

# **DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS**

**Horváth Ferenc**  
**Sopron**  
**2012**

Horváth Ferenc

**MÓDSZERTANI  
FEJLESZTÉSEK AZ ERDŐREZERVÁTUMOK  
HOSSZÚ TÁVÚ FAÁLLOMÁNY-SZERKEZETI KUTATÁSÁHOZ**

Doktori (Ph. D.) értekezés

Témavezető:

Dr. Veperdi Gábor, CSc.

egyetemi docens

Nyugat-Magyarországi Egyetem

Roth Gyula Erdészeti és Tudományok Vadgazdálkodási Doktori Iskola

Erdei ökoszisztémák ökológiája és diverzitása program

Sopron

2012

## MÓDSZERTANI FEJLESZTÉSEK AZ ERDŐREZERVÁTUMOK HOSSZÚ TÁVÚ FAÁLLOMÁNY-SZERKEZETI KUTATÁSÁHOZ

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében a Nyugat-Magyarországi Egyetem,  
Roth Gyula Erdészeti és Tudományok Vadgazdálkodási Doktori Iskola,  
Erdei ökoszisztémák ökológiája és diverzitása programjához tartozóan.

Írta:  
Horváth Ferenc

Témavezető: Dr. Veperdi Gábor, CSc

Elfogadásra javaslom: igen / nem

.....  
(aláírás)

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

Sopron, 2011. június 27.

.....  
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálókét elfogadásra javaslom

Első bíráló (Dr . . . . .) igen / nem

.....  
(aláírás)

Második bíráló (Dr . . . . .) igen / nem

.....  
(aláírás)

Harmadik bíráló (Dr . . . . .) igen / nem

.....  
(aláírás)

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

Sopron, 2012.

.....  
a Bírálóbizottság elnöke

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

.....  
az EDT elnöke

# Tartalom

Kivonat és Abstract .....	3
<b>1. Bevezetés .....</b>	<b>4</b>
<b>2. A dolgozat célkitűzései .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Anyag és módszer .....</b>	<b>8</b>
3.1 A Vár-hegy erdőrezervátum rövid jellemzése .....	9
3.2 A faállomány-szerkezeti (FAÁSZ) felmérés módszerének kialakításánál alkalmazott megoldások .....	14
3.2.1 Kísérleti mintaterület létesítése és összehasonlító módszertani elővizsgálatok terepen .....	15
3.2.2 A faállomány-szerkezet felmérési módszerének kialakítása .....	18
3.3 Elővizsgálati módszerek a hektáronkénti törzsszám és körlapösszeg helyes számításának tisztázásához .....	19
3.3.1 A kettős (kombinált) felmérésből adódó értékelési probléma bemutatása .....	20
3.3.2 Az összehasonlító értékelés módszere valós adatsoron vett szimulált mintavétellel .....	24
3.3.3 Érzékenységvizsgálat .....	27
3.4 A faállomány-szerkezeti típusok meghatározásánál alkalmazott módszerek .....	30
<b>4. Eredmények .....</b>	<b>37</b>
4.1 A hosszú távú vizsgálatsorozat (HTV) módszertani kerete .....	37
4.1.1 Az erdőszerkezet vertikális modellje .....	37
4.1.2 A faállomány-szerkezeti mintázat, az állab, az elemi erdődinamikai egység és a lokális erdőállomány fogalma .....	38
4.1.3 Az ERDŐ+h+á+l+ó .....	41
4.2 Az elővizsgálatok eredményeinek értékelése .....	43
4.2.1 Valós adatsoron, szimulált mintavételi és számítási eljárások eredményeinek összehasonlítása .....	43
4.2.2 Szimulált adatsoron végzett összehasonlító érzékenységvizsgálat eredményeinek értékelése .....	44
4.3 A faállomány-szerkezet felmérésének módszere .....	48
4.3.1 Az MVP FAÁSZ módszer leírása .....	48
4.3.2 Az MVP FAÁSZ módszer adatlapja .....	59

4.4 A hektáronkénti törzsszám (N) és körlapösszeg (G) számításának módszere a kettős (kombinált) mintavétel alapján .....	61
4.4.1 Az MX2523 módszer leírása .....	61
4.4.2 Az MX2523 módszer alkalmazása a Hidegvíz-völgy erdőrezervátum példáján .....	63
4.5 A faállomány-szerkezeti felmérés elsődleges eredményei .....	64
4.6 Értékelés-módszertani fejlesztések: faállomány-szerkezeti típusok meghatározása a Vár-hegy erdőrezervátum példáján .....	65
4.6.1 Ordináció: a faállomány-szerkezeti alapadat-mátrix értékelése .....	66
4.6.2 Osztályozás: a jellemző faállomány-szerkezeti típusok meghatározása .....	70
4.6.3 Értelmezés: a faállomány-szerkezeti típusok jellemzése .....	74
4.6.4 A faállomány-szerkezeti típusok áttekintő elrendezése .....	78
4.7 A területen bekövetkezett főbb zavarások az elmúlt évtizedekben és néhány megfigyelt folyamat .....	80
<b>5. Értékelés .....</b>	<b>83</b>
5.1 A hosszú távú vizsgálsorozat (HTV) módszertani kerete .....	83
5.2 A faállomány-szerkezet felmérésének MVP FAÁSZ módszere .....	84
5.3 A becsült törzsszám (N) és körlapösszeg (G) számításának értékelése ...	90
5.4 Javaslat a faállomány-szerkezet sokváltozós statisztikai, adatfeltáró módszerekkel való értékelésére .....	91
<b>6. Összefoglalás .....</b>	<b>96</b>
<b>7. Summary .....</b>	<b>101</b>
<b>8. Köszönetnyilvánítás .....</b>	<b>108</b>
<b>9. Hivatkozott irodalmak és dokumentumok .....</b>	<b>110</b>
<b>10. Mellékletek (86 oldal) .....</b>	<b>123</b>

**KIVONAT – Módszertani fejlesztések az erdőrezervátumok hosszú távú faállomány-szerkezeti kutatásához** – Milyen, és mekkora kiterjedésű egységekben működik egy természetes faállomány? Az „elemi erdődinamikai egység”-ek tartományát a lékdinamika ökológiai hatóköre jelöli ki. Éppen ilyen, 0,1-0,5 hektáros állományrészekre irányul a faállomány-dinamikai és erdőökológiai megfigyelő hálózat (ERDŐ+h+á+l+ó) mintavételezése.

A faállomány-szerkezet kettős felmérésének és értékelésének új módszere (MX2523) reprezentatív, univerzális és érzékeny, ugyanakkor alacsony költségű. Elég pontos becsléseket szolgáltat az erdők változatosságára és finomszerkezeti típusaira nézve.

Ezzel a módszerrel felmérve a felsőtárkányi Vár-hegy erdőrezervátum 396 pontját, a sokváltozós statisztikai elemzés 17 faállomány-szerkezeti típust mutatott ki. A kiligetesedett tölgyesek, gyertyános-tölgyesek lékeiben elsősorban gyertyán, magas kőris és mezei juhar töltődik be, egyenlőre nem tölgyek. Van egy hasonlóan viselkedő elegyes molyhos tölgyes-cseres típus is. Több állományra jellemző, hogy a megnövekedett fényt egy záródó húsos somos cserjeszint hasznosítja, ugyanakkor több átmenet is látható a cseres és molyhos tölgyesek felé. Más állományokban a gyepszint került uralomra, míg több típus rendkívül elegyes. A zárt, üdébb gyertyános-tölgyes és szubmontán bükkös állományokra még a gyarapodás, növekedés jellemző. A kidolgozott „a posteriori” osztályozási módszertan alkalmas eszköznek bizonyult összetett erdőfejlődési állapotok objektív felismerésében.

**ABSTRACT – Methodological developments to the long term research of stand structure of forest reserves** – What and what size could the „functional” stand units of a natural stand be? The range of „elementary forest dynamic unit” is determined by the ecological impacts of gap processes. The sampling of the stand dynamic and ecological observation network (FOREST+n+e+t) was designed to carry out right in this dimension.

The new method (MX2523) of stand survey is representative, universal, sensitive and low cost at the same time. It could provide good estimations on variability and appropriate types of forest stand structure.

The multivariate statistical analysis of 396 samples of Vár-hegy forest reserve revealed 17 characteristic stand structure types. In oak dominated woods and oak-hornbeam forests, the gaps are filled chiefly by hornbeam, common ash and field maple, not oaks temporarily. There is a mixed white oak - Turkey oak type displaying similar dynamics. In several stands, the increased amount of light due to opening is utilized by a closed shrub layer of cornelian cherry, while transitions to Turkey oak and white oak stands are also apparent. Other stands, however, are dominated by dense grassy layer. The closed oak - hornbeam and submontane beech stands are in state of growth. The „a posteriori” classification according to the applied workflow is proved to be an objective tool to discover complex stand developmental phases.

## 1. Bevezetés

Az Erdőrezervátum Program Magyarországon viszonylag későn, a 90-es évek elején indult (Kovács 1991, Agócs 1992, Halupa 1992, Holdampf 1992, Mátyás 1992, 1993, Somogyi és Halupa 1993, Temesi 1993). A programot valójában egy rendkívül aktív civil erdészmozgalom készítette elő (Agócs 1990, Czájlik 1989, 1990a, 1990b, 1990c, 1990d, 1991, Kalivoda 1990, 3581/1991 kormányhatározat, 30/1991 OGY határozat, Czájlik és mtsai 1993). Az előkészítés, valamint a program első korszaka az alapvető fogalmak meghatározásával, az erdőrezervátum-hálózat kijelölésével és a jogi és szervezeti háttér, valamint a védettség feltételeinek megteremtésével telt (Czájlik 1994, 1996. évi LIII., LIV. és LV. törvény, 88/2000 FVM rendelet, 1-4/2000 KöM rendeletek, 13-17/2000 KöM rendeletek, Temesi 2001, Temesi és mtsai 2002), amely folyamat bizonyos fokig mind a mai napig tart (6/2004 KvVM utasítás, 11-12, 29/2007 KvVM rendeletek, 19/2008 KvVM rendelet, 4/2009 KvVM rendelet). A program két fő vezérfonala: az erdőrezervátumok védettségének és az erdőgazdálkodás beszüntetésének biztosítása a magterületeken, valamint a hosszú távú kutatások elindítása és finanszírozása.

A kutatás-módszertan kialakításának első próbálkozásai a Vásárhelyi István Természetvédelmi Kör kutatótáborában születtek (Czájlik 1993, 1999). Ezzel párhuzamosan egy KTM megbízás alapján az ERTI tervezett meg állandó mintaterületekre alapozott felmérési módszert (Somogyi és Halupa 1993, Solymos 1994, majd Führer 1998a). A módszertan kialakításának ösztönzésére a KTM-FM Országos Erdőrezervátum Bizottság, 1993-ban – széles szakmai nyilvánosság bevonásával – megszervezte a II. Erdőrezervátum Workshop<sup>1</sup>-ot Gyöngyösön (Solymos 1994, Czájlik 2009). Ennek keretében több szakmai javaslat született az erdőrezervátumokban folytatandó vizsgálatokra vonatkozóan (kutatási kérdések – Somogyi 1993, 1994a, termőhelyökológia – Somogyi 1994b, botanika – Hahn és Standovár 1994, zoológia – Varga 1993, Ronkay és mtsai 1993). A kutatási elképzelések harmonizálására és kipróbálására mégsem került sor (részben azért, mert a fő hangsúly ebben az időszakban a jogszabályi feltételek megteremtésén és a tervezett erdőrezervátum-hálózat kijelölésén és védelem alá helyezésének előkészítésén volt (Temesi 1993). Ezidőtájt egy széleskörű európai együttműködés alakult a COST Action E4 keretében az erdőrezervátum-kutatás európai hálózatának megteremtésére (Parviainen 1999, Parviainen et al. 2000, Standovár 2002a). A második munkacsoport foglalkozott kutatómódszertani kérdésekkel. Egyik céljuk az erdőrezervátumokban folytatott kutatások célkitűzéseinek

<sup>1</sup> Az elsőt Sopronban rendezték meg 1992-ben, amelyről egy kéziratos feljegyzés maradt fenn (Mátyás 1992).

áttekintése és harmonizálása, másik céljuk a nemzeti erdőrezervátum-kutatások „közös nevezőjének” vagyis egy minimum kutatási programnak a meghatározása volt. Legfőbb ajánlasként fogalmazták meg a kutatás irányára: „... to describe the forest stand structure (including dead wood), shrub layer, regeneration layer and ground vegetation, in such a way as to be able to repeat the measurements, and therefore to be able to observe, analyse and compare regeneration and stand structure development through time” (Hochbichler et al. 2000). A sok vita után a főbb alapelvekben született csak megegyezés<sup>2</sup>, de azért a munkacsoport közzétett egy részletesen kidolgozott módszertani ajánlást is (Hochbichler et al. 2000). Ezt Standovár (2002) önmagában nem tartotta kielégítőnek a spontán erdőfejlődés folyamatainak és következményeinek megértése szempontjából, de az említett ajánlás nem is tűzött ki maga elé többet<sup>3</sup>, mint: „... to present some recommendations on the methods to be used in the establishment and design of stand inventories, as a basis for research in forest reserves”. Mindezek (a hazai előzmények, valamint a hazai és COST E4 tapasztalatok) alapján egy stratégiai és módszertani összefoglaló munka kezdődött el a KvVM Természetvédelmi Hivatalának megbízásából, amelyet Borhidi Attila koordinált. Ennek eredményeként született meg „A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei” című könyv (Horváth és Borhidi 2002). Ez a munka több, korábban vitatott gondolatot tisztázott, megszabta a fő célkitűzések körét (Bartha és mtsai 2002, Somogyi 2002, Standovár 2002b), a további kutatások stratégiáját (Czájlik 2002b, Standovár 2002b) és módszertani irányát (Czájlik és Horváth 2002, Oroszi és Bölöni 2002, Czájlik és Somogyi 2002, Bidló és mtsai 2002, Standovár és Hahn 2002, Traser 2002), továbbá összeállította az erdőrezervátumok kutatásszempontú besorolását és rövid jellemzését az 1998/99-es országos felmérés eredményei alapján (Horváth és Bölöni 2002). Bár határozott lépéseket tett a kutatási területek és módszerek meghatározása és illesztése felé (Horváth és Czájlik 2002), de nem jutott el az operatív részletek kidolgozásáig és összehangolásáig<sup>4</sup>.

Néhány éven keresztül – a Természetvédelmi Hivatal igénye és szándéka szerint, a kijelölt erdőrezervátumok védetté nyilvánításának előkészítése és támogatása érdekében – hosszú távú fenntartási tervek (HFT) készültek (Horváth és mtsai 1999, Kiss és Schmidt 1999, Csáky 2000, Czájlik és mtsai 2000, Jelítai és Lehoczky 2000, Lehoczky és mtsai 2000, 2002, Sára 2000, Szmorad 2000a, 2000b, Antli és Lehoczky 2002, Dani és Lehoczky 2004).

<sup>2</sup> Ezen nem nagyon csodálkozhatunk, hiszen a tajgától, a mediterránig, az atlantikustól a magashegységi viszonyokig, a nagykiterjedésű érintetlen erdőségektől a csak természet-szerűnek tekinthető állomány-töredékekig terjed a paletta (Parviainen et al 1999).

<sup>3</sup> A munkacsoport eredeti célkitűzése ennél ambíciózusabb volt: „... to standardise the methods used in scientific research in natural forests, in order to facilitate the comparison of data between countries” – ugyanott.

<sup>4</sup> A könyv szerkezetének rendjén belül, a fejezetek szövegében érdekes párhuzamosságok, néhol pedig ellentmondások is mutatkoznak.



Kiválasztott erdőrezervátumaink felmérésének megkezdése előtt még fontos kérdéseket kellett eldönteni, elsősorban a stratégiába illeszkedő általános mintavételi tervet, a faállomány-szerkezet felmérésének egységes módszerét, valamint a többi módszertani modulokkal való illesztését. Ezt a munkát 2003 és 2009 között végeztük. Kiemelt hangsúlyt fektettünk a javasolt módszerek kiterjedt terepi tesztelésére és a tapasztalatok rendszeres, széles körű megvitatására. Mindezek eredményeképpen:

- 2004 nyarán megerősítettük a hosszú távú vizsgálatsorozat keretében a magterületek szisztematikus hálózat szerinti felmérését, amelyet Hochbichler et al. (2000) és Czajlik (2002a) is javasolt. Ezt a rendszert „ERDŐ+h+á+I+ó – faállomány-dinamikai és erdőökológiai megfigyelő-hálózat”-nak neveztem el.
- A 2004. júniusi 3-4-i találkozáson eldőlt a faállomány-szerkezet felmérési módszerének alapvető koncepciója: a mintavételi pontok körüli kettős (kombinált) mintavétel.
- A viták során vált nyilvánvalóvá, hogy az erdőrezervátum-kutatás faállomány felfogása (ennek következtében pedig vizsgálati és értékelési módszere) a hagyományos erdőrendezési koncepciótól eltér (3.3. fejezet).
- A felmérés részletei a következő évek tereptapasztalatai, vitái és a többi felmérési modullal történő egyeztetések során jelentősen változtak, legfőként egyszerűsödtek (4.2. fejezet). A kettős (kombinált) mintavétel eredményeiből való számítások módszerét a 4.3 fejezetben adom meg<sup>5</sup>.
- A fekvő holtfa felmérésének módszerét Ódor Péter javaslata alapján 2005 óta alkalmazzuk (Ódor 2005).
- A lágyszárú szint felmérésének és értékelésének módszerét Ódor és mtsai (2008) javaslatára kezdtük el tesztelni, amely később átdolgozásra került (Ódor és mtsai 2009).
- Az újulati és cserjeszint felmérésére 2008-ban tettem javaslatot (Horváth 2008a), amelyet a tesztelés során egyszerűsítettem és a többi módszerhez illesztettem (Horváth 2009).

Mindezzel, az erdőrezervátumok hosszú távú vizsgálatsorozatában (HTV) a koncepció kialakításának, a módszertani modulok fejlesztésének, tesztelésének és vitáinak korszaka lezárult és elkezdődött egyre több terület felmérése (nem tagadva ugyanakkor, hogy újabb módszertani fejlesztések továbbra is szükségesek lesznek, amelyeket időről időre be fogunk építeni vizsgálataink sorába).

---

<sup>5</sup> Talán meglepő, hogy a szakmai szempontból hiteles megoldásra csak 2009. őszén jöttem rá, pedig ezzel a problémával korábban több alkalommal is foglalkoztunk.

## 2. A dolgozat célkitűzései

Az elmúlt néhány évben alapvető módszertani fejlesztéseken dolgoztunk. Ezeket az erdőrezervátum-kutatás stratégiájának keretébe illesztve végeztük. A módszertan részleteit a kezdetektől fogva, munkacsoportos keretekben, szakértők bevonásával, érdemi viták során dolgoztuk ki és fejlesztettük tovább, miközben azokat kiterjedt terepi tesztelésnek és értékelésnek vetettük alá.

A dolgozat célkitűzései:

- a *hosszú távú vizsgálatsorozat*<sup>6</sup> (HTV) széleskörű egyeztetések során kialakított módszertani keretének bemutatása,
- a faállomány-szerkezet felmérési módszerének<sup>7</sup> indoklása és részletes dokumentálása,
- a faállomány-szerkezeti adatsorok feldolgozásával, a lokális állományok hektáronkénti törzsszámának (N) és körlapösszegének (G) becslésével kapcsolatos nyitott kérdések megoldása,
- javaslat kidolgozása a faállomány-szerkezet erdőrezervátum szintű értékelésének módszertanára.

Csak azokat a módszertani fejlesztéseket foglalom össze, amelyek kidolgozásának csoportmunkáját vezettem és/vagy amelynek kidolgozásában meghatározó szerepem volt, ill. amelyeket magam végeztem el.

<sup>6</sup> A „hosszú távú vizsgálatsorozat” hangsúlyozása azért fontos, mert az erdőrezervátum-kutatás stratégiájának ez csak az egyik (bár a legfontosabbnak tekinthető) megközelítési módja (lásd Standovár 2002b).

<sup>7</sup> Az MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézetének ER Tudományos Tanácsadó Testületében számos egyeztetés után sem sikerült teljes konszenzusra jutni. A módszert a felmerült kritikák nyomására, nagy mértékben – sőt, inkább úgy fogalmaznék, hogy az ésszerű lehetőségek határáig – egyszerűsítettük. Természetesen további „egyszerűsítés” is lehetséges, azonban azt már más módszernek kellene tekinteni. Érdekes ugyanakkor megemlítenem, hogy nem csupán egyszerűsítő véleményeket kaptunk és tárgyaltunk, hanem éppen ellenkezőleg: a felmérést részletesebb irányba módosító javaslatokat is. A viták parttalanná válása és elhúzódása lényegében ellehetetlenítette és zátonyra futtatta volna az eredeti szándékot. Fontosabb és operatívabb volt egy elfogadható kompromisszum birtokában elkezdni a munkát (további részletek az ER Archívumában találhatóak, a megbeszélések emlékeztetőiben és a kapcsolódó dokumentumaiban).

### 3. Anyag és módszer

A felmérési módszereket négy magterületen, a Vár-hegy, a Hidegvíz-völgy, a Kékes és a Szalafő erdőrezervátumokban (1. ábra) létesített ERDŐ+h+a+l+ó mintavételi pontjaiban teszteltük. Itt a faállományok változatosságát és a hazai viszonyok általános reprezentáltságát az erdőtípusok és a felhagyottsági típusok eloszlásainak bemutatásával illusztrálom. Az adatok az 1998/99-es országos szemlézés adatbázisából származnak (Mázsa és Borhidi 2003). Az erdőtípusok szerinti megoszlás erre a négy rezervátumra Bartha és Esztó (2001) besorolása szerint:

○ középhegységi, dombvidéki gyertyános-kocsánytalan tölgyesek	177,3 ha
○ középhegységi és dombvidéki cseres-kocsánytalan tölgyesek	65,8 ha
○ középhegységi és dombvidéki bükkösök	65,3 ha
○ mészkedvelő, molyhos tölgyesek	39,1 ha
○ nyugat-dunántúli erdeifenyő elegendő tölgyesek	36,9 ha
○ magashegységi bükkösök	24,1 ha
○ szurdokerdők	7,8 ha
○ sziklaerdők	4,1 ha
○ mészkerülő bükkösök	1,7 ha
○ a potenciális erdőtípustól eltérő (átalakított) állományok	109,9 ha

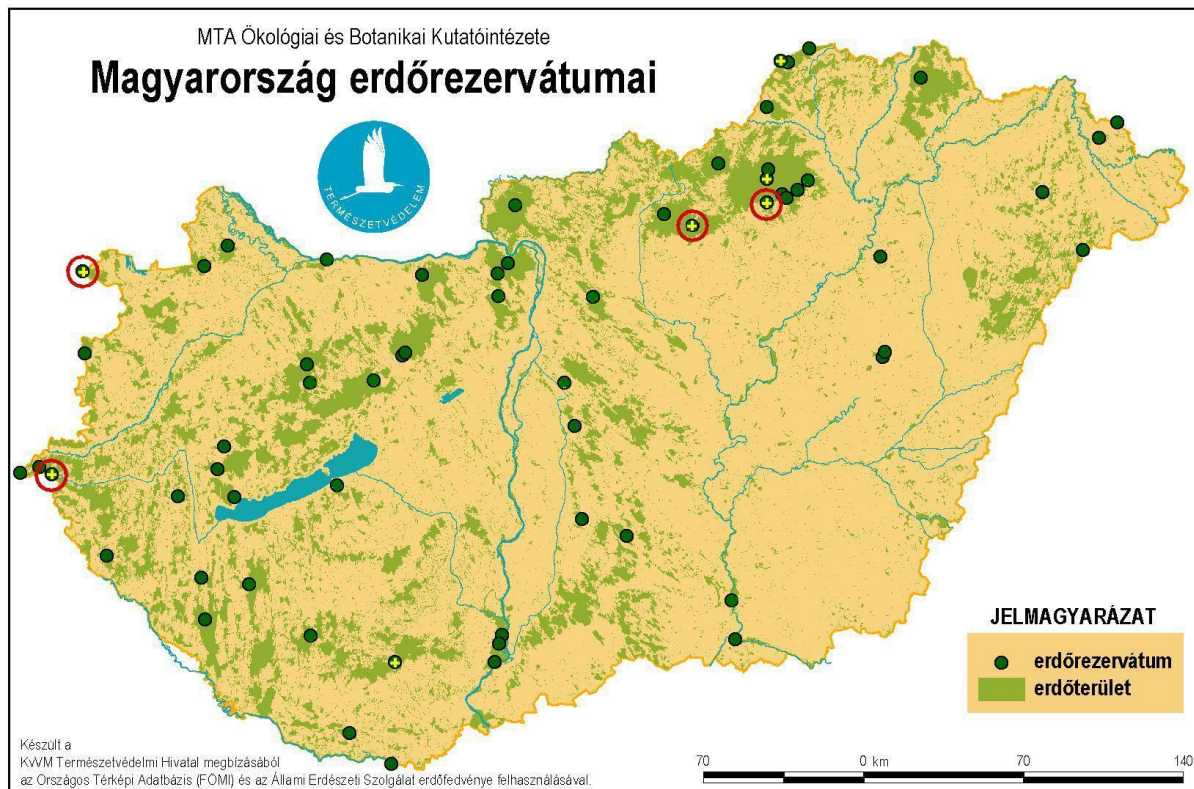
A felhagyottsági típusok Czajlik (2002c) faállomány-szerkezeti minősítési kategóriáival (1998/99-es állapot):

○ kezelt, gazdasági erdő	321,1 ha
○ régen kezelt középkorú / öreg gazdasági erdő	40,2 ha
○ felhagyott erdő	123,9 ha
○ zavartalan erdő	25,4 ha
○ spontán szukcessziós erdő	9,9 ha
○ nem erdő állomány	11,5 ha

Az erdőtípusokból ugyan hiányoznak az erdőssztyep-erdők, a ligeterdők és a láperdők, de a tesztelés alá vont állományok sokfélesége igen nagy részét reprezentálja az erdőrezervátum-hálózatban lehetséges faállomány-szerkezeti változatosságnak.

