei vastagabbnak hatnak, vagy egyszerűen a betegség elsősorban a magassági növekedésben veti vissza a faegyedet.

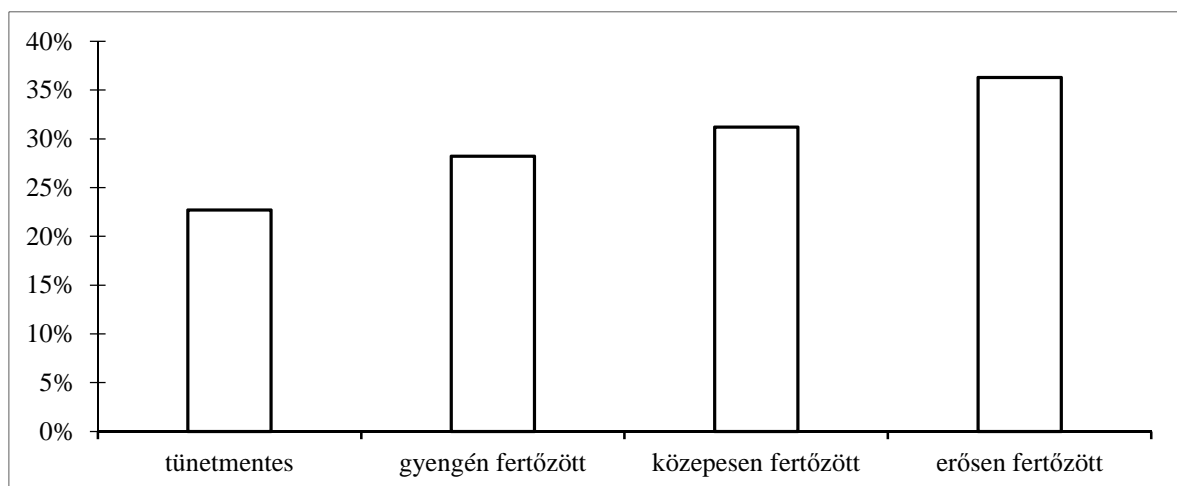
27. táblázat: Az állékonysági mutató ( $d_{1,3}/h$ ) átlagos értéke a mellmagassági átmérő és a fertőzöttségi kategória függvényében

$d_{1,3}$	fertőzöttség foka			
	1	2	3	4
[15-20[	1,1916	1,1732	1,1811	1,3310
[20-25[	1,3440	1,3033	1,4136	1,4544
[25-30[	1,4088	1,4368	1,3838	1,6328
[30-35[	1,5045	1,4920	1,5527	1,7275
[35-40[	1,4978	1,5910	1,5284	1,7691



52. ábra: Dendrogram a fertőzési kategóriák átlagos állékonyságának eloszlásáról a 15-40 cm-es átmérőcsoportokban (euklidészi távolság számításával, átlagos láncmódszer szerint)

A *Neonectria* fajok által erősebben fertőzött törzsek rendszerint az egészségeseknél rosszabb alaki tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezt nem csupán a kinövések, a törzs deformált növekedése, hanem az ágfeltisztulás, az elhalt ágak csonkjai is jelzik (53. ábra). A kéregrák erős tüneteit mutató egyedektől az egészségesek csoportja felé haladva egyre csökken azoknak a törzseknek a száma, ahol az élő koronaalappal elhalt ágak, ágcsonkok találhatóak.



5453. ábra: Elhalt koronaalappal rendelkező bükk faegyedek aránya a különböző fertőzöttségi kategóriákban

## 6. Eredmények értékelése, következtetések

A szálaló szerkezetű állományok és a térbeli differenciálódás előrehaladott állapotának vizsgálata számos nemzetközi, de – a csekély számú itthoni példa miatt – csak kevés hazai szakirodalom tárgya. A jelen kutatás helyszínéül választott Sopron 182 B erdőrészlet a szálaló szerkezetű erdők kialakításának legrégebbi itthoni példája, hozzá hasonló korú és szerkezetű állománnyal Magyarország területén össze nem hasonlítható. Ennélfogva a dolgozat nem több – egymástól független elhelyezkedésű – mintaterület összehasonlítására épül, hanem egy adott helyszín országos léptékben egyedülálló részletességű, georeferált adatbázisán alapuló faállomány-szerkezeti összefüggéseit mutatja be. A dolgozat következtetéseinek egy része általánosítható, egy része pedig a Roth-féle szálaló erdő sajátja. Az előző fejezet tükrében a dolgozat elején feltett kérdések megválaszolhatóvá, az eredmények további (az erdészeti tudományos szakirodalomban fellelhető) kutatások eredményeivel összevethetővé váltak.

A kísérlet elmúlt 80 évében a faállomány jelentős változáson ment keresztül mind korszerkezetében, mind fafaj-összetételében; jelenleg egy differenciálódó szerkezetű elegyes bükkös képét mutatja. Az elegyfajok térbeli eloszlása csoportosuló formát alkot (*CE* index), jelentős hányaduk az erdőrészlet peremére koncentrálódik. Kocsánytalan tölgy és vörösfenyő egyedek csak a nagyobb átmérő- és magassági osztályokban jellemzőek, felújulni és fennmaradni nem voltak képesek a Roth-féle vonalas-csoportos szálalás módszerével kezelt állományban. A relatív tekintetben kisebb termetű ( $d < 30$  cm;  $h < 20$  m) egyedek között csak gyertyán és lucfenyő jellemző a bükk mellett, igen alacsony elegyarányban. A bükk növekvő dominanciája nem meglepő, mivel az erdőterület egy potenciális bükkös, amelyben egyes elegyfajok magasabb elegyaránya (pl. lucfenyő, vörösfenyő) emberi behatás eredménye. A jelenlegi állapot a természetes folyamatok mellett a tudatos elegyarány-szabályozás következtében alakult ki.

A faállomány átmérőeloszlása – igaz, csak erdőrészlet szinten – az exponenciálisan csökkenő és (logaritmus skálán nézve) fordított szigmatikus görbékhez hasonló, amely a vonatkozó szakirodalom szerint a szálaló erdőszerkezet egyik fő és könnyen meghatározható ismérve. A magassági osztályokhoz rendelt egyedszámok kevésbé szabályos lefutásúak, az eloszlás lokális minimuma azokat a tartományokat érinti, amelyekben a bükk alacsonyabb elegyarányban van jelen. Hasonlóan a bükk elegyaránya a meghatározó a magassági szintek

Shannon-féle diverzitásában is. A vizsgált állomány alacsonyabb egyedeit (< 18 m) olyan fák alkotják, amelyek többsége a kísérlet eltelt évtizedeiben újult fel, és a bükk túlsúlya miatt faji diverzitásuk jóval alacsonyabb a 18 m feletti magasságú egyedekénél. A faji diverzitás várhatóan a magasabb tartományokban is csökkenni fog az idős, jelen állapotban felújulni és fennmaradni nem képes fajhoz tartozó egyedek (KTT, EF, VF, JF) elhalása, kitermelése után.

Hasonló korszerkezet-átalakítási kísérlet vizsgálatánál exponenciálisan csökkenő átmérő-struktúrát írtak le de Liocourt (1898) franciaországi jegenyefenyvesben, Gül és munkatársai (2005) törökországi szálaló szerkezetű kaukázusi jegenyefenyő állományokban a Fekete-tenger partvidékén, Hanewinkel és Pretzsch (2000) fekete-erdei lucfenyvesek átalakításának modellezésénél, valamint Kerr és munkatársai (2010) skóciai fenyvesek 1952 óta tartó kísérleti szerkezetátalakítása során. Keyser és Loftis (2013) észak-karolinai keménylombú erdők 60 éven át tartó szálankénti szálalása után fordított szigmatális görbét közelítő átmérőeloszlást kaptak. Westphal és munkatársai (2005) kilenc európai bükk őserdő állományt vizsgálva – jelen dolgozathoz hasonlóan – egyaránt találtak exponenciálisan csökkenő és fordított szigmatális jellemzőket is az átmérők eloszlásában. A magasságok eloszlásának vizsgálata kevésbé jellemző a szálaló erdőkkel foglalkozó nemzetközi szakirodalomban, a dolgozat eredményeivel (csökkenő tendencia a magassági csoportok törzsszámában) Deal és munkatársai (2013) munkája hasonlítható össze leginkább, akik alaszakai szitka luc – vörös juhar vegyeskorú állományban a szitka lucok exponenciálisan csökkenő, a vörös juharok Gauss-eloszláshoz hasonló magassági disztribúcióját írták le.

A távolság- és pozíciófüggő vizsgálatok (legközelebbi szomszéd,  $CE$ ,  $T_{id}$ ,  $T_{ih}$ ,  $T_{idh}$ ,  $M_i$  index) eredményeit egyedszinten bemutató tematikus térképek kirajzolták a faállomány változatos és homogén területrészeit, az állomány egészét meghatározott számú szomszédos egyed egymással való összevetésével jellemezték. A  $T_{id}$  és  $T_{ih}$  indexek korrelációja lehetővé tette a vastagsági és magassági csoportok együttes értékelését. Az átmérő, magasság és fajszám tekintetében ott volt a legalacsonyabb változatosság, ahol a faegyedek egymáshoz közel és nagyobb csoportban helyezkedtek el. Az összes faegyedet vizsgálva a törzspozíciók eloszlása random eloszlást mutatott, amely állományszintenként nézve – az alacsonyabb felé haladva – egyre inkább csoportosuló jelleget öltött.

A vizsgált mutatók átlagértékei alapján a területről az alábbi kijelentések tehetők:

- a faállomány törzspozióinak eloszlása a szálaló erdőkép jellegzetességeit hordozza, de a hasonló termetű faegyedek enyhe aggregációja figyelhető meg;
- a szomszédos egyedek átmérőinek változatossága alacsony (a szakirodalmi adatok alapján közel közepes);
- a szomszédos egyedek magassági értékeinek változatossága alacsony;
- a szomszédos egyedek faji változatossága alacsony, de a törzsek csaknem felének legalább egy különböző fajú szomszédja van a három legközelebbi faegyed közül.

A faállomány változatosságának részterületes vizsgálata rámutatott, hogy egy elméleti átmérőeloszlást jól közelítő, törzspozióinak eloszlásában rendezetlenséget mutató erdőben a változatosság mértéke térben nem feltétlenül homogén. A változatosság mérőszámai – külföldi tapasztalatokhoz hasonlóan (Zenner 2005, Rubin és mtsai 2006) – a vizsgálati terület felbontásának növelésével jellemzően egyre nagyobb szórást mutattak, az értékek növekvő határok között helyezkedtek el. A 400 m<sup>2</sup>-es méretkategóriák között már akadt olyan, amelyikbe nem került egy mért faegyed sem, a magas tőszámú kvadrátok egykorú foltokat jeleztek. A *CE* index a random eloszlástól való eltérés vizsgálatában az esetek többségében a törzsek véletlenszerű elhelyezkedését mutatta, a különbözőségi indexek alapján meghatározható volt, mekkora az a maximális vizsgálati területnagyság, amelyen belül az állományban változatos, illetve kifejezetten homogén egységek fordulnak elő (28. táblázat).

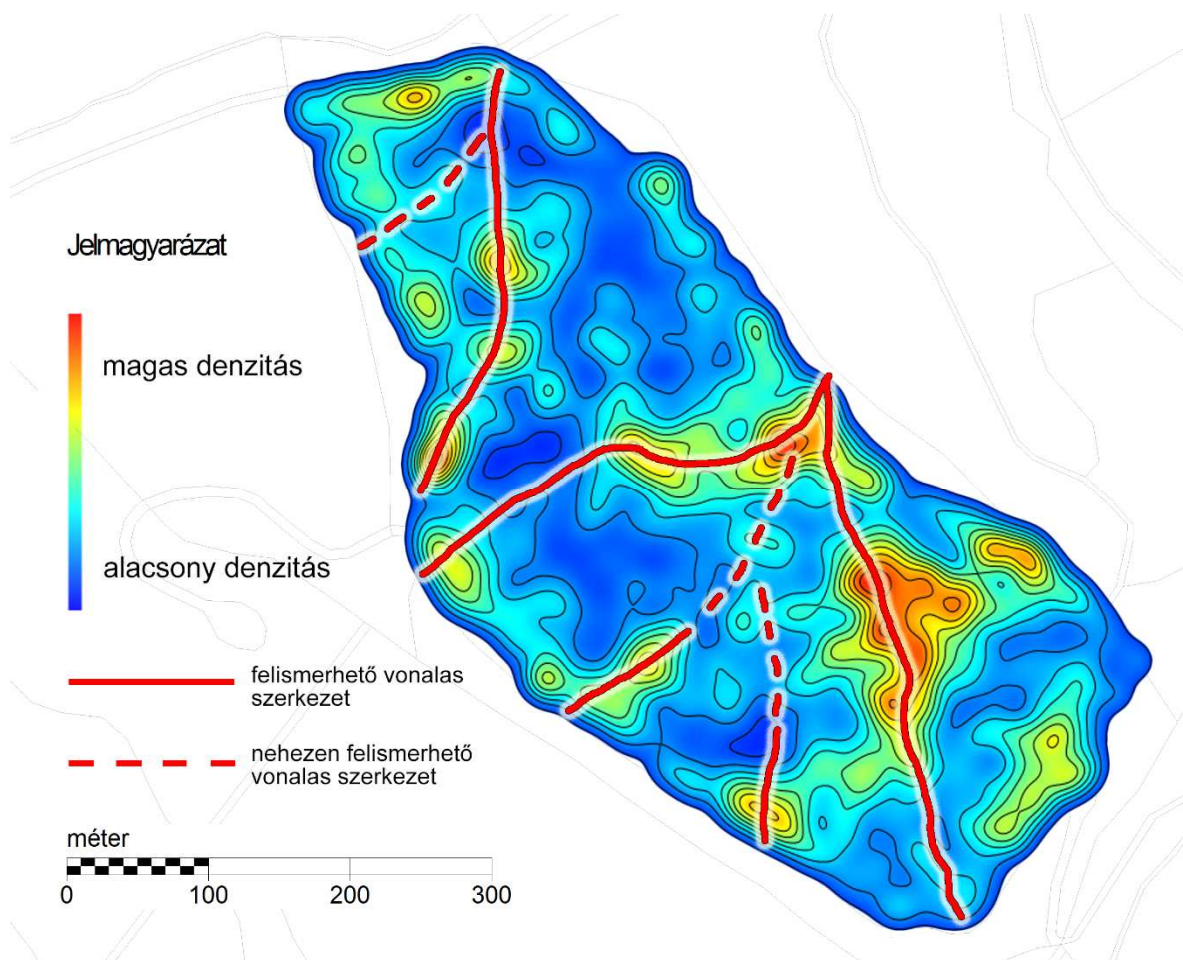
28. táblázat: Változatos vagy monoton jelleget mutató területegységek megjelenésének területi mérethatára (változatos, ha az index értéke nagyobb 0,5-nél; monoton, ha kisebb 0,2-nél)

	$T_{ia}$	$T_{ih}$	$M_i$
<b>változatos</b>	1/16 ha	1/25 ha	1/4 ha
<b>monoton</b>	1/9 ha	1 ha	1 ha

A változatos elrendeződést mutató egységek aránya egyik vizsgált felbontásban sem érte el a méretkategória összes egységének 25%-át, tehát a szálankénti szálaló szerkezet – amelyben az egymással szomszédos egyedek is változatosságot mutatnak – csak nyomokban volt fellelhető. A vizsgált terület faállományát változatos, differenciálódó és homogén szerkezetű részegységek mozaikja alkotta, amelyet a kevésbé változatos területrészek túlsúlya jellemzett. A szomszédos egyedek viszonyát figyelmen kívül hagyó komplex diverzitás index ( $B$ ) szerint az állományösszetevők szélsőértékei jellemzően csak 1/4 ha-os területegységig jeleznek differenciálódó faállomány-szerkezetet, a felbontás növelésével nagyfokú szerkezeti homogenizálódás figyelhető meg. A különböző kiterjedésű területegységek vizsgálatához lehatárolt 10 hektáros terület az átmérők differenciálódásában ( $T_{id}$ ) alacsonyabb, a magassági differenciálódás ( $T_{ih}$ ) esetében megegyező, az elegyedés ( $M_i$ ) tekintetében alacsonyabb értéket mutatott, mint a terület egésze, tehát az erdőszegély esetenként alacsonyabb, változatlan vagy nagyobb szerkezeti diverzitást eredményezett, mint az elmúlt 80 év felújítási folyamata által kialakított erdőszerkezet.