Az említett erdőrezervátumokból személyesen a Vár-hegy faállomány-szerkezeti (FAÁSZ), újulati és cserjeszint (ÚJCS), valamint aljnövényzeti (ANÖV) felmérését irányítottam (Horváth 2008b). Ennek keretében 104 mintavételi pont FAÁSZ felmérését végeztem (amelyből 13-at egyedül, a többi párban dolgozva), további 15 mintavételi pont FAÁSZ felmérésében a jegy-

zőkönyvet vezettem. Az újulati és cserjeszint felmérésekor 120 mintavételi pontban felmérésként dolgoztam (amelyből 37-et egyedül, a többit páros vagy hármas felállásban), további 23 mintavételi pont ÚJCS felmérésében a jegyzőkönyvet vezettem. Ez összesen 119 FAÁSZ felmérés és 143 ÚJCS felmérés a mindösszesen 408 mintavételi pontból<sup>8</sup>.



**1. ábra** Magyarország erdőrezervátumai. A módszerek tesztelésébe bevont felsőtárkányi Vár-hegy (Bükk), Kékes (Mátra), Hidegvíz-völgy (Soproni-hg.) és Szalafő Őserdő (Őrség) erdőrezervátumokat piros körökkel jelzem.

### 3.1 A Vár-hegy erdőrezervátum rövid jellemzése

A módszertani fejlesztések terepi kipróbálása, tesztelése elsősorban itt történt, a faállomány-szerkezet értékelésének módszerét is a Vár-hegy felmérési adatsorán mutatom be, ezért ezt a rezervátumot röviden jellemzem.

A Vár-hegy erdőrezervátum magterülete 94,1 ha, amely három részterületből áll (Vár-hegy – Nagy-Oltár, „középső rész” és Csák-pilis-lápa), és amely a Déli-Bükk Felsőtárkány – Eger

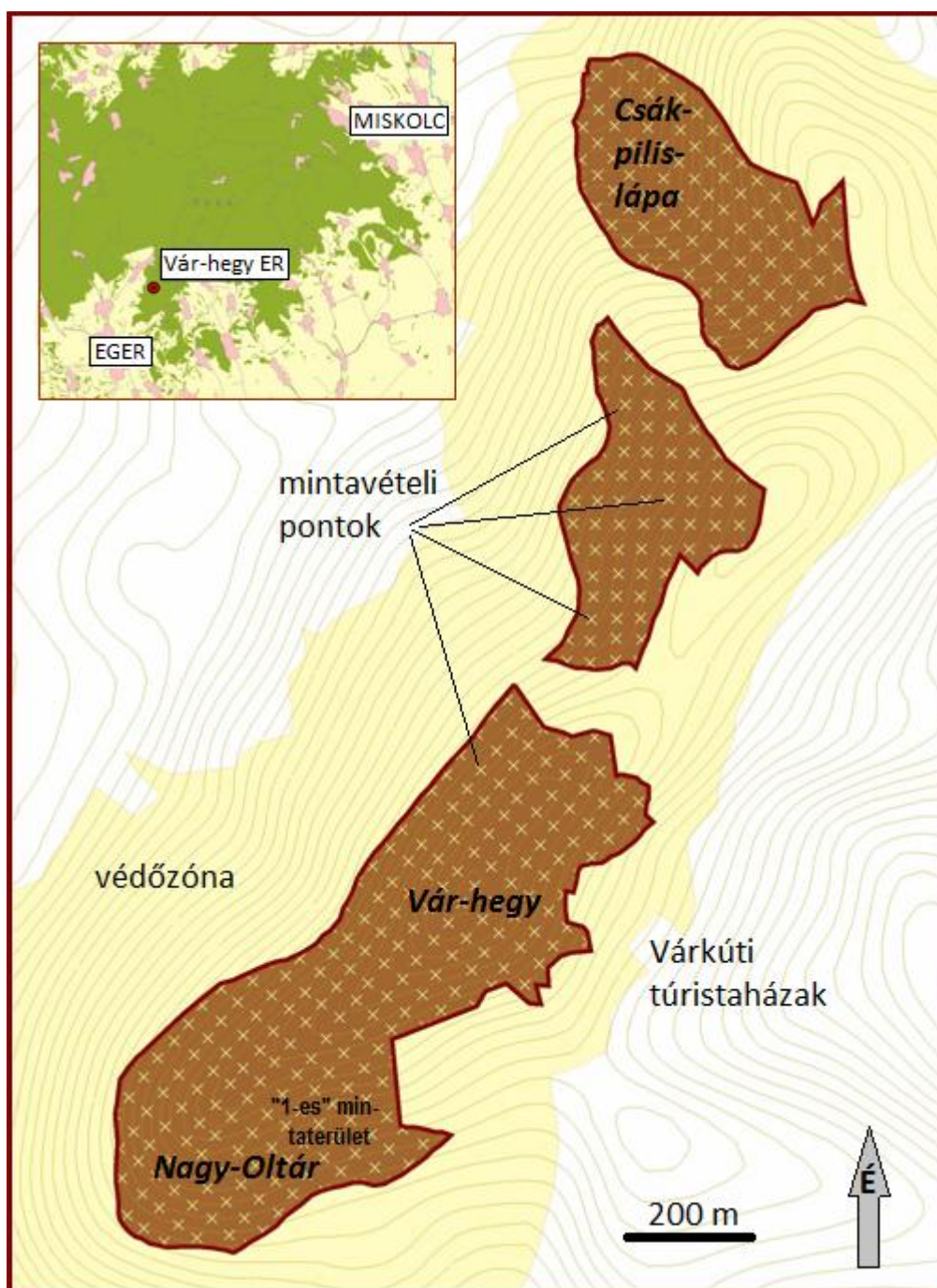
<sup>8</sup> Az aljnövényzeti felmérés egyéni kimutatását azért nem említem, mert annak módszerét Ódor Péter, Standovár Tibor és Bölöni János dolgozta ki, amit ebben a dolgozatban nem részletezek.

közötti, D-DNy felé húzódó hegyvonulatán található (2. ábra). Legmagasabb pontja 669 m, legalacsonyabb pontja Felsőtárkány, Csák-pilisnél 350 m, a Nagy-Oltár gerinc lefutásánál 500 m, Várkútnál pedig 525 m. A Vár-hegy – Nagy-Oltár rész magába foglalja a hegy csúcsát, gerincét és orrát, valamint a K-DK-i, D-i és Ny-ÉNy-i hegyoldalakat és a nagyegedi vonulat felé átvezető oldalgerincet, le egészen a 60-as évek végén készített erdészeti feltáró útig. A középső részt a vonulat Ny-ÉNy-i lejtőjén jelölték ki, míg a Csák-pilis-lápa rész Felsőtárkány felett indul és magába foglalja az oldalvölgyet és völgyfőjét, egészen a hegyvonulat ellaposodó nyergéig. A hegyoldal Várkút felett a legmeredekebb, itt helyenként 40 fok körüli kőgörgeteges oldalakat találunk, ahol a terepmunka rendkívül nehéz, de a Csák-pilis-lápa DNy-ra néző lejtői is hasonló meredekségűek. A terület járhatósága – fenti kivételektől és helyenként a sűrű cserje-bozótól eltekintve – közepesen nehéz.

A terület termőhelyi viszonyait Bidló és mtsai (2004) részletesen vizsgálták, ill. térképezték (Juhász 2006). Eredményeik alapján pontosan tudjuk, hogy termőhelyi, talajtani szempontból is milyen változatos a rezervátum. A hegy fő tömegét triász korú szürke, tűzköves mészkő alkotja, helyenként dolomittal, valamint fehér mészkő, vörös kovapala- és tűzkőrétegekkel. A Vár-hegy gyertyános-tölgyes makroklimával jellemezhető, azonban a változatos domborzat az É-ÉNy-i kitétségekben bükkös, a délies kitétségekben viszont sokkal szárazabb tölgyes, ill. cseres mezoklimát eredményez. Bidló és mtsai (2004) 18 talajszelvényből 5 esetben lejtőhordalék talajt, 4 esetben agyagbemosódásos barna erdőtalajt, 2-2 barna rendzina és fekete rendzina talajt, továbbá 1-1 vöröstasyagos rendzinát, humuszkarbonátos talajt, sziklás, köves váztalajt, savanyú, nem podzolos barna erdőtalajt és egy barnaföld típusú talajszelvényt írtak le. A talajszondás térképezés további 5 típust írt le, amelyek lejtőhordalék talajjal képzett átmenetek. A lejtőhordalék talajok és átmeneteinek nagy területaránya a jelentős mértékű eróziós folyamatok következménye, amely részben a domborzat miatt áll fenn, részben pedig a vaskori – középkori erődítmény (Chikán 1961 in Mokos 2003) építésével, használatával és leomlásával, leromlásával van kapcsolatban.

A terület erdőtörténetét Mázsa és mtsai (2009) alapján foglalom össze, amelyhez elsősorban erdészeti üzemterveket, kataszteri, birtoktérképeket és levéltári dokumentumokat használtunk fel. Az erdőrezervátum területe az Egri Érseki Uradalom felsőtárkányi erdőbirtokához tartozott egy 1261-es birtoklevél szerint, egészen 1945-ig, amikor a birtokot államosították. A mai erdőkép kialakulását négy korszak eseményei határozták meg: 1) az üzemtervezést megelőző használat, 2) az 1887-es üzemterv által meghatározott erdőkezelés, 3) a II. világháború alatti használat, majd az állami erdő üzemtervezése által meghatározott gazdálkodás, valamint 4) a védetté és erdőrezervátummá nyilvánítást követő időszak eseményei. Az 1880-as éveket megelőző időszakban, az uradalmi önellátás igényeinek (faszén, mész-

égetés, tűzifa, kerégyártó és bognárfa, épület- és szerszámfa) megfelelő fahasználatot végeztek, elsősorban a könnyebb szállítást biztosító területeken. Az elegyes állományokból



**2. ábra** A Vár-hegy erdőrezervátum áttekintő térképe

a tölgyeket többnyire kiszálalták, de makktermő fákat hagytak. Ezért az erdő középerdő jellegét mutatott. A hagyásfák legtöbbször 1922-ben kivágták. A gerinc közeli, feltáratlan részeken a hagyásfák mindmáig fennmaradtak (nagy részük pusztulóban van, odvas, törzstörött vagy már fekvő holtfa). Az első üzemterv 1887-ben készült, amely itt 10-20 éves, fiatalos

állományokat említ és 80 éves vágásfordulót tervezett. A terület faállományát tehát nem sokkal korábban levágták. Ez az 1870-80 körül felújított, jelentős részben sarj eredetű tölgyes, kisebb arányban bükkös állomány alkotja ma az erdőrezervátum magterületének uralkodó, 130 éves faállományát. Ebben a korosztályban a kocsánytalan tölgy, a cser és a molyhos tölgy dominál. Az üzemterv hangsúlyozza, hogy a felújítások során biztosítani kell a tölgy dominanciáját, ezért a gyertyánt és a bükköt a nevelővágások során visszaszorították. A következő üzemterv 1953-ban készült. Az üzemterv szerint a II. világháború időszakában az illegális fakitermelés jellemző lehetett. A mai erdőállomány 60-70 éves korosztálya egyrészt az 1950-es évek pótlásaiból, másrészt azonban az illegális fakitermelését követő természetes felújulásból származik. Az utolsó üzemterv szerinti beavatkozásokra az 1960-as évek végén került sor: a 200A és B részletben növedékfokozó gyérítést végeztek. Ekkor épült meg e két erdőrészletet elválasztó feltáró út is. Az 1960-70-es években az üzemtervek problémaként jelzik, hogy aránytalanul magas a vágásérett állományok fatömege és területe. A magas vadlétszám annyira megnehezítette a felújítást, hogy a gazdálkodó sok esetben inkább a végvágások halasztása mellett döntött (viszont a gyérítések mértékét növelte). A vadsűrűség később sem csökkent, továbbra is elmaradtak vagy halasztódtak a véghasználatok. E mellett, a 80-as években itt is fellépett a tölgypusztulás (Szepesi 1997). A ligetesedő tölgyerdőkben a lékeket elsősorban a mezei juhar, a magas kőris és egyéb elegyfák töltötték be. Az erdőtömb további sorsát a Bükki Nemzeti Park megalakítása (1986), és az 1993-as erdőrezervátumnak való jelölés döntötte el. Az erdőrezervátum mai státuszát a 3/2000 KöM miniszteri rendelet határozza meg. Az utolsó jelentősebb erdészeti beavatkozás (a tölgypusztulást követő egészségügyi gyérítés a terület egy részén), az 1980-as évek végén történt.

Az erdők döntően elegyesek, Bölöni és mtsai (2007) osztályozása alapján az itt előforduló élőhelykategóriák a fényben gazdag, száraz cseres-kocsánytalan tölgyes (Á-NÉR kód: L2a), az üde gyertyános-kocsánytalan tölgyes (K2), helyenként a (szubmontán) bükkös (K5), a mész- és melegkedvelő tölgyesek (L1), a szélsőségesen meleg, sekélytalajú hegyorrokon, meredek oldalakon letörpülő molyhos tölgyes bokorerdő (M1) és a tölgyes jellegű sziklaerdők, tetőerdők és egyéb elegyes üde erdők (LY4). Helyenként lejtősztyep foltok is előfordulnak (Nagy-Oltár, Csák-pilis-lápa sziklás DNY-i oldal). A többnyire kocsánytalan tölgyek által dominált erdők 130 év körüliek, de az állományokban további korosztályok is jelen vannak. A 80-as években lezajlott tölgypusztulás következtében kiligetesedett erdők szerkezete különösen változatos. A gazdálkodással már elég régen felhagytak, viszont a vadlétszám igen magas (télen a szarvas, muflon és vaddisznó a Bükk magasabb területeiről is ebbe a térségbe húzódik le). A flóra változatos és mérsékelten gazdag, az aljnövényzet igen változatos és változó borítású, amely a pár fajos nudum állományoktól a 100%-os

borítású, fajokban gazdag lágyszárú szintig sokféle lehet, nagyrészt a felette lévő faállomány típusának és záródásának függvényében.

Az ERDŐ+h+á+l+ó-t 2003/2004-ben Heil Bálint és munkatársai létesítették, amelynek állandósítását részben ők, részben pedig Horváth Ferenc és munkatársai végezték. Ez volt az első erdőrezervátumban létesített mintavételi hálózat. Az ERDŐ+h+á+l+ó létrehozásának munkáját és költségeit ekkor még alulbecsültük, aminek következtében a hálózat állandósításában mindmáig maradtak kisebb hiányosságok, ill. hibák.



### **3.2 A faállomány-szerkezeti (FAÁSZ) felmérés módszerének kialakításánál alkalmazott megoldások**

A faállomány-szerkezet vizsgálata egy botanikai-cönológiai háttérű kutató számára új szakterületnek számít. Több, mint másfél évszázados múltja van ennek az erdészeti tudományterületnek, amelyet faterméstan és erdőbecsléstan néven művelnek (pl.: Fekete 1951, Oliver & Larson 1996, Husch et al. 2003, Veperdi 2008). Ezen a téren számos felmérési módszert alakítottak már ki (a próbateres mintavételen kívül pl.: szögszámláló próba – Bitterlich 1947, legközelebbi  $n$ -ik fa – Prodan 1968, Buckland et al. 2001), de továbbiak fejlesztése is folyik – elsősorban újabb technológiák alkalmazásával (pl. Brolly és Király 2009). A faállomány leírásakor kétféle koncepció közül választhatunk<sup>9</sup>:

- teljes felmérés (minden állományrészbe eső fát vizsgálunk), vagy
- mintavételes eljárás (csak a mintavétellel kiválasztott fákat vizsgáljuk).

Esetünkben az utóbbi, a mintavételes megközelítéshez kerestünk optimális módszert.

Következő fontos kérdéskör az, hogy milyen tulajdonságokat vonjunk be a felmérésbe, vagyis a fákat hogyan, milyen paraméterekkel jellemezzük. Nem csak az erdő modellje meghatározó, hanem a fa és a faállomány modellje is.

Az erdőbecsléstan kezdetben a fekvő és álló törzsek, illetve faállományok fatérfogatának megállapítására, és a növedék kiszámítására irányult (pl. Fekete 1951). A fákra és az erdőkre irányuló érdeklődés kiszélesedésével és változatosabbá válásával kissé hátrébb szorult a fatérfogat-mérés kizárólagossága. A fatérfogatot ugyan továbbra is méri, az eredményeket azonban már többféle nézőpont szerint értékeli és ítéli meg. E szakterület feladata a fák és az erdőállományok legfontosabb elemeinek és törvényszerűségeinek leírása, megismerése (Veperdi 2008).

A megfelelő módszer megválasztásához és kialakításához a következő kérdésekre kerestük az optimális választ:

- Mire vonatkozik a vizsgálatunk (vizsgálati objektum) és annak mik a legfőbb sajátosságai?
- Mi a hosszú távú faállomány-szerkezeti vizsgálatok fő célkitűzése?
- Milyen erőforrásokkal rendelkezünk, ill. mekkora erőforrásokkal tervezhetünk?

<sup>9</sup> A kétféle megközelítés közötti határvonal nem feltétlenül éles, hiszen egy nagyterületi erdőleltározásban az egyes mintavételek önmagukban teljes felmérésnek is tekinthetők.

### 3.2.1 Kísérleti mintaterület létesítése és összehasonlító módszertani elővizsgálatok terepen

A Vár-hegy erdőrezervátum egyik jellemző, elegyes és változatos szerkezetű tölgyesében egy 3 hektáros mintavételi területet tűztünk ki (2. ábra), ahol teljes faállomány-felmérést csináltunk, majd elkészítettük annak térinformatikai adatbázisát (3. ábra). A felhagyott, nagyrészt sarj eredetű, idős cseres-tölgyes, molyhos tölgyes állomány, a főleg kocsánytalan tölgyeket megritkító tölgypusztulás következtében, jelentős mértékben kiligetesedett. A lékekben elsősorban mezei juhar betöltődése indult el, továbbá a magas kőris térnyerése jellemző. A tölgyek felújulását – minden valószínűség szerint, de az erdész és a természetvédelmi szakemberek egybehangzó véleménye szerint is – a magas vadlétszám, az elmúlt 30-50 évben teljes mértékben megakadályozta<sup>10</sup>. Az elegyességet, a szerkezeti változatosságot és az állomány mintázatosságát mutatja az átmérő-osztályonkénti fajösszetétel, valamint a faállomány-térkép (1. táblázat, 3. ábra), amely alapján a mintaterület módszertani vizsgálatokra különösen alkalmas.

Itt összehasonlító vizsgálatokat végeztünk 2003/04-ben (Aszalós és mtsai 2004), azért hogy:

- áttekintsük és kipróbáljuk az erdőrezervátum-kutatásban ajánlott faállomány-szerkezeti (FAÁSZ) vizsgálati módszerek fontosabb változatait,
- megtanuljuk a faállomány-szerkezet felmérésének különféle szempontjait, módszereit és kipróbáljuk eszközeit,
- megismerjük ezek idő-, szakember-, eszköz- és költség-igényét, valamint a nyerhető információk felhasználhatóságának lehetőségeit és korlátait,
- bemutassuk és megvitassuk az eredményeket, és tegyünk ajánlást az erdőrezervátum program hálózatos (szisztematikus) faállomány-szerkezet vizsgálati módszerére.

A teljes felmérés mellett, a mintaterület 12 negyedhektáros egységeiben, további módszereket próbáltunk ki, így összesen az alábbiakról nyertünk információkat:

- M0 – a teljes felmérés (törzstérkép, 2500 m<sup>2</sup>),
- M1 – szögszámláló próbás felmérés (k = 2-es szorzóval),
- M2a – állandó mintakörös felmérés (8,92 m-es sugárral, 250 m<sup>2</sup>),
- M2b – koncentrikus körös felmérés (7 és 12 m-es sugárral, 314 m<sup>2</sup>),
- M3 – sávós mintavétellel kombinált szögszámláló próbás felmérés<sup>11</sup> (ÁESZ „4-es próba”).

<sup>10</sup> A Dél-Bükk-i területeket, a magasabb régiókból lehúzódva a szarvasok, muflonok és vaddisznók különösen télen veszik igénybe, amivel itt fokozottabb terhelést okoznak.

<sup>11</sup> Ezt a felmérési módszert id. Ósz Gusztáv (ÁESZ ETI, Eger) mutatta meg és végezte el.

A felmérési módszereket a negyedhektáros egységek középpontjában kitűzött karók körül alkalmaztuk. A felmérésre fordított idő 20 perc (M3), 30 perc (M1) és 40 perc (M2a, M2b) körül alakult<sup>12</sup>, a negyedhektáros területekről nyerhető információ és a mintavételi reprezentativitás is ezzel volt arányos. Mindegyik módszer jelentős változékonysággal képezte le a mintavételi pontok környezetének faállomány-tulajdonságait (Aszalós és mtsai 2004).

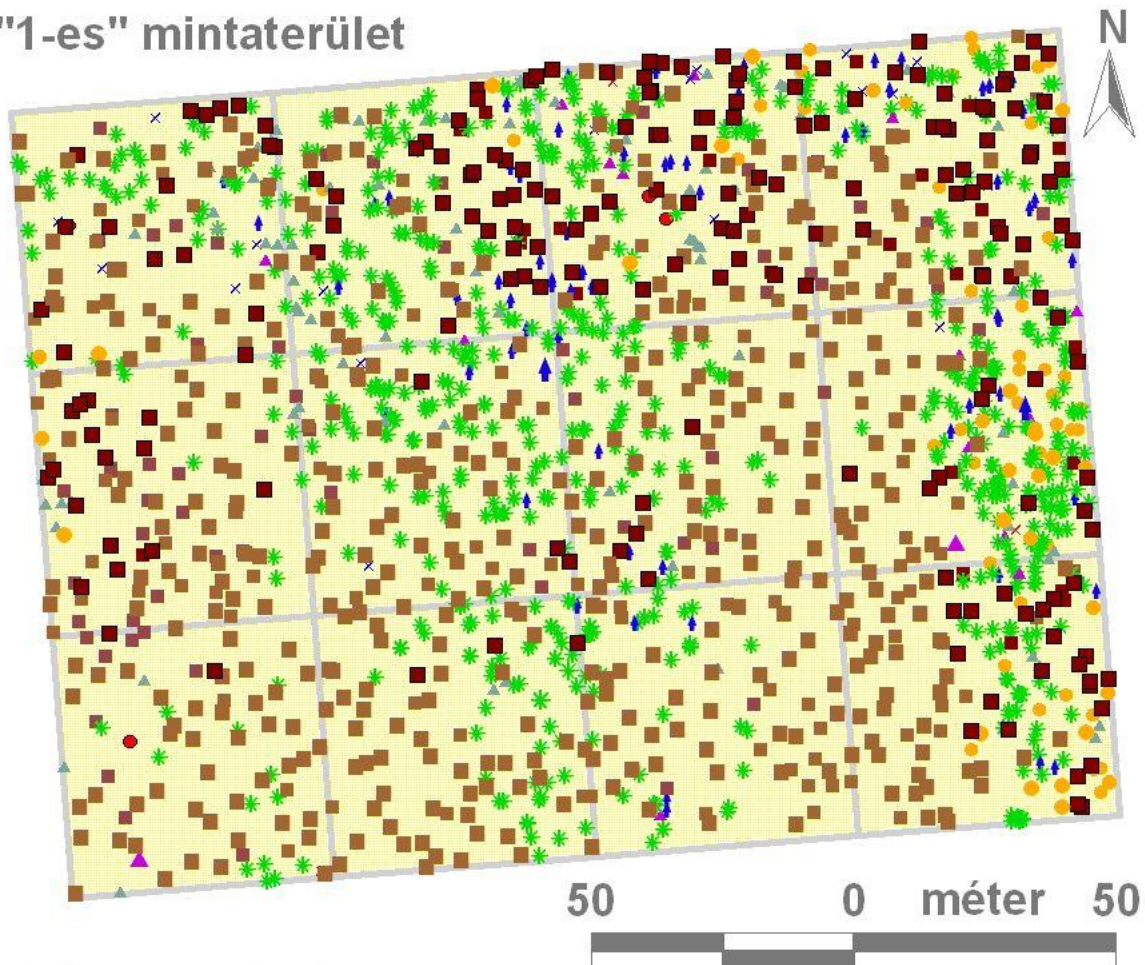
### 1. táblázat

A Vár-hegy erdőrezervátum „1-es” mintaterület faállományának átmérő-osztályonkénti fa- és cserjefaj összetétele (terület: 3 ha; felmérés éve: 2003-2004; faállomány: 5 cm mellmagassági átmérőt elérő vagy annál vastagabb, élő és álló holtfák és cserjék; felmérte és térképezte: Aszalós Réka, Bölöni János, Horváth Ferenc, Kovács Gabriella, Kovács Norbert, Magyar Zsolt és Mázsa Katalin; adatbázis: „fak\_1012” shape, feldolgozta: Aszalós Réka)

fa- és cserjefajok	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm	60-70 cm	NA	összesen
mezei juhar (MJ)	580	102	3					6	<b>691</b>
kocsánytalan tölgy (KTT)	2	14	155	370	101	16	4	3	<b>665</b>
csertölgy (CS)		2	67	134	44	7		3	<b>257</b>
molyhos tölgy (MOT)		9	51	28	7				<b>95</b>
magas kőris (MK)	58	14				1			<b>73</b>
gyertyán (GY)	14	3	3						<b>20</b>
korai juhar (KJ)	13	3	2	2	1				<b>21</b>
cseresznye (CSNY)	4		1						<b>5</b>
berkenyék, vadkörte, hegyi szil	4	1	1					1	<b>7</b>
<i>cserjék</i>									
húsos som (HUSO)	69								<b>69</b>
egybibés galagonya (EGG)	12								<b>12</b>
<b>összesen (db)</b>	<b>756</b>	<b>148</b>	<b>283</b>	<b>534</b>	<b>153</b>	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>1915</b>

<sup>12</sup> Akkori teljesítményünk – gyakorlatlanságunk miatt – nem tekinthető mértékadónak, csak a módszerek egymáshoz való viszonyításában.

## "1-es" mintaterület



## Jelmagyarázat

■	KTT	✱	MJ	×	BABE, HÁBE
●	MOT	▲	MK	×	GY, HSZ, KT
■	CST	●	CSNY	▲	HUSO, EGG
		▲	KJ		

**3. ábra** Az „1-es” mintaterület **faállomány-térképe**, fajok szerint ábrázolva (KTT – kocsánytalan tölgy, MOT – molyhos tölgy, CST – csertölgy, MJ – mezei juhar, MK – magas kőris, CSNY – madárcseresznye, KJ – korai juhar, BABE – barkóca berkenye, HÁBE – házi berkenye, GY – gyertyán, HSZ – hegyi szil, KT – vadkörte, HUSO – húsos som, EGG – egybibés galagonya). A térkép a „Vár-hegy 1-es faállomány adatbázis”, ArcView shape formátumú állományából készült (élő fák, 2004-es állapot).

### 3.2.2 A faállomány-szerkezet felmérési módszerének kialakítása

Két év (2003-2004) tájékozódás, felkészülés és előkészület után, 2004. június 3-4-én szerveztük meg azt a találkozót, ahol a faállomány-szerkezet (álló fákra vonatkozó) mintavételi módszerének alapvető vonásait eldöntöttük és első változatát kialakítottuk (M.1 melléklet). A találkozó Várkúton volt. A terepi bemutatót és próbákat a turistaház mögötti állományban tartottuk, a vita „tő mellett” és a turistaházban folyt. Tulajdonképpen ekkor erősítettük meg, hogy a szisztematikus hálózat szerinti mintavételes felmérést fogjuk alkalmazni és nem a „representatív parcella” szerinti megközelítést, amit elsősorban az ERTI munkatársai képviseltek. Továbbá ekkor dőlt el az is, hogy a mintavétel során az állandó mintakörös felmérést a szögszámláló próbával ötvözve fogjuk alkalmazni. Következő rendezvényünkön (Felsőtárkány, 2004. november) széles körű bemutatást és általános megerősítést kapott ez a megközelítés. Az első terepi tapasztalatok bemutatása és megbeszélése Vácrátóton (2005. november), majd Sopronban (2006. február) történt. 2007-ben (Vácrátót, Budapest) a módszertan részleteinek vitái zajlottak, valamint a botanikai és fiatalos/cserjeszint felmérési modulok illesztésének egyeztetése. Mindezek során, az MVP FAÁSZ felmérés részleteit illetően jelentős egyszerűsítésekben állapodtunk meg, így az MVP FAÁSZ modulból elhagytuk a cserjeszint borításának külön-külön, fák- és cserjék szerinti becslését, az itt előforduló fajok listájának felírását, az életképes újulat becslését, a szociális helyzetet kiegészítő „+ fény” 1-es és 2-es fokozatát, lényegesen egyszerűsítettük a feljegyzésre kerülő faalak kategóriákat, valamint elhagytuk a vízajtásosságra vonatkozó feljegyzéseket, miközben bővítő javaslatok (lékesség okai, szférikus denziométeres mérés, gyökértányér kategóriák, tősarjasság, lián szint, funkcionális szintek/boxok bevezetése) is születtek.

### 3.3 Elővizsgálati módszerek a hektáronkénti törzsszám és körlapösszeg helyes számításának tisztázásához

A hektáronkénti törzsszám (N) és a hektáronkénti körlapösszeg (G) minden faállomány-szerkezeti értékelésnél alapvető paraméterek. Ezek elég pontos becslése minden mintavételes eljárásnak elsődlegesen kitűzött célja. E két paraméter mintavételes becslésénél, ill. számításánál kétféle, jól ismert eljárást alkalmazunk (pl. Husch et al. 2003, Veperdi 2008).

A *próbatéres* (mintakörös) eljárás során a  $PT_{mk}$  területű próbatérben megállapított törzsszám ( $n_{mk}$ ) és körlapösszeg ( $g_{mk}$ ) értékeket, a mintakörnek az 1 hektár területhez viszonyított arányával szorozzuk ( $10.000/PT_{mk}$ ). Amennyiben a próbateret (mintakört) és a körlapösszeget négyzetméterben fejezzük ki, akkor:

$$N_{mk} = n_{mk} \cdot 10.000 / PT_{mk} \text{ (db/ha)},$$

$$\text{és } G_{mk} = g_{mk} \cdot 10.000 / PT_{mk} \text{ (m}^2\text{/ha)}.$$

*Szögszámláló próbával* (Bitterlich 1947) végzett mintavétel esetén minden mintába eső „i”-edik fának, a mellmagassági átmérőjével ( $d_i$ ) arányos, saját próbatere van ( $PT_i$ ), amely az ún. határtávolság sugarú ( $HTÁV_i$ ) kör területének felel meg. Amennyiben a mellmagassági átmérőt méterben fejezzük ki, akkor a határtávolság sugara:

$$HTÁV_i = d_i \cdot D_f \text{ (m)},$$

ahol  $D_f$  az ún. távolsági tényező ( $k=2$  esetében ez 35,3553), a próbatér ( $PT_i$ ) pedig a kör területének számítása alapján:

$$PT_i = HTÁV_i^2 \cdot \pi \text{ (m}^2\text{)},$$

A mintában az „i”-edik fa hektáronkénti  $n_i$ , ill.  $g_i$  részesedése:

$$n_i = 1 \cdot 10.000 / PT_i \text{ (db/ha)}, \text{ és}$$

$$g_i = (d_i^2 \cdot \pi / 4) \cdot 10.000 / PT_i \text{ (m}^2\text{/ha)}.$$

Mindezek alapján N-nek és G-nek a szögszámláló próba alapján becsülhető értéke:

$$N_{sz} = \sum n_i \text{ (db/ha)},$$

$$\text{és } G_{sz} = \sum g_i \text{ (m}^2\text{/ha)}.$$

### 3.3.1 A kettős (kombinált) felmérésből adódó értékelési probléma bemutatása

A Hidegvíz-völgy erdőrezervátum felmérése készült el és fejeződött be először, Veperdi Gábor konzulens vezetése alatt (Vitális és Zakariás 2006)<sup>13</sup>. A két erdőmérnök jelölt vetette fel az értékelés problémáját. Ennek lényege, hogy miután a mintavétel a mintakörös és a szög számláló próba kombinációja, külön-külön becslés adható a (lokális) faállomány két fő paraméterére (törzsszám és körlapösszeg), azonban ezek a becslések eltérőek. A különbségeket a Vár-hegy adatsorán mutatom be (4.a-b ábra és 5.a-b ábra). Mind a hektáronkénti törzsszám, mind a körlapösszeg becslésénél igen jelentős eltéréseket is tapasztaltunk (akár 2-5-szöröst is). A pontok egy részének a többitől való jelentős eltolódása mintavételi problémára utal. A törzsszám esetében például az adatok szóródása lényegesen kisebbé válik, ha a becslésből a 10 cm-nél vékonyabb törzseket elhagyjuk (4.a-b ábra). Ez jelzi, hogy az eredmények torzításának egyik oka a vékonyabb fák felméréssel kapcsolatos. A vékonyabb törzsek kihagyása a körlapösszegek eltéréseire nincsen látható hatással, viszont itt a pontok egy másik csoportja viselkedik eltérően. A problémát a rákövetkező rendezvényeinken többször megvitattuk, amelyek során kétféle javaslat született:

- a hektáronkénti törzsszám (N) becslését számítsuk a mintakörös felmérés adataiból, míg a hektáronkénti körlapösszeg (G) becslését számítsuk a szög számláló próba adataiból – Veperdi Gábor álláspontja: „VAGY”. Vitális és Zakariás (2006) is ezt a megoldást alkalmazta,
- a két paraméter (N és G) becslését számítsuk a mintakörös és a szög számláló próba által kapott értékek átlagolásával (esetleg súlyozott átlagolásával) – Horváth Ferenc, ill. az MTA ÖBKI erdőrezervátum-kutató csoportjának korábbi álláspontja: „MX-ÁTLAG”.

Elvileg egyik eljárás sem hibás, ezek a megoldások mégsem tűntek elég jóknak, elég meggyőzőeknek, ami végső soron megkérdőjelezte a kombinált felmérési módszer alkalmazásának létjogosultságát is.

A „VAGY” módszer előnye, hogy egyértelmű algoritmus szerint, az *elvileg* előnyösebb módszer eredményét tekinti a helyesebb becslésnek (ezzel elkerüli a leginkább torzítást okozó mintavételi helyzeteket). Hátránya viszont, hogy lemond a kettős mintavételből fakadó kiegyensúlyozottabb eredmény lehetőségéről – a mintavételnek (az adatoknak) mindig csak egyik „felét” veszi igénybe.

<sup>13</sup> A 21 hektáros magterületen Király Géza létesített 84 mintavételi pontból (MVP) álló hálózatot (Király 2006).

Az „MX-ÁTLAG” módszer előnye, hogy mindig számításba veszi a teljes mintát (ami, mint látni fogjuk később, rendszerint kiegyenlítettebb eredményhez vezet), hátránya viszont, hogy a leginkább torzítást okozó mintavételi helyzetek hatását ez a módszer is továbbörökíti a számítás eredményébe (habár tompított mértékben).

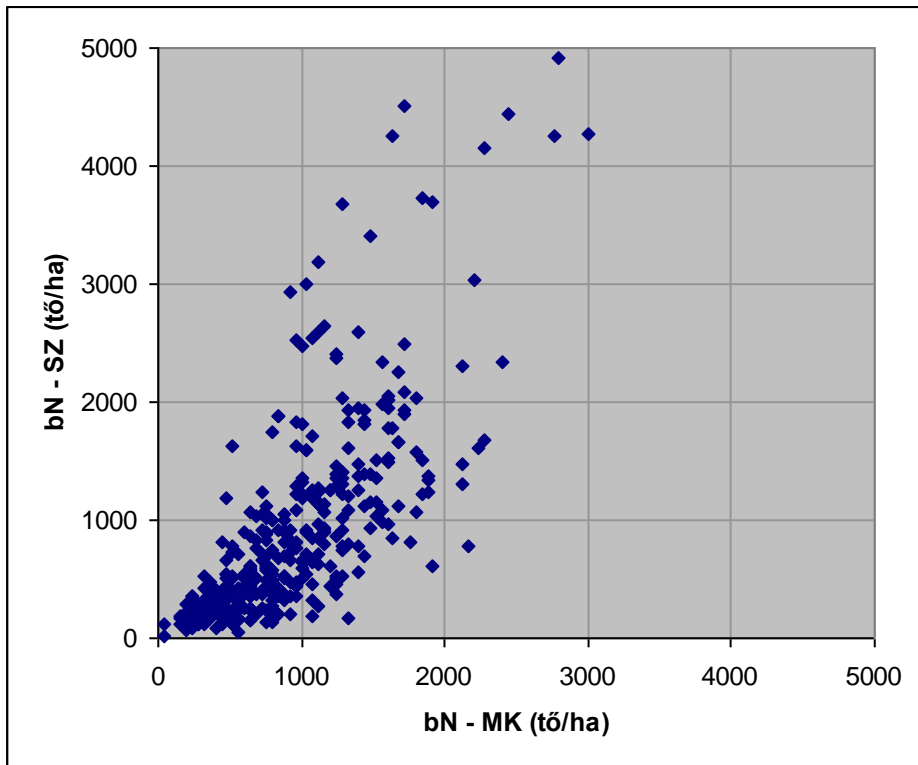
Meggyőződéssel hittem a kombinált mintavétel koncepciójával teljesen összhangban lévő, elvileg is megalapozott eljárás létezésében, ezért kerestem további megoldásokat. A felfedezett és „MX2523” néven hivatkozott, új számítási eljárást a 4.6 fejezetben ismertetem.

Az „MX2523” eljárás a leginkább helyesnek tekinthető megközelítést alkalmazza. Azonban arra is kíváncsi voltam, hogy vajon igazolják-e, ill. milyen mértékben igazolják a számítási eredmények az elveket? Ezért összehasonlító vizsgálatokat végeztem a háromféle („VAGY”, „MX-ÁTLAG”, „MX2523”) számítási eljárás értékelésére.

Kétféle elővizsgálatot csináltam, amelyeket a következő alfejezetekben mutatom be:

- szimulált mintavételi eljárások összehasonlítása valós adatsoron,
- összehasonlító érzékenység vizsgálat szimulált adatsorokon.

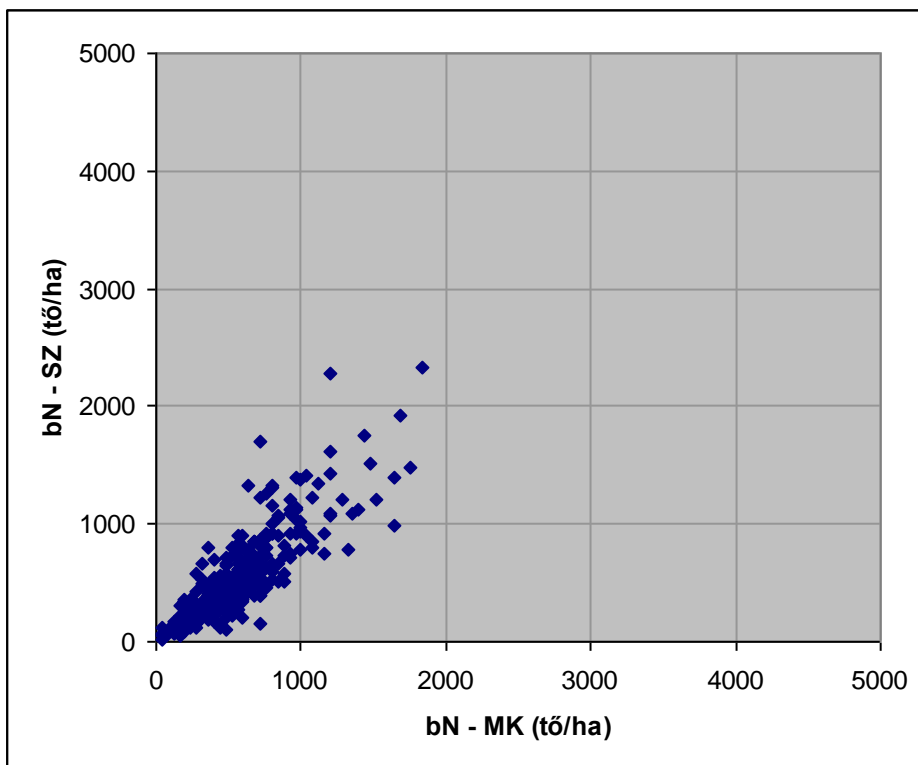




**a)**  
Teljes minta alapján készült becslések (5 cm-es vagy annál vastagabb élő fák és cserjék).

A pontok egy csoportjának felfelé húzása *mintavételi torzulásra* utal. Az identikus egyenestől (átlótól) való eltérésnégyzetek átlaga:

**154 612**

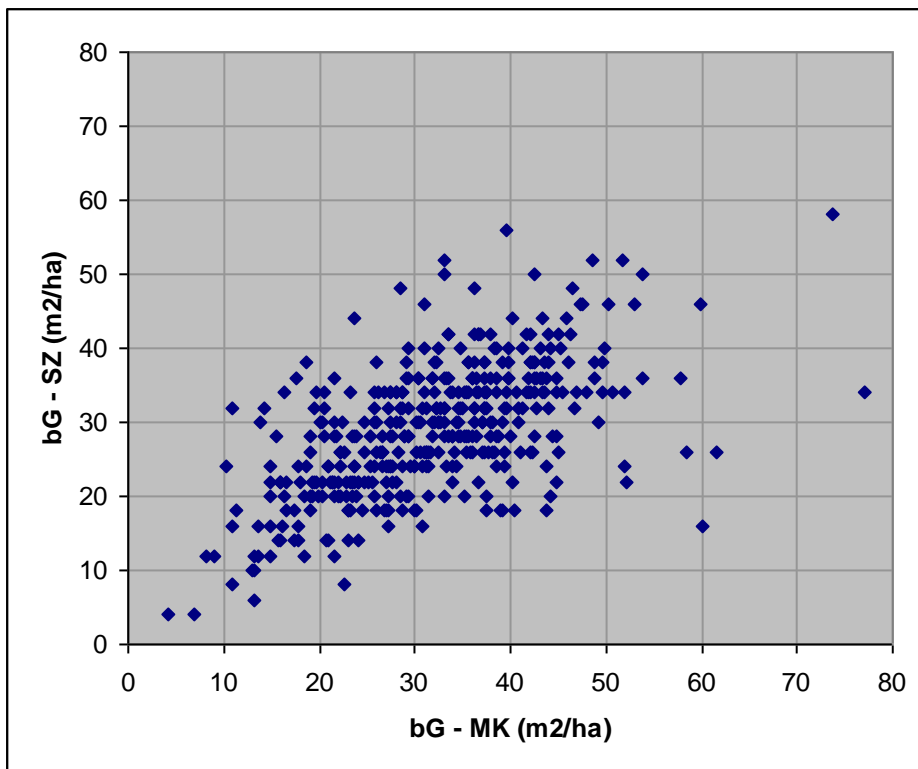


**b)**  
Csak a 10 cm-es vagy annál vastagabb törzsekre készült becslések (csak élő fák, mert cserjék ilyen vastagságot nem értek el).

Az identikus egyenestől (átló) való eltérésnégyzetek átlaga:

**15 054**

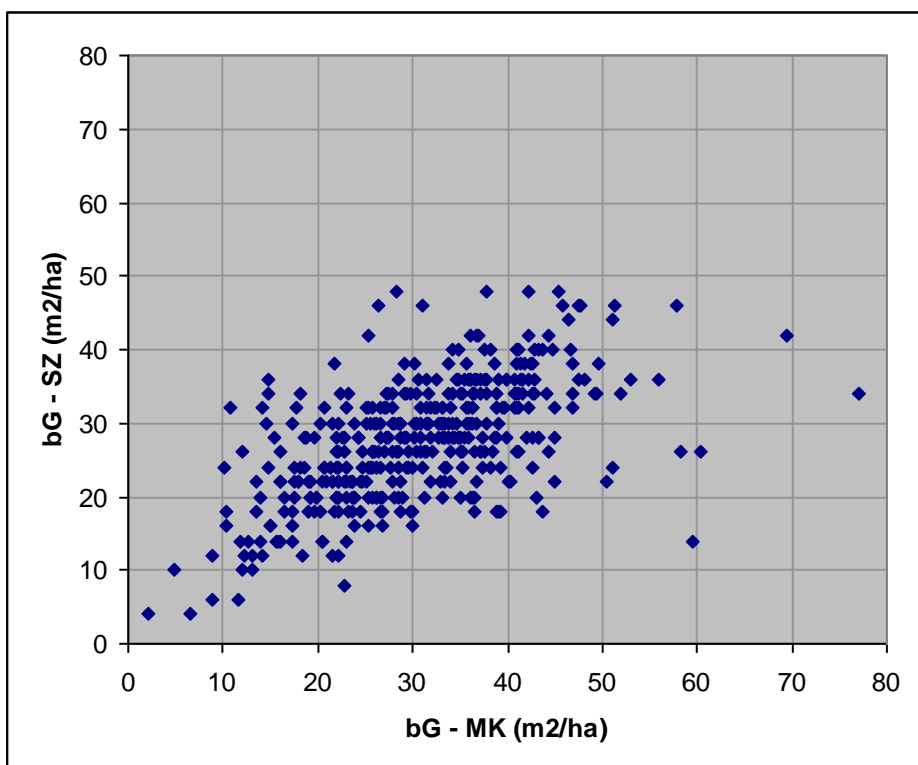
**4.a-b ábra** A faállomány-szerkezet kettős felméréséből adódó, **hektáronkénti törzsszám (N)** eltérések bemutatása a Vár-hegy erdőrezervátum teljes FAÁSZ adatsorán (408 mintavételi pont). A 10 cm-nél vékonyabb fák elhagyásával a szög számláló próbában (SZ) jelentkező torzulás elmarad. *Jelmagyarázat:* „bN – MK” becsült hektáronkénti törzsszám az állandó sugarú mintakör alapján számítva, „bN – SZ” becsült hektáronkénti törzsszám a szög számláló próba alapján számítva.



**a)**  
Teljes minta  
alapján készült  
becslések  
(5 cm-es vagy  
annál vastagabb  
élő fák és  
cserjék).

A nagyon jobbra  
húzó pontok  
mintavételi hibára  
utalnak. Az iden-  
tikus egyenesről  
(átló) való eltérés-  
négyzetek  
átlaga:

**44,1**



**b)**  
Csak a 10 cm-es  
vagy annál  
vastagabb tör-  
zsekre készült  
becslések  
(csak élő fák,  
mert a cserjék  
ilyen vastagságot  
nem értek el).

A jobbra húzó  
pontok csoportja  
megmaradt. Az  
identikus egye-  
nesről (átló) való  
eltérésnégyzetek  
átlaga:

**42,6**

**5.a-b ábra** A faállomány-szerkezet kettős felméréséből adódó, **hektáronkénti körlapösszeg** (G) eltérések bemutatása a Vár-hegy erdőrezervátum teljes FAÁSZ adatsorán (408 mintavételi pont). A 10 cm-nél vékonyabb fák elhagyása nem szünteti meg a mintakörös felmérésben tapasztalható becslési torzulásokat (mivel azok a vastag fákkal kapcsolatban jelentkeznek). *Jelmagyarázat:* „bG – MK” becsült hektáronkénti körlapösszeg az állandó sugarú mintakör alapján számítva, „bG – SZ” becsült hektáronkénti körlapösszeg a szög-számláló próba alapján számítva.