Zenner (2005), aki az Amerikai Egyesült Államokban Oregon állam természetes elegyes tűlevelű erdeit vizsgálta, arra a következtetésre jutott, hogy 1/4 hektárnál kisebb területen a struktúra-indexek értékei erősen szóródnak, nagyobb területegységen vizsgálva viszont beáll egy állományra jellemző, számszerűsíthető állapot. Ezzel szemben jelen dolgozatban az 1 és 1/4 hektáros területek között is nagyok voltak a különbségek az értékek terjedelmében. A struktúra-indexeket különböző állományokon összevető Pommerening (2002) és Pretzsch (2010) elegyes és vegyeskorú erdőben jellemzően magasabb értékeket kaptak eredményül, mint a Sopron 182 B erdőrészlet vizsgált állományrésze. Pommerening (2002) 120 év körüli bükk elegyes kocsánytalan tölgyesben a törzsek random eloszlása mellett ( $CE = 1,0073$ ) az elegyedésre  $M_i = 0,49$ , az átmérők különbözőségére  $T_{id} = 0,42$  (közepes szintű differenciálódás) értékeket kapott. Pretzsch (2010) lucfenyő és jegenyefenyő elegyes bükköst hoz fel szálaló erdő példájának, amelyben az átmérők differenciálódásának ( $T_{id}$ ) értéke 0,46. Ez jócskán meghaladja a hidegvíz-völgyi szálaló erdő 0,27-es értékét, amely alacsonyabb, mint amelyet Pretzsch egy egykorú, lucfenyő elegyes bükkös példajaként említ ( $T_{id} = 0,32$ ).

Roth Gyula és Palotay István korabeli leírásai (I. melléklet) a kísérleti erdőterületet nemcsak erdőrészlet, hanem – a felújítási módszer jellegéből kifolyólag – száraló egységeként értékelték. Az 1937-ben kijelölt támadóvonalak vonalas szerkezete a faállomány térbeli eloszlása alapján csak nyomokban ismerhető fel. A geológiában széleskörűen használt vonalas szerkezet felismerő algoritmus az eredetileg kijelölt vonalaktól távolabb jelzett linearitást; a kernel-sűrűségbecslés eredményével összevetve csupán a 19. támadóvonal környezete rajzolódott ki egyértelműen. Az elvégzett vizsgálatok és a terület terepi ismerete alapján megrajzolhatóvá váltak azok a vonalak, amelyek övezetében a faállomány szerkezete a Roth-féle vonalas-csoportos száralás jellegzetességeit mutatta (54. ábra).



54. ábra: Vonalas szerkezetű egységek a Sopron 182 B erdőrészletben



Az alábbi következtetések vonhatók le:

- a 15. vonal szerkezete ugyan felismerhető, de övezetében többségében 15 cm mellmagassági átmérő alatti, valamint szálszámú eloszlásban idős egyedek találhatók;
- a 16. támadóvonal mentén fellelhetők az átalakítási kísérlet során felújult részek, de a sűrűség- és irányvizsgálatok tőle északra egy jóval markánsabb, észak – déli irányú vonalat jeleznek;
- a 17. támadóvonal csak rövidebb szakaszaiban ismerhető fel, tőle északra viszont az egyik leghangsúlyosabban kirajzolódó, jelöletlen felújítási tengely fekszik;
- a 18. vonal környezetében erősen bontott, idős állomány található felújult foltokkal;
- a 19. támadóvonal – az eredeti kijelöléstől kissé nyugatra tolódva – a leginkább felismerhető, tengelyirányban húzódó 15-35 cm mellmagassági átmérőt elérő egyedekkel, elegyes korszerkezettel.

A támadóvonalak övezetében álló idős faegyedek arra utaltak, hogy a felújítás térbeni előrehaladása mellett az anyaállomány egyes egyedeit meghagyták. Bár nemzetközi példát vonalassal szemléltető, szálszámú jellegű felújítás törzsszociációinak vizsgálatára nem találtam, de az eredmények tükrében kijelenthető, hogy a Sopron 182 B erdőrészletben a kijelölt támadóvonalak elhelyezkedését nem vették konzekvensen figyelembe az elmúlt 80 év összes fakitermelése során.

A vizsgált szerkezetességi indexeket a nemzetközi szakirodalom kiterjedten alkalmazza, azonban használhatóságukkal kapcsolatban néhány megjegyzés tehető:

- *CE aggregációs index (Clark és Evans 1954)*

Az index igen érzékeny a véletlenszerű eloszlástól távolodó szerkezetekre, szignifikáns aggregációt mutat olyan esetekben is, amelyekben a csoportosuló pozíciók vizuálisan, térképen vizsgálva csak igen nehezen ismerhetők fel.

- *T<sub>id</sub> és T<sub>ih</sub> átmérő- és magasság-különbözőség indexek (Füldner in Pretzsch 2010)*

Jól alkalmazhatóak a kis területléptékű változatosság vizsgálatában, a két érték törzsenkénti átlagolásával a vertikális és horizontális tagozódást együttesen jellemző komplex index alkotható.

- *M<sub>i</sub> elegyedési index (Füldner in Pretzsch 2010)*

Az M<sub>i</sub> elegyedési index sajátossága, hogy a központi fa három legközelebbi szomszédját vizsgálva csak 0; 0,33; 0,66 és 1 értékeket vehet fel. Tematikus térképeken ez jól kirajzolja a fafajok lokális változatosságát, de erdőrészlet szinten nehezen kezelhető. Nagyobb léptékben sokkal finomabb eredményt ad annak vizsgálata, hogy a központi egyedtől koncentrikus körben távolodva átlagosan hány különböző fafaj található (lásd 40. ábra).

- *Komplex diverzitás indexe (B) (Jaehne és Dohrenbusch 1997)*

Az indexet több összefoglaló szakirodalom ismerteti (McElhinny és mtsai 2005, Vorčák és mtsai 2006, Merganič és mtsai 2012), de nem tér ki használhatóságának korlátaira. Mivel az összetett index elemei csak a szélsőségeket (maximum és minimum értékek) veszik figyelembe, a mutató nem hordoz információt a strukturális elemek eloszlásáról. A koronaszerkezet differenciálódását értékelő *K* komponens esetében pedig, ha a legalacsonyabb koronaalap 1 m alatt található, negatív értéket adhat. Mindezek ellenére az index értékei különböző területi léptékben reális képet adtak, hasonló adottságú állományok azonos kiterjedésű területegységein történő vizsgálatára alkalmasnak bizonyult.

Bár a terepi adatgyűjtés – az Anyag és módszer című fejezetben ismertetett okok miatt – az erdőrészlet területének „csak” 86,6%-át érintette, az eredményeket az Országos Erdőállomány Adattár adataival (III. melléklet) összevetve így is kijelenthető, hogy jelentős különbségek rajzolódnak ki. Vegyeskorú, differenciált állományszerkezetű erdőben a fafajсорos leírás koplikálttá és pontatlanabbá válik (átlagkor, záródás, fatermési táblás fakészlet becslés). Mivel a korábbi mintavételek összehasonlítása (Kolozsár 2013), és a részterületek vizsgálatában a tőszám relatív szórása a mintavételes eljárások pontatlanságát mutatta, az erdőrészlet kiemelkedő tudományos és erdészettörténeti értéke indokoltá teszi

az időszakonkénti teljes területes felvételezést. A teljes területes felvételezés megkönnyítésére Palotay (1965) készített helyi fatömeg-tarifát, azonban annak ellenőrzése során nagyarányú eltérések voltak tapasztalhatók. Mindezt a korabeli magasságmérési metodikák és a kézi görbeillesztés pontatlanságának (Palotay a magassági görbét és nem a jobban illeszkedő fatömeg-görbét használta), valamint a mért törzsek eltérő alaki tulajdonságainak együttes hatása okozhatta. Szükségessé vált új, helyi tarifa készítése, amely a fatömeg-görbére jól illeszkedő ponthalmazoknak köszönhetően hat fafajra (B, LF, GY, KTT, VF, KH) készült el, függvényesített formában. A helyi tarifával és a Király-féle kétváltozós fatérfogatfüggvénnyel számolt élőfakészlet fafajonként 5%-on belüli egyezőséget mutatott, de egyedenként nézve is a törzsek többsége 20%-os hibahatáron belül volt. A megalkotott függvények – természetesen megfelelő mennyiségű ellenőrző mérés elvégzése után – alkalmasak lehetnek a Soproni-hegység II-III. fatermési osztályú, átalakító és száraló üzemmódú bükköseinek élőfakészlet- és növedék-meghatározására.

A szerkezet-átalakítási kísérlet sikerességét veszélyezteti, hogy a faállomány java részét adó bükkök jelentős hányada kéregrákos betegségben (*Neonectria*-fertőzés) szenved. A geokörnyezet alapú adatbázis lehetőséget adott a fertőzés tüneteit mutató egyedek térbeli eloszlásának vizsgálatára. A bükk kéregrák tüneti megjelenés szerinti osztályozása a kutatási gyakorlatban elterjedt (Griffin és mtsai 2003, Latty és mtsai 2003, Mihál és mtsai 2015), az ordinális skálázás ellenére az eredmények több esetben is szignifikáns összefüggéseket adtak. Észak-Amerikai *Fagus grandifolia* állományokban leírt tapasztalatokkal (Griffin és mtsai 2003) szemben a Sopron 182 B erdőrészlet bükk egyedei közül elsősorban nem a legvastagabb, hanem a fiatalabb egyedek voltak erősebben károsodottak, valamint az átlagos fertőzöttség mértéke átlagosan 1,5 egységgel alacsonyabb volt az amerikai példánál az 1-5-ig tartó ordinális skálán. Mihál és munkatársai (2015) közép- és délkelet-európai bükkösökben a vizsgálati területhez hasonló átlagértéket kaptak, Mihál (2002) – ahogy jelen dolgozat is – a mellmagassági átmérő és a fertőzöttség mértékének fordított előjelű összefüggését írta le. A kernel-sűrűségbecslés kirajzolta azokat az állományrészeket, amelyekben a betegség gócpontjai találhatóak. Mivel az erős fertőzés tüneteit mutató egyedek jellemzően nagyobb kiterjedésű bükkös területrészek centrumában voltak, a szakirodalmi adatok (Lonsdale és Wainhouse 1987, Giencke és mtsai 2014) ismeretében feltételezhető, hogy a fertőzött részek tovább terjednek. A veszélyeztetettségi zónák szerinti vizsgálat alapján az egészséges törzseknek mindössze 19,0%-a él beteg törzstől távolabb (9,3 m). Az

alacsonyabb átmérő- és magassági osztályokhoz ( $d$ : 15,0–34,9 cm;  $h < 14$  m) tartozó fák többsége a kísérlet elmúlt 80 évében újult fel, ezek a legerősebben fertőződtek. A vastagabb törzsek között csak kevés közepesen, illetve erősen rákos kérgű volt, valószínűsíthető azonban, hogy ezekben az átmérő-tartományokban a beteg egyedek közül már korábban többet kitermeltek. A fertőzöttség mértéke összefüggésben állt a fák szociális helyzetével is. A környezetéhez képest magassági növekedésben elmaradott törzsek voltak a legbetegebbek, de a korona fedettsége is összefüggést mutatott a tünetek megjelenésével. A beteg törzsek esetében a szakirodalomnak megfelelően a rendellenes növekedés mellett gyakoribbak voltak az elhaló ágak is. Az erdő képét nézve a fertőzöttség stádiuma az elkülönített góciókban leginkább az Észak-Amerikában leírt „aftermath” (Shigo 1972) szakasz állapotára hasonlít, amelyben néhány idős faegyed körül beteg, rossz növekedésű fiatalabb fák nőnek. A fertőzési góciók jelenléte indokolttá teszi az egészségügyi gyérítést az alacsonyabb átmérőosztályokban is. A szomszédos erdőrészek bejárása alapján a betegség a környező erdőtömböket is érinti.

A Roth-féle szálaló erdőben végzett kísérletek nyomon követése visszatérő felméréseket igényel. Jelen munka terepi felvételezésekor kitűzésre kerültek azok a sokszögpontok és geodéziai alappontok, amelyek az egész adatbázis georeferálását lehetővé tették. Az állomány újbóli felvétele a felvételi alappontokat visszakeresve megismételhető, hazánk legrégebb óta futó erdészeti kísérletének monitoringja – az alkalmazott eszközöktől függetlenül – egységesített formában végezhető. Amennyiben pozíció- és magasságmérésekre nincs lehetőség, javaslom az összes 15 cm-es mellmagassági átmérőt elérő törzs átmérőinek mérését (1,3 m magasságban,  $d_{\max}$  és  $d_{\min}$ ), és a helyi egyváltozós fatérfogat-függvény használatát. Javaslom továbbá a későbbi fakitermelések során a támadóvonalak elhelyezkedésének figyelembe vételét, valamint az erősen fertőzött kéregrákos bükkfák kitermelését, hiszen a terület erdészettörténeti értéke erkölcsi kötelességünké teszi a Roth-féle vonalas-csoportos szerkezetű szálaló erdő kialakítását. A nagy pontosságú, georeferált adatbázis további faállomány-szerkezeti vizsgálatokat (15 cm alatti mellmagassági átmérőjű egyedek és az újulat vizsgálata, kéregrákkal fertőzött bükk egyedek növekedésének és betegségtünetük súlyosbodásának vizsgálata) segíthet, illetve tesz indokolttá.

## 7. Záró gondolatok

Dolgozatomban a vegyeskorú erdők kialakításának legrégebbi hazai kísérleti területén, teljes területen végzett faállomány-felvételt követően végeztem lokális geokörnyezet alapú faállomány-szerkezeti vizsgálatokat. A munka erdőművelési, erdőbecslési, geoinformatikai és erdővédelmi vonatkozásokat egyaránt érint, amelyeket alkalmazott módszerei, eredményei, következtetései és a szálalásos kísérlet problematikája kapcsolnak össze.

Részleteiben került sor a faállomány mért és számított strukturális jellemzőinek különböző területi léptékű ismertetésére, a szerkezetátalakítás aktuális állapotának értékelésére, valamint a kísérlet sikeres véghezvitelét nehezítő *Neonectria*-fertőzés állomány szerkezeti vonatkozásainak feltárására.

Az eredmények alapján a Roth-féle szálaló erdő a vegyeskorú faállomány-szerkezet kialakításának és az átalakítási munkák során végzendő rendszeres fahasználat szükségességének jó hazai példája. Fafaj-összetételét tekintve elegyes bükkös, amelyben az elegyfajok arányának további csökkenése prognosztizálható. Átmérő szerkezete és törzspozícióinak eloszlása erdőrészlet szinten a szálaló erdők jellegzetességeit hordozza. Kisebb területi léptékben faállományát változatos, differenciálódó és homogén szerkezetű részegységek mozaikja alkotja, amelyet a kevésbé változatos területrészek túlsúlya jellemez. A törzspozíciók térinformatikai vizsgálata alapján az 1937-ben kijelölt szálalóegységek nagyrészt felbomlottak, de egyes helyeken továbbra is felismerhető a vonalas szerkezet. A főként fiatalabb bükk egyedeket érintő kéregrákos megbetegedés a területen olyan fertőzési góccokat alkot, amelyek tünetmentes faegyedeket veszélyeztetnek.

Az ismertetett vizsgálatok segítséget nyújthatnak annak megértésében, hogy az átalakítási folyamat előrehaladott stádiumában, egy hazai bükkösben a faállomány differenciálódása milyen léptéket ölt, valamint melyek azok a szerkezeti mutatók, amelyek ennek nyomon követésére alkalmasak.

A bükk kéregrákos fertőzésének vizsgálata egy Magyarországon eddig keveset kutatott betegség veszélyeztető hatására hívja fel a figyelmet, valamint – hazánkban egyedülálló módon – a faállomány szerkezeti mutatóival hozza összefüggésbe megjelenését.

A kutatás kiemelt értékének tekintem, hogy jelen dolgozat eredményein felül a felmérés kezdete óta két diplomaterv is készült a területen. Bebizonyosodott, hogy a részletes felvételi adatbázis köré olyan műhelymunka szervezhető, amely az erdészettudomány különböző területeinek kapcsolódási pontjait georeferált környezetben képes vizsgálni. Az egyszeri felvételezés egyelőre csak statikus vizsgálatokat tett lehetővé, újbóli felméréssel – a kísérlet kezdete óta először – a faállomány szerkezetében bekövetkező változások tudományos értékű nyomon követésére is lehetőség nyílik majd. Ennek egyszerűsítésére a felvételi alappont-hálózat terepen állandósítva lett, azonban rendszeres karbantartása szükséges. Növeli a munka gyakorlati hasznosíthatóságát, hogy hat fafajra helyi fatérfogat-tarifát készítettem, amely a kutatási területen kívül a Soproni-hegység hasonló fatermésű átalakító és szálaló üzemmódú bükköseiben is alkalmazható lehet.

Munkám elsődleges céljai között szerepelt a terület faállományáról részletes adatbázis létrehozása és monitoring-rendszer lehetőségének megalkotása, azonban mindezt sikerként csak akkor könyvelhetem el, ha a felvételezésben követőkre találok. Néha meg kell állnunk, értékelni a múltat, és a jövő érdekében tanulni belőle. Az erdő emberi mércével nagyon hosszú idő alatt képes a finom léptékű szerkezeti átalakulásra; köszönettel tartozunk mindazon múltbéli kollégáknak, akik önzetlenségükkel és tenni akarásukkal olyan kísérleteket alkottak meg, melyeknek eredményeit csak utódaik láthatják.

## 8. Köszönetnyilvánítás

Az első köszönet Dr. Roth Gyulát és azon személyeket illeti, akik szellemi vagy fizikai munkájukkal hozzájárultak a kísérlet fennmaradásához.