### 3.3.2 Az összehasonlító értékelés módszere valós adatsoron vett szimulált mintavétellel

A Vár-hegy „1-es mintaterület” faállományának térinformatikai adatbázisából (f1012.shp) leválogattam az 5 cm mellmagassági átmérőt elérő vagy meghaladó élő fák (ill. cserjék) hiánytalan adatsorát (f1012elo.xls), és a 12 negyedhektáros részterületekben (A1-4, B1-4, C1-4) virtuális mintavételt szimulálva, összehasonlító elemzést végeztem az alábbi mintavételi módszerek, ill. számítási módok reprezentativitására nézve:

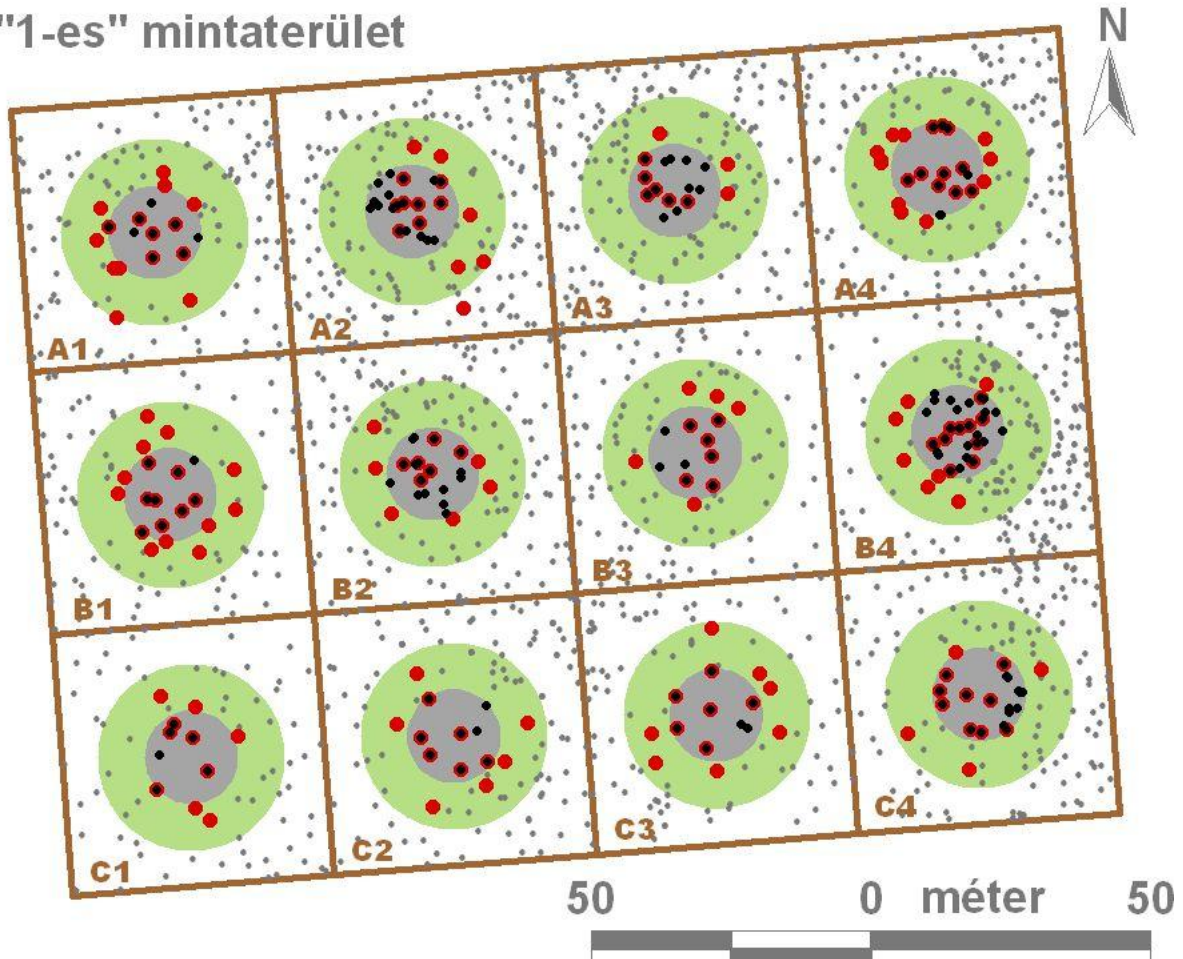
- M0 – teljes mintavétel (negyedhektáros egységekben, 2500 m<sup>2</sup>). A mintavételbe került törzsek átlagos száma: 142.
- M2c – 0,1 hektáros mintakörös mintavétel (r=17,84 m, 1000 m<sup>2</sup>). A mintavételbe került törzsek átlagos száma: 55. Ez tekinthető a mintavételi pontok környezetének faállományát legpontosabban leíró, referencia adatsornak.
- M2a – mintakörös mintavétel (r=8,92 m, 250 m<sup>2</sup>). A mintavételbe került törzsek átlagos száma: 14.
- M1 – szögszámláló próbás mintavétel (k=2-es szorzóval). A mintavételbe került törzsek átlagos száma: 14.
- MX – kettős (kombinált) mintavétel, vagyis az M2a: mintakör (r=8,92 m, 250 m<sup>2</sup>) és az M1: szögszámláló próba (k=2) kombinációjával megvalósított mintavétel. A mintavételbe került törzsek átlagos száma: 20.

A mintavételi elrendezéseket (jelezve az egyes mintavételbe kerülő fákat) a 6. és 7. ábra mutatja. Az MX mintavétel alapján háromféle számítás végezhető:

- VAGY – e megközelítés szerint, a hektáronkénti törzsszám (N) becsléséhez az M2a mintakörös (rész)mintavétel alapján számított eredményt kell alapul venni, míg a hektáronkénti körlapösszeg (G) becsléséhez az M1 szögszámláló próbás (rész)mintavétel alapján számított eredményt.
- MX-ÁTL – az M2a mintakörös (8,92 m) és M1 szögszámláló próbás (k=2) mintavétel alapján számított becslések átlagolásával számítjuk ki.
- MX2523 – az M2a mintakörös (8,92 m) és az M1 szögszámláló próbás (k=2) mintavétellel kapott mintát két, egymást kiegészítő csoportra bontom (leírását lásd a 4.6 fejezetben). A két csoportra kiszámított részeredményeket összeadva kapom a végső becslést.

A mintavételi szimulációt táblázatkezelővel (MS EXCEL) hajtottam végre, a statisztikai értékeléseket „R” programmal végeztem el (Venables et al. 2009, The R Development Core Team 2009).

## "1-es" mintaterület

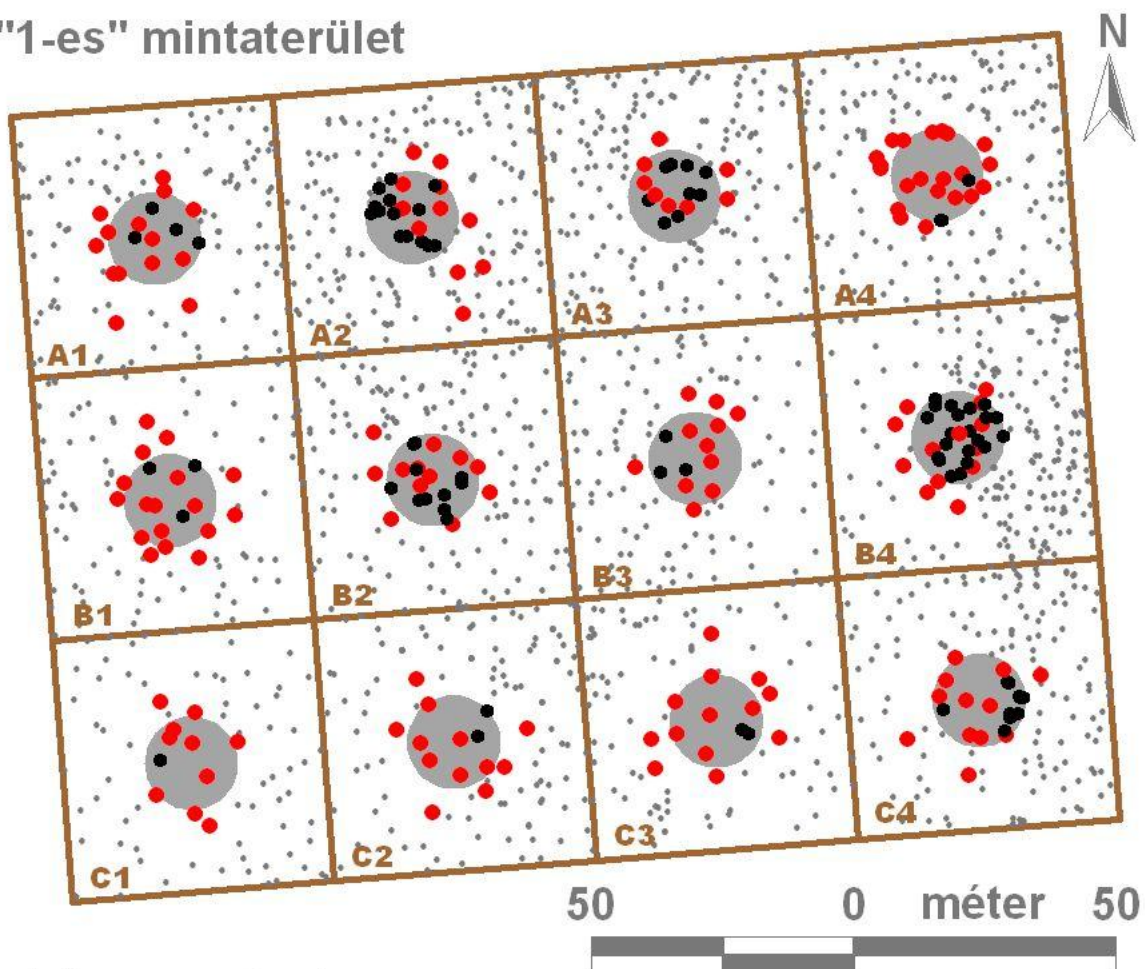


## Jelmagyarázat



**6. ábra** Virtuális mintavétel az „1-es” mintaterület A1-C4 negyedhektáros egységeiben: M0 – teljes mintavétel (minden törzs), M1 – szög számláló próba (piros pontokkal jelzett fák), M2a – mintakörös mintavétel (fekete pontokkal jelzett törzsek a 8,92 m sugarú körben), M2c – mintakörös mintavétel (összes pont a 17,84 m sugarú körben), MX – a 8,92 m-es mintakör és szög számláló próba szerinti kettős (kombinált) mintavétel (fekete és piros pontokkal jelzett törzsek), a kisebb mintakörben a fák egy csoportja mindkét mintavétel szerint is mintába kerül (piros háttérű fekete pontok). A térképet a „Vár-hegy 1-es faállomány adatbázis”, ArcView shape formátumú állományából készítettem (élő fák, 2004-es állapot).

## "1-es" mintaterület



## Jelmagyarázat

<p><b>állandó sugarú mintakör</b></p>  <p>250 m<sup>2</sup> (r = 8,92m)</p>	<p><b>a mintavételbe kerülő fák csoportosítása</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● kisebbek a mintakörben (d<sub>130</sub> &lt; 25,23 cm)</li> <li>● vastagabbak a szög számláló próba alapján (k=2, d<sub>130</sub> ≥ 25,23)</li> </ul>
--	---

**7. ábra** Az **MX2523** mintavétel: mintakör (8,92 m) és szög számláló próba (k=2) szerinti kettős (egymást kiegészítő) mintavétel. A mintakörben minden fát felmérünk, a távolabb álló fákból pedig csak a szög számláló próba szerint bekerülő, vastagabb fákat. A mintába került fákat, mellmagassági átmérőjük szerint két csoportra bontjuk: a 25,2 cm-nél vékonyabb fák (fekete pontok) és a legalább ilyen vastag, vagy ennél vastagabb fák csoportjára (piros pontok). A vékony fákat a mintakörös mintavétel, a vastag fák csoportját a szög számláló próba szerint értékeljük. A faállomány-szerkezet helyi sajátosságai miatt itt a vastagabb fák csoportja dominál, ennek következtében a szög számláló próba nagyobb súllyal alakítja az eredményeket. A térképet a „Vár-hegy 1-es faállomány adatbázis”, ArcView shape formátumú állományából készítettem (élő fák, 2004-es állapot).

### 3.3.3 Érzékenységvizsgálat

Bonyolult, több változó állapotától függő rendszerek, nem elég jól jósolható viselkedését (kimeneteit), célszerűen megválasztott paraméter-kombinációk kipróbálásával, „mi lenne, ha ...” típusú beállításokkal, vagyis érzékenységvizsgálattal lehet jól kiismerni (Helton et al. 2006, Pacala et al. 1996). Egy természetes vagy természetesen faállomány és a mintavételi módszerek kölcsönhatásában kevésbé ismert a fák mintázatának és átmérő-viszonyainak szerepe. Ebben a vizsgálatban az N és G paraméterek becslésének módszerektől függő megbízhatóságát kívántam megismerni. Választottam egy ismert összetételű, változatos szerkezetű erdőállományt (Hidegvíz-völgy erdőrezervátum, Vitális és Zakariás 2006) és annak texturális tulajdonságaival (fafaj összetétel, elegyarány, átmérő-eloszlások, 2. táblázat) 25 darab egy-hektáros, random mintázatú, virtuális faállományt hoztam létre.

Az érzékenységvizsgálat során az alábbi „mi lenne, ha ...” kísérleteket állítottam be:

- **PLUSZ-18N** – további fák „beültetésével” megnöveltem a törzsszámot. A mintavételt központosan magába foglaló 23 m sugarú körön belül (egy 65 cm-es fa határtávolsága, 1/6 hektár), véletlen területi mintázatban elhelyezve, 3-3 fát adtam hozzá a már meglévő (szimulált) állományhoz, az átmérő különböző fokozataival ( $d_{130} = 5, 15, 25, 35, 45$  és  $65$  cm). Ezzel a hektáronkénti törzsszámot minden esetben 18-cal növeltem meg, amelyet akár egy kis mértékű (+ 3%-os) belenövésnek is tekinthetünk. Ennek következtében a hektáronkénti körlapösszeg az átmérők függvényében  $0,04; 0,32; 0,88; 1,73; 2,86; 5,97$  m<sup>2</sup>/ha-ral növekedett. Azt vizsgáltam, hogy a számítások (mintakörös „VAGY” szögszámláló, „MX-ÁTLAG”, „MX2523”) eredményeként, hogyan változnak az N és G paraméterek becslései, ebben az esetben elsősorban a hektáronkénti törzsszám (N).
- **PLUSZ-2G** – további, összesen mintegy  $0,33183$  m<sup>2</sup> körlapnyi fa „beültetésével” megnöveltem a hektáronkénti körlapösszeget. A mintavételt központosan magába foglaló 23 m sugarú körön belül (egy 65 cm-es fa határtávolsága, 1/6 hektár), véletlen területi mintázatban elhelyezve, az átmérő különböző fokozatai szerint: 170 db (5 cm-es), 19 db (15 cm-es), 7 db (25 cm-es), 3 db (35 cm-es), 2 db (45 cm-es) és 1 db (65 cm-es) fát adtam hozzá a már meglévő (szimulált) állományhoz. Ennek következtében a törzsszám  $1020, 114, 42, 18, 12$  és  $6$  db/ha-ral növekedett, míg a körlapösszeg mintegy  $2$  m<sup>2</sup>-rel (+ 5%-kal). Itt is azt vizsgáltam, hogy a számítások (mintakörös „VAGY” szögszámláló, „MX-ÁTLAG”, „MX2523”) eredményeként, hogyan változnak az N és G paraméterek becslései, ebben az esetben elsősorban a hektáronkénti körlapösszeg (G).

## 2. táblázat

A Hidegvíz-völgy erdőrezervátum faállományának elegyarány és átmérőeloszlás viszonyai Vitális és Zakariás (2006) dolgozata alapján. Az átlagos hektáronkénti törzsszám  $N=650$  tő/ha, az átlagos hektáronkénti körlapösszeg  $G=38$  m<sup>2</sup>/ha. Ezek a paraméterek 84 mintavételi ponton, 1359 élőfa felméréséből lettek becsülve.

fafajok	elegyarány	átmérőeloszlás (%)							
		05-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	40-50cm	50-60cm	60-70cm	70-80cm
gyertyán	31%	14	60	23	3	0	0	0	0
bükk	24%	23	30	18	14	9	3	3	0
nyír	13%	5	22	54	18	1	0	0	0
kocsánytalan tölgy	11%	0	4	29	45	18	4	0	0
lucfenyő	8%	16	15	21	18	19	6	4	1
vörösfenyő	6%	0	5	41	38	16	0	0	0
kislevelű hárs	2%	24	36	15	10	6	6	0	3
nagylevelű hárs	1%	0	13	20	27	27	13	0	0
csertölgy	1%	0	0	60	33	7	0	0	0
mézgás éger	1%	0	0	0	75	13	12	0	0
hegyi juhar	1%	0	0	29	57	14	0	0	0
szelídgesztenye	1%	0	75	25	0	0	0	0	0

A Hidegvíz-völgy erdőrezervátum random mintázatú szimulált faállomány adatbázisát (M.2 melléklet - 1HA\_RANDOM\_MINTAZATOK.XLS), valamint a szimulált mintavételt és az alapvető számításokat MS Excel táblázatkezelő segítségével hoztam létre, ill. végeztem el. Mindezek eredményeként, az érzékenység-vizsgálathoz létrehoztam a kezelési különbségeket tartalmazó adattáblát (M.2 melléklet - RSZ\_DIFF\_SA.TXT), amelynek szerkezetét a 3. táblázat írja le. Az adattábla értékelését az „R” 2.10.1-es verziójával végeztem (Venables et al. 2009, The R Development Core Team 2009), felhasználva Fox & Harnos „errorbars()” elnevezésű R függvényét (Reiczigel és mtsai 2007).

**3. táblázat**

Az érzékenység-vizsgálathoz létrehozott adattábla (M.2 melléklet - RSZ\_DIFF\_SA.TXT) szerkezete és tartalma.

változó neve	típusa	tartalma
PROJEKT	faktor	a kísérlet neve („ALAP”; „PL18N”; „PL2G”)
ISMETLES	egész szám	az ismétlés azonosító száma (1; 2; ... 25)
D130	faktor	a hozzáadott fa átmérője (5; 15; ... 65 cm)
N50x50	egész szám	hektáronkénti törzsszám (N) negyedhektár alapján (700; 660; 652; 732; 656; ...)
G50x50	szám	hektáronkénti körlapöszeg (G) negyedhektár alapján (46,4; 38,2; 38,9; 42; 44,1; ...)
N1784	egész szám	hektáronkénti törzsszám (N) tizedhektár alapján (700; 620; 710; 830; 710; ...)
G1784	szám	hektáronkénti körlapöszeg (G) tizedhektár alapján (42,1; 34,3; 43,6; 49,6; 48,1; ...)
dN_MK	egész szám	N becslésének különbsége a kísérletben 8,92 m-es mintakör alapján (40; 0; 40; 40; 40; ...)
dG_MK	szám	G becslésének különbsége a kísérletben 8,92 m-es mintakör alapján (0,0785; 0; 0,0785; ...)
dN_SZ	egész szám	N becslésének különbsége a kísérletben szögszámláló próba alapján (1019; 0; 0; 0; ...)
dG_SZ	szám	G becslésének különbsége a kísérletben szögszámláló próba alapján (2; 0; 0; 0; 0; ...)
dNÁTL	egész szám	N becslésének különbsége a kísérletben az MX-ÁTL számolás alapján (529; 0; 20; 20; 20; ...)
dGÁTL	szám	G becslésének különbsége a kísérletben az MX-ÁTL számolás alapján (1,0393; 0; 0,0393; ...)
dN2523	egész szám	N becslésének különbsége a kísérletben az MX2523 számolás alapján (40; 0; 40; 40; 40; ...)
dG2523	szám	G becslésének különbsége a kísérletben az MX-2523 számolás alapján (0,0785; 0; 0,0785; ...)



### **3.4 A fájlomány-szerkezeti típusok meghatározásánál alkalmazott módszerek**

Az értékelés során a többváltozós adatfeltárás módszereiből válogattam. A módszertani lépések sorozatának kialakításához Podani (1997) gondolatai adták a vezérfonalat. A kidolgozott lépéssorozat fő mozzanatairól (I. >> A >> II. >> B >> III. >> C >> IV. >> D) a 8. ábra ad áttekintést.

Az adatbevitelt, adatkezelést és az alapvető számításokat táblázatkezelő szoftverrel (MS EXCEL), az elemzéseket „R” szoftverkörnyezetben (Venables et al. 2009, The R Development Core Team 2009, Solymosi 2005), az alap programcsomagok és az azon felül telepített *cluster* – „Cluster Analysis Extended Rousseeuw et al.”, *StatMatch* – „Statistical Matching”, és *vegan* – „Community Ecology Package” programcsomagok függvényeivel végeztem.

#### *I. Az alapadatok mátrixa*

Az értékelés kiindulási pontja a fájlomány-szerkezeti alapadatmátrix (M.2 melléklet - VARHEGY03.TXT), amelynek oszlopait a változók, vagyis a fájlomány-szerkezetet leíró tulajdonságok képezik (4. táblázat), sorait pedig az esetek, vagyis a mintavételi pontokban (MVP) felmért lokális fájlományokra vonatkozó becslések adják. Az itt bemutatott értékelésben a Vár-hegy erdőrezervátum fájlomány-szerkezeti felmérésének adatait használom.

A Vár-hegy ERDŐ+h+á+l+ó, összesen 406 mintavételi pontján (MVP) készült MVP FAÁSZ felmérés. Ezekből 396 MVP adatsora hiánytalan, az esetek száma ennek megfelelően: 396. Az értékelésbe vont változók száma pedig: 32.

#### *A. Főkomponens elemzés és értékelés*

Az alapadatmátrix változóiból 8-féle válogatás (v03s, v04s, v05, v06s, v07s, v11s, v14s, v15s) szerint készítettem standardizált főkomponens elemzést (PCA) (*princomp* – R függvény a változók korrelációs mátrixán). A fontos ( $p=0,05$  valószínűségi szinten szignifikáns) komponensek számának meghatározását a Peres-Neto et al. (2005) által ajánlott egyik (ún. „random lambda”) eljárással vizsgáltam, amely az adatmátrix randomizációs tesztjén alapszik. Vizsgáltam továbbá a szignifikáns komponensek által képviselt összesített variancia arányát, amely a legmagasabb értéket a „v14s” válogatás esetében érte el a szignifikáns komponensekre nézve (5. táblázat). A további elemzéseket a „v14s” válogatás PCA értékelésével kapott, első hat komponensből képzett adatmátrixszal folytattam.

## II. A szignifikáns főkomponensek adatmátrixa

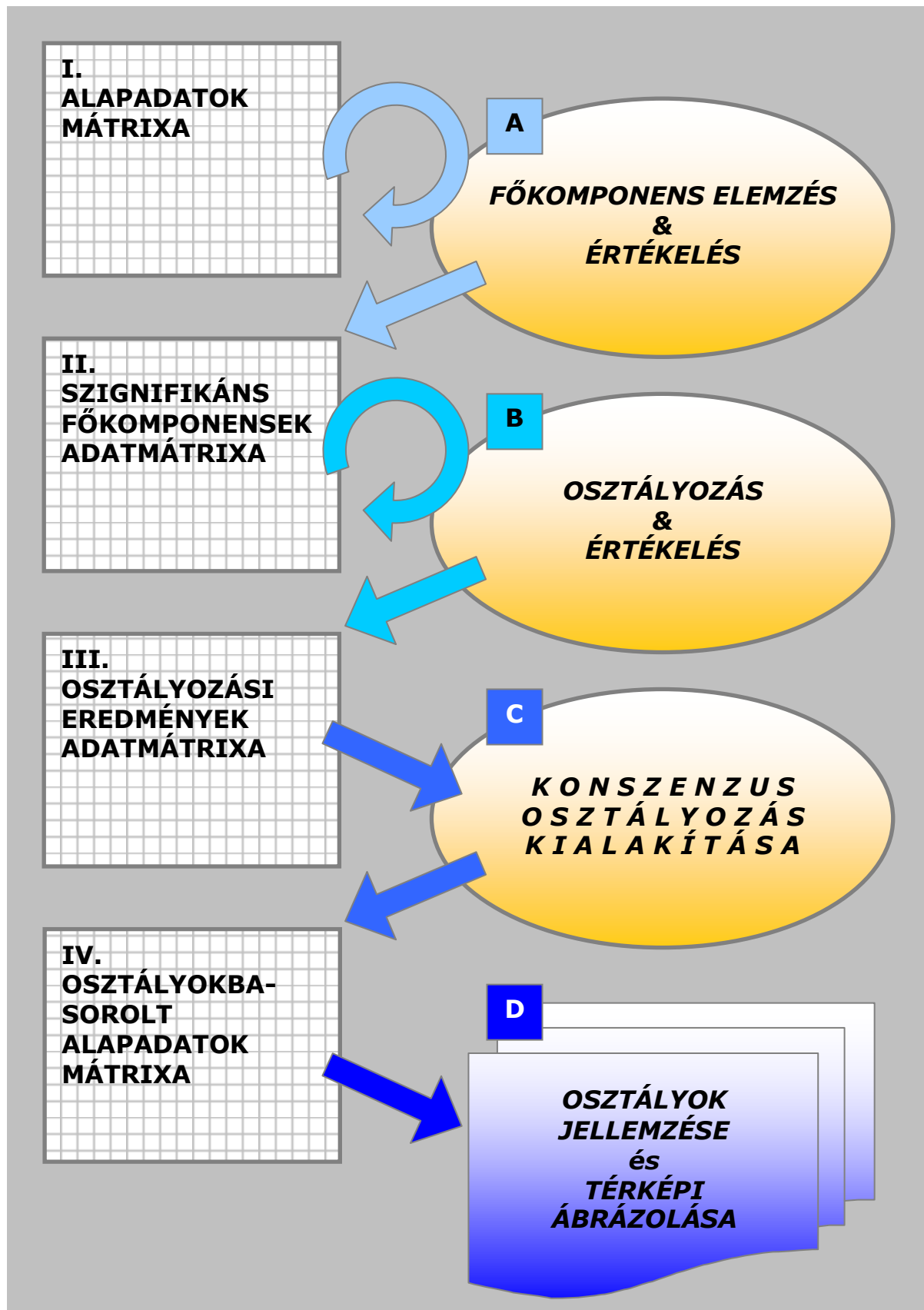
Az esetek (MVP-ok) száma továbbra is 396, a változókat pedig az előbbi PCA első hat komponensének (K01 – K06) sajátértékei adják (M.2 melléklet - V14SSC6.TXT).