A doktori munka megírását megelőzően az Erdőművelési és Erdővédelmi Intézet doktorandusz hallgatója voltam. Az évek alatt nyújtott segítségért köszönet illeti az intézet kollektíváját, kiemelve témavezetőmet, Dr. Frank Norbertet.

Hálás vagyok Fábíán Ferenc barátomnak, aki a közös terepi felvételezés során hihetetlen munkabírásról tett tanúbizonyságot.

A munka létrejöttét jelentősen segítette a Földmérési és Távérzékelési Tanszék munkatársainak emberi és innovatív hozzáállása. Köszönöm Dr. Czimber Kornél egyetemi docens hasznos iránymutatásait, valamint Bazsó Tamás egyetemi tanársegéd munkáját a pontok korrekciójában. Külön köszönettel tartozom Barton Iván doktorandusz hallgatónak az adatbázis rendszerezésében és az ábrák szerkesztésében nyújtott segítségéért, további szép eredményeket kívánok tudományos munkájában.

A Field-Map rendszert az Erdővagyon-gazdálkodási és Vidékfejlesztési Intézettől Dr. Horváth Tamás egyetemi adjunktus közvetítésével kölcsönöztem. Köszönöm, hogy mindig segített, ha a rendszer rakoncátlankodott.

Köszönöm kollégáimnak, a Mecsekerdő Zrt. munkatársainak, hogy támogattak munkám elkészítésében, kiemelve Partos Kálmánt, aki nélkül talán ma sem sejteném, hogy a faállomány-szerkezet beható vizsgálata milyen szakmai szépségeket rejt magában.

Sokan segítettek egy-egy gondolattal, jó szóval munkámat. Hiánytalanul Őket felsorolni nem tudnám, így e sorokkal szeretnék köszönetet mondani Nekik.

És végezetül szeretném megköszönni családomnak, barátaimnak és egészségemnek, hogy akkor is kitartottak mellettem, amikor nagyon benne voltam a munkában. Ígérem, a jövőben sokkal több időt fordítok Rátok!

## 9. Tézisek

I. Megállapítottam, hogy a vizsgált terület faállománya átmérőcsoportjainak és törzspozícióinak eloszlásában a szálaló szerkezet elméleti modelljeit közelíti, ezáltal számszerű adatok alapján kijelenthető, hogy a Roth-féle vonalas szálalás vegyeskorú, horizontális eloszlásában differenciált faállomány-szerkezet létrehozására képes. Bizonyítást nyert, hogy a Roth-féle vonalas szálalás hidegvíz-völgyi kísérleti területén az 1937-ben kijelölt szálalóegységek térbeli rendje nem alakult ki (leírások alapján a rendszertelen kezelések következtében egyes helyeken felbomlott), a vizsgált állományban a vonalas szerkezet csak nyomokban lelhető fel.

II. Strukturális jellemzők számszerű vizsgálatával megállapítottam, hogy egy szubmontán bükkösben a közel 80 év gyenge és rendszertelen erélyű fahasználata a fafajok faji diverzitásának csökkenéséhez vezetett, és az árnyéktűrő főfafaj előretörését segítette elő.

III. Bebizonyítottam, hogy a vizsgált erdőrészleten belül a térben differenciált faállomány-szerkezetnek területi korlátai vannak; a szálaló modellek erdőrészlet szintű követése nem jelent a szálankénti szálaló erdő alakjához közeli állapotot. Az erdőrészlet szegélyhatással nem befolyásolt, felújítással korábban már érintett részegységein meghatároztam azt a területi felbontást, amelyen belül – a vizsgált struktúra-indexek alapján – változatos és homogén egységek jelentek meg a mellmagassági átmérők, famagasságok, törzsenkénti elegyedés és komplex szerkezeti diverzitás tekintetében. Ez alapján a területet differenciálódó és homogén szerkezetű részegységek mozaikja alkotja, amelyet a kevésbé változatos területrészek túlsúlya jellemez.

IV. Megállapítottam, hogy a vizsgált strukturális mutatószámok milyen területi és matematikai korlátokkal rendelkeznek. Új szemléletű szerkezeti jellemzést adtam az elegység térbeli eloszlására vonatkozóan, amely a fafajok számát – mint diszkrét változót – a távolság függvényében folytonos változóvá teszi.



A. *CE* aggregációs index: Az index igen érzékeny a véletlenszerű eloszlástól távolodó szerkezetekre, szignifikáns aggregációt mutat olyan esetekben is, amelyekben a csoportosuló pozíciók vizuálisan, térképen vizsgálva csak igen nehezen ismerhetők fel.

B.  $T_{id}$  és  $T_{ih}$  átmérő- és magasság különbözőségi indexek: Jól alkalmazhatóak a kis területléptékű változatosság vizsgálatában, a két érték törzsenkénti átlagolásával a vertikális és horizontális tagozódást együttesen jellemző komplex index alkotható.

C.  $M_i$  elegyedési index: Finom léptékben matematikai korlátai vannak, mivel a fa három legközelebbi szomszédját vizsgálva csak négy féle értéket vehet fel.

D. *B* komplex diverzitás: Mivel az összetett index elemei csak a szélsőségeket (maximum és minimum értékek) veszik figyelembe, a mutató nem hordoz információt a strukturális elemek eloszlásáról. A koronaszerkezet differenciálódását értékelő *K* komponens esetében pedig – ha a legalacsonyabb koronaalap 1 m alatt található – negatív értéket adhat. Mindezek ellenére az index értékei különböző területi léptékben reális képet adtak, hasonló adottságú állományok azonos kiterjedésű terület egységein történő vizsgálatára alkalmasnak bizonyult.

V. A térben változatos fajlagos élőfakészlet és erdőszerkezeti változások nyomon követhetősége érdekében – a mintavételes és teljes területes törzsfelvétel lehetőségeinek vizsgálatát követően – az alábbi megállapításokat tettem:

A. Szabályos hálózatban történő mintaterület felvételezés 10%-os elvárt pontosság mellett nem javasolható a törzsszámok terület egységenkénti magas relatív szórása miatt, helyette a teljes területes felvételt javaslom a 15 cm-es mellmagassági átmérőt elért állományrészben.

B. A vizsgálati területre készült, több mint 50 éves fatérfogató-tarifa táblázat a korábbi fakészlet-meghatározási és függvényszerkesztési módszerek különbözősége, valamint az eltelt időszak alatt a mellmagassági átmérők és

famagasságok viszonyában vélelmezhetően bekövetkezett változások miatt bizonyíthatóan pontatlan, ma már nem használandó.

C. A jelen dolgozatban bemutatott, hat fafajra megszerkesztett egyváltozós fatérfogat-függvény a referencia értékeket állomány és egyed szinten is jól közelítette. A terepi magasságmérések problematikáját áthidalva a Soproni-hegység hasonló fatermésű átalakító, és szálaló üzemmódú bükköseire kiterjesztve más állományokban is alkalmazható lehet.

VI. Megállapítottam, hogy a szakirodalmi adatokhoz képest erősen aggregáló, *Neonectria*-fertőzött bükk törzsek elhelyezkedésükben és méreteikben a kísérleti erdőterület kialakuló vonalas szerkeszettségét, folytonos átmérőeloszlását, általánosságban véve a kísérlet egészét veszélyeztetik. A vizsgált terület faállomány-szerkezetét és a bükk kéregrákos megbetegedés tüneteit mutató törzseit összevetve az alábbi fő megállapításokat tettem:

A. A bükk kéregrák tüneti megjelenése összefüggésben áll a faegyedek állományban betöltött szerepével, amelyben az egyed szomszédos egyedekhez viszonyított magassága erősebb faktor, mint a korona fedettsége.

B. Az egyedek magassága és mellmagassági átmérője szignifikáns, negatív előjelű összefüggést mutat a fertőzöttség mértékével. Az alacsonyabb átmérőjű egyedek esetében az erős fertőzés tüneteit mutató törzsek állékonysági mutatója ( $d_{1,3} / h$ ) számottevően magasabb a kevésbé fertőzött egyedekéhez képest.

## 10. Irodalomjegyzék

153/2009. (XI. 13.) FVM rendelet

1879. évi XXXI. törvénycikk – Erdőtörvény

1996. évi LIII. törvény a természet védelméről

1996. évi LIV. törvény az erdőről és az erdő védelméről

2009. évi XXXVII. törvény az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról

Abetz, P. und Klädtke, J. (2002): Die Z-Baum-Kontrollmethode. Forstwissenschaftliches Centralblatt 121: 73-82.

Aguirre, O.; Hui, G.; Gadow, K. von and Jiménez, J. (2003): An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. Forest Ecology and Management, 183: 137-145.

Állami Erdészeti Szolgálat (2004): Erdőrendezési Útmutató. Budapest

Bartha D. (1999): Magyarország fa- és cserjefajai. Mezőgazda Kiadó, Budapest

Bartha, D.; Ódor, P.; Horváth, T.; Tímár, G.; Kenderes, K.; Standovár, T.; Bölöni, J.; Szmorad, F.; Bodoncz, L. and Aszalós, R. (2006): Relationship of Tree Stand Heterogeneity and Forest Naturalness. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica, 2: 7-22.

Barton I. (2015): Egyes fák pozíciójának, lombkorona méreteinek geodéziai felmérése a Sopron 182 B erdőrészletben, és geoinformatikai elemzése. Diplomamunka, Sopron

Beckschäfer, P.; Mundhenk, P.; Kleinn, C.; Ji, X.; Yu, D. W. and Harrison, R. D. (2013): Enhanced Structural Complexity Index: An Improved Index for Describing Forest Structural Complexity. Open Journal of Forestry, 3 (1): 23-29.

Beiler, K. J.; Durall, D. M.; Simard, S. W.; Maxwell, S. A. and Kretzer, A. M. (2010): Architecture of the wood-wide web: *Rhizopogon* spp. genets link multiple Douglas-fir cohorts. New Phytologist, 185 (2): 543-553.

Benecke, U. (1996): Ecological silviculture: The application of age-old methods. New Zealand Journal of Forestry, 41 (2): 27-33.

Bézier, P. (1974): Mathematical and practical possibilities of UNISURF. In Barnhill, R. E. and Riesenfeld, R. F. (eds): Computer Aided Geometric Design, pp. 127-152. Academic Press, New York

Biolley, H. (1897): L'aménagement des forêts D'après la Méthode du Contrôle. Kézirat, Couvet

- Bíró B. (2004): A bükk álgesztenedés vizsgálata a Somogyi Erdészeti és Faipari Részvénytársaság erdőállományaiban. Doktori disszertáció, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola, Sopron
- Bodonczi L.; Illés G.; Keresztes Gy.; Marghescu T.; Meggyesfalvi I. és Sinka A. (2006): Szálas és természetközeli erdőgazdálkodás. HM Budapesti Erdőgazdaság Zrt., Budapest
- Bondor A. (szerk.) (1986): A bükk. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Borhidi A. (2007): Magyarország növénytakasúai. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Borovics A. (2010): Genetikai szempontok érvényesítésének szükségessége az erdőművelési módszerek meghatározásakor. *In* Lett B.; Nagy I.; Puskás L.; Stark M.; Horváth S. és Horváth T. (szerk): Múlt és jövő – „Tarvágásból szálasba”. Szabó Vendel egyéni vállalkozó, Sopron
- Brang, P.; Spathelf, P.; Bo Larsen, J.; Bauhus, J.; Bončina; Chauvin, C.; Drössler, L.; García-Güemes, C.; Heiri, C.; Kerr, G.; Lexer, M. J.; Mason, B.; Mohren, F.; Mühlethaler, U.; Nocentini, S. and Svoboda, M. (2014): Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry*, 87: 492-503.
- Budai T. és Konrád Gy. (2011): Magyarország földtana. Egyedemi jegyzet. Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar, Pécs
- Buongiorno, J. (2001): Quantifying the implications of transformation from even to uneven-aged forest stands. *Forest Ecology and Management*, 151: 121-132.
- Cabacinha, C. D. and Castro, S. S. de (2009): Relationships between floristic diversity and vegetation indices, forest structure and landscape metrics of fragments in Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, 257: 2157-2165.
- Cicák, A., Mihál, I. and Štefančík, I. (2003): Development of necrotic disease and health condition of trees of selective quality in a systematically tended beech pole-stage stand. *J. For. Sci.*, 49: 11-18.
- Cicák, A. and Mihál, I. (2005): Development of beech necrotic disease in the growing phase of maturing stand under air pollution stress. *J. For. Sci.*, 51: 101-107.
- Clark, J. A. and Covey, K. R. (2012): Tree species richness and the logging of natural forests: A meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 276: 146-153.
- Clark, P. J. and Evans, F. C. (1954): Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationship in populations. *Ecology*, 35: 445-453.
- Coates, K. D. and Burton, P. J. (1997): A gap-based approach for development of silvicultural systems to address ecosystem management objectives. *Forest Ecology and Management*, 99: 337-354.

- Cubbage, F.; Harou, P. and Sills, E. (2007): Policy instruments to enhance multi-functional forest management. *Forest Policy and Economics*, 9: 833-851.
- Czirok I. és Siffer S. (2013): A folyamatos erdőborítást megtartó erdőgazdálkodás erdőtervezési vonatkozásai. In Varga B. (szerk): *Silva naturalis Vol. 1. – A folyamatos erdőborítás fenntartása melletti erdőgazdálkodás alapjai*. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron: 149-165.
- Czúcz, B.; Gálhidy, L. and Mátyás, Cs. (2011): Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe. *Annals of Forest Science*, 68 (1): 99-108.
- Csépányi P. (2001): Hegy- és dombvidéki bükkösök. In Bartha D. (szerk.) *A természetszerű erdők kezelése, a kultúr- és származékerdők megújítása*. A KöM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 7. TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest: 67-83.
- Csépányi P. (2007): A természetközeli erdőgazdálkodás és a szálalóerdő. *Erdészeti Lapok*, 142 (9): 281-284.
- Csépányi P. (2013): Az örökerdő elvek szerinti és a hagyományos bükkgazdálkodás ökonómiai elemzése és összehasonlítása. *Erdészettudományi Közlemények*, 3 (1): 111-124.
- Csóka Gy.; Koltay A., Hirka A. és Janik G. (2009): Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyesek és bükkösök egészségi állapotára. 'Klíma-21' Füzetek, 57: 64-73.
- Csóka Gy. (2013): A természetesség határsa az erdők egészségi állapotára. In Varga B. (szerk): *Silva naturalis Vol. 1. – A folyamatos erdőborítás fenntartása melletti erdőgazdálkodás alapjai*. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron: 43-57.
- D'Amato, A. W.; Bradford, J. B., Fraver, S. and Palik, B. J. (2011): Forest management for mitigation and adaptation to climate change: Insights from long-term silviculture experiments. *Forest Ecology and Management*, 262: 803-816.
- Danszky I. (1963): Magyarország erdőgazdasági tájainak erdőfelújítási, erdőtelepítési irányelvei és eljárásai – I. Nyugat-Dunántúl Erdőgazdasági Tájésoport. Mezőgazdasági Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat, Budapest
- Davies, O.; Haufe, J and Pommerening, A. (2008): *Silvicultural principles of continuous cover forestry – A guide to best practice*. Forestry Commission Wales.
- Deal, R. L.; Hennon, P.; O'Hanlon, R. and D'Amore, D. (2014): Lessons from native spruce forests in Alaska: managing Sitka spruce plantations worldwide to benefit biodiversity and ecosystem services. *Forestry* 87: 193-208.
- Diaci, J.; Kerr, G. and O'Hara, K. (2011): Twenty-first century forestry: integrating ecologically based, uneven-aged silviculture with increased demands on forests. *Forestry*, 84 (5): 463-465.

- Donoso, P. J. (2005): Crown Index: a canopy balance indicator to assess growth and regeneration in uneven-aged forest stands of the Coastal Range of Chile. *Forestry*, 78 (4): 337-351.
- Dövényi Z. (szerk.) (2010): Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest
- Ducey, M. J. (2006): The reverse-J and beyond: developing practical, effective marking guides. In *Workshop Proceedings: Implementing Uneven-Aged Management in New England: Is It Practical?* Carolina A. Forx Research and Demonstration Forest, Hillsborough, NH. 13 April 2006. U.N.H. Cooperative Extension.
- Dukes, J. S.; Pontius, J.; Orwig, D.; Garnas, J. R.; Rodgers, V. L.; Brazee, N.; Cooke, B.; Theoharides, K. A.; Stange, E. E.; Harrington, R.; Ehrenfeld, J.; Gurevitch, J.; Lerdau, M.; Stinson, K.; Wick, R. and Ayres, M. (2009): Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: What can we predict? *Canadian Journal of Forest Research*, 39): 231-248.
- Durak, T. (2012): Changes in diversity of the mountain beech forest herb layer as a function of the forest management method. *Forest Ecology and Management*, 276: 154-164.
- Ehrlich, J. (1934): The beech bark disease: a necrotic disease of *Fagus*, following *Cryptococcus fagi* (Bair.). *Can. J. Res.*, 10: 593-692.
- Fábián F. (2014): A Sopron 182/B erdőrészlet felmérése és erdőnevelési szempontú vizsgálata. Diplomamunka, Sopron
- Folcz Á.; Molnár D. és Frank N. (2014): Mit gondolnak a hazai erdészek a száralásról? *Erdészeti Lapok*, 149 (5): 154-155.
- Földművelésügyi Minisztérium, Erdészeti és Vadgazdálkodási Főosztály (2016): Miniszteri tájékoztató Magyarország erdőállományának 2015. évi helyzetéről, állapotáról
- Földművelésügyi Minisztérium, Erdészeti és Vadgazdálkodási Főosztály (2016): Nemzeti Erdőstratégia 2016-2030
- Frank N. (1998): Erdésznagyjaink arcképcsarnoka 3 – Roth Gyula (1873-1961) élete és munkássága. Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar, Sopron
- Führer, E.; Rasztovics, E.; Csóka, Gy.; Lakatos, F.; Bordács, S.; Nagy, L. and Mátyás, Cs. (2010): Current status of European beech (*Fagus sylvatica* L.) genetic resources in Hungary. *Communicationes Instituti Forestalis Bohemicae* 25: 152-163.
- Führer E.; Marosi Gy.; Jagodics A. és Juhász I. (2011): A klímaváltozás egy lehetséges hatása az erdőgazdálkodásban. *Erdészettudományi Közlemények*, 1 (1): 17-28.
- Führer, E.; Edelényi, M., Horváth, L., Jagodics, A., Jereb, L., Kern, L., Móring, A., Szabados, I. and Pödör, Z. (2016): Effect of weather conditions on annual and intra-

- annual basal area increments of a beech stand in the Sopron mountains in Hungary. *Időjárás / Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 120 (2): 127-161.
- Gadow, K. von; Hui, G. Y. (2002): Characterizing forest spatial structure and diversity. In: *Proceedings of Sustainable Forestry in Southern Sweden (SUFOR) conference „Sustainable Forestry in Temperate Regions”*, Lund, April 7-9: p. 20-30.
- Gadow, K. von (2005): *Forsteinrichtung – Analyse und Entwurf der Waldentwicklung*. Universitätsverlag Göttingen, Göttingen
- Gadow, K. von; Zhang, C. Y.; Wehenkel, C; Pommerening, A.; Corral-Rivas, J.; Korol, M.; Myklush, S.; Hui, G. Y.; Kiviste, A. and Zhao, H. X. (2012): Forest Structure and Diversity. In Pukkala, T. and Gadow, K. von (*eds*) *Continuous Cover Forestry – Managing Forest Ecosystems*, 23: 29-83.
- Gamborg, C. and Larsen, J. B. (2003): 'Back to nature' – a sustainable future for forestry? *Forest Ecology and Management*, 179: 559-571.
- Gao, T.; Hedblom, M.; Emilsson, T. and Nielsen, A. B. (2014): The role of forest stand structure as biodiversity indicator. *Forest Ecology and Management*, 330: 82-93.
- Garnas, J. R., Ayres, M. P., Liebhold, A. M. and Evans, C. (2011): Subcontinental impacts of an invasive tree disease on forest structure and dynamics. *Journal of Ecology*, 99: 532-541.
- Garnas, J. R.; Houston, D. R.; Twery, M. J.; Ayres, M. P. and Evans, C. (2013): Inferring controls on the epidemiology of beech bark disease from spatial patterning of disease organisms. *Agricultural and Forest Entomology*, 15: 146-156.
- Gayer, K. (1886): *Der gemischte Wald. Seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirtschaft*. Verlag Paul Parey, Berlin
- Gencsi L. és Vancsura R. (1997): *Dendrológia*. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Giencke, L. M.; Dovčiak, M.; Mountrakkis, G.; Cale, J. A. and Mitchell, M. J. (2014): Beech bark disease: spatial patterns of thicket formation and disease spread in an aftermath forest in the northeastern United States. *Canadian Journal of Forest Research*, 44: 1042-1050.
- Goff, F. G. and West, D. (1975): Canopy-understorey interaction effects on forest population structure. *Forest Science*, 21 (2): 98-108.
- Gove, J. H.; Ducey, M. J.; Leak, W. B. and Zhang, L. (2008): Rotated sigmoid structures in managed uneven-aged northern hardwood stands: a look at the Burr Type III distribution. *Forestry*, 81 (2): 161-176.

- Griffin, J. M., Lovett, G. M., Arthur, M. A. and Weathers, K. C. (2003): The distribution and severity of beech bark disease in the Catskill Mountains, N.Y.. *Canadian Journal of Forest Research*, 33: 1754-1760.
- Gurnaud, A. (1886) *La sylviculture française et la méthode du controle*. Imprimerie Paul Jacquin, Besançon
- Gül, A. U.; Misir, M.; Misir, N. and Yavuz, H. (2005): Calculation of uneven-aged stand structures with the negative exponential diameter distribution and Sterba's modified competition density rule. *Forest Ecology and Management*, 214: 212-220.
- Halász G. szerk. (2006): *Magyarország erdészeti tájai*. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest
- Hammer, Ø. (2009): New methods for the statistical detection of point alignments. *Computers and Geosciences*, 35, 659-666.
- Hanewinkel, M. and Pretzsch, H. (2000): Modelling the conversion from even-aged to uneven-aged stands of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) with a distance-dependent growth simulator. *Forest Ecology and Management*, 134: 55-70.
- Hanewinkel M. (2002): Comparative economic investigations of even-aged and uneven-aged silvicultural systems: a critical analysis of different methods. *Forestry*, 75 (4): 473-481.
- Hann, D. W. and Bare, B. B. (1979): *Uneven-aged forest management: State of the Art (or Science?)*. USDA Forest Service General Technical Report INT-50., Ogden
- Heip, C. (1974): A new index measuring evenness. *Journal of the Marine Biological Association*, 54: 555-557.
- Helliwell, D. R. (1997): Dauerwald. *Forestry*, 70 (4): 375-380.
- Hirooka, Y., Rossman, A. Y., Zhuang, W-Y., Salgado-Salzar, C. and Chaverri, P. (2013): Species delimitation for *Neonectria coccinea* group including the casual agents of beech bark disease in Asia, Europe, and North America. *Mycosystema*, 32: 485-517.
- Hix, D. M.; Goebel, P. C. and Whitman, H. L. (2011): Canopy gap characteristics of an old-growth and an adjacent second-growth beech-maple stand in North-Central Ohio. *In* Fei, S.; Lhotka, J. M.; Stringer, J. W.; Gpptschalk, K. W. and Miller, G. W. eds. *Proceeding of 17th Central Hardwood Forest Conference*. General Technical Report-P-78, Lexington, KY: US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station: 177-185.
- Hočevár, M and Hladnik, D. (2006): Development of forest monitoring methods for sustainable forest management in Slovenia. *In* Diaci, J. (ed): *Nature-Based Forestry in Central Europe – Alternatives to Industrial Forestry and Strict Preservation*. *Studia Forestalia Slovenica* Nr. 126: 1-18.



- Horváth Gy. (1998): A bakonyi bükkösök korfüggvényű álgesztváltozása és az álgesztességgel összefüggő ökonómiai és erdőművelési következtetések. Erdészeti Lapok, 133 (1): 18-19.
- Houston, D. R. and Valentine, H. T. (1988): Beech bark disease: the temporal pattern of cankering in aftermath forests of Maine. Can. J. For. Res., 18: 38-42.
- Houston, D. R. (2004): Beech Bark Disease: 1934 to 2004: What's New Since Ehrlich? In Evans, C. A., Lucas, J. A. and Twery, M. J. (eds) Beech Bark Disease: Proceedings of the Beech Bark Disease Symposium Saranac Lake, New York, June 16-18, 2004. USDA Forest Service, Delaware, 2-15.
- Iftekhar, M. S. (2005): From timber management to forest management: an initial discussion on forest management evolution. Journal of Forest Science, 51 (9): 412-429.
- Jaehne, S. und Dohrenbusch, A. (1997): Ein Verfahren zur Beurteilung der Bestandesdiversität. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 116: 333-345.
- Janik G., Hirka A., Koltay A., Juhász J. és Csóka Gy. (2016): 50 év biotikus kárai a magyar bükkösökben. Erdészettudományi Közlemények, 6: 45-60.
- Johann, E. (2006): Historical development of nature-based forestry in Central Europe. In Diaci, J. (ed): Nature-Based Forestry in Central Europe – Alternatives to Industrial Forestry and Strict Preservation. Studia Forestalia Slovenica Nr. 126: 1-18.
- Katona K.; Hajdu M.; Farkas A. és Szemethy L. (2013): Hazai bükkösök konzervációja: száraló üzemmód és szelektív vadrágás. Tájökológiai Lapok 11 (2): 223-228.
- Kern, C. C.; Burton, J. I.; Raymond, P.; D'Amato, A. W.; Keeton, W. S.; Royo, A. A.; Walters, M. B.; Webster, C. R. and Willis, J. L. (2016): Challenges facing gap-based silviculture and possible solutions for mesic northern forests in North America. Forestry, 90 (1): 4-17.
- Kerr, G. (1999): The use of silvicultural systems to enhance the biological diversity of plantation forests in Britain. Forestry, 72 (3): 191-205.
- Kerr, G., Mason, B., Boswell, R. and Pommerening, A. (2002): Monitoring the Transformation of Even-aged Stands to Continuous Cover Management. Forestry Commission Information Note 45. Forestry Commission, Edinburgh
- Kerr, G.; Morgan, G.; Blyth, J. and Stokes V. (2010): Transformation from even-aged plantations to an irregular forest: the world's longest running trial area at Glentress, Scotland. Forestry 83 (3): 329-344.
- Kerr, G. (2014): The management of silver fir forests: de Liocourt (1898) revisited. Forestry 87 (1): 29-38.

- Keyser, T. L. and Loftis, D. L. (2013): Long-term effects of single-tree selection cutting on structure and composition in upland mixed-hardwood forests of the southern Appalachian Mountains. *Forestry*, 86 (2): 255-265.
- Király G.; Csapody I.; Szmorad F. és Tímár G. (2004): A Soproni-hegység edényes flórája. *Flora Pannonica*, 2 (1): 5-37.
- Király G. (2008): Soproni-hegység. In Király G.; Molnár Zs.; Bölöni J. Csiky J és Vojtkó A. (szerk.) Magyarország földrajzi kistájainak növényzete. MTA ÖBKI, Vácrátót
- Koch, J. L., Carey, D. W., Mason, M. E. and Nelson, C. D. (2010): Assessment of beech scale resistance in full- and half-sibling American beech families. *Can. J. For. Res.*, 40: 265-272.
- Koloszár J. (2002): Erdőneveléstan. Kézirat, Sopron
- Koloszár J. (2010): Utak és tévutak - avagy gondolatok az átalakító és szálaló üzemmódról. *Erdőkerülő*, 4: 4-5.
- Koloszár J. (2010): Erdőismerettan. Kézirat, Sopron
- Kolozs L.; Simon T.; Solti Gy. és Stuller Z. (2009): Faállományok növekedésének megfigyelése. In Kolozs L. (szerk) Erdővédelmi Mérő- és Megfigyelő Rendszer (EMMRE) 1988-2008. Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Központ Erdészeti Igazgatóság, Budapest: 118-148.
- Kolozs L. és Veperdi G. (2012): Élőfakészlet- és növedékmeghatározás a szálaló, illetve átalakító üzemmódú erdőkben egyváltozós fatérfogatfüggvény alkalmazásával. *Erdészettudományi Közlemények*, 2 (1): 21-34.
- Kraft, G. (1884): Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Klindworth's Verlag, Hannover
- Kramer, K.; Degen, B.; Buschbom, J.; Hickler, T.; Thuller, W.; Sykes, M. T. and de Winder, W. (2010): Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica* L.) under climate change – Range, abundance, genetic diversity and adaptive response. *Forest Ecology and Management*, 259: 2213-2222.
- Kristóf D.; Belényesi M.; Budai P. Czimmer K.; Király G. és Tanács E. (2013): Távérzékelési adatok és módszerek erdőtérképezési célú felhasználása. An Augur Kft., Budapest
- Krutzsch, H. (1999): Erdők megújítása (Madas L. ford.). Országos Erdészeti Egyesület Soproni Műhely, Budapest-Sopron
- Lafond, V.; Cordonnier, T.; Mao, Z. and Courbaud, B. (2017): Trade-offs and synergies between ecosystem services in uneven-aged mountain forests: evidences using Pareto fronts. *European Journal of Forest Research* (online publ.)

- 
- Lakatos F. és Szabó I. (2007): *Növényvédelem az erdőgazdálkodásban*. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
- Larsen, J. B. and Nielsen, A. B. (2007): Nature-based forest management – Where are we going? Elaborating forest development types in and with practice. *Forest Ecology and Management*, 238: 107-117.
- Latty, E. F., Canham, C. D. and Marks P. L. (2003): Beech bark disease in northern hardwood forests: the importance of nitrogen dynamics and forest history for disease severity. *Can. J. For. Res.*, 33: 257-268.
- Lähde, E.; Laiho, O.; Norokorpi, Y. and Saksa, T. (1999): Stand structure as the basis of diversity index. *Forest Ecology and Management*, 115: 213-220.
- Lähde, E.; Laiho, O. and Norokorpi, Y. (1999): Diversity-oriented silviculture in the Boreal Zone of Europe. *Forest Ecology and Management*, 118: 223-243.
- Leak, W. (2002): Origin of sigmoid diameter distributions. Research Paper NE-718. Newtown Square, PA: USDA, Forest Service, Northeastern Research Station
- LeMay, V. and Staudhammer, C. (2005): Indices of stand structural diversity: Mixing discrete, continuous, and spatial variables. *In Proceedings of the IUFRO Sustainable Forestry in Theory and Practice: Recent Advances in Inventory & Monitoring, Statistics, Information & Knowledge Management, and Policy Science Conference*. Edinburgh, 5-8 April 2005. 21 pp.
- Lett, B.; Gál, J.; Stark, M. and Frank, N. (2016): Development and Possibilities for Close-to Nature Forest Resource Management in Hungary. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica*, 12 (1): 55-73.
- Liocourt, F. de (1898): De l'aménagement des sapinières. *Bulletion Trimestriel, Société Forestrière de Franche-Comté et Belfort*, Julliet (translated to english by Nygren, M. in 2001)
- Liu, Y.; Blanco, J. A.; Wei, X.; Kang, X.; Wang, W. and Guo, Y. (2014): Determining suitable selection cutting intensities based on long term observations on above-ground forest carbon, growth, and stand structure in Changbai Mountain, Northeast China. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29 (5): 436-454.
- Loewenstein, E. F. (2005): Conversion of uniform broadleaved stands to an uneven-aged structure. *Forest Ecology and Management*, 215: 103-112.
- Lonsdale, D. and Wainhouse, D. (1987): *Beech Bark Disease*. Forestry Commission Bulletin 69, London
- Macdonald, E.; Gardiner, B. and Mason, W. (2010): The effects of transformation of even-aged stands to continuous cover forestry on conifer log quality and wood properties in the UK. *Forestry*, 83 (1): 1-16.

- MacKenzie, M. (2004): Survival of the Fittest: Beech Bark Disease-Resistant Beech Will Leave Mores Offspring. In Evans, C. A., Lucas, J. A. and Twery, M. J. (eds) Beech Bark Disease: Proceedings of the Beech Bark Disease Symposium Saranac Lake, New York, June 16-18, 2004. USDA Forest Service, Delaware, 65-67.
- Madas, L. (1956): Ígéretes fákra alapított fatermesztési terv a Visegrád 77/A erdőrészben. Országos Erdészeti Főigazgatóság, Budapest
- Madas, L.; Koloszar J. és Csépanyi P. (2005): A vágásos erdőből a szálalóerdőbe. Erdészeti Lapok 140 (9): 265-267.
- Magyar P. (1961): Roth Gyula 1873-1961. Az Erdő, 10 (3): 81-87.
- Majer A. (1966): Erdőműveléstan I/B – Fafajok. Kézirat, Sopron
- Majer A. (1982): Erdőműveléstan II. Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron
- Majer A. (1986): A szálalás helyzete hazánkban: a szakidőszak és a kísérleti területek értékelése alapján. Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények, 36 (2): 17-47.
- Majer A. (1987): A soproni erdők nagy tanúfái – I. rész. Soproni Szemle, 41 (2): 1-31.
- Malatinszky, Á. and Ficsor, Cs. (2016): Frequency and Advantages of Animal-Powered Logging for Timber Harvesting in Hungarian Nature Conservation Areas. Croatian Journal of Forest Engineering 37: 279-286.
- Mária Terézia rendelete (1770): A fáknak és erdőknek neveléséről, és megtartásáról való rendelés. Landerer János Mihály, Pozsony
- Mason, W.; Kerr, G. and Simpson, J. (1999): What is continuous cover forestry? Information Note. Forestry Commission, Edinburgh
- Mátyás, Cs., Berki, I., Czucz, B., Gálos, B., Móricz, N. and Rasztoivits, E. (2010): Future of Beech in Southwest Europe from the perspective of Evolutionary Ecology. Acta Silv. Lign. Hung., 6: 91-110.
- McElhinny, C.; Gibbons, P.; Brack, C. and Bauhus, J. (2005): Forest and woodland stand structural complexity: Its definition and measurement. Forest Ecology and Management, 218: 1-24.
- Mendlik G. (1983): Bükk fatermesztési tábla. Erdészeti Kutatások, 75: 189-198.
- Merganič, J.; Merganičová, K.; Marušák, R. and Audolenská, V. (2012): Plant Diversity of Forests. In Blanco, J. A. and Lo, Y.-H. (eds): Forest Ecosystems – More Than Just Trees. InTech, Rijeka
- Mihál, I. and Cicák, A. (2001): Biotic vectors of beech necrotic disease of tracheomycotic type. Ekológia (Bratislava), 20: 404-413.