### B. Osztályozás és értékelés

A főkomponensek adatmátrixa alapján kiszámítottam az esetek (MVP-ok) közötti távolságmátrixot (*dist* – R függvény), amely az osztályozó eljárások bemenetét képezte. A sokdimenziós adatfelhő pontjai között többféle algoritmussal is kereshetünk összetartozó csoportosulásokat. Az eljárások eltérő módon viselkednek ugyanazon adatsoron, az adatfelhő belső szerkezetét más-más szempontból világítva meg (néha műterméket is eredményezve). A markánsabb sokdimenziós szerkezeteket többféle módszer is kimutatja, így biztosabb eredményre vezet, ha többféle osztályozást is elvégzünk, végül keressük a többség által megerősített konszenzus eredményt (Podani 1997). Az első értékelés során kizártam az egyértelműen kedvezőtlennek (műterméknek) tekinthető „láncatást”, „lépcsőhatást” vagy „visszafordulást” eredményező egyszerű lánc (SING), centroid (CNT) és medián (MED) módszerek alkalmazását. Négy további módszer: a teljes lánc (CMP), a csoportátlag eljárás (AVG), az egyszerű átlag (MCQ) és az eltérésnégyzet összeget optimalizáló Ward-féle (WRD) módszer viszont alkalmas eredményt adott. A számításokat az R „hclust” függvényével végeztem. A CMP, AVG, MCQ és WRD módszerek szerinti dendrogrammok értékelését „silhouette” vizsgálattal (Rousseeuw 1987) végeztem annak eldöntésére, hogy hány csoportot tartsak meg. Ahol a „silhouette” maximumot mutat (9. ábra), ott az osztályozás optimálisnak mondható. A csoportátlag eljárás (AVG), az egyszerű átlag (MCQ) és az eltérésnégyzet-összeget optimalizáló (WRD) módszer esetében két (közel azonos) csúcst is kiválasztottam a további elemzéshez.

A „silhouette” értékelés alapján a hét osztályozás (CMP-16, AVG-9, AVG-18, MCQ-13, MCQ-18, WRD-19 és WRD-26) eredményét egy újabb adatmátrixba foglaltam („osztályozási eredmények adatmátrixa”), amely a végső, ún. konszenzus-osztályozás alapját képezi.

Az 6. táblázat áttekintést ad arról, hogy ugyanazt az adatsort („v14s”) milyen sokféleképpen lehet csoportosítani. Az eltérések az alkalmazott módszerek eltérő viselkedéséből fakadnak és természetesen abból, hogy az adatsor (jelen esetben a mintavételi pontok hatdimenziós „adat-felhője”) milyen és mennyire markáns csoportosulásokat, mintázatokat mutat.



**8. ábra** A faállomány-szerkezeti típusok megállapításához, jellemzéséhez és térképi ábrázolásához vezető elemzés áttekintő módszertani sémája.

#### 4. táblázat

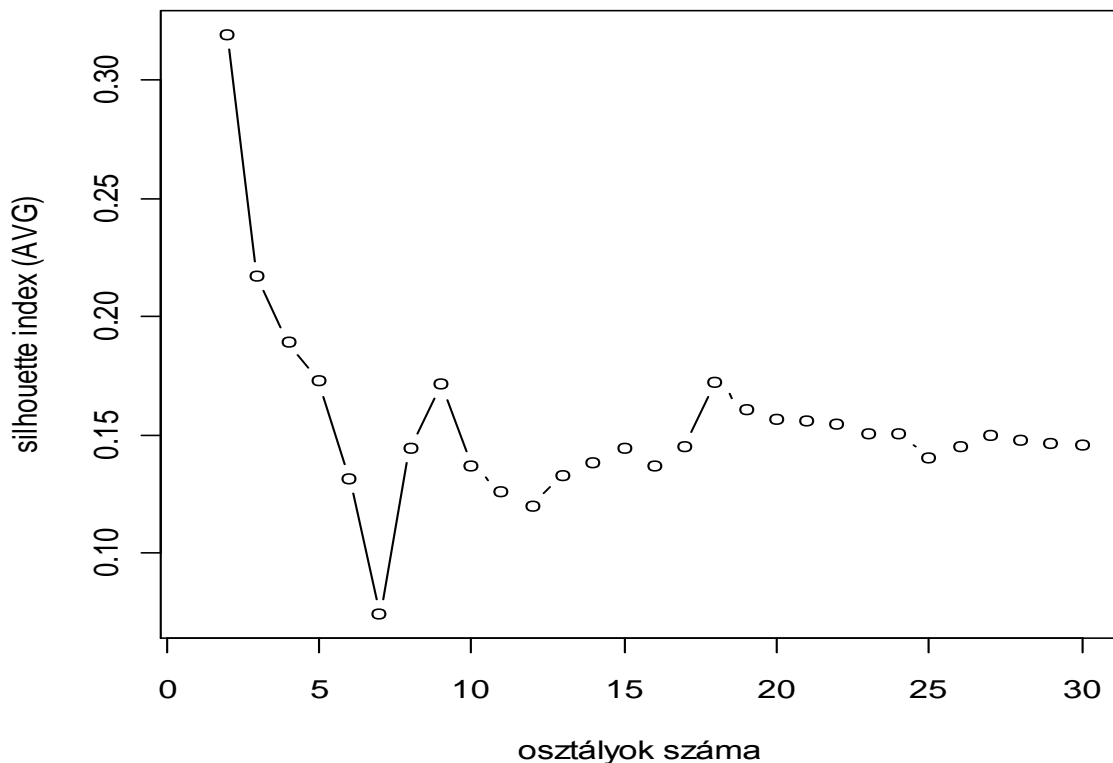
Az elemzésekben használt faállomány-szerkezeti változók neve és rövidítése (M.2 melléklet - VARHEGY03.TXT).

faállomány-szerkezeti jellemzők	rövidítés
a lombkoronaszint összes záródása (%)	ZAR
a felső lombkoronaszint borítása (%)	FLSO
az alsó lombkoronaszint borítása (%)	ALSO
lékesség mértéke: L0, L1, L2-3, LX (0, 10, 25, 50%)	LEKS
a cserjeszint borítása (%)	CSJE
a gyepszint borítása (%)	GYEP
az állomány magassága (m)	MAG
hektáronkénti törzsszám (tő/ha)	N
hektáronkénti körlapösszeg (m <sup>2</sup> /ha)	G
bükk körlapösszeg alapján számított elegyaránya (%)	EABUKK
cserszömörce körlapösszeg alapján számított elegyaránya (%)	EACSSZ
csertölgysz körlapösszeg alapján számított elegyaránya (%)	EACST
egyéb fafajok körlapösszeg alapján számított elegyaránya (%)	EAFAEGY
gyertyán körlapösszeg alapján számított elegyaránya (%)	EAGY
húsos som körlapösszeg alapján számított elegyaránya (%)	EAHUSO
kocsánytalan tölgy körlapösszeg alapján számított elegyaránya (%)	EAKTT
mezei juhar körlapösszeg alapján számított elegyaránya (%)	EAMJ
magas kőris körlapösszeg alapján számított elegyaránya (%)	EAMK
mogyoró körlapösszeg alapján számított elegyaránya (%)	EAMOGY
molyhos tölgy körlapösszeg alapján számított elegyaránya (%)	EAMOT
az 5-10 cm mellmagassági átmérőjű (élő fák) számaránya (%)	NELO_D05-10
a 10-20 cm mellmagassági átmérőjű (élő fák) számaránya (%)	NELO_D10-20
a 20-30 cm mellmagassági átmérőjű (élő fák) számaránya (%)	NELO_D20-30
a 30-40 cm mellmagassági átmérőjű (élő fák) számaránya (%)	NELO_D30-40
a 40-50 cm mellmagassági átmérőjű (élő fák) számaránya (%)	NELO_D40-50
az 50-100 cm mellmagassági átmérőjű (élő fák) számaránya (%)	NELO_D50100
alászorult helyzetű fák elegyaránya (%)	EAG_AL
kimagasló helyzetű fák elegyaránya (%)	EAG_KI
közbeszorult helyzetű fák elegyaránya (%)	EAG_KZ
uralkodó helyzetű fák elegyaránya (%)	EAG_UR
tősarj eredetű fák számaránya (%)	EAN_TS
óriás termetű fák számaránya (%)	EAN_OR

### 5. táblázat

A standardizált főkomponens elemzésekben (PCA) használt **faállomány-szerkezeti változók** összeállítása PCA futtatásonként, a figyelembe vett változók száma, a szignifikáns komponensek száma ( $p=0,05$  szinten) és a szignifikáns komponensek által képviselt összes variancia. A PCA futtatásokat az eredményesség (a legnagyobb képviselt összes variancia) szempontjából rendeztem növekvő sorba.

FAÁSZ változók	v05	v03s	v07s	v11s	v06s	v04s	v15s	v14s
ZAR	-	X	X	-	X	X	X	<b>X</b>
FLSO	-	X	-	-	-	X	-	<b>X</b>
ALSO	-	X	-	-	-	X	X	<b>X</b>
LEKS	-	X	X	-	X	X	X	<b>X</b>
CSJE	-	X	X	-	X	X	X	<b>X</b>
GYEP	-	X	X	-	X	X	X	<b>X</b>
MAG	-	X	X	-	X	X	X	<b>X</b>
<b>N</b>	<b>X</b>	<b>-</b>	<b>X</b>	<b>-</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>G</b>	<b>X</b>	<b>-</b>	<b>X</b>	<b>-</b>	<b>X</b>	<b>-</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
EABUKK	X	-	X	-	X	X	X	<b>X</b>
EACSSZ	X	-	X	-	X	-	-	-
EACST	X	-	X	-	X	X	X	<b>X</b>
EAFAGY	X	-	X	-	X	-	-	-
EAGY	X	-	X	-	X	X	X	<b>X</b>
EAHUSO	X	-	X	-	X	-	X	<b>X</b>
EAKTT	X	-	X	-	X	X	X	<b>X</b>
EAMJ	X	-	X	-	X	X	X	<b>X</b>
EAMK	X	-	X	-	X	X	X	<b>X</b>
EAMOGY	X	-	X	-	X	-	-	-
EAMOT	X	-	X	-	X	X	X	<b>X</b>
NELO_D05-10	-	-	X	X	-	-	X	<b>X</b>
NELO_D10-20	-	-	X	X	-	-	-	<b>X</b>
NELO_D20-30	-	-	X	X	-	-	X	-
NELO_D30-40	-	-	X	X	-	-	-	-
NELO_D40-50	-	-	X	X	-	-	-	-
NELO_D50100	-	-	X	X	-	-	X	<b>X</b>
EAG_AL	-	-	X	X	-	-	-	-
EAG_KI	-	-	X	X	-	-	-	-
EAG_KZ	-	-	X	X	-	-	-	-
EAG_UR	-	-	X	X	-	-	-	-
<b>EAN_TS</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>X</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
EAN_OR	-	-	-	X	-	-	-	-
<b>változók száma</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>28</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
<b>szignifikáns komponensek száma</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>képviselt összvariancia</b>	<b>45%</b>	<b>58%</b>	<b>62%</b>	<b>63%</b>	<b>64%</b>	<b>67%</b>	<b>67%</b>	<b>68%</b>



**9. ábra** A „silhouette” index lefutása egy csoportátlag (AVG) módszerrel készített hierarchikus osztályozás eredményén. Az index két közel azonos csúcsot mutat a 9 és a 18 osztályba való felosztás eseteire. A további értékelésben mindkét változatot figyelembe vettem (6. táblázat).

#### 6. táblázat

A „v14s” jelű adatsor standardizált főkomponens elemzése alapján, az első 6 komponensre elvégzett **osztályozások értékelése**. *Rövidítések magyarázata:* SNG – egyszerű lánc módszer (single linkage); CMP – teljes lánc módszer (complete linkage), AVG – csoportátlag eljárás (average), MCQ – egyszerű átlag módszer (McQuitty), CNT – súlypont módszer (centroid), MED – medián módszer, WRD – eltérésnégyzetösszeg optimalizáló módszer (Ward).

módszercsalád	HIERARCHIKUS OSZTÁLYOZÁS						
	SNG	CMP	AVG	MCQ	CNT	MED	WRD
„normális” dendrogramm	–	X	X	X	–	–	X
„lánchatás” hiba	X	–	–	–	–	–	–
„lépcsőhatás” hiba	X	–	–	–	–	–	–
„visszafordulás” hiba	–	–	–	–	X	X	–
<b>további elemzésre</b>	<b>–</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>X</b>
osztályok száma	–	16	9	13	–	–	19
(„silhouette” csúcsok)	–	–	18	18	–	–	26

### III. Az osztályozási eredmények adatmátrixa

Az esetek (MVP-ok) száma továbbra is 396, a változókat (7 változó) az előző lépés osztályozási eredményei adják. Ezek a változók nominális (vagyis kategória) típusúak, mivel a számok kódok a dendrogrammok csoportjait jelentik (M.2 melléklet - E14S6.TXT, E14S6.XLS).

### C. Konszenzus osztályozás

Az osztályozási eredmények nominális típusú adatmátrixán Gower indexen alapuló (Gower 1971) távolság-számítást végeztem az R *gower.dist* függvényével (Kaufman & Rousseeuw 1990), majd teljes lánc algoritmust alkalmazó, újabb hierarchikus klaszterezéssel hoztam létre a konszenzus dendrogrammot.

### IV. A konszenzus osztályokba sorolt alapadatok mátrixa

A kiindulási alapadat mátrixhoz (I.) egy újabb, kategória-változót<sup>14</sup> illesztettem, a konszenzus osztályozás eredményét leíró vektort (KONSZ). Így az esetek (MVP-ok) száma továbbra is 396, míg a változók (tulajdonságok) száma eggyel több, vagyis 33 (M.2 melléklet – VARHEGY03sKONSZ.TXT). Az eredmények könnyű ábrázolhatósága érdekében ezt az adatsort kibővítettem a MVP-ok földrajzi koordinátaival (X, Y), valamint az első hat főkomponens értékével is (KO1-KO6).

### D. Osztályok jellemzése és térképi ábrázolása

Az értékelés eredményeként kapott osztályokat többé-kevésbé homogén egységeknek, faállomány-szerkezeti típusoknak tekintem. Amennyiben egy ilyen osztálynak legalább 5-10 tagja van, statisztikai szempontól is jellemezhetővé válik, sőt – az ismétlések következtében – a lokális faállományhoz képest, már összetettebb változócsoportok is vizsgálhatók. Az értékelésnek ezen a szintjén, az osztályok jellemzésére a legfontosabb változók statisztikai leíró grafikonjait használtam (a szintezettség: ZARS, FLSO, ALSO, CSJE, GYEP, LEKS, MAG; az átmérőcsoportok szerinti törzsszám: NELO\_D05-10, ... NELO\_D50100; a fontosabb fa- és cserjefajok: B, GY, CSNY, KJ, HJ, HARS (KH és NH), CS, KTT, MOT, BERK (BABE, DBE, LBE, MBE), MJ, MK, MOGY, HUSO, GAL (CSG, EBG), egyéb fajok (XEGY) törzsszám és körlepősszeg szerinti elegyarányát. Erre a feladatra az R *boxplot* függvényét használtam, amely ún. „box-and-whisker” ábrákat készít. Ezek a diagrammok ábrázolják a mediánt, a 25-75%-os tartományt, a teljes tartományt és a kilógó értékeket. Továbbá térkép-vázlaton ábrázoltam a típusok területi mintázatát (térbeli allokáció).

<sup>14</sup> A kategória változókat az R „faktor”-nak hívja.

## 4. Eredmények

### 4.1 A hosszú távú vizsgálsorozat (HTV) módszertani kerete

A stratégiai kérdések lefektetését követően (Standovár 2002b), a faállomány-szerkezeti felmérés módszerének kidolgozása során, olyan fontos módszertani kérdéseket is tisztáznunk kellett, mint, hogy:

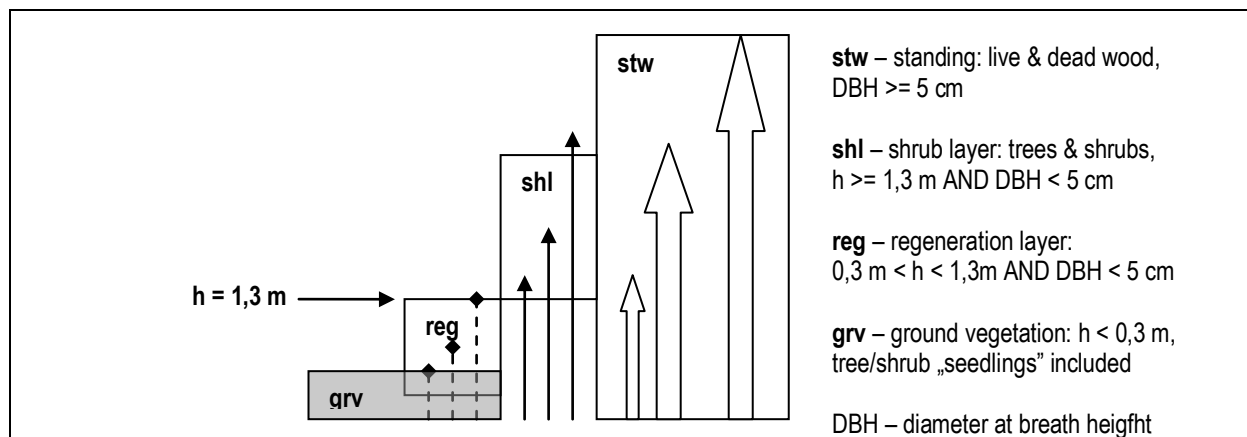
- milyen erdőszerkezeti modellt alkalmazzunk, az egyes szinteket és részelemeket hogyan definiáljuk?
- milyen a vizsgálandó térbeli erdőszerkezet-mintázat és annak léptéke, ezzel kapcsolatban pedig milyen fogalmakat használjunk?
- az egyes vizsgálati módszerek hogyan alkossanak alapvető célkitűzéseinknek megfelelő mintavételi rendszert?

#### 4.1.1 Az erdőszerkezet vertikális modellje

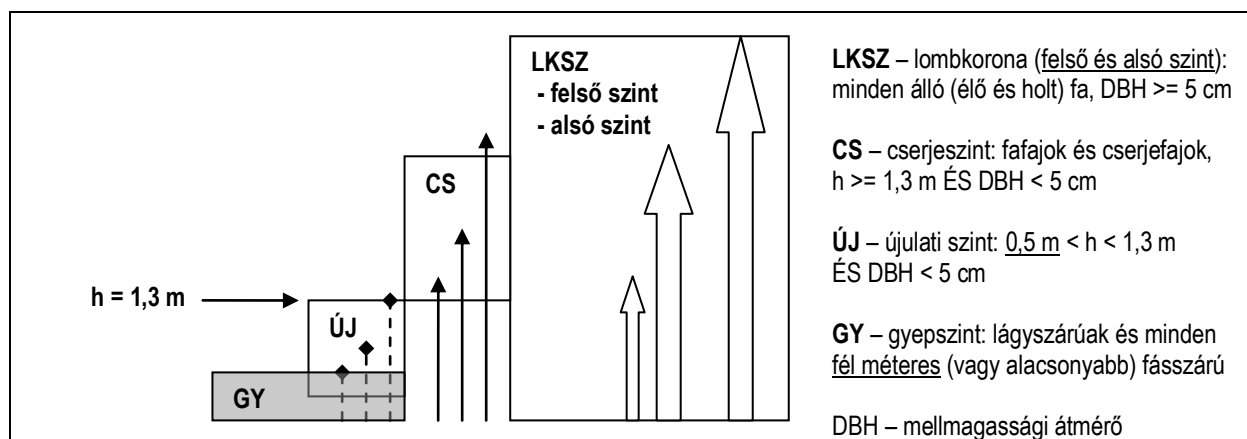
Alapjában átvettük a COST E4 ajánlás szerinti erdőszerkezeti felfogást (10.a ábra), amelyet csekély változtatásokkal adaptáltunk (10.b ábra). A hagyományos értelemben „erdő”-nek tekinthető, fanövekedésű állománnyal rendelkező, zárt vagy többé-kevésbé zárt erdőkben ezt a modellt alkalmazzuk a faállomány-szerkezet nagyobb területet lefedő általános megismerésére, függetlenül attól, hogy az egyes erdőtípusok dinamikája és ökológiája jelentősen más (pl. bükkös – tölgyes – ártéri ligeterdő). Magyarország erdőrezervátumainak legtöbbszörében ez a modell jól használható. Alkalmazhatósága csak *nagyon eltérő szerkezetű erdők* esetében ütközhet nehézségekbe, mint pl. erdőssztyepp, erősen kiligetesedett (liget)erdő, fáslegelő, valamint *különleges (szurdok, nagyon tagolt, mocsaras ...)* termőhelyi körülmények között kifejlődött állományokban.

Bartha és Esztó (2001) potenciális erdőtársulás-csoportok szerinti kimutatásában eltérő szerkezetű erdő az erdőrezervátum-hálózat magterületeinek csak mintegy 8%-án fordul elő, a magterületek 92%-án (és a gazdálkodás alatt álló erdőkben) a modellel jól megfeleltethető állományok találhatók.





**10.a ábra** Az erdőszerkezet COST E4-modellje Hochbichler et al. (2000) ajánlása szerint



**10.b ábra** Az erdőszerkezet általános modellje Horváth és mtsai (2011), Horváth (2011) és Ódor és mtsai (2009) alapján. Az COST E4 modelltől való eltéréseket aláhúzással jelzem.

#### 4.1.2 A faállomány-szerkezeti mintázat, az állab, az elemi erdődinamikai egység és a lokális erdőállomány fogalma

Az erdőtervezés, erdőgazdálkodás területi és kezelési egysége az erdőrésztlet. Annak faállományát meghatározó módon a gazdálkodó alakítja (különösen vágásos rendszerű erdőgazdálkodás esetében), jelentős mértékben egyszerűsítve az erdő összetételét, szerkezetét, mintázatát és működését. Természetszerű vagy természetes erdőkben a fajösszetétel, az elegyarány, a méret- és koreloszlás-mintázatok, valamint a populációs és ökológiai folyamatok sokkal mozaikosabb, változatosabb és dinamikusabb formában valósulnak meg.

Vajon egy természetes faállomány *milyen állomány-egységben működik*? Ez jelöli majd ki a vizsgálatok objektumát és léptékét.

Az erdészeti, erdőökológiai szakirodalom az alábbi operatív „erdőegységeket” használja. Madas (2001) a Fuchs Frigyes Ungars Urwälder (Fuchs 1861) fordításának függelékében közölt erdészeti szakkifejezések között említi a németből fordított „erdő-álladék” meghatározását, amely „... az erdőnek olyan része, amelyet a többitől a fafaj, a kor vagy egyéb tulajdonságok különböztetnek meg, amelyek befolyásolják a fakészletet. Természetes határok vagy mesterséges nyiladékok választják el a szomszédos, másképp kezelt állományrészekről.” E korszakból származik az „állab” elnevezés is. Bölcsházai Belházy (1895) meghatározása szerint: „állab alatt értjük a kisebb-nagyobb összefüggő területen együtt élő erdei fáknek összességét, mely mint ilyen, fanem-, kor- és minőségre nézve külön jelleggel bír, s a többiektől többé-kevésbé élesen különválik”. Czajlik (1996) termőhelyi és faállomány-szerkezeti különbségek alapján homogén „állományrészek”-et különít el, majd ugyancsak az állab kifejezést vezeti be az erdőrezervátum-kutatás körébe és alkalmazza a Kékes erdőrezervátum állabterképén (Czajlik 2002a). Husch et al. (2003) a faállományt más állományoktól elkülönülő, közös tulajdonságokkal jellemezhető fák csoportjaként határozza meg<sup>15</sup>. A (fa)állományt, állományrészt, állabot (esetleg az erdőtársulás állományát, foltját) minden szerző – más állományokhoz viszonyítva – főbb tulajdonságaiban elkülönülő és többé-kevésbé belső homogenitással rendelkező vagy homogénnek feltételezett egységnek tekintti<sup>16</sup>. Ennélfogva ezek az egységek lehatárolhatók, térképezhetők, feltéve hogy előzetesen már ismertük, megismertük vagy definiáltuk a megkülönböztetendő típusokat, egységeket.

A faállomány-szerkezet foltmintázati egységének tehát az *állab*-ot tekinthetjük, azonban a foltok határai gyakran bizonytalanok vagy a típusok között széles és változatos átmenetek vannak (Bölöni 2004). Ez a mintázat dinamikusan változik, ciklikus és véletlenszerű jellegzetességekkel is bírhat, ahogyan ez általában a természetes ökoszisztémák és növényzet sajátossága (Watt 1947, Picket & White 1985, Frelich 2002, Oborny és mtsai 2007).

Vajon mekkora a legkisebb állományfolt, amelyben a vizsgálandó faállomány-szerkezeti sajátosságok és elemi folyamatok már meg tudnak nyilvánulni? Itt elsősorban a lékdina-

<sup>15</sup> „A stand is a group of trees that occupy a given area and that has some common characteristic or combination of characteristic, such as origin, species composition, size or age that set it apart from other groups of trees. A number of stands taken together form a forest.”

<sup>16</sup> Függetlenül attól, hogy az milyen hatásokra (termőhelyi körülmények, erdőgazdálkodás, természetes vagy mesterséges bolygatások, erdőfejlődési vagy erdőtörténeti okok) alakult ki.

mikához köthető populációs jelenségekre és ökológiai folyamatokra gondolok, amelyeket hazai viszonyaink között a legfontosabbnak kell tartanunk (Somogyi 1998, Standovár 1996, Kenderes et al. 2008). Ennek következtében az erdődinamikai folyamatok lehetséges legkisebb állományegységét a lékjelenségek hatókörének dimenziója jelöli ki (de nem maga a lék). Ez hozzávetőleg az uralkodó famagasság 1-1,5-szeres sugarú körzetének faállományát jelenti. Nyilvánvaló, hogy egy lék ökológiai hatásai ebben a dimenzióban érvényesülnek. Természetesen egyetlen ilyen egységet sem szakíthatunk ki az erdőállomány közegéből körülményeinek durva sérülése nélkül, a rendszer működése csak elég kiterjedt állományon belül vizsgálható. A továbbiakban ezt a kitüntetett, de pontosan le nem határolható állományméretet „*elemi erdődinamikai egység*”-nek hívom. Hazai viszonyaink között ez 0,1-0,5 hektáros állományméretnek tekinthető.

Mindebből következik, hogy az erdőrezervátumok faállomány-szerkezetének és természetes folyamatainak változatosságát és mintázatait elsősorban az elemi erdődinamikai egységek 0,1-0,5 hektáros léptékében és az állabok léptékében lehet jól megismerni és leírni. Ez kihat a faállomány-szerkezet mintavételes vizsgálatára és a mintavételi pontokra kapott eredmények értékelésének módjára. A mintavételi pontokat szisztematikusan jelöljük ki, nem pedig állabok szerint. Ezért a vizsgálati pontok egy része állabhatárra vagy átmeneti zónára esik, ahol az eredmény nem tisztán az állab, hanem az átmenet tulajdonságait fogja mutatni.

Fontos hangsúlyoznom, hogy mindezek miatt az erdőrezervátum-kutatásnak az erdőrendezés gyakorlatától jellegzetesen eltérő a célkitűzése. Mintavételezésünket elsősorban a faállomány változatosságának, mintázatának megismerése vezérli és nem az erdőrészletre vonatkozó átlagértékek megfelelő pontosságú statisztikai becslésének igénye (az alapadatok elemzésének fázisában természetesen el fogunk jutni az állabok, vagy akár az erdőrészletek értékeléséhez is). A mintavételt úgy terveztük meg, hogy az elég nagy valószínűséggel legyen reprezentatív az elemi erdődinamikai egységekre és az állabok mintázatára nézve. Mivel a lékdinamika és az állab-mintázat statisztikus és változó jelenség, ez csak részben sikerülhet. Ezért bevezettem és használom a *lokális faállomány* operatív fogalmát is. Lokális faállománynak tekintem a mintavételi pont negyedhektáros környezetének faállományát (függetlenül attól, hogy ez nagyobb vagy kisebb az elemi erdődinamikai egységnél). Ez egy gyakorlatias definíció, amelyet az ERDŐ+h+á+l+ó rendszerében kialakított mintavételi pontok sűrűsége (4 MVP/ha) alapján határozhatunk meg.

### 4.1.3 Az ERDŐ+h+á+l+ó

Az ERDŐ+h+á+l+ó vagyis a *faállomány-dinamikai és erdőökológiai megfigyelő-hálózat* célja, hogy:

- évtizedeken keresztül,
- széles térbeli dimenzió mentén,
- erőforrásaink takarékos és hatékony felhasználásával,
- közös infrastrukturális szolgáltatás biztosításával,
- támogassa az erdőrezervátumokban tervezett, elindított és futó hosszú távú vizsgálat-sorozatok (HTV) és további interdiszciplináris kutatásokat.

Minden hálózatot HTV kutatási projekt keretében létesítünk és használunk. A kutatási projektek leírásában adjuk meg a tudományos célkitűzéseket és a megvalósítás részleteit. A felméréseket, kutatásokat a hálózat csomópontjaiban, mint mintavételi pontokban (MVP) végezzük, ahol az alábbi tematikus felmérések kapcsolódnak egymáshoz:

- faállomány-szerkezeti modul (MVP FAÁSZ),
- talajtérképezés (MVP TALAJ),
- az újulati- és cserjeszint felmérés (MVP ÚJCS), valamint
- az aljnövényzeti szint felmérése (MVP ANÖV).

Egy-egy hálózatot általában 10-100 hektáryi erdőterületen alakítunk ki, 4 MVP/ha sűrűséggel, amelyet rendszerint csak erdőrezervátum magterületen hozunk létre. A hálózat kiterjeszhető a védőzónára is, ha azt a kutatási célkitűzés indokolja.

A kitűzött MVP-okat jól felismerhető *jelölésekkel* és *címkékkel* látjuk el a hálózatban való tájékozódás, a pontok egyértelmű azonosítása, valamint könnyű és hatékony visszatalálása érdekében. A kitűzést, állandósítást talajba vert festett betonacél fémcövekkel végezzük. A közös infrastruktúra egyszerűbbé és gyorsabbá teszi a terepmunkát, amely különösen akkor érvényesül, ha több tudományág kutatói is kihasználják ennek előnyeit. A MVP-ok használatával pontos földrajzi egymásra vonatkoztatást lehet megvalósítani. Az ERDŐ+h+á+l+ó mintavételi pontjainak helyét minden esetben koordinátákkal adjuk meg és becsüljük a lokalizálás bizonytalanságát. Pontosabb pozíciók birtokában az egymástól függetlenül felépített térinformatikai tematikák (fedvények) pontosabb illeszkedését lehet elérni. Különösen fontos lehet ez például alacsony repülésű légifelvételekkel, vagy digitális terepmodellel való egybevetés kialakításakor.

A terepi infrastruktúra hatékony kihasználását *tudományos és dokumentációs-információs szolgáltatások* egészítik ki, amelyek a következőkből állnak:

- A tudományos együttműködés feltételeinek és szabályainak nyilvánosan hozzáférhető közzététele.
- Nyilvántartás az erdőrezervátumokban tervezett, folyamatban lévő vagy befejezett kutatásokról és az ERDŐ+h+á+l+ó kiépítettségéről.
- Az ERDŐ+h+á+l+ó karbantartásának biztosítása.
- Hozzáférés biztosítása az Erdőrezervátum Program Archívumában összegyűjtött és őrzött tudományos anyagokhoz, háttér információkhoz. Különösen a HTV-protokoll keretében született ERDŐ+h+á+l+ó rendszerű felmérések eredményeihez – figyelembe véve és betartva az Archívumra és az egyes anyagokra vonatkozó felhasználási szabályokat.

## 4.2 Az elővizsgálatok eredményeinek értékelése

### 4.2.1 Valós adatsoron, szimulált mintavételi és számítási eljárások eredményeinek összehasonlítása

A teljes felméréshez (M0) és. az egytized hektáros felméréshez (M2c) viszonyítva hasonlítottam össze a hektáronkénti törzsszám (N) és körlap-összeg (G) becslési eredményeket a mintakörös (M2a), a szög számláló próbás (M1) és a kombinált (MX-ÁTL és MX2523) eljárások szerint. Az M.2 mellékletben mutatom be részletesen a leíró statisztikákat (táblázat és „box-plot” diagramm) és a páronkénti korrelációs számítások („mátrix-plot”) eredményeit.

Összefoglalásképpen megállapítható, hogy ebben a vizsgálatban:

- Egyik mintavételi, számítási eljárás sem bizonyult meggyőzően jobbnak, reprezentatívabbnak a többinél (de rosszabbnak sem). A páronként számított két mintás t-próbák 30 esetből csak egyszer adtak szignifikáns eltérést, a többiben nem .
- N becslésében a mintakörös felmérés (M2a) – a várakozásnak megfelelően – jól teljesített, viszont G becslésére a szög számláló próbára alapozott mintavétel (M1) – a várakozásoktól eltérően – kicsit rosszabb eredményeket hozott (ám egyik sem bizonyult szignifikánsan eltérőnek az egytized hektáros felméréshez képest).
- Az MX2523 eljárás ugyanazt az eredményt hozta, mint az egytized hektáros felmérés ( $N=526 \pm 76$  törzs/ha az  $553 \pm 55$  törzs/ha-hoz képest,  $G= 28,1 \pm 1,19$  m<sup>2</sup>/ha a  $29,4 \pm 1,16$  m<sup>2</sup>/ha) egy kicsit nagyobb szórással ugyan, de felénél is kevesebb fa felméréséből (20 mintába került fa az 55-tel szemben).

Mivel a becslés eredményei nem csak a módszerektől függenek, hanem jelentős mértékben a vizsgált állomány jellegzetességeitől (mintázat, átmérő-viszonyok) is, arra a következtetésre jutottam, hogy ebben a 3 hektáros állományban a 12 ismétlésre alapozott vizsgálat nem hozott bizonyító eredményt, amelyet részben a véletlen szerepének, részben pedig az állomány aktuális sajátosságainak tulajdonítok. Mindezért további vizsgálatba fogtam (érzékenység elemzés).

#### 4.2.2 Szimulált adatsoron végzett összehasonlító érzékenységvizsgálat eredményeinek értékelése

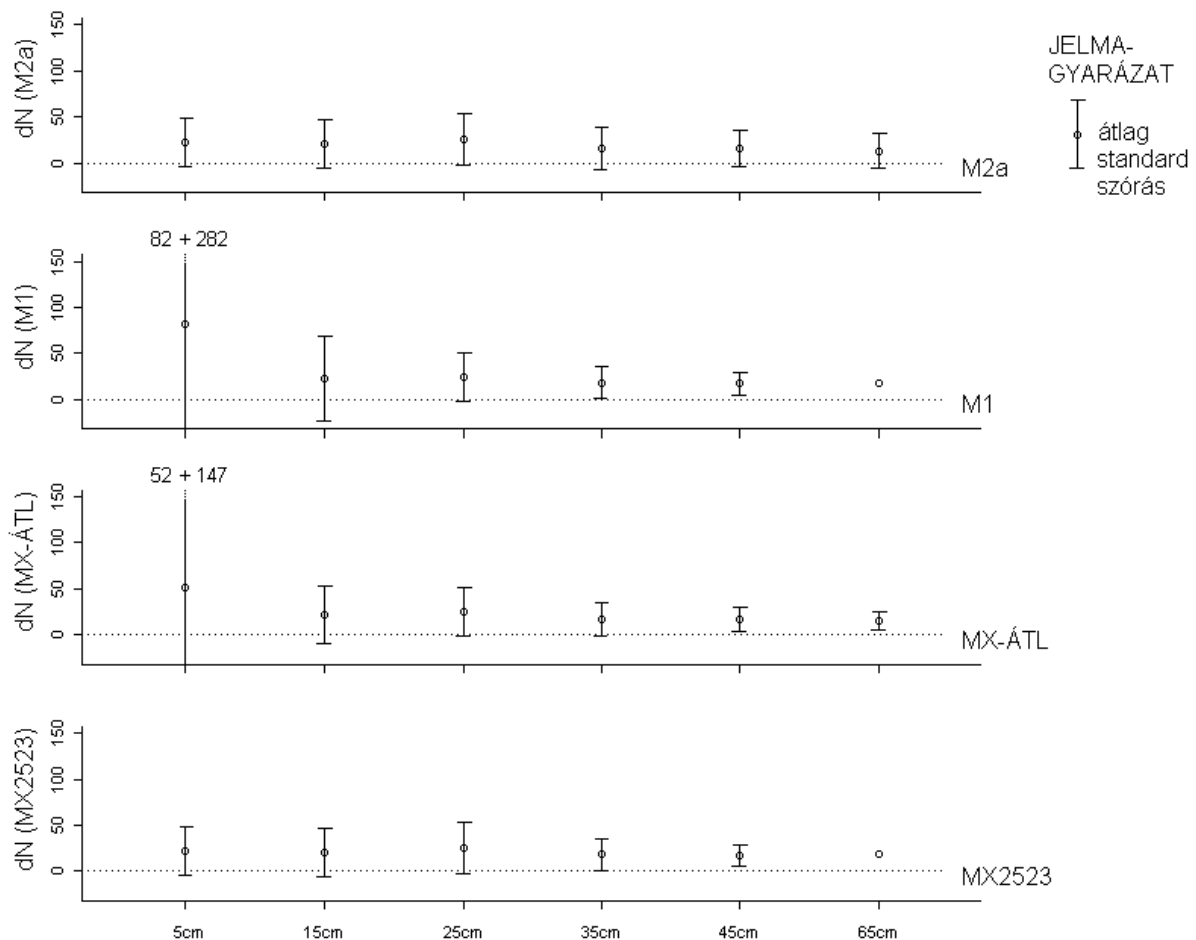
Mindkét „kezelés” nagyon kis intenzitású, hiszen a PLUSZ-18N során alkalmazott törzsszám növelés csak 2,8%-os, a PLUSZ-2G során alkalmazott körlap növelés pedig csak 5,3%-os többletet jelent. A vizsgálat-sorozatban, a 25 ismétlés átlagában, mindegyik módszer egyaránt mutatja a kezelések hatását (statisztikai teszttel ellenőrizve nem szignifikáns, de nem is ez volt a cél). A vizsgálat fő eredménye nem az átlagok változásában van, hanem amit az eltérő vastagságú „beültetett” törzsek hatására a standard szórások mutatnak. Az eredmények nagyobb szórása az adott módszer nagyobb bizonytalanságát jelenti, a kisebb viszont a nagyobb megbízhatóságot. A plusz „beültetett” törzsek vastagságának függvényében, a vizsgált módszerek eltérően viselkednek (7. táblázat). A hektáronkénti törzsszám becslésében az M2a módszer a teljes tartományban átlagosan-közepesen teljesít, az M1 módszer a vékonyabb fák esetében rendkívül megbízhatatlan, viszont a vastagabb fáknál egyre megbízhatóbb eredményt ad. Az MX-ÁTL módszer természetesen kiegyenlített eredményt ad, de a vékony törzsek tartományában nagy mértékben öröklő az M1 megbízhatatlanságát. Az MX2523 módszer a legtöbb esetben jól teljesít, tulajdonképpen az M2a és M1 módszerek legelőnyösebb tulajdonságait ötvözi (11. ábra). A hektáronkénti körlapösszeg becslésénél is hasonló a helyzet, azonban itt az M2a módszer viselkedik sokkal megbízhatatlanabban a vastagabb tartományban, míg az M1 módszer itt is hasonló tendenciát mutat, de kevésbé szélsőségesen, mint a törzsszám esetében. Az MX2523 módszer ebben az esetben is a legmegbízhatóbban teljesít, a két módszer előnyös viselkedését megtartva (12. ábra).

**7. táblázat**

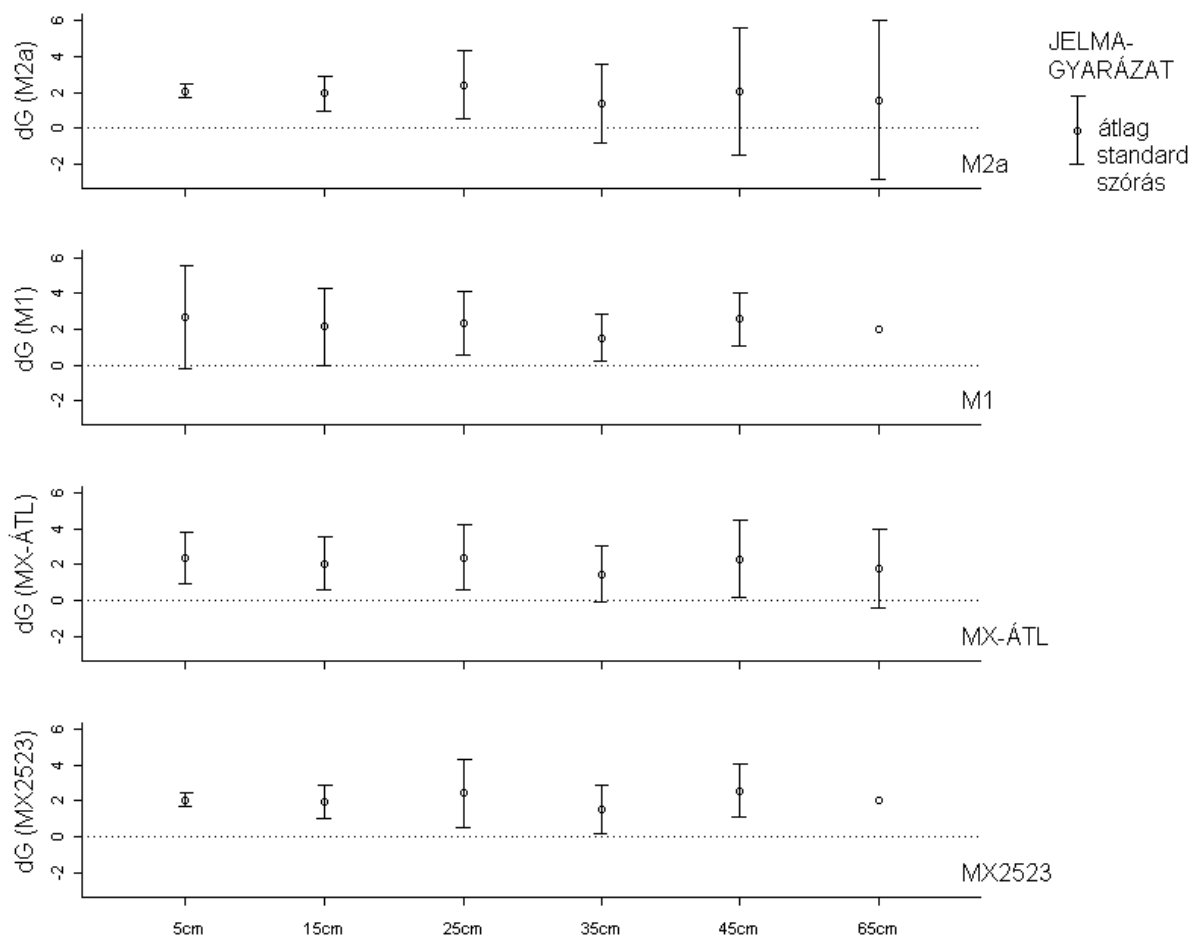
A PLUSZ-18N és PLUSZ-2G kezelések hatására bekövetkezett hektáronkénti törzsszám- és körlapösszeg-különbségek **standard szórása** a „beültetett” fák vastagságának függvényében (az alacsonyabb érték a kedvezőbb). Az értékelésnél adott csillagok száma azt mutatja, hogy az adott módszer hány esetben bizonyult a legmegbízhatóbbnak (a kisebb szórást mutatónak – szürke kitöltéssel jelezve), míg a mínusz jelek száma azt mutatja, hogy az adott módszer hány esetben bizonyult a legbizonytalanabbnak (a nagyobb szórást mutatónak – piros színnel jelezve).

<b>PLUSZ-18N – hektáronkénti törzsszám különbségének standard szórása (dN SD)</b>							
átmérő	5 cm	15 cm	25 cm	35 cm	45 cm	65 cm	értékelés
M2a	26,0	26,1	28,0	23,1	20,0	19,0	** / ----
M1	282,1	46,1	26,3	17,5	11,9	0,0	**** / --
MX-ÁTL	147,1	30,7	26,8	17,8	13,6	9,5	...
MX2523	26,0	26,1	28,0	17,5	11,9	0,0	***** / -
<b>PLUSZ-2G – hektáronkénti körlapösszeg különbségének standard szórása (dG SD)</b>							
átmérő	5 cm	15 cm	25 cm	35 cm	45 cm	65 cm	értékelés
M2a	0,38	0,96	1,90	2,19	3,54	4,40	** / ----
M1	2,87	2,15	1,80	1,33	1,47	0,00	**** / --
MX-ÁTL	1,47	1,47	1,83	1,57	2,16	2,20	...
MX2523	0,38	0,96	1,90	1,33	1,47	0,00	***** / -





**11. ábra** A hektáronkénti törzsszám növekménye és standard szórása ( $dN \pm SD$ ) a 8,92 m mintakörös (M2a), a szög számláló próbás (M1), és a kombinált felmérés átlagoló algoritmus (MX-ÁTLAG), valamint MX2523 algoritmus szerint számolva, PLUSZ-18N „kezelés” hatására, a Hidegvíz-völgy mintájára készített random mintázatú, szimulált, virtuális faállományon végrehajtott, 25 ismétléses vizsgálatsorozat alapján. A grafikonokon az 5, 15, 25, 35, 45 és 65 cm átmérőjű törzsekkel való véletlen mintázatú „beültetés” hatását tüntettem fel.



**12. ábra** A hektáronkénti körlapösszeg növekménye és standard szórása ( $dG \pm SD$ ) a 8,92 m mintakörös (M2a), a szögszámláló próbás (M1), és a kombinált felmérés átlagoló algoritmus (MX-ÁTLAG), valamint MX2523 algoritmus (MX2523) szerint számolva, PLUSZ-2G „kezelés” hatására, a Hidegvíz-völgy mintájára készített random mintázatú, szimulált, virtuális faállományon végrehajtott, 25 ismétléses vizsgálatsorozat alapján. A grafikonokon az 5, 15, 25, 35, 45 és 65 cm átmérőjű törzsekkel való véletlen mintázatú „beültetés” hatását tüntettem fel.