- Mihál, I., Cicák, A. and Tsakov, H. (2014): Selected biotic vectors transmitting beech bark necrotic disease in Central and South-Eastern Europe. *Folia Oecologica*, 41: 62-74.
- Mihál, I., Cicák, A. and Tsakov, H. (2015): Beech (*Fagus sylvatica* L.) bark necrotic damage as a serious phytopathological problem in Central and Southeastern Europe. *J. For. Sci.*, 61: 7-17.
- Milad, M.; Schaich, H.; Bürgi, M. and Konold, W. (2011): Climate change and nature conservation in Central European forests: A review of consequences, concepts and challenges. *Forest Ecology and Management*, 261: 829-843.
- Mitchell, R. J.; Hunter, M. L. and Palik, B. J. (2002): Natural disturbance as a guide to silviculture (Preface). *Forest Ecology and Management*, 155: 315-317.
- Mollayné M. G. és Molnár Á. (2011): A Soproni hegyvidéki erdők állományainak változása 1955-2005 között. *In* Bartha D. és Oroszi S. (szerk) A Soproni-hegység erdőállományainak története. TAEG Tanulmányi Erdőgazdaság Zrt., Sopron
- Molnár D. (2013): Újulatvizsgálatok a Szászvár 39 F szálaló üzemmódban kezelt erdőrészletben. *In* Bodnár G. (ed): Tehetség gondozás a Nyugat-magyarországi Egyetemen – TDK munkák a fókuszban. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron 90-92.
- Molnár D.; Folcz Á.; Frank N. és Király G. (2014): Összefüggések egy szálalóvágással kezelt szubmontán bükkös állományszerkezete, gyepszintje és nagygombafajkészlete között. *Erdészettudományi Közlemények* 4 (1): 37-46.
- Molnár D. és Frank N. (2015): Emlékerdő lesz a Roth-féle szálalóerdő. *Erdészeti Lapok*, 150 (2): 38-39.
- Moore, N. O.; Hart, J. D.; Kelly, P. F. and Langton, S. D. (2000): Browsing by fallow deer (*Dama dama*) in young broadleaved plantations: seasonality, and the effects of previous browsing and bud eruption. *Forestry*, 73 (5): 437-445.
- Munck, I. A. és Manion, P. D. (2006): Landscape-Level Impact of Beech Bark Disease in Relation to Slope and Aspect in New York State. *Forest Science*, 52: 503-510.
- Náhlik A. és Tari T. (2006): A gímszarvas és az őz téli erdősítés-használatára és csemeterágására ható tényezők vizsgálata az erdei vadkár csökkentése céljából. *Gyepgazdálkodási Közlemények* 4: 75-79.
- Náhlik A.; Sándor Gy. és Tari T. (2014): A folyamatos erdőborítással történő erdőgazdálkodás vadgazdálkodási kérdései. *In* Bartha D. és Puskás L. (szerk): *Silva naturalis* Vol. 6.: 251-269.
- NÉBIH (2012): Erdővagyon, erdő- és fagazdálkodás Magyarországon. Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Budapest

- 
- Németh F. (1998): A magyarországi erdőfelmérés története a kezdetektől 1990-ig. HTSART Kiadó és Nyomda, Budapest
- Neumann, M. and Starlinger, F. (2001): The significance of different indices for stand structure and diversity in forests. *Forest Ecology and Management*, 145: 91-106.
- Nyland, R. D. (2003): Even- to uneven-aged: the challenges of conversion. *Forest Ecology and Management*, 172: 291-300.
- O'Hara, K. (2001): The silviculture of transformation – a commentary. *Forest Ecology and Management* 151: 81-86.
- O'Hara, K. (2002): The historical development of uneven-aged silviculture in North America. *Forestry*, 75 (4): 339-346.
- Orwig, D. A. and Abrams, M. D. (1999): Impacts of early selective logging on the dendroecology of an old-growth, bottomland hemlock-white pine-northern hardwood forest on the Allegheny Plateau. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 126 (3): 234-244.
- Palotay I. (1965): Fatömeg-tarifák. *Az Erdő*, 14 (9): 385-388.
- Péché D. (1886): A *Nectria ditissima* gombáról. *Erdészeti Lapok*, 25 (9-10): 700-703.
- Peng, C. (2000): Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. *Forest Ecology and Management*, 132: 259-279.
- Pielou, E. C. (1966): The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13: 131-144.
- Pommerening, A. (2002): Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* 75 (3): 305-324.
- Pommerening, A. and Murphy, S. T. (2004): A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry*, 77 (1): 27-44.
- Poznanovic, S. K.; Poznanovic, A. J.; Webster, C. R. and Bump, J. K. (2014): Spatial patterning of underrepresented tree species in canopy gaps 9 years after group selection cutting. *Forest Ecology and Management*, 331: 1-11.
- Pretzsch, H. (1995): Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 166 (9-10): 190-201.
- Pretzsch, H. (2010): *Forest Dynamics, Growth and Yield*. Springer-Verlag, Berlin
- Prodan, M. (1961): *Forstliche Biometrie*. Bayerischer Landwirtschaftsverlag GmbH., München

- 
- Puettmann, K. J.; Coates, K. D. and Messier, C. (2009): A critique of silviculture: managing for complexity. Island Press, Washington
- Pukkala, T.; Lähde, E. and Laiho, O. (2009): Growth and yield models for uneven-sized forest stands in Finland. *Forest Ecology and Management*, 258: 207-216
- Reininger, H. (2010): A szálalás elvei – avagy a korosztályos erdők átalakítása (Román P.; Román P. és Román J. ford.). HM Budapesti Erdőgazdaság Zrt., Budapest
- Ripley, B. D. (1977): Modelling spatial patterns (with discussion). *Journal of Royal Statistical Society, Series B*, 39 (2): 172-212.
- Ripszám I. (2012): Folyamatos erdőborítás a Mecseki Erdészeti Zrt-nél. *In Gyöngyössi P. (szerk): Múlt és jövő IV. – Tartamosság, természetszerűség, társadalmi kontroll. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron*
- Rist, L. and Moen, J. (2013): Sustainability in forest management and a new role for resilience thinking. *Forest Ecology and Management*, 310: 416-427.
- Roth Gy. (1935): Erdőműveléstan II. Röttig-Romwalter Nyomda bérlői, Sopron
- Roth Gy. (1953): A Sopron-hidegvízvölgyi főiskolai tanulmányi szálalóerdő. *In Fehér D. és Pally N. (szerk): Erdőmérnöki Főiskola Évkönyve; Sopron 1951-52. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 161-192.*
- Roth Gy. (1958): A magyar erdészeti kutatásügy története 1898-tól 1940-ig. *Erdészeti Kutatások*, 3-4: 5-18.
- Roth Gy. (1958): A szálaló erdőről. *In Czirik I. (szerk): A szálalásról és a szálalóvágásról a hazai szakirodalom alapján. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest*
- Rubin, B. D.; Manion, P. D. and Faber-Langendoen, D. (2006): Diameter distributions and structural sustainability in forests. *Forest Ecology and Management*, 222: 427-438.
- Runkle, J. R. (1982): Patterns of Disturbance in Some Old-Growth Mesic Forests of Eastern North America. *Ecology*, 63 (5): 1533-1546.
- Saunders, D. A.; Hobbs, R. J. and Margules, C. R. (1991): Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5 (1): 18-32.
- Schiberna E.; Lett B. és Juhász I. (2012): A folyamatos erdőborítás ökonómiai értékelésének elvi kérdései. *Erdészettudományi Közlemények*, 2 (1): 7-20.
- Schütz, J.-Ph. (1999): Close-to-nature silviculture: is this concept compatible with species diversity? *Forestry*, 72 (4): 359-366.
- Schütz, J.-Ph. (2001): Opportunities and strategies of transforming regular forests to irregular forests. *Forest Ecology and Management*, 151: 87-94.

- 
- Schütz, J.-Ph. (2002): Silvicultural tools to develop irregular and diverse forest structures. *Forsetry*, 75 (4): 329-337.
- Schütz, J.-Ph. (2011): Development of close to nature forestry and the role of ProSilva Europe. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 94: 39-42.
- Seidel, D; Beyer, F.; Hertel, D.; Fleck, S. and Leuschner, C. (2011): 3D-laser scanning: A non-destructive method for studying above-ground biomass and growth of juvenile trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151: 1305-1311.
- Shannon, C. E. (1948): The mathematical theory of communication. *In* Shannon, C. E.; Weaver, W. (eds): *The mathematical theory of communication*. Urbana, University of Illinois Press: 3-91.
- Shigo, A. L. (1972): The beech bark disease in the northeastern United States. *Journal of Forestry*, 70: 286-289.
- Sieber, T. N. (2007): Endophytic fungi in forest trees: are they mutualists? *Fungal Biology Reviews*, 21: 75-89.
- Sopron-Fertőmelléki erdőtervezési körzet körzeti erdőterve. Érvényes: 2015. január 1 – 2024. December 31.
- Spiecker, H. (2006): Minority tree species – a challenge for multi-purpose forestry. *In* Diaci, J. (ed): *Nature-Based Forestry in Central Europe – Alternatives to Industrial Forestry and Strict Preservation*. *Studia Forestalia Slovenica* Nr. 126: 47-60.
- Stefanovics P.; Filep Gy. és Füleki Gy. (1999): *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Sterba, H. (2004): Equilibrium curves and growth models to deal with forests in transition to uneven-aged structure – application in two sample stands. *Silva Fennica*, 38 (4): 413-423.
- Sterba, H. (2008): Diversity indices based on angle count sampling and their interrelationships when used in forest inventories. *Forestry*, 81 (5): 587-597.
- Stokes, V. and Kerr, G. (2009): The evidence supporting the use of CCF in adapting Scotland's forests to the risks of climate change. *CCF & Climate Change*, The Research Agency of the Forestry Commission
- Szaro. R. C.; Langor, D. and Yapi, A. M. (2000): Sustainable forest management in the developing world: Science challenges and contributions. *Landscape and Urban Planning*, 47: 135-142.
- Smyt, J. (2014): Spatial statistics in ecological analysis: from indices to functions. *Silva Fennica*, 48 (1): 1-31.



- Tamás J. (1955): A soproni hegyvidéki erdők történelmi fejlődése, tájleírásai a fafaj, elegyarány és korosztály viszonylatában napjainkig. *In* Bartha Dénes (közzéteszi) (2001): Erdészettörténeti Közlemények L. Dr. Oroszi Sándor, Sopron
- Tavankar, F.; Majnounian, B. and Bonyad, A. E. (2013): Felling and skidding damage to residual trees following selection cutting in Caspian forests of Iran. *Journal of Forest Science*, 59 (5): 196-203.
- Török A. (2006): Bükkösök erdőfelújítása az égtájorientált felújítási rendszer tükrében. Bakonyerdő Erdészeti és Faipari Zrt.; Veszprém
- Troup, R. S. (1927): Dauerwald. *Forestry*, 1 (1): 78-81.
- Vadas J. (1893): Szervezzük a magyar erdészeti kísérletügyet. *Erdészeti Lapok*, 32 (7-8): 545-574.
- Valbuena, R.; Packalén, P.; Martín-Fernández, S. and Maltamo, M. (2012): Diversity and equitability ordering profiles applied to study forest structure. *Forest Ecology and Management*, 276: 185-195.
- Varga B. (2000): A nagyvad hatása a természetközeli erdőgazdálkodásra. *In* Frank T. (szerk): *Természet – Erdő – Gazdálkodás*. Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület, Pro Silva Hungaria Egyesület, Eger.
- Vasiliauskas, R. (2001): Damage to trees due to forestry operations and its pathological significance in temperate forests: a literature review. *Forestry*, 74 (4): 319-336.
- Veperdi G. (2010): Mintakörös élőfakészlet-meghatározás a száraló, illetve átalakító üzemmódú erdőkben egyváltozós fatérfogat-függvény alkalmazásával. *In* Lett B.; Nagy I.; Puskás L.; Stark M.; Horváth S. és Horváth T. (szerk): *Múlt és jövő – „Tarvágásból száralósba”*. Szabó Vendel egyéni vállalkozó, Sopron
- Vítková L. and Ní Dhubháin, Á. (2013): Transformation to continuous cover forestry: a review. *Irish Forestry*, 70: 119-140.
- Vítková, L.; Ní Dhubháin, Á.; Ó’Tuama, P. and Purser, P. (2013) The practice of continuous cover forestry in Ireland. *Irish Forestry*, 70: 141 –156.
- Vorčák, J.; Merganič, J. and Saniga, M. (2006): Structural diversity change and regeneration processes of the Norway spruce natural forest in Babia hora NNR in relation to altitude. *Journal of Forest Science*, 52 (9): 399-409.
- Wagner, C. (1912): *Der Blendersaumschlag und sein System*. H. Laupp, Tübingen
- Watson, G. A. (2006): Computing Helmert transformations. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 197: 387-394.

- Webster, C. R. and Lorimer, C. G. (2005): Minimum opening sizes for canopy recruitment of midtolerant tree species: A retrospective approach. *Ecological Applications*, 15 (4): 1245-1262.
- Westphal, C.; Tremer, N.; Oheimb, G. von; Hansen, J.; Gadow, K. von and Härdle, W. (2006): Is the reverse J-shaped diameter distribution universally applicable in European virgin beech forests? *Forest Ecology and Management*, 223: 75-83.
- White, M. A. (2012): Long-term effects of deer browsing: Composition, structure and productivity in a northeastern Minnesota old-growth forest. *Forest Ecology and Management*, 269: 222-228.
- Wingfield, M. J., Garnas, J. R., Hajek, A., Hurley, B. P., de Beer, Z. W. and Taerum, S. J. (2016) Novel and co-evolved associations between insects and microorganisms as drivers of forest pestilence. *Biol. Invasions*, 18: 1045-1056.
- Zenner, E. K. and Hibbs, D. E. (2000): A new method for modelling the heterogeneity of forest structure. *Forest Ecology and Management*, 129: 75-87.
- Zenner, E. K. (2005): Investigation scale-dependent stand heterogeneity with structure-area-curves. *Forest Ecology and Management*, 209: 87-100.
- Zúbrik, M., Leontovyč, R. and Kunca, A. (1999): On the relation of necrotic diseases of beech and occurrence of beech scale insect (*Cryptococcus Fagi* BEAR.). *Acta Instituti Forestalis Zvolen*, 9: 103-117.

### **Roth Gyula hagyatéki anyagai:**

- Roth Gy. (1952): Jegyzőkönyv az Országos Erdészeti Egyesület Szálaló Munkabizottságának 1952. január 19-én megtartott üléséről. Roth Gyula hagyatéka, Soproni Egyetem levéltára, Sopron
- Roth Gy. (1954): Költségvetés a Hidegvízvölgy szálaló erdőben a tanulmány és kutatás érdekében szükséges oly munkákról, amelyek költségei az állami erdőgazdaság rovataiban nem helyezhetőek el. Roth Gyula hagyatéka, Soproni Egyetem levéltára, Sopron
- Roth Gy. (1956): A soproni szálalóerdőkben végzendő munkák. Roth Gyula hagyatéka, Soproni Egyetem levéltára, Sopron
- Roth Gy. (é. n.): A Sopron-hidegvízvölgyi tanulmányi szálaló erdőben 1937 óta vágásra jelölt fák számának és szembecsléssel felvett fatömegének kimutatása. Roth Gyula hagyatéka, Soproni Egyetem levéltára, Sopron
- Roth Gy. (é. n.): Szálalás és szálaló vágás. Előadásanyag. Roth Gyula hagyatéka, Soproni Egyetem levéltára, Sopron

## **11. Mellékletek**

**I. Roth (1953) és Palotay (in Koloszar 2013) leírásai**

### ***Roth (1953)***

15. vonal (területe: 3,5 ha): Délnyugati lejtő, a határ felől gyengébb, lejjebb a völgy felé erősebb hajlással. A hegy kúpján, északnyugati kitett helyen egymás mellett hét erős lucot vágtak ki, kifejezett szélkaput nyitva. Eddig még a szél nem tett kárt. Túlnyomóan szép, egyenletes, vegyes állomány, alatta elég bő település: tölgy, luc, bükk, gyertyán, cseresznye, néhány jegenyefenyő. A völgyben gyér, öreg lucok, *Carex*-folt.

16. vonal (területe: 3,0 ha): Gerinc felé lapos, a völgy felé meredekebb lejtő. Újulat a tengelyvonalban bőséges. Az öreg lucokban túlvágás, fékezés szükséges. Szép, elegyes állomány.

17. vonal (területe 3,0 ha): Gerinc felé enyhe, a völgy felé erősebb lejtő, északkelet-délnyugati futással. Település mindenfelé, vegyes. Lucokat itt nagyon rendetlenül vágták, kelletténél többet. Talajon laza gyom.