## 4.3 A faállomány-szerkezet felmérésének módszere

### 4.3.1 Az MVP FAÁSZ módszer leírása

Az ERDŐ+h+á+l+ó negyedhektáronként jelöl ki egy-egy mintavételi pontot, ahol – más vizsgálatok mellett – az állományt jellemző faállomány-szerkezeti felmérés (MVP FAÁSZ) készül. A módszer moduláris felépítésű, amennyiben a következő egységekből építkezik (de gyakorlati megfontolásokból egyetlen adatlapra integráltuk):

- Az erdőállomány általános jellemzése (A)
- Mintavétel (élő és álló holtfák) a lokális faállományból (B)
- A fekvő holtfa felmérése (C)

#### (A) Az erdőállomány általános jellemzése

Az erdőszerkezet modelljének megfelelően (3.2 fejezet) feljegyezzük a záródást, a szintenkénti borításokat és becsüljük a lékesség mértékét az uralkodó fák magasságának 1-1,5-szeres sugarú körzetében:

- FAÁLLOMÁNY-ZÁRÓDÁS (%) – A faállomány (cserjeszint nélküli) összes záródása. Értéke 0-100% közötti érték, a becslést 5-10%-os pontossággal végezzük.
- FELSŐ ÉS ALSÓ LOMBKORONASZINT BORÍTÁSA (%) – Egy vagy két lombkoronaszintet különböztetünk meg (cserjeszint nélkül). Harmadik lombkoronaszintet nem különítünk el, azt is az alsó szinttel együtt kell értelmezni. Amennyiben az állomány egyszintes, akkor csak a záródást kell megadni. Ha többszintes, akkor külön-külön becsüljük a két lombkoronaszint borítását. A felső és alsó szint átfedése miatt, a két szint borításának összege a 100%-ot meghaladhatja, de összegük a záródásánál nem lehet kevesebb. A becslést 5-10%-os pontossággal végezzük.
- CSERJE- ÉS ÚJULATI SZINT BORÍTÁSA (%) – Az újulati- és cserjeszintet alkotó fák és cserjék együttes borítása. A becslést 5-10%-os pontossággal végezzük.
- GYEPSZINT BORÍTÁSA (%) – A (kifejlettnék feltételezett) gyepszint borítása. A faállomány-szerkezet felmérését rendszerint vegetációs időszakon kívül, késő ősszel vagy kora tavasszal végezzük, amikor a lágyszárúak többsége már elszáradt, visszahúzódott vagy a kora tavaszi aszpektust látjuk. Ennek ellenére próbáljuk megbecsülni, az elszáradt maradványok (és korábbi tapasztalataink) alapján, a leginkább feltételezhető nyári borítás mértékét. A becslést 10-20%-os pontossággal végezzük. Ugyan gyepszint borításbecslést az aljnövényzet felmérésekor (MVP ANÖV), nyáron is kell adni, de azt csak az aljnövényzeti felmérés 6 m sugarú mintakörére értelmezzük. Az MVP FAÁSZ felmérés alkalmával, ugyanabban a dimenzióban (1-1,5 famagasságú

körzet), az erdő összes szintjére kiterjedően figyelünk, ezért a szintek egymáshoz képest becsült viszonyaira kiegyensúlyozottabb eredményt várunk.

- LÉKESSÉG (NINCS, L1, L2-3, LX) – Lékességnek tekintjük, ha a felső lombkorona-szintből legalább egy uralkodó helyzetű és méretű fakorona, valamilyen oknál fogva (lábon száradt, kivágták, kidőlt) hiányzik és azt a szomszédos koronák vagy a betöltődő alsó szint fiatal fái még nem helyettesítették. Négy kategóriát különböztetünk meg: ha lékességet nem tapasztalunk (NINCS); amikor egy uralkodó fakoronányi lék van (L1), amikor 2-3 uralkodó fakoronányi lék van (L2-3), amikor ennél nagyobb lék vagy összeroppanás tapasztalható (LX). Ligetes jellegű állományokban (pl. karszt-bokorerdő, erdőössztyepp) a gyepfoltok miatti záródáshiányt nem tekintjük lékességnek.

#### *(B-1) Mintavétel a lokális faállományból (élő és álló holtfák)*

A lokális faállomány fontos tulajdonságainak (pl. fafajösszetétel, átmérőeloszlás, körlap-összeg) megismeréséhez az állományt alkotó élő és álló holtfákból mintapopulációt választunk, majd a mintába kerülő fák tulajdonságait felmérjük. Ahhoz, hogy a fák mintapopulációja a lokális állományra nézve reprezentatív legyen, elegendően nagyszámúnak kell lennie, ugyanakkor a ráfordítások alacsony szinten tartása miatt, nem éri meg „eltúlzott” mintavételt csinálni. Előzetes becslések alapján az egy-egy mintavételbe kerülő élő fák számának legalább 10-15-nek kell, és legfeljebb 50-nek érdemes lennie. A mintavételnek ezt a feltételt rendkívül eltérő faállomány-szerkezetek mellett is teljesítenie kell tudni. Az egyik szélsőséges helyzet például egy vékony-rudas állomány lehet. Másik, ha egymástól távol álló, nagy termetű fákból álló szálerdő állományát képzeljük el, vagy egy lékesedő, de már fiatal fákkal csoportosan betöltődő állományt.

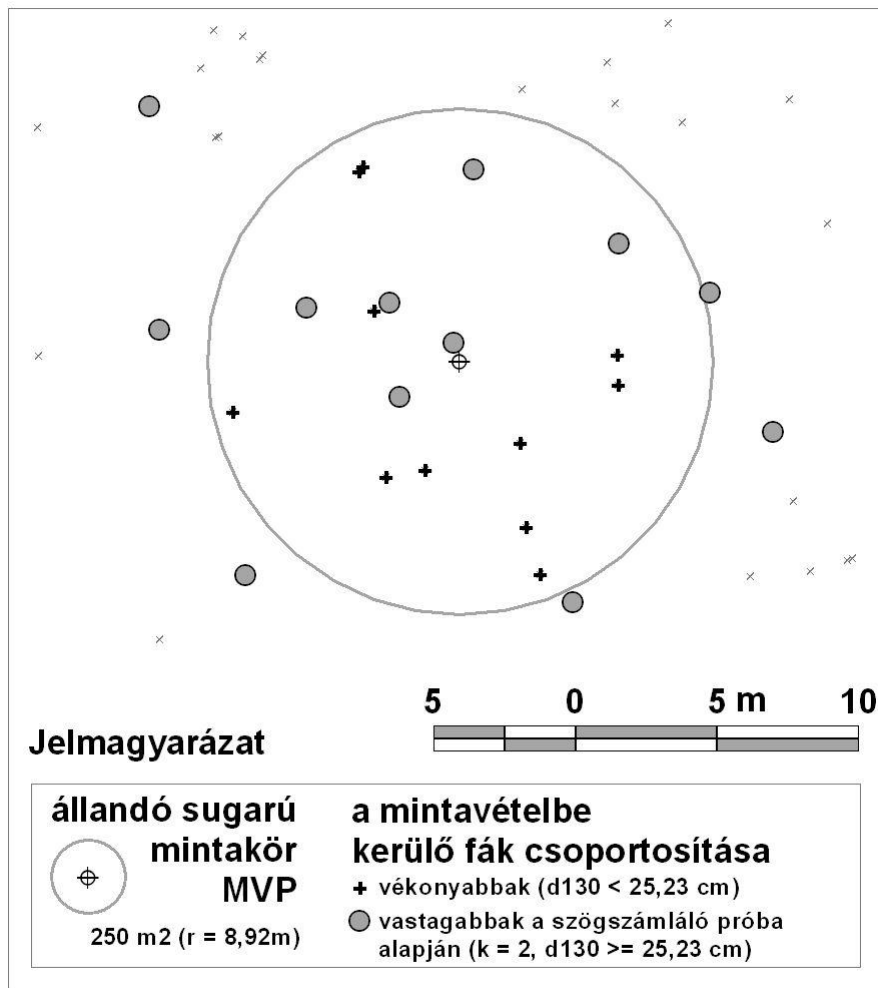
A faállomány-szerkezet felmérését az állandó sugarú mintakörös és a szög számláló próbás mintavétel kombinált alkalmazásával valósítjuk meg. Ez a megoldás felel meg leginkább a bevezetőben ismertetett elvárásoknak (univerzális, reprezentatív, a mintavételből csak az elpusztuló fák esnek ki, alacsony költségű és könnyen tanulható, minimum 10-15 / maximum 50 fa, megismételhető). A mintakör biztosítja a teljes terület egy meghatározott részének mintavételét és a sűrűbben álló, vékonyabb törzsek kellő számban való mintába kerülését, míg a szög számláló próba az állományban meghatározó szereppel bíró, ritkábban álló vastag fákat mintázza, nagyon eltérő faállomány-szerkezetű állományok esetében is. A szög számláló próba a nagy fák nagyobb határtávolsága révén kiegyenlíti a csoportos-foltos mintázatokból fakadó térbeli mikro-heterogenitásokat. A kombinált módszernek két fontos paramétere van: a mintakör sugara és a szög számláló próba „k” szorzótényezője. Az elővizsgálatok és terepi tapasztalatok alapján a próbakör sugarát 8,92 m-ben határoztuk

meg (250 m<sup>2</sup>), amely 4 MVP/ha mintavételi sűrűség mellett 10%-os területi mintázást jelent. A próbakört mindig vízszintes vetületben kell érteni (mint ahogyan a szögszámláló próba határtávolságát is), ezért lejtőn a ferdetávolságokat át kell számítani. A közel 9 m sugarú mintakör jellemző állományaink léptékében éppen elegendőnek vagy (önmagában) elég kicsinek tekinthető terület, ugyanakkor még könnyen áttekinthető térséget ad nagy cserjeborítás mellett is. A szögszámláló próbát  $k = 2$  szorzótényezővel alkalmazzuk, amely 50 cm átmérőjű fánál 17,7 m-es határtávolságot jelent. Ez jól igazodik erdeink szokásos dimenzióihoz, a lokális állomány reprezentálásának koncepciójához és az ERDŐ+h+á+l+ó mintavételi pontjainak térbeli kiosztásához. Kivételesen vastag fánál előfordulhat, hogy a szögszámláló próba több mintavételi pontból is „beemeli” ugyanazt az óriást. Például egy 100 cm átmérőjű bükk 35,4 m távolságból is mintába kerül, ezért egy 50x50 m-es hálózatban akár több pontról is „látszódhat”. Joggal feltételezhető, hogy egy ilyen fa hatása még ekkora távolságban is érvényesül (különösen akkor, ha elpusztulva bedől az állományba). Ugyanez  $k = 1$ -es szorzótényező mellett már sokkal kevésbé lenne elfogadható (a méteres bükk 50 m-ről kerülne mintába).

A kettős (kombinált) mintavétel során, ugyanabból a mintavételi pontból elvileg két, egymást kiegészítő mintavételt hajtunk végre (gyakorlatilag egyetlen menetben). A fák egy része, a  $d_{130} < 25,2$  cm átmérőjű fák, az  $r = 8,92$  m sugarú mintakör alapján kerülnek a mintába<sup>17</sup>. A vastagabb fák ( $d_{130} \geq 25,2$  cm) pedig  $k = 2$ -es szorzótényezővel, a szögszámláló próba alapján (13. ábra). Az értékelés során a kétféle mintavétellel számolt kiegészítő részeredményeket összeadva kapjuk meg a végeredményt (4.3. fejezet). Az esetek jelentős részében, külön-külön egyik módszer sem volna ideális, együtt azonban előnyös tulajdonságaik éppen kiegészítően hatnak, miközben a felmérésre fordított idő alacsony marad.

A kettős (kombinált) mintavétel, vagyis a mintába kerülő fák kiválasztása a gyakorlatban egyszerűen megy: a mintavételi ponttól 8,92 m vízszintes távolságra és azon belül lévő fák mindegyikét fel kell mérni, továbbá a 2-es szorzóval a szögszámláló próbába eső, távolabb álló nagyobb fákat is.

<sup>17</sup> A mintakör sugara (8,92 m) éppen megegyezik a 25,23 cm átmérőjű fák szögszámláló próba szerinti határtávolságával. A két mintavétel ezekkel a paraméterekkel „hézagmentesen” és kiegészítően illeszkedik egymáshoz.



**13. ábra** Síkvetületi példa az „MX2523” **kettős (kombinált) mintavételi módszer** lényegének szemléltetésére a Vár-hegy erdőrezervátum 1-es mintaterületéről. A  $d_{130} < 25,23$  cm-nél vékonyabb fák csoportját a mintakör jelöli ki, míg a vastagabb fák csoportját a 2-es szorzótényezővel alkalmazott szögszámláló próba. A 25,23 cm átmérőjű fák határtávolsága éppen megegyezik a mintakör sugarával, így a kétféle mintavétel hézag és átfedés nélkül, kiegészítő módon illeszkedik egymáshoz.

#### (B-2) A mintába kerülő fák pozícionálása

A mintába kerülő fák pozícionálása a mintavételi ponthoz képest, relatív polár-koordináták megadásával történik:

- **VÍZSZINTES TÁVOLSÁG (m)** – A mintavételi pont közepét jelző fémcövektől a fa eredési középpontjának (a tő középpontjának) távolsága, amelyet általában deciméteres pontossággal mérünk. Ferdén nőtt fa esetében is a tő középpontjának távolságát kell mérni. Határhelyzetben álló fáknál (a mintakör szélén és a szögszámláló próba határtávolságán) gondosabb, centiméteres pontosságú mérésre és feljegyzésre van szükség. A felmérés során a vízszintes távolságok mérését vagy a mért ferde távolságból való azonnali átszámítást ajánljuk. A távolságmérést ultrahangos vagy

lézeres műszerrel végezzük. Az elérhető pontosság alapvetően a felmérők munkájának gondosságától függ.

- IRÁNYSZÖG (fok) – A fémcövek irányából a felmért fa eredési középpontja felé, a fa É-től jobbra mért irányszöge 1-2 fokos pontossággal leolvasva. Ehhez a méréshez egy szokásos tájolóval, vagy digitális tájolóval már megfelelő (5 fokon belüli) eredményt tudunk elérni. A mérés pontossága itt is elsősorban a felmérő gondosságától függ. A mágneses elhajlás problémáját az adatfeldolgozás során kezeljük, azzal tehát a terepmunka során nem kell foglalkozni.

A pozícionálás szükségességéről több vitát folytattunk. Gyakorlott felmérők a polár-koordináták felmérését gyorsan és hatékonyan végzik, de kétségtelen hátránya (első felméréskor) a többlet munkaigény. Ezzel szemben az eredmények helyes értékeléséhez szükséges információt rögzít és számos, hátrányát meghaladó előnnyel jár:

- A távolságot és természetesen a mellmagassági átmérőt (kerületet) a mintakör szélén és a határtávolságon (vagy annak közelében) álló fa esetében mindenképpen mérni, ellenőrizni szükséges. Biztosan csak ezek együttes értékelése alapján dönthető el, hogy a fa a mintába tartozik-e vagy sem. Gyakorlati tapasztalat azonban, hogy ilyen fánál hamarabb végzünk a felméréssel, mint amennyi idő alatt biztos döntést tudnánk hozni. A feljegyzett adatok feldolgozása során ez a kérdés egyértelműen és automatikusan oldódik meg. Hatékonyabb tehát a bizonytalan helyzetű fák megtorpanás nélküli felmérésével a munkát folytatni, mint a határtávolság terepen való pontos számításával és ellenőrzésével kizökkenni a rutinból és ezzel több időt veszíteni.
- A polár-koordináták feljegyzése lehetővé teszi a faállomány-szerkezet felmérésének ellenőrzését és ha szükséges, javítását.
- A felmért fák polár-koordinátái és a fafaj átmérő tulajdonságai együtt egyedi azonosítást biztosítanak számozás, címkézés nélkül is. Ez lehetővé teszi a felmért fák időben való fejlődésének, állapotváltozásának követését (amely egyébként nem volt elsődleges célkitűzésünk). Hosszú távú vizsgálatsorozat esetében az újabb felméréseknél – a belenövések kivételével – a fákat már nem kell újra pozícionálni.

Mindezek miatt a polár-koordináták bemérését és feljegyzését – minden felmerült kritika ellenére – különösen hasznos, egyszeri munkabefektetésnek ítéljük.

Közös töről vagy töcsokorból fakadó sarjeredetű hajtások esetén a polár-koordináták kis távolság- és szög-eltéréseiben kell megkülönböztetni az egyes „törzsek” kissé eltérő pozícióját, hogy azok később megkülönböztethetők legyenek. Ilyenkor fontosabb az egymáshoz

képest relatív pozíciók helyes leképezése (kicsit közelebb, távolabb / kicsit kisebb, nagyobb szöggel), mint az egymástól függetlenül mért abszolút (de kis leolvasási hibával terhelt) polár-koordinátákhoz való ragaszkodás.

### *(B-3) A mintába kerülő fák törzsenkénti felmérése*

A törzsenkénti felmérés tartalma és részletessége sok vita és tesztelés eredményeképpen alakult ki. A tét a minél alacsonyabb „költség” és a minél nagyobb „szakmai haszon” közötti középút megtalálása volt, az Erdőrezervátum Program célkitűzéseire és a hazai erdőrezervátum-kutatás feltételeire és lehetőségeire való tekintettel<sup>18</sup>. A felméréndő paraméterek az alábbiak:

- FAFAJ (névrövidítéssel, kóddal) – A fa- vagy cserjefaj neve. Abban az esetben, ha a faj nem állapítható meg egyértelműen (pl. kocsánytalan vagy molyhos tölgy, esetenként hársak), de az egyik inkább valószínűsíthető, akkor a bizonytalanságot a kód után írt „?”-lel jelezzük. Teljesen bizonytalan esetben (pl. egy nagyon elkorhadt törzsmaradvány esetében) csak kérdőjelet jegyzünk fel. Egy ellenőrzés vagy a visszatérő újrafelmérés lehetőséget teremt a faj végső azonosítására, ellenőrzésére vagy átértékelésére.
- MELLMAGASSÁGI ÁTMÉRŐ (cm) – A törzs mellmagassági átmérője, ezt 1,30 m magasságban mérjük. Ezt a magasságot lejtős terepen, a fa feletti lejtős oldalon kell értelmezni. Inkább a fa kerületének mérését javasoljuk, szemben az átlaló használatával. Utóbbi esetben két, egymásra derékszögben végrehajtott mérést kell végezni, majd annak átlagát jegyezzük fel. Álló holtfa és facsonk mellmagassági átmérőjét ugyanúgy mérjük, mint az élő fáknál, akkor is, ha a kéreg részben vagy egészen hiányzik.
- SZOCIÁLIS HELYZET (kimagasló, uralkodó, közbeszorult, alászorult) – A fakoronák állományban betöltött relatív helyzete (Kraft 1884). Ez az osztályozás, ökológiai értelemben, a fényhez (energiaforráshoz) való hozzáférés mutatója. Jellemző az állományon belüli versengés viszonyaira, és jelzi az egyes fák által elfoglalt erősebb vagy gyengébb pozíciót, különösen fénykorlátozott ökológiai helyzetekben. Lékesedés, oldalhatás vagy emberi beavatkozás következtében megnyíló állományokban egy-egy fa több fényhez juthat, mint amit relatív helyzete egy zárt állományban biztosítana. Ezt az adatlapon külön jelezzük (+ fény).

<sup>18</sup> Az Erdőrezervátum Program az utóbbi időszakban folyamatos, de csak nagyon alacsony támogatásban részesült, összefüggésben az ország és a minisztériumok beszűkült pénzügyi helyzetével. Ennek következményeként állandó nyomás alatt álltunk a további költségcsökkentés, ill. a módszer további egyszerűsítésének irányába.



- KIMAGASLÓ FA – Nagy koronával rendelkező fa, amely részben kiemelkedik a felső koronaszintből vagy kivételesen terebélyes, ezért a lombzat nagyobb része (legalább a 2/3-a) közvetlenül fényben fürdik. A szomszédos fák nem, vagy csak kis mértékben árnyalják (dominant tree).
- URALKODÓ FA – Átlagosan fejlett korona a felső lombkoronaszintben, amely felülről teljesen szabad, ezért a lombzat nagy része (mintegy a fele) zárt állományban is közvetlen fényben fürdik. A felső lombszintet elsősorban uralkodó fák alkotják, amelyek egymást oldalról árnyalják, szorongatják (co-dominant tree).
- KÖZBESZORULT FA – A fa koronája a felső lombkoronaszinten belül helyezkedik el. Zárt állományban a magasabb, ill. a szomszédos uralkodó fák nyomása, árnyékolása alatt áll, ezért közvetlen napfényhez csak a korona csúcsa jut. A korona mérete az átlagosnál kisebb, gyakran keskeny, hengeres alakú (intermediate tree).
- ALÁSZORULT FA – A szomszédos fáknál alacsonyabb termetű fa (gyakran fiatal vagy árnyéktűrő fafaj, vagy szomszédai által leárnyalt fa), koronája a felső lombkoronaszint alatt helyezkedik el, ezért zárt állományban nem jut közvetlen fényhez. Az alsó lombkoronaszintet szokás további magassági osztályokba sorolni, ezt mi nem követjük, mert az alsó lombkoronaszint differenciálása kevésbé egyértelmű, másrészt fényökológiai és konkurencia szempontból az alászorult helyzet és az alsó szintben való elhelyezkedés egyaránt árnyékoltságot jelent (overtopped vagy suppressed tree).
- EGÉSZSÉGI ÁLLAPOT (1, 2, 2-3, 3, 4) – A fák egészségi, ill. holt állapotának jelzése. A fák egészségi állapotának leírására – specifikus célkitűzéséhez igazodóan – nagyon részletes módszertant használ az MgSzH Erdészeti Igazgatósága (Kolozs 2009) az ICP Forest rendszeréhez csatlakozva. Azonban mi más megoldást választottunk, amelyre vonatkozóan Czajlik (2002c) ajánlását vettük alapul. Az egészségi állapot rögzítése elsősorban azt a célt szolgálja, hogy a vizsgált állomány állapotának alakulásához nyújtson egyszerű tüneti támpontot a legyengülés, betegség és elhalás okainak alaposabb megismerése nélkül:
  - ÉP, EGÉSZSÉGES (1) – A vizsgált fa épnek, egészségesnek látszik.
  - KORONA SÉRÜLT, BETEG (2) – Az ágrendszer, az aktív korona sérült, törött, elszáradt vagy jól láthatóan beteg (pl. a levélzet klorózisos, a korona fakínnal fertőzött, a fa csúcsszáradt, egy koronaág letört). A fa fejlődése során az alsó ágak leárnyékolódás miatt bekövetkező elhalása természetes folyamat (feltisztulás), ezt természetesen nem tekintjük a korona betegségének.

- TÖRZS-, TŐSÉRÜLT, BETEG (3) – Törzs-, tő- vagy gyökfősérült beteg fa: odvas, taplós, kéregsebzett, bekorhadt/gombás tövű, villámsújtott. Gyakori, hogy a korona és a törzs, a tő sérülése, betegsége együtt fordul elő, ilyenkor mindkettőt jelezzük (2-3), ilyen a törzstörött fa, hiszen koronáját is elvesztette. Ritkán előfordul olyan eset, amikor a törzstörött fa egyik megmaradt alsó ága vezérhajtássá erősödik. A korona részleges regenerálódását követően ez a fa 3-as lesz (de 1-es már soha).
- HOLTFA (4) – Halott, elszáradt fa, amelynek négy formáját különböztetjük meg: lábon száradt, álló holtfa (4H), lábon álló, letöredezett vagy törzstörött facsonk (4CS), földre került, kidőlt ill. fekvő holtfa (4F) (utóbbi kategóriát nem itt vesszük fel, hanem a földön fekvő holtfa felmérésénél), vágott tuskó (4V), amelyet azért jegyzünk fel, mert a korábbi gazdálkodás vagy falopás (favágás) egyértelmű jele. A lábon száradt, álló holtfát, facsonkot (4H, 4CS) a faállomány-szerkezet részeként mérjük fel. A korábban felmért, de azóta kidőlt fa (4D) már kiesik ebből a felmérési modulból, a fekvő holtfa (4F) felmérésére pedig külön módszert alkalmazunk (lásd később). Továbbá minden holtfa-forma esetében becsüljük a korhadtság mértékét.
- KORHADTSÁGI FOKOZAT (1-6) – A korhadás mértéke, amelyet minden holtfa-forma esetében egy hatfokozatú skálán becsüljük. Ennek során a holtfa ágrendszerének lepusztultságát, a kéreg és a fatest állapotát, a korhadó faanyag puhaságát, valamint a talaj humuszos szintjébe való integrálódását együtt vesszük figyelembe. Ódor & van Hees (2004) a tipizálást elsősorban a bükk mezofil, humid klímában történő korhadására dolgozta ki. Szárazabb körülmények között, más fafajok – különösen a tölgyek – ettől eltérő módon korhadnak, amelyet hazai viszonyok között Kovács (2005) tanulmányozott. A bükk korhadási fázisainak leírását kiegészítettük a tölgyekre vonatkozó specialitásokkal. Öreg fáknál, tölgyeknél és különösen csernél igen gyakori, hogy a törzs belső része odvasodik, csőszerűen kikorhad. Ebben a tipizálási rendszerben a belső korhadással nem foglalkozunk (amely a még élő fák esetében is igen előrehaladott lehet):
  - 1-ES FÁZIS – Nemrégiben (legfeljebb 1 éve) elpusztult fa, amelynek vékonyabb ágai még nem töredezték le, kérge sértetlen vagy csak foltokban hiányzik (a kéregborítás > 50%), faanyaga kemény (kés csak néhány mm-re hatol bele), a fatest többnyire kéreggel fedett, egyébként sima, a fa a talajtól még élesen elhatárolódik (vagy még nem a talajon fekszik), keresztmetszete még változatlan.