18. vonal (területe 2,0 ha): Észak-déli futású lejtő. Újulat mindenfelé, helyenként bőséges. A vonal közepe táján nagy tölgy böhönc, alatta település alig látszik.

19. vonal (területe 7,0 ha): Északnyugat-délkeleti gerinc, a völgyben meredek, feljebb enyhe lejtő, szélesebb síkba fut. Felső részében erős lucokat vágtek rendetlenül, adat nincs, alsó végén a vastag bükk mellett két erős lucot kivágtak (ínségmunka), amiket meg kellett volna hagyni! Estükben öt fát kivittek. Település mindenfelé, helyenként bő. A gerinc mentén pár napfolt. Sok ültetett luc változó nagysággal, nagyobb része felszabadítva. Gyomosodás laza, újulat már van benne.

***Palotay (Kolozsár 2013 alapján)***

182 a (jelenleg Sopron 182 B) erdőrészlet: sok helyen a száraló erdő jellegzetességeit mutatja. A 15. vonal mentén néhány elszáradt, illetve a szú által megtámadott vörösfenyő van. A 17. vonalon bükk és lucfenyő újulat, főleg az erősebben megbontott foltokon. A 19. vonal és az országhatár között villámsúlytott lucfenyő van, sürgősen ki kell vágni. A Roth-féle vonalas száralás elvei szerint végzendő óvatos használatokkal kell a száraló-erdő alakot a részlet egész területén megközelíteni.

182 b (jelenleg Sopron 182 B) erdőrészlet: A felső szintet legnagyobb részben a bükk és a kocsánytalan tölgy alkotja. A 19. vonal tájékán bükk és gyertyán újulat van. A vágásokat Roth-féle vonalas száralással óvatosan kell végezni.

## **II. Az 1991-ben készült rétegvonalas térkép**

# ASZTALFŐI SZÁLALÓERDŐ KÍSÉRLETI TERÜLET

GEODÉZIAI NAGYGYAKORLAT  
1991

M=1:1000

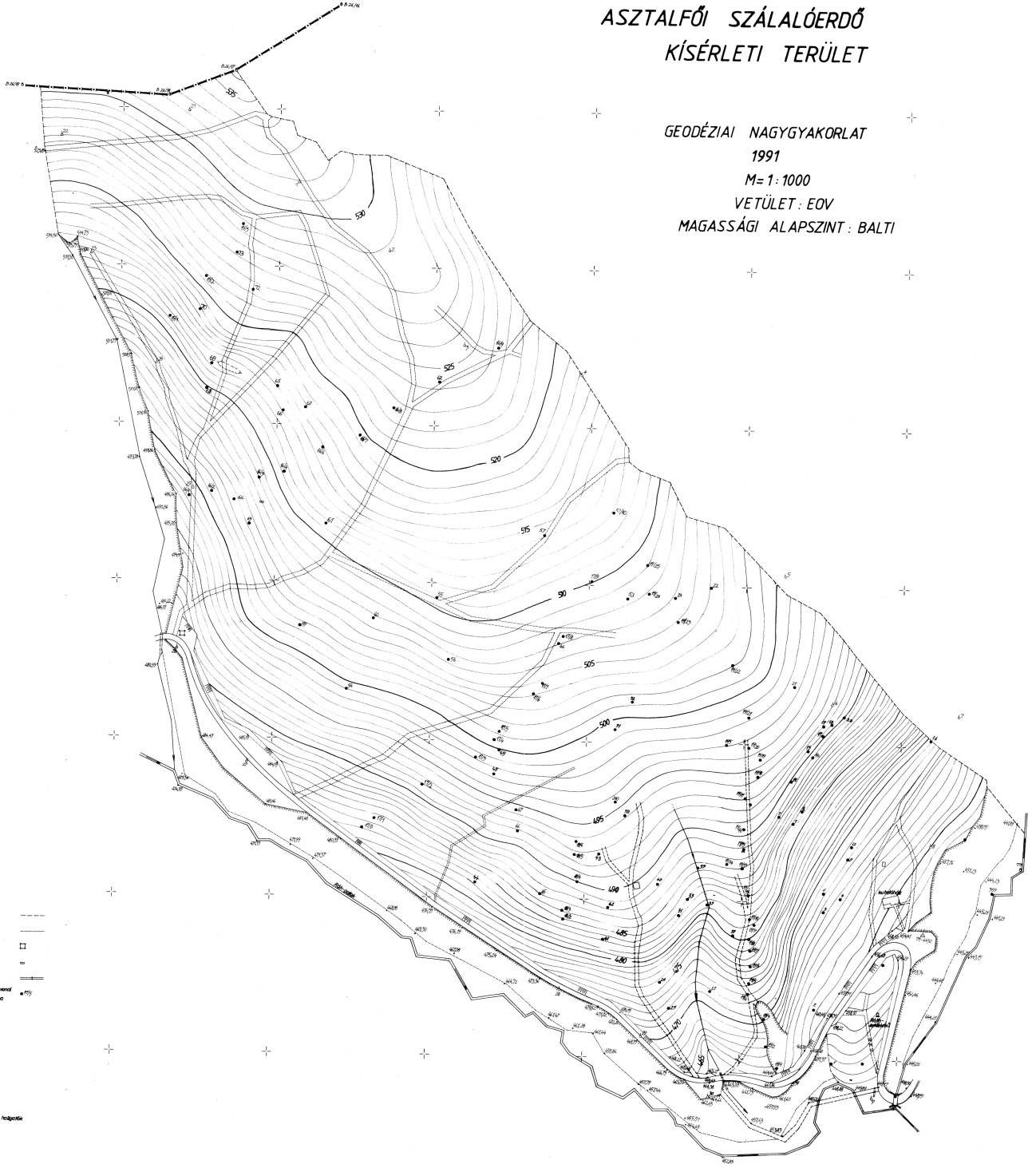
VETÜLET: EOVI

MAGASSÁGI ALAPSZINT: BALTI

- Jellegzetek:
- érkező sugár
  - jórészt rákötött szál
  - rögök
  - kőgaléria
  - ||| mészcsúszás
  - □ □ □ társaság
  - 11. társaság
  - 12. társaság
  - 13. társaság
  - 14. társaság
  - 15. társaság

Sopron, 1991. május

Készítette: a formációk mérnökei és tanítványai





### **III. Erdőrészlet leíró lap – Sopron 182 B**

Helység: 3141 Sopron Tag: 182 Részlet: B Ügyszám/Hatályos: VAG/EI/6749/2013 Oldal:

Gazdálkodó: 751 Soproni Erdészet

Illetékes: Vas Megyei Kormányhivatal Erd. Ig. Erdőtervezési körzet: Sopron-Fertőmelléki

Részlet területe: 19,40 ha Erdészeti táj: Soproni-hegység

Eddigi véghasználat ter.: 4,12 ha Natura 2000: Része a hálózatnak

Kötelezettség területe: 4,12 ha Vadgazdálkodási egység: Hegyvidéki Földtulajdonosi Közösség Sopron

Elsődleges rendeltetés: Természetvédelmi Természetesség: Természeteszerű erdő

További rendeltetések: Natura 2000 Üzem mód: Szálaló

Kísérleti

Tengerszint fel. mag.: 450-550 m Gazdálkodás korlátozása: Részleges korlátozás

Fekvés: Változó Védettség foka: Fokozottan védett természeti terület

Domborzat: Változó Erdőrezervátum típusa:

Lejtés: Változó Keletkezés: Szálalóvágásos erdőfelújítás

Termőhelytípus-változat: B-TVFLN-PGBE-MÉ-V Utolsó használat éve: 2008

Záródás minősítése: Bontási záródáshiány Utolsó használat módja: Egészségügyi fakitermelés

#### ÁLLOMÁNYLEÍRÁS

Sorsz.	Szintek	Fafaj neve	Eredet	Elegy arány (%)	Elegy. módja	Átlag kor (év)	Átlag mag. (m)	Átlag átm. (cm)	Fto	Záródás (%)	Körlep (m <sup>2</sup> /ha)	Folyónövedék (m <sup>3</sup> /ha/év)	Fakészlet (m <sup>3</sup> /ha)	Felvétel módja
1	Felső	Bükk	M	34	FF	151	31	53	2	60	8,2	1,8	149	FT
2	Felső	Kocsánytalan tölgy	M	6	SZ	151	27	47	2	60	1,4	0,3	24	FT
3	Felső	Lucfenyő	M	2	SZ	151	30	44	2	60	0,9	0,1	14	FT
4	Felső	Vörösfenyő	M	2	SZ	151	31	51	2	60	0,6	0,1	9	FT
5	Felső	Gyertyán	ST	1	CS	151	23	35	2	60	0,2		3	FT
6	Felső	Bükk	M	40	SZ	23	7	6	4	60	4,8	1,9	24	FT
7	Felső	Bükk	M	10	CS	43	17	16	2	60	1,9	0,7	18	FT
8	Felső	Gyertyán	M	5	CS	43	14	13	4	60	0,7	0,1	5	FT
9	Újulati	Bükk	M	100	FF	16	5	4	2	20		1,6	15	FT
Összesen											18,7	6,6	261	

Egyéb fafajok a részletben: HJ,KH,CSNY,EF,MK

#### FAKITERMELÉSI TERV

Sorszám	Fafaj jele	Sürg.: 2			Sürg.:			Sürg.:		
		Vágás- érettségi kor	Érint.t.(ha): H. mód:	19,40 SZÁL	Érint.t.(ha): H. mód:	Érint.t.(ha): H. mód:	Érint.t.(ha): H. mód:	Érint.t.(ha): H. mód:	Érint.t.(ha): H. mód:	Érint.t.(ha): H. mód:
		Év	Erély (%)	m <sup>3</sup> /ér.ter.	Év	Erély (%)	m <sup>3</sup> /ér.ter.	Év	Erély (%)	m <sup>3</sup> /ér.ter.
1	B	999	28	809						
2	KTT	999	20	93						
3	LF	999	50	136						
4	VF	999	50	87						
5	GY	999	50	29						
6	B	999	10	47						
7	B	999	10	35						
8	GY	999	10	10						
9	B	999								
Összesen				1.246						

#### ERDŐSÍTÉSI TERV

Terület (ha):

Jelleg: SZVF

1. vált. mód: TFMAG

Erdősítés célállománya:  
B

Erdősítés elegyfajjai:  
KTT,GY,LF

2. vált. mód:

Erdősítés célállománya:

Erdősítés elegyfajjai:

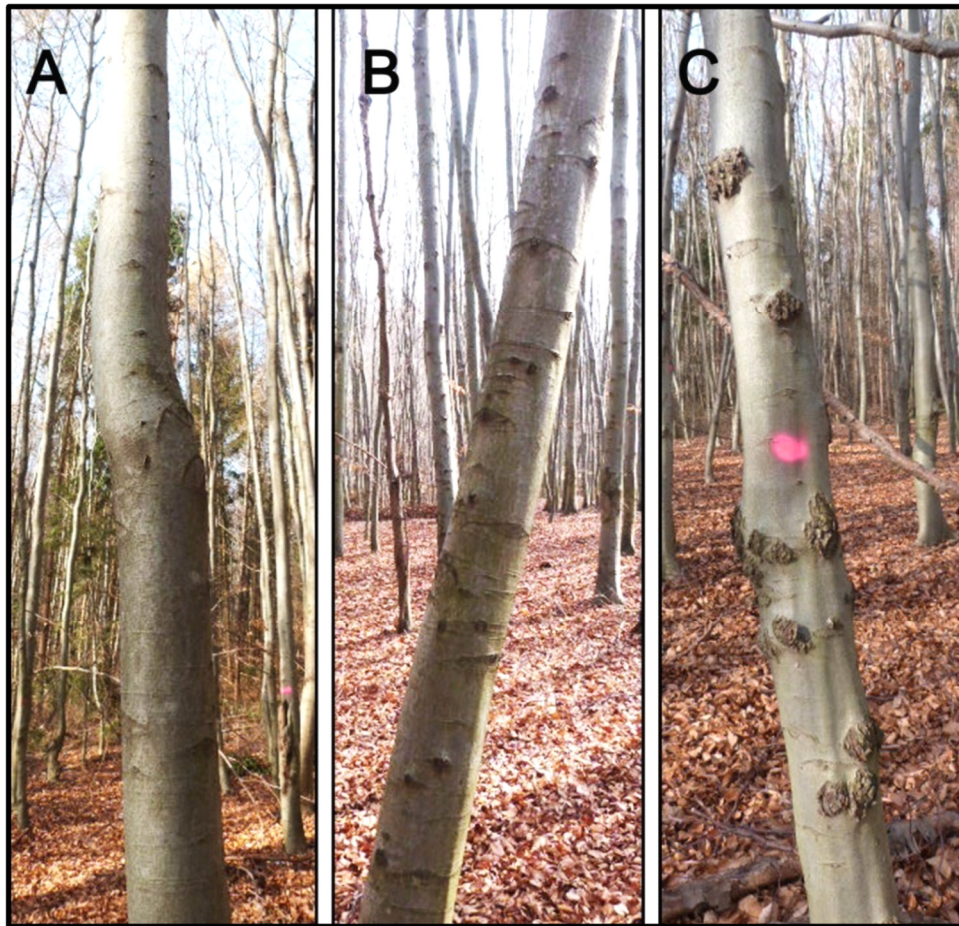
Választott: 1. változat

Előző azonosító: Sopron 182 B

Növedékesítés éve: 2015

**RÉSZLETSZINTŰ ELŐÍRÁSOK:** Roth Emlékerdő - NYME kísérleti terület Fakitermelések jelölése előtt a mindenkor Erdőművelés Tanszékét értesíteni kell. Az erdőkezelés a kísérleti és természetvédelmi célok figyelembevételével történhet. Erdőgazdálkodás csak a természetvédelmi célokkal összhangban, a védett természeti területek természetvédelmi kezeléséért felelős szervvel egyeztetett helyen és időben végezhető. Vegetációs időszakban fakitermelés csak a tv-i hatóság engedélyével végezhető. A védett fajok és az élőhely megóvása érdekében a munkákat fokozott gondossággal kell végezni. Faanyagmozgatás során ügyelni kell a vizes élőhelyek élőlényeinek megóvására. Vissza kell szorítani az inváziós- és adventív fafajokat (különösen A, BL, KM, ZJ, AK). Az erdei vízfolyások és az erdei tavak védelme érdekében, azok földfelszíni elhelyezkedéséhez 25 méternél közelebb fakitermelés és faanyag készletezés csak a természetvédelmi célokkal összhangban végezhető (47/2014.VM. 7.§ (7) szerint).  
**MEGJEGYZÉSEK:** Igen vegyeskorú állomány (+/- 16 év felett). Igen vegyes záródású állomány. Csoportosan MÉ, NYI. Szórtan fiatal VF. Az erdőrészlet a Roth-féle szálalóerdő területét öleli fel. A részlet DK-i sarkában az úthoz közel faház található. Korábbi bejegyzés: 2006: 5,0 újulati szint végvágottként befejezve!  
**TERMÉSZETVEDELEM RÉSZÉRŐL:** Jelölő élőhely: Szubmontán és montán bükkösök (Asperulo-Fagetum) (9130).

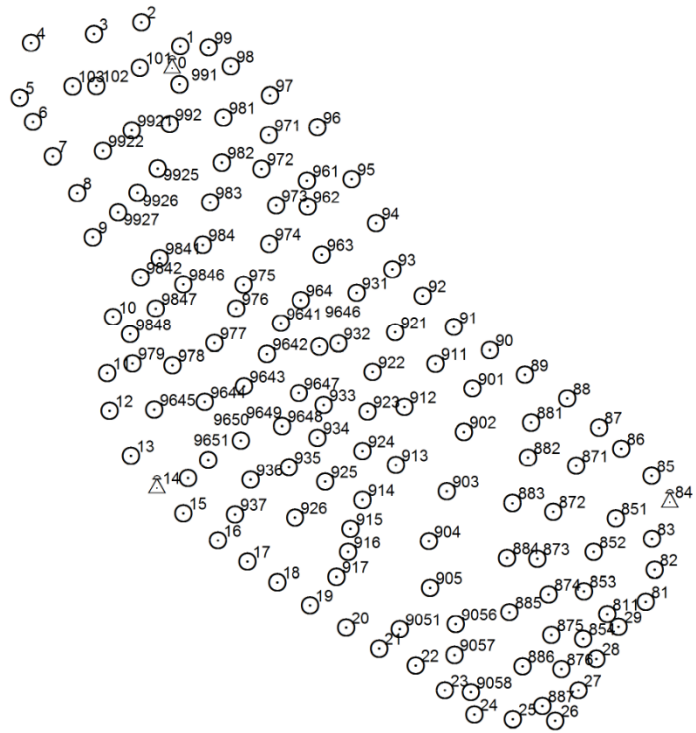
#### **IV. Gyengén, közepesen és erősen károsított bükk törzsek (bükk kéregrák)**



*A: gyenge, B: közepes, C: erős*

## **V. A felvételi ponttáblázat**

- Fieldmap álláspont
- △ GNSS alappont



## **VI. A felvételezés menete havi felbontásban**

2013. augusztus

2013. szeptember

2013. október

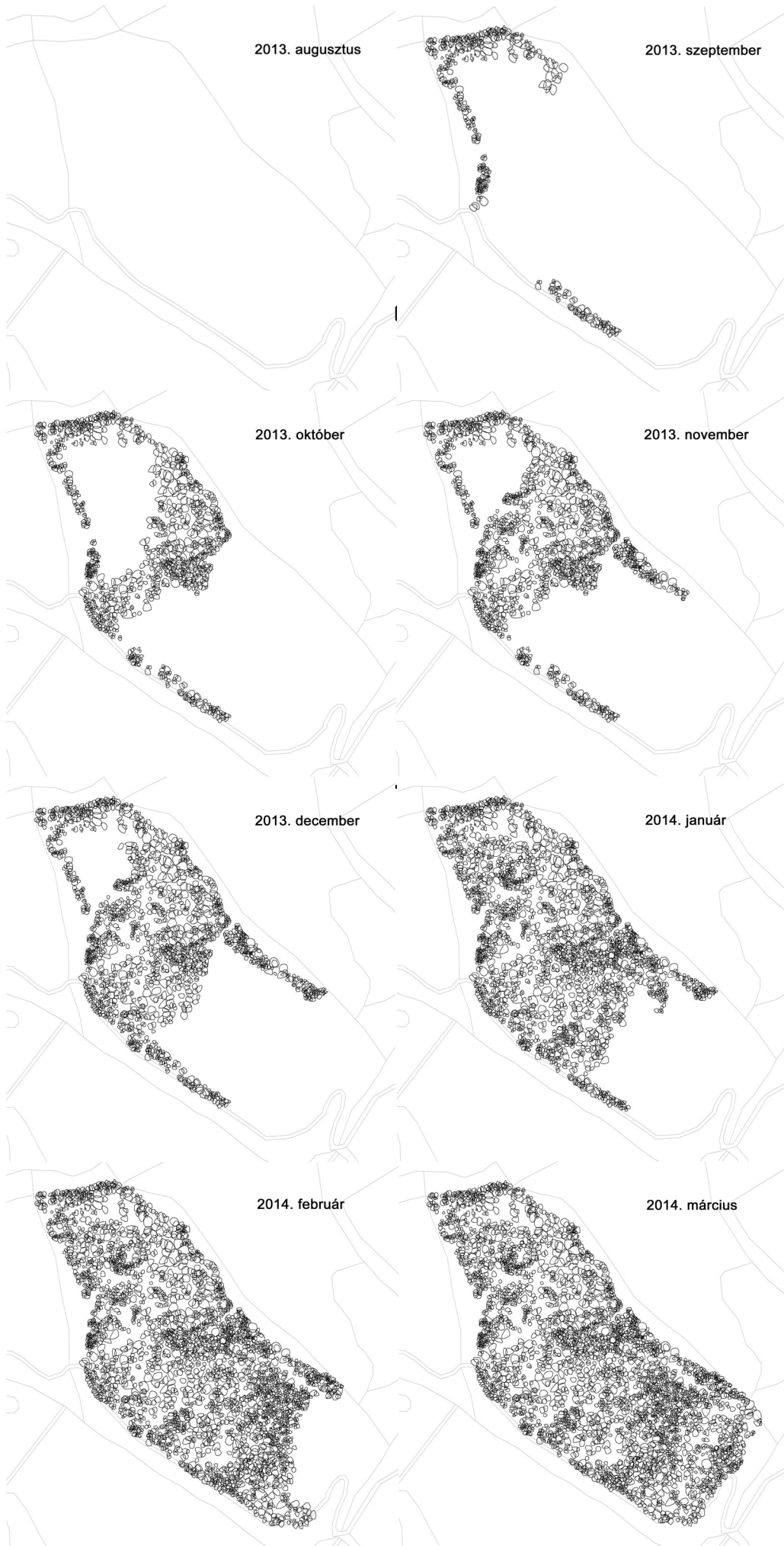
2013. november

2013. december

2014. január

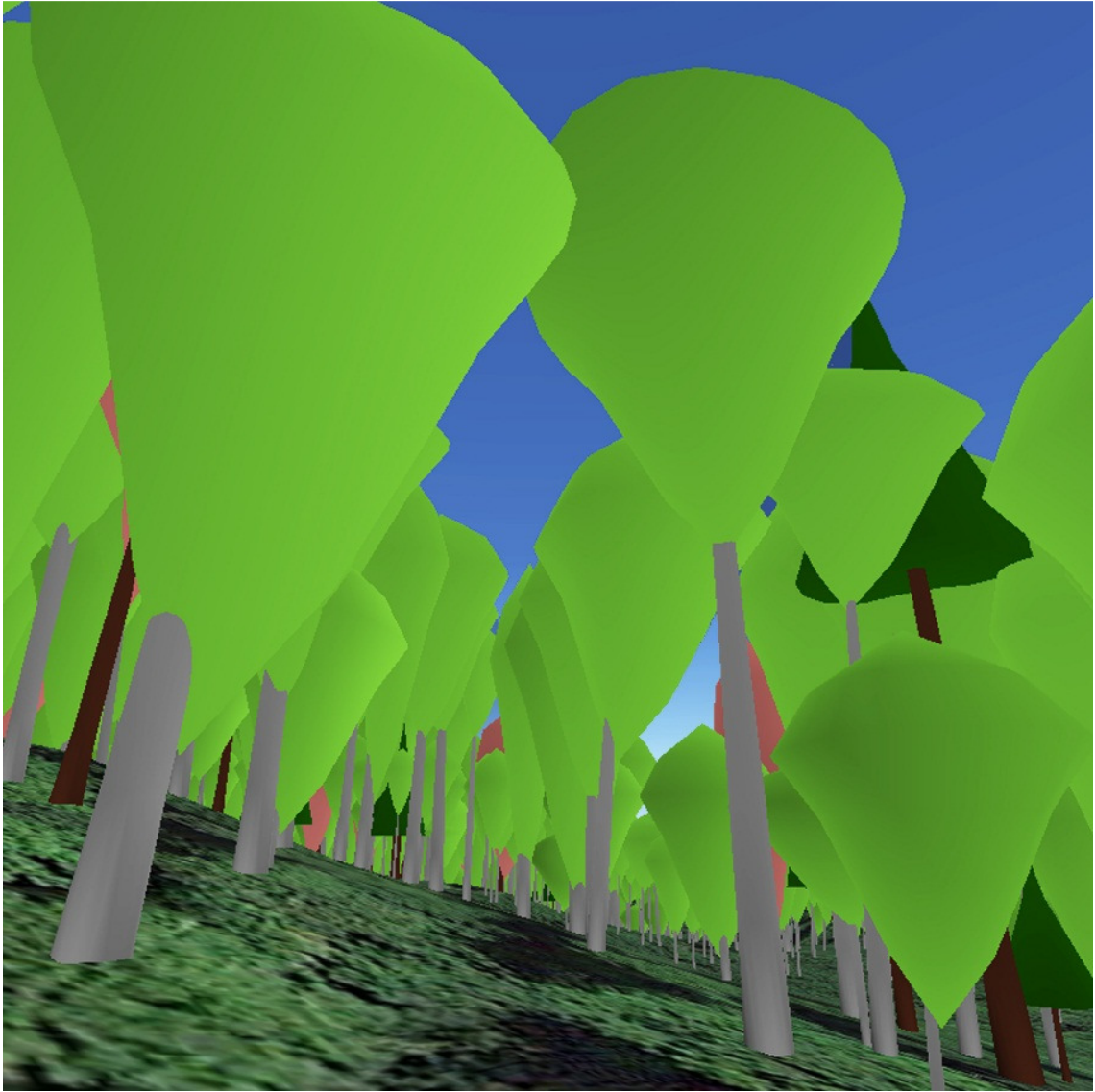
2014. február

2014. március



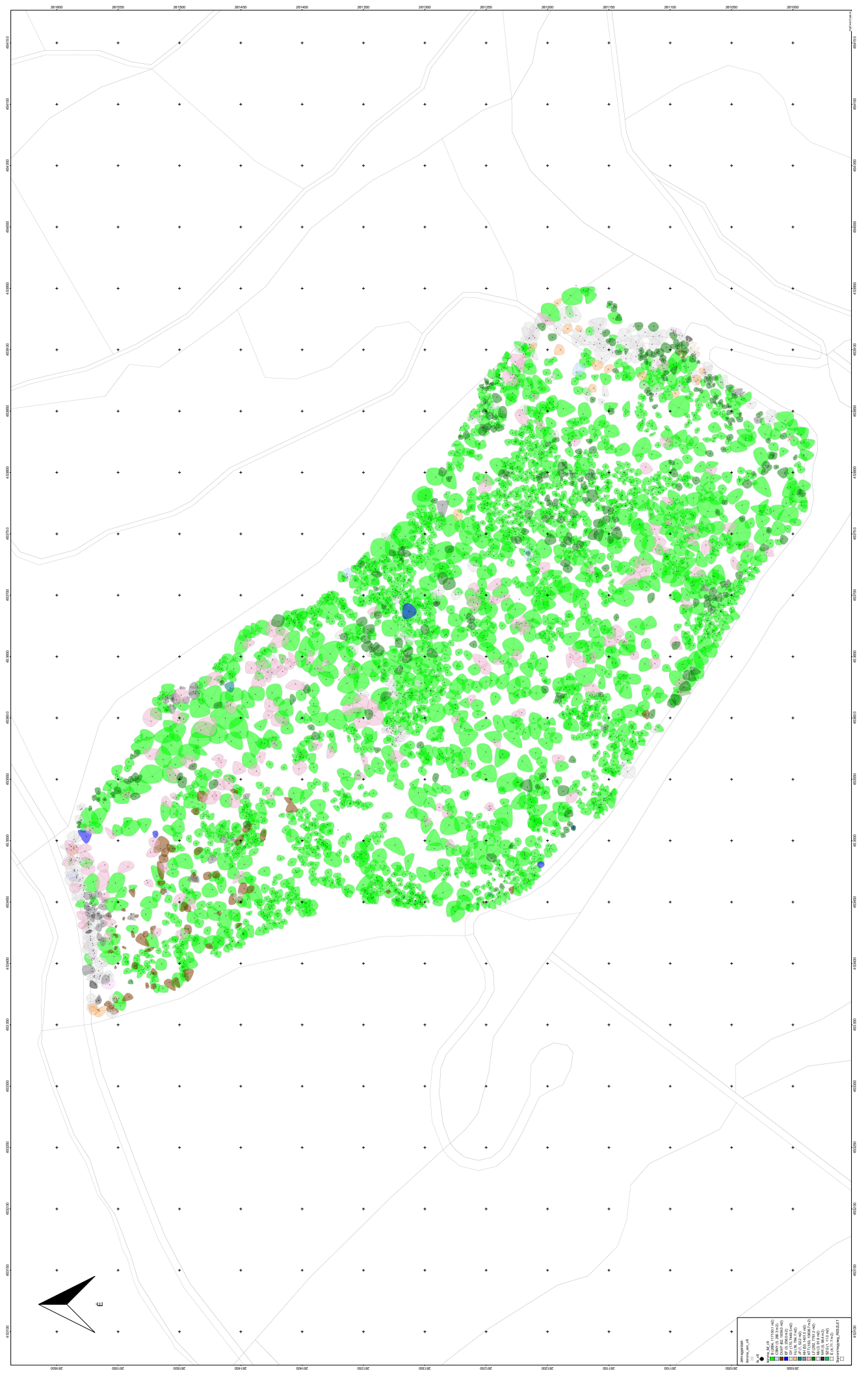
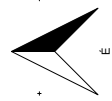


## **VII. Részlet az állomány 3D modelljéből (Barton Iván koronamodellje alapján)**



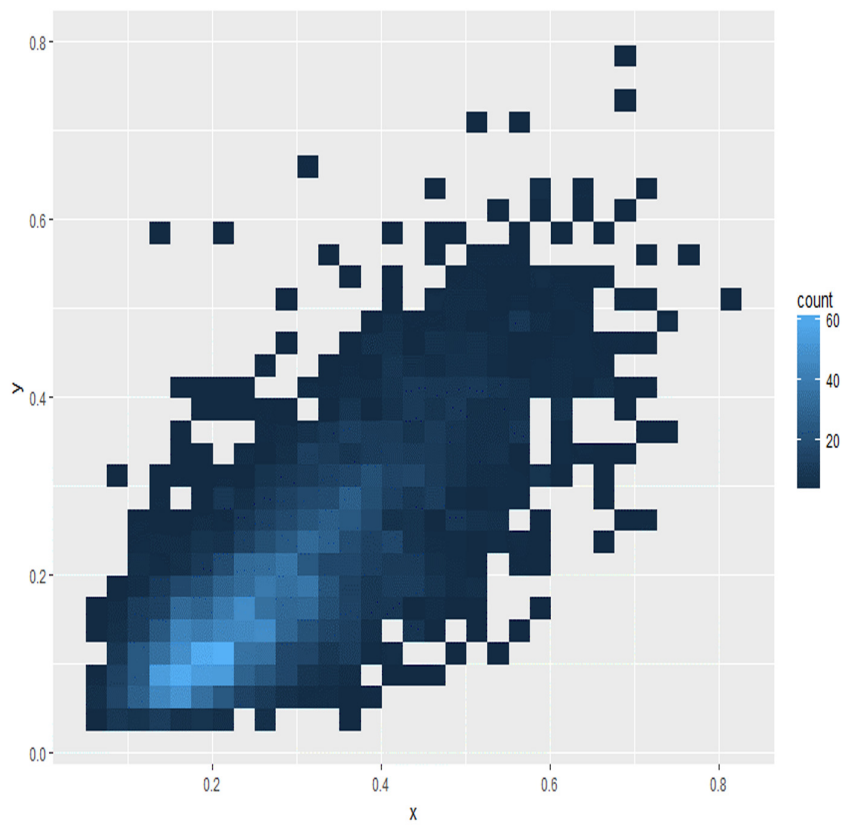
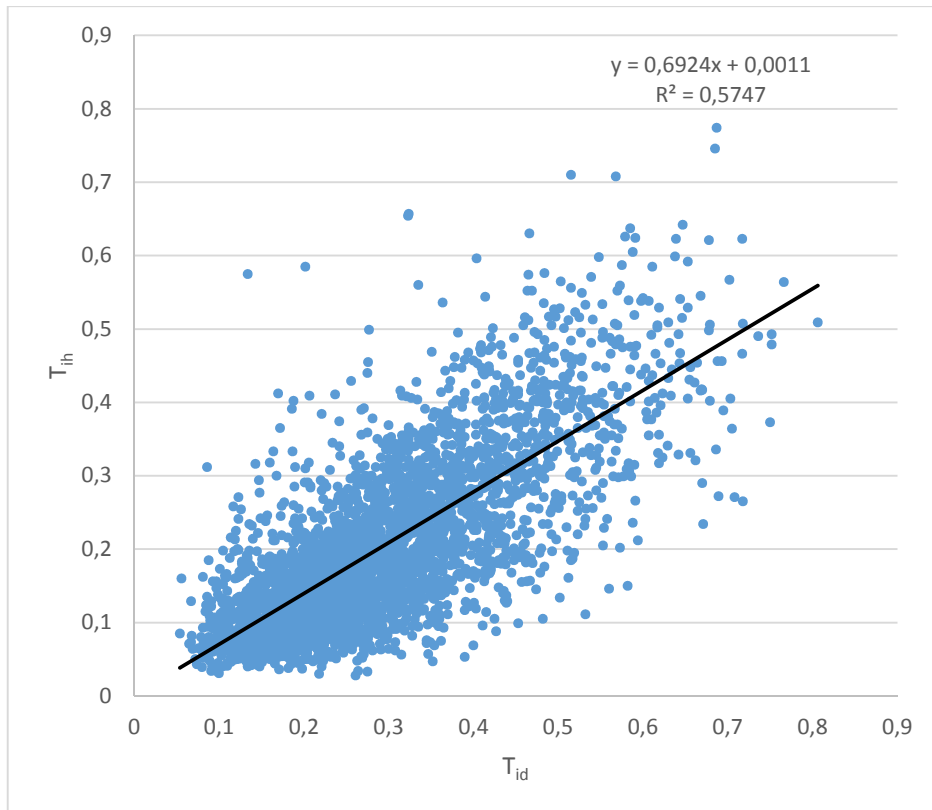
## **VIII. Koronavetület-térkép a teljes területről fajok szerint színezve**

Törzs- és koronaterkép  
(Sopron 182 B)



●	100
●	200
●	300
●	400
●	500
●	600
●	700
●	800
●	900
●	1000
●	1100
●	1200
●	1300
●	1400
●	1500
●	1600
●	1700
●	1800
●	1900
●	2000
●	2100
●	2200
●	2300
●	2400
●	2500
●	2600
●	2700
●	2800
●	2900
●	3000
●	3100
●	3200
●	3300
●	3400
●	3500
●	3600
●	3700
●	3800
●	3900
●	4000
●	4100
●	4200
●	4300
●	4400
●	4500
●	4600
●	4700
●	4800
●	4900
●	5000
●	5100
●	5200
●	5300
●	5400
●	5500
●	5600
●	5700
●	5800
●	5900
●	6000
●	6100
●	6200
●	6300
●	6400
●	6500
●	6600
●	6700
●	6800
●	6900
●	7000
●	7100
●	7200
●	7300
●	7400
●	7500
●	7600
●	7700
●	7800
●	7900
●	8000
●	8100
●	8200
●	8300
●	8400
●	8500
●	8600
●	8700
●	8800
●	8900
●	9000
●	9100
●	9200
●	9300
●	9400
●	9500
●	9600
●	9700
●	9800
●	9900
●	10000

**IX. Az átmérők és magasságok különbözőségi indexeinek ( $T_{id}$ ,  $T_{ih}$ ) korrelációja**

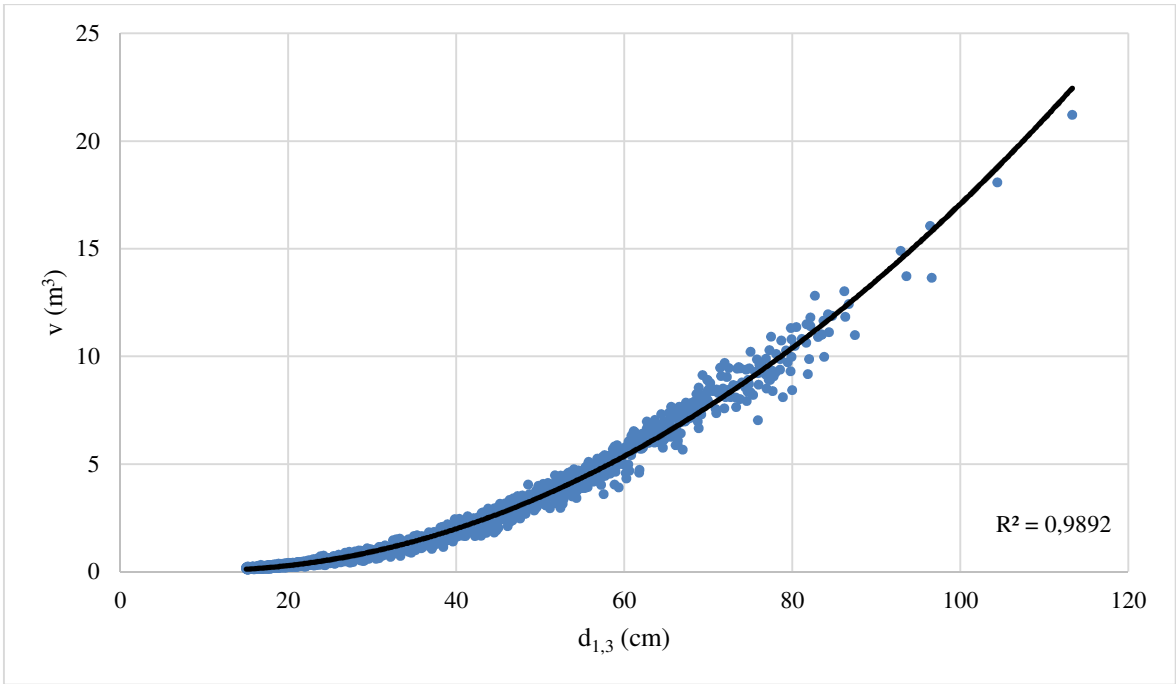


**X. Szükséges mintaterületek száma a részterületre eső törzsszámok relatív szórása alapján (Erdőrendezési útmutató, 2004)**

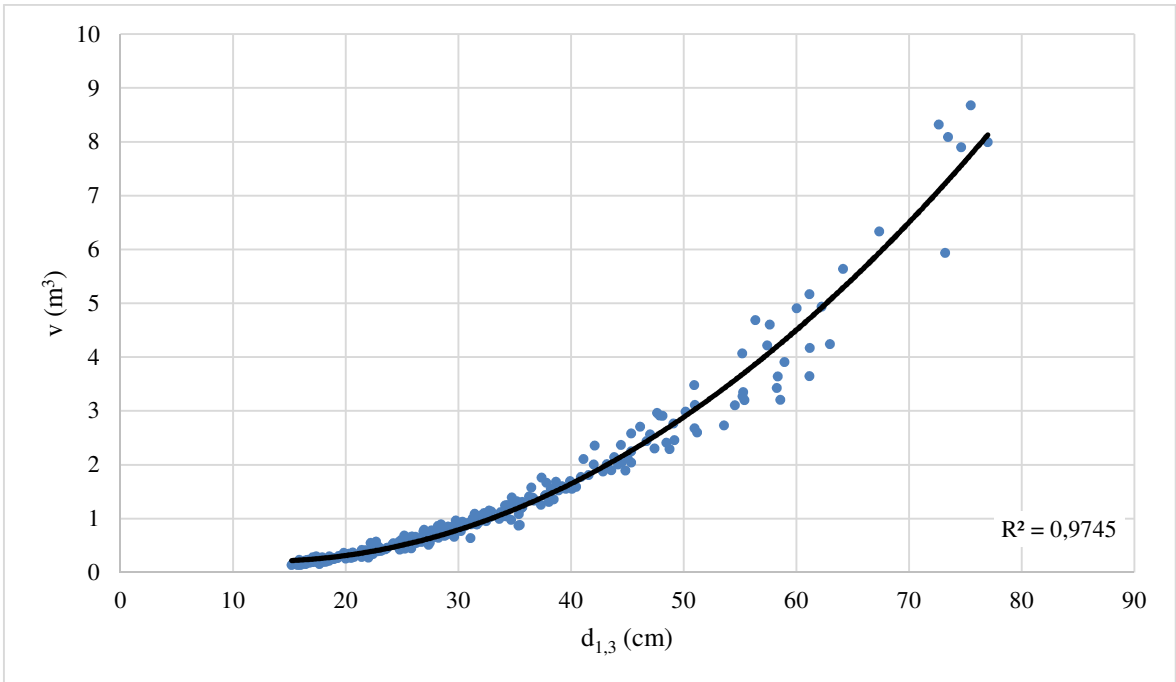
Relatív szórás	Megengedett hiba		
	10 %	15 %	20 %
	Szükséges minták száma		
0,10	6	4	3
0,15	11	6	4
0,20	18	9	6
0,25	26	13	8
0,30	37	18	11
0,35	50	23	14
0,40	64	30	18
0,45	81	37	22
0,50	100	45	26
0,55	120	55	31
0,60	140	65	37



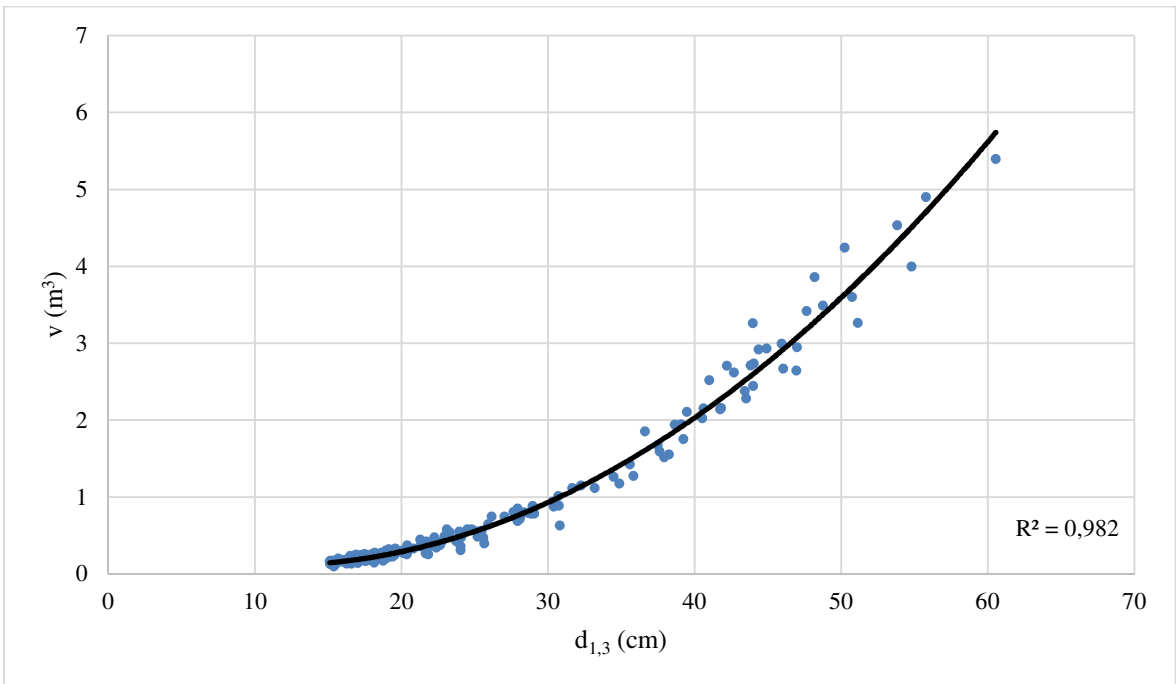
XI. Fatömeg-görbék bükk, lucfenyő, gyertyán, kocsánytalan tölgy, vörösfenyő és  
kislevelű hárs fajokra, polinomiális trendvonal illesztésével



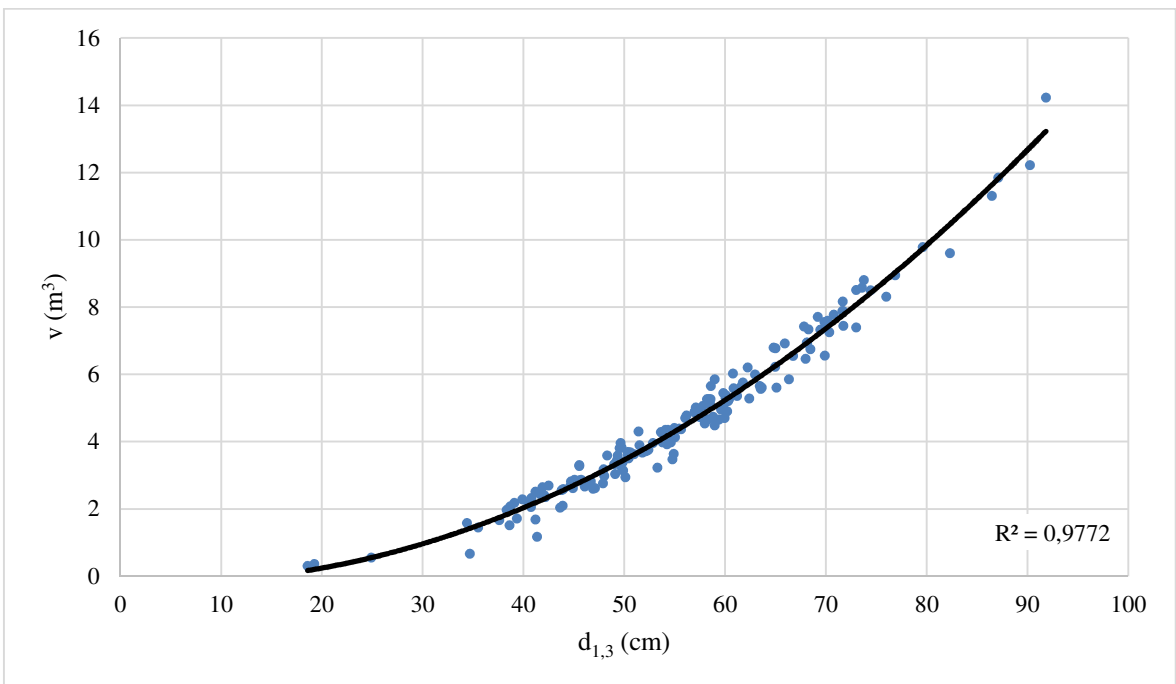
*XI/1. ábra: Bükk fatömeg-görbe*



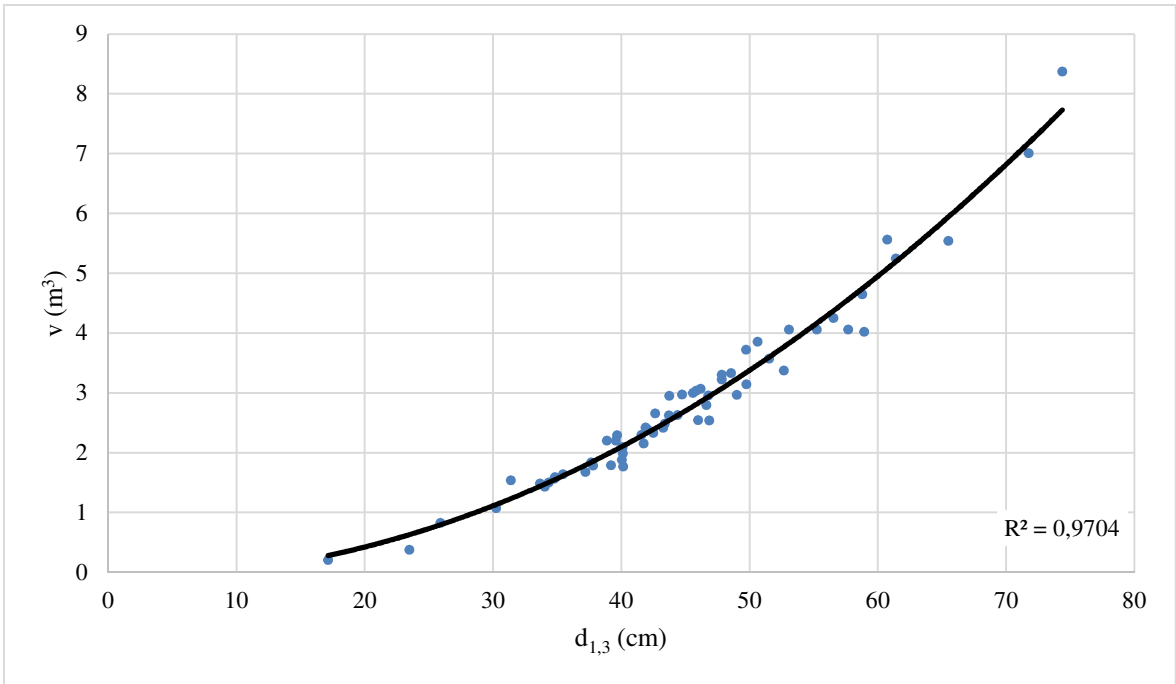
*XI/2. ábra: Lucfenyő fatömeg-görbe*



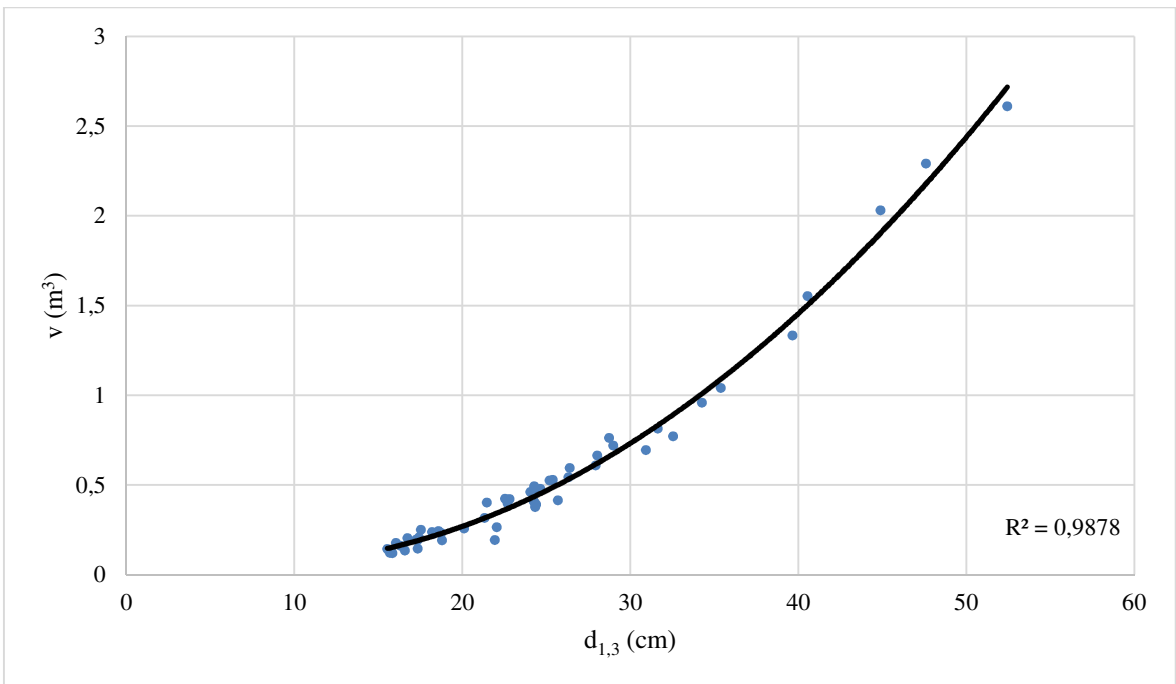
*XI/3. ábra: Gyertyán fatömeg-görbe*



*XI/4. ábra: Kocsánytalan tölgy fatömeg-görbe*



*XI/5. ábra: Vörösfenyő fatömeg-görbe*



*XI/6. ábra: Kislevelű hárs fatömeg-görbe*