- 2-ES FÁZIS – Kezdődő korhadási fázis, legfeljebb néhány éve elpusztult fa, amelynek már csak 3 cm-nél vastagabb ágai vannak meg, kérge többnyire megbomlott vagy már csak kisebb foltokban van meg, esetleg hiányzik (a kéregborítás < 50%), faanyaga bükk és cser esetében még kemény (kés legfeljebb 1 cm-re hatol bele), a fatest felülete sima, a fa a talajtól még élesen elhatárolódik (vagy még nem a talajon fekszik), keresztmetszete még változatlan. Kocsánytalan tölgy esetében az 1-3 cm vastagságú szíjács korhadása megkezdődött, ez a réteg rendszerint puhább, de a gesztről még nem foszlott le. Cser esetében gyakran fordított a helyzet, a geszt része kezd korhadni hamarabb (különösen akkor, ha már életében törzskorhasztó gomba fertőzte meg, ami meglehetősen gyakori eset).
- 3-AS FÁZIS – Korhadó fázis, több éve elpusztult fa, amelynek ágrendszere már lepusztult, letöredezett, kérge nagyrészt hiányzik, faanyaga bükk esetében már kezd puha lenni (kés 1-5 cm-re hatol bele), a fatest felülete még sima, de vékony repedések már vannak rajta, a fa a talajtól még élesen elhatárolódik (vagy még nem a talajon fekszik), keresztmetszete változatlan. A kocsánytalan tölgy szíjács rétege korhadt, nagyobb részeken a gesztről már le is foszlott, a geszt továbbra is kemény. Csernél a kéreg tovább fennmarad, a szíjács is tovább kemény, miközben belső része már korhadt lehet.
- 4-ES FÁZIS – Erőteljesen korhadó fázis, sok éve elpusztult fa, amelynek ágrendszere hiányzik, kérge hiányzik (kivéve: cseresznye), faanyaga bükk (gyertyán, cseresznye) esetében puha (kés 5 cm-nél mélyebbre hatol), a fatest felületén vastagabb repedések vannak, megbomlott, kisebb részek hiányoznak, a fa a talajtól még élesen elhatárolódik, keresztmetszete változatlan (esetleg kezd beroskadni). A kocsánytalan tölgy szíjács része már elkorhadt és a gesztről lefoszlott, a geszt korróziója megkezdődött (repedezett), felülete puhább, megkaparva morzsolódik, de belsejének nagy része még kemény. Cserfánál a kéreg és a szíjács még mindig elég kemény lehet, viszont a belső rész már teljesen kikorhadt (a fatörzs valójában üreges, csőszerű).
- 5-ÖS FÁZIS – Korhadt fázis, régen elpusztult fa, amelynek ágrendszere és kérge hiányzik (cseresznye esetében gyakran már csak a kéreg maradt meg), faanyaga bükk (gyertyán, cseresznye) esetében puha (kés 5 cm-nél mélyebbre hatol), a fatest felülete megbomlott, nagyobb részek hiányoznak belőle, a fa a talajtól már nem határolódik el élesen (a határ részben elmosódott), beroskadott, ezért keresztmetszete lapos ellipszis. A kocsánytalan tölgy geszt része is nagyrészt korhadott (lehetnek még keményebb részei).

- 6-OS FÁZIS – Nagyjából elkorhadott fázis, a fa humifikálódott, maradványai már csak szigetszerűen fedezhetők fel, a fa és talaj határa elmosódott, a maradványok laposan beroskadtak
- EREDET (-, TS) – a fa lehet magról eredt, tősarj/tuskósarj vagy gyökérsarj eredetű, amelynek pontos eldöntése rendszerint nehéz. Ezért csak a faállomány-szerkezet és erdődinamika szempontjából különösen fontos és rendszerint könnyen diagnosztizálható tulajdonságot jegyezzük fel: az egyértelműen tősarj/tuskósarj eredetet.
- FAALAK-MINŐSÍTÉS (-, OR, DF) – Czajlik (2002d) egy korábbi, fahasználat szempontú koncepció szerint minden fa törzsét egyenes, síkgörbe, térgörbe vagy böhönc kategória szerint osztályozta. Sok vitát követően egy inkább ökológiai szempontú és lényegesen egyszerűbb megoldás mellett döntöttünk (mert a fahasználat szempontjait a fapiac változásai teljesen felülírják). Csak az általános faalaktól nagyon eltérő, ritka eseteket kell kódolni:
  - ÓR – hagyásfa jellegű, nagy koronájú, különösen ágas „faóriás”, amely az állományból méreteivel is kitűnik. A faóriások sok élőlény számára különleges élőhelyi feltételeket biztosítanak.
  - DF – rendkívül „formátlanul nőtt”, torz alakú (deformált) fa. Az ilyen példányok felmérése gyakran nehézségekbe ütközik (görbeségük, különlegességük folytán), ezért adataik bizonytalanabbak. Jelezhetnek szélsőséges élőhelyi feltételeket, véletlen és ritka eseményeket.
- FAMAGASSÁG MÉRÉSE (m) – Nem minden fa magasságát mérjük meg, hanem csak néhány kiválasztottét. Ezzel az állomány jellemző magasságát kívánjuk becsülni, nem pedig egyes fák növekedését. A relatív viszonyokat a szociális helyzet szerinti besorolások mutatják. A lombkoronaszint magasságát néhány (2-5) kiválasztott, uralkodó helyzetben lévő fa magasságának mérésével (és azok átlagolásával) kapjuk meg. Arra kell törekedni, hogy a kiválasztottak jó képviselői legyenek az állománynak, minél közelebb essenek a mintavételi ponthoz, és lehetőség szerint minél ideálisabban legyenek a mérési körülmények (a gyorsabb és pontosabb mérés érdekében). Azonban arra is törekszünk, hogy minden mintába kerülő fafaj legalább 1 példányát is megmérjük, ezért az uralkodókon kívül más szociális helyzetű fa is bekerülhet ebbe a csoportba. Utóbbiakat a magasság átlagolása során nem vesszük figyelembe. A mérés során tized méteres becslésre törekszünk (magasabb fáknál azonban csak 0,5 – 1 méteres pontossággal tudunk mérni). A mérés eredménye és pontossága jelentős mértékben függ attól, hogy azt milyen pozícióból hajtjuk végre, ezért tájékoztató adatként megadhatjuk a mérési pozíció relatív helyzetét is (a mérést a fától nézve milyen irányból és mekkora távolságból végeztük el).

*(C) A fekvő holtfa felmérése vonal menti mintavétellel*

Az előzőekben ismertetett törzsenkénti felmérés a mintába kerülő egyes fákat – attól fogva, hogy az 5 cm-es mellmagassági átmérőt eléri és meghaladják – egészen elpusztulásukig, kidőlésükig követi. Ennek során felméri az álló holtfa (4H), valamint az álló holtfa csonkok (4CS) állapotát és mennyiségét is, továbbá utolsó mozzanatként dokumentálja az addig követett, végül kidőlt fák (4D) sorsát, ahogyan azt Vacik et al. (2009) dokumentálják. A természetben az élőfa – holtfa (és talaj) átmenet fokozatos, azonban a fekvő holtfa-frakció felmérését már más módszerrel végezzük, hiszen a pusztulást követően a törzsként való megkülönböztetés felesleges, sőt gyakran lehetetlen. A kidőlt holt fákat és ágakat, mint fekvő holtfát (4F), vonal menti mintavétellel mintázzuk meg. A fekvő holtfa becslésére vonatkozó módszerrel szemben támasztott elvárásaink az alábbiak voltak:

- biztosítson területre vonatkoztatott térfogat adatot, átmérő és korhadási fázis szerinti megoszlásban,
- illeszkedjen az ERDŐ+h+á+I+ó mintavételi szempontjaihoz (térben lokalizált, mintavételi pontokhoz rendelt interdiszciplináris kapcsolódású vizsgálatok) és integrálódjon a faállomány-szerkezet felmérésébe,
- legyen hatékony és egyszerű, az adatrögzítés pedig gyors, ugyanakkor adott pénz-idő ráfordítás mellett elég pontos becslést nyújtson,
- minimális legyen a felvételező döntéséből származó hiba lehetősége.

Stáhl et al. (2001) összehasonlító tanulmányának tanulságai alapján választottuk a vonal menti mintavétel (line transect sampling) módszerét (Warren & Olsen 1964). Ódor és Standovár (2003) tapasztalatait és Van Wagner (1982) tanulmányának következtetéseit figyelembe véve állítottuk be a vonal menti mintavételes felmérés részleteit. A mintavételi pontból kiindulva 3 képzeletbeli mintavételi vonalat fektetünk sugárirányban a talaj felszínén. A vonalakat É-ra, valamint 120 fokként vezetjük, tehát 0°, 120° és 240°-ra. Hosszúságuk legalább a mintakör sugara legyen, vagyis 8,9 m (ezt tekintjük az alapértelmezett hosszúnak). Pontosabb felmérés érdekében lehet ennél hosszabb is, de legfeljebb 20 m. E képzeletbeli vonalak fekvő holtfák (törzsek, ágak, holtfa-részek) középvonalát keresztezik, amelyek közül az 5 cm átmérőjű vagy annál vastagabb részeket kell felmérni, amelynek során a keresztezési pont mintegy félméteres szakaszát kell mintának tekinteni. Minden ilyen kimetszett szakasz külön holtfa mintát ad, akkor is, ha több minta ugyanazon törzshöz tartozik elágazása, görbesége vagy töröttsége következtében. Az egyes mintákon (átmetszett fekvő holtfa szakaszokon) az alábbi becsléseket tesszük:

- FAFAJ (névrövidítéssel, kóddal) – A fa- vagy cserjefaj neve, ha ez megállapítható. A fafaj felismerése nem reménytelen, hiszen nagyon gyakran marad kéregmaradvány a

vizsgált törzs valamely szakaszán. Felismerhető lehet továbbá az elágazás hajtás-rendszere, a fa felületének, szövetének, korhadásának jellegzetességei vagy akár fajspecifikus kártevők nyomai. A bizonytalan eseteket itt is a korábbiakhoz hasonlóan kezeljük (pl. KTT?)

- EGÉSZSÉGI ÁLLAPOT MINŐSÍTÉSE (4F) – A fekvő holtfák egészségi állapota, definíció szerint mindig „4F”.
- BECSÜLT ÁTMÉRŐ (cm) – A fekvő holtfa átmérője, amit a keresztezési pontban 1-5 cm-es pontossággal mérünk. Nem mérünk kerületet (gyakran nem is lehet), mint a mellmagassági átmérő esetében, hanem a mintegy félméteres szakasz méreteit és állapotát tekintve becsüljük meg az aktuális (kör)átmérőt. Nem a valamikori vastagságot kell rekonstruálni, hanem az aktuális holtfaanyag dimenzióiból kiindulva kell becslést tennünk, figyelembe véve a korhadás során a faanyag elbomlását és alakjának ellaposodását.
- KORHADTSÁGI FOKOZAT (1-6) – A korhadtság mértékét, a korhadási fázist a már korábban ismertetett hatfokozatú skálán becsüljük.

Általában véve, törekedtünk a nem mérhető tulajdonságoknál a leginkább előforduló esetek kódolt, egyszerűen kategorizálható sematizálására. Ez egyrészt elnagyolásokkal, másrészt kiemelésekkel jár, azonban lehetnek olyan helyzetek, amelyre a séma nincs felkészítve. Ilyenkor szabad szöveges megjegyzések, leírások tehetők. Ezek igen hasznos kiegészítői lehetnek egy-egy adatsornak. Lehetőség szerint azonban tartsuk munkánkat a séma keretein belül, és csak a feltétlenül szükséges mértékig vegyük igénybe a szabad szöveges jegyzetelés lehetőségét.

### **4.3.2 Az MVP FAÁSZ módszer adatlapja**

Az adatlap a munka folyamatához igazodik, és kiszolgálja a holtfa felmérését is. A 14. ábrán bemutatott 3. változat már egy letisztult és bevált űrlap. Az előző fejezetben leírt felméri tulajdonságokhoz képest, a fejlécen a kötelezően szükséges azonosítókat (erdőrezervátum, mintavételi pont, dátum, felmérő, jegyzőkönyv vezető), az alkalmazott módszertan paramétereit (a mintakör sugara, a szög számláló próba), valamint az adatlapok rendbetételét és az adatfeldolgozást támogató sorszám-rubrikát helyeztem el (ez utóbbit a napi terepmunka után, az adatlapok ellenőrzésével és rendezésével egybekötve érdemes kitölteni). A „4F HOLTFA” alatti rovat arra szolgál, hogy felhívja a figyelmet a fekvő holtfa felmérés elvégzésére. Itt jelezni kell, hogy a három megadott irányban a felmérés megtörtént. Ennek főleg akkor van jelentősége, ha ugyan a felmérés megtörtént, de fekvő holtfa nem került a

mintavételbe. A mintába kerülő (élő vagy holt) fákat a táblázatos rész oszlopaiban kell dokumentálni. Minden fa technikai sorszámot kap, a sorokat értelemszerűen kell kitölteni. A mellmagassági átmérő mérése történhet átlalóval, kerületméréssel vagy közvetlen átmérő-leolvasást biztosító „pí-szalaggal”. Ennek megfelelően, a bal szélen bekarikázással kell jelezni az alkalmazott megoldást (egy mintavételi pont felmérésén belül semmiképpen se változtassunk a felmérés módján). A 14. ábrán az alábbi jellemző esetek kitöltési módját mutatom be:

- 1-es fa: élő, egészséges, uralkodó kocsánytalan tölgy, magasságmérés nélkül
- 2-es fa: élő, csúcsháradt, egyértelműen sarj eredetű és tövében bekorhadt, uralkodó molyhos tölgy, magasságméréssel
- 5-ös fa: nemrégiben kiszáradt, álló holtfa, gyertyán
- 6-os fa: törzstörött cser, 4 m-es csonkja, előrehaladott korhadtsági állapotban
- 9-es fa: 4-es korhadtságú fekvő holtfa, valószínűleg kocsánytalan tölgy
- 10-es fa: közepesen korhadt, vágott tuskó, bükk

ER- <u>FELDA</u>		MVP azonosító: <u>A-1</u>	dátum: <u>2010/12/31</u>	Felmérés: <u>AD</u>	JKözp: .....	Jár: .....
MVP-BAN, SEŐGSZÁMLÁLÓ PRÓBÁVAL KIEGÉSZÍTETT KÖRÖS (R = 8,92 m ..... m) MINTAVÉTEL				A SZELŐ PRÓBA SZORÉJA: 1,5 <u>2</u> 2,5		
FAÁLLOMÁNY-ZÁRÓDÁS: <u>100</u> % (össz.) ..... % <u>fehér szarv</u>		CSERJE- ÉS ÚJULATI SZINT: <u>10</u> % (össz.)		LÉNYESSÉG: <u>NINCS</u> L1		4FHOLTFA felmérés: 0° <input checked="" type="checkbox"/> 120° <input checked="" type="checkbox"/> 240° <input checked="" type="checkbox"/>
..... % <u>akác szarv</u>		GYEFSZINT: <u>5</u> %		L2-3 LX		
sorszám	1 2 ... 5 6 ... 9 10 ...					
fafaj	KT MÖT ... GY CST ... KT? JB ...					
D130 / kerület	50 75 ... 30 60 ... 1 8					
vízzs. táv.	10 12 ... 6 11 ... 2					
irányszög	30 125 ... 150 210 ... 0 300					
SZOCIÁLIS HELYZET - Kéregelő / URakodó / KÖZeszarv / ALiszorít + fény (pl. lék szélén, lábban állva több irányba is)						SZOCIÁLIS HELYZET
KI / UR / KÖZ / AL + fény	URUR ... 1 1 ... 1					
EÜ/HF MINŐSÍTÉS - 1 ép, egészséges / 2 a korona sérült, beteg / 3 a törzsháradt, sérült, beteg / 4H lábaszáradt, álló holtfa / 4CS letöredezett v. törzstörött facsarv / 4F fekvő holtfa / 4V vágott tuskó						EÜ/HF
1,2,23,3,4H ...	1 23 ... 4H 4CS ... 4F 4V					
átmérő	... 25 70					
korhadási fok	... 1 3 ... 4 3					
ALAKMINŐSÍTÉS - ÖR nagyítás jellegű, nagy koronájú, különösen igaz fióris / DF rándított formátlan, deformált alakú fa / TS egyértelműen tö, tuskó/sarj eredetű fa						ALAK
OR,DF,TS	✓ TS ... ✓ ✓ ✓ ✓					
MAGASSÁG						FACSONK-MGASSÁG
irányból?	17 ... 4					
távolságról?	0 ... 20					

14. ábra MVP FAÁSZ adatlap, jellemző kitöltési példákkal.

## 4.4 A hektáronkénti törzsszám (N) és körlapösszeg (G) számításának módszere a kettős (kombinált) mintavétel alapján

### 4.4.1 Az MX2523 módszer leírása

A fák mintapopulációját (M) a kettős (kombinált), vagyis MX2523 módszer két, egymást kiegészítő almintából állítja össze: a 25,23 cm mellmagassági átmérőnél vékonyabb fák csoportjából, amelyek a mintakör alapján kerülnek bele a mintába ( $n_{mk}$ ), valamint az éppen ekkora, ill. ennél vastagabb átmérőjű fák csoportjából, amelyek a 2-es szögszámláló próba alapján kerülnek bele a mintába ( $n_{sz}$ ).

$$M = n_{mk} + n_{sz} \text{ (db)} \quad [1]$$

Ennek következtében a hektáronkénti törzsszám (N) és a hektáronkénti körlapösszeg (G) paramétereket is additív módon kell képezni.

$$N = N_{mk} + N_{sz} \text{ (tő/ha)}, \text{ továbbá } G = G_{mk} + G_{sz} \text{ (m}^2\text{/ha)} \quad [2]$$

A **mintakörrel vett almintában** ( $n_{mk}$ ) a kör területe vagyis a próbatér (PT) 250 m<sup>2</sup>, ezért  $10000 / PT = 10000 / 250 = 40$ -es szorzófaktorral (PTf) számítjuk tovább a hektárra vonatkoztatott részeredményeket.

$$N_{mk} = 40 \cdot n_{mk} \text{ (tő/ha)} \quad [3]$$

továbbá

$$G_{mk} = 40 \cdot g_{mk} \text{ (m}^2\text{/ha)} \quad [4]$$

ahol  $g_{mk}$  a mintakörös almintába eső vékonyabb fák körlapjainak összege. A részletes számítás általánosabban:

$$N_{mk} = \sum_{i=1}^{n_{mk}} 1 \cdot PTf_i = \sum_{i=1}^{n_{mk}} 40 \text{ (tő/ha)} \quad [5]$$

továbbá

$$G_{mk} = \sum_{i=1}^{n_{mk}} g_i \cdot PTf_i \text{ (m}^2\text{/ha)} \quad [6]$$

ahol  $g_i$  az i-ik fa körlapja m<sup>2</sup> mértékegységben számítva, amely pedig a cm-ben mért mellmagassági átmérő (d) függvényében

$$g = d^2 \cdot \pi / 4 / 10000 = d^2 \cdot \pi / 40000 \text{ (m}^2\text{)} \quad [7]$$



Behelyettesítésekkel, [6] és [7] felhasználásával

$$G_{mk} = \sum_{i=1}^{n_{mk}} d_i^2 \cdot \pi \cdot 40 / 40000 = \sum_{i=1}^{n_{mk}} d_i^2 \cdot \pi / 1000 \text{ (m}^2\text{/ha)} \quad [8]$$

A **szögszámláló próbával (k = 2) vett almintában** ( $n_{sz}$ ) az átmérőtől függő, változó próbatérrel (PT) és szorzófaktorral (PTf) számítjuk a hektárra vonatkoztatott tőszámot.

$$PT = HTÁV^2 \cdot \pi \text{ (m}^2\text{)} \text{ és } PTf = 10000 / PT = 10000 / HTÁV^2 \cdot \pi \quad [9]$$

ahol pedig a határtávolság (HTÁV), a  $k = 2$  szorzótényezőhöz tartozó távolsági tényező segítségével (Df) kifejezve:

$$HTÁV = d \cdot Df / 100 = d \cdot 0,353553 \text{ (m)} \quad [10]$$

Mivel [10] behelyettesíthető [9]-be

$$N_{sz} = \sum_{j=1}^{n_{sz}} (d_j \cdot 0,353553)^2 \cdot \pi = \sum_{j=1}^{n_{sz}} d_j^2 \cdot 0,392699 \text{ (tő/ha)} \quad [11]$$

A körlapösszeg számításakor a törzsszámot kell megszorozni a  $k = 2$  szorzótényezővel, vagyis:

$$G_{mk} = \sum_{j=1}^{n_{mk}} k = \sum_{j=1}^{n_{mk}} 2 \text{ (m}^2\text{/ha)} \quad [12]$$

Végül a hektáronkénti tőszám [2], [5] és [11] alapján

$$N = \sum_{i=1}^{n_{mk}} 40 + \sum_{j=1}^{n_{sz}} d_j^2 \cdot 0,392699 \text{ (tő/ha)} \quad [13]$$

és a hektáronkénti körlapösszeg [2], [8] és [12] felhasználásával

$$G = \sum_{i=1}^{n_{mk}} d_i^2 \cdot \pi / 1000 + \sum_{j=1}^{n_{sz}} 2 \text{ (m}^2\text{/ha)} \quad [14]$$

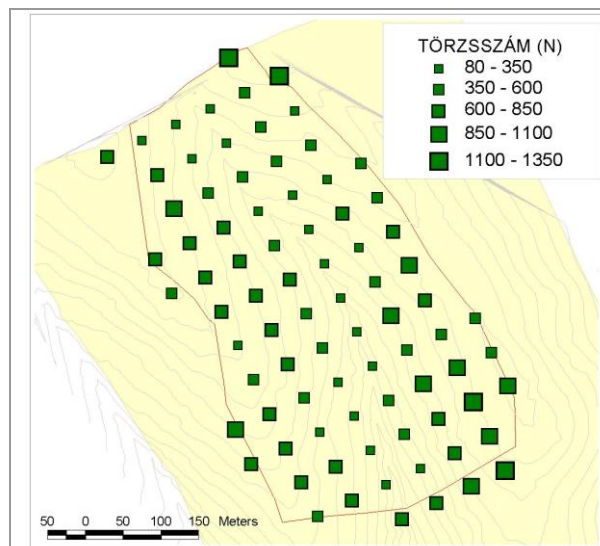
#### 4.4.2 Az MX2523 módszer alkalmazása a Hidegvíz-völgy erdőrezervátum példáján

A faállomány-szerkezet terepi felmérésének módszerét itt alkalmaztuk először a Vár-hegyi vizsgálatok után (Vitális és Zakariás 2006). E szerzőpáros vetette fel akkor az értékelés problémáját (amit akkor nem tudtunk megválaszolni), ezért az Ő adatsorukon is bemutatom az MX2523 számításokat a hektáronkénti törzsszám és körlapösszeg újraszámításával (15. és 16. ábra, az adatokat és a számítást lásd az M.3 mellékletben – MX2523\_HIDEGVIZ.XLS). A 8. táblázatban összehasonlítom a korábbi eredményeket az újraszámított eredményekkel, ami alapján láthatjuk, hogy az MX2523 számítás azonosnak tekinthető, de kevésbé szélsőséges eredményeket hozott, amint az várható is volt.

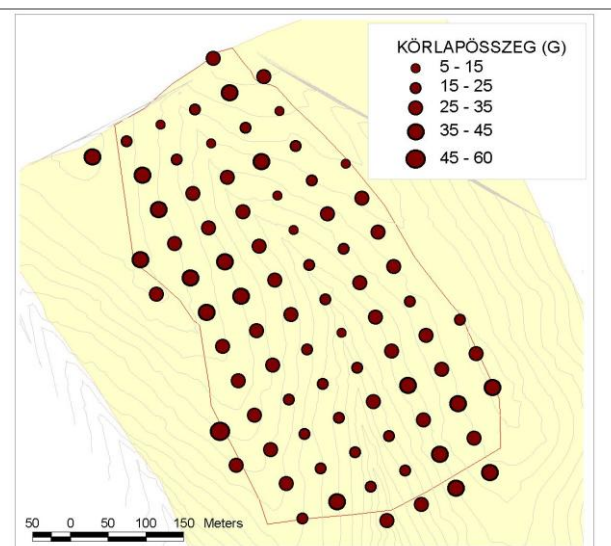
#### 8. táblázat

A N és G összehasonlítása Vitális és Zakariás (2006) eredményei és az MX2523-as újraszámítás szerint ( $N_{mk}$ ,  $G_{mk}$  – mintakör alapján,  $N_{sz}$ ,  $G_{sz}$  – szögszámláló próba alapján).

	Vitális és Zakariás 2006		$N_{MX2523}$	Vitális és Zakariás 2006		$G_{MX2523}$
	$N_{mk}$	$N_{sz}$		$G_{mk}$	$G_{sz}$	
<b>átlag</b>	649	528	<b>581</b>	37	28	<b>29</b>
<b>szórás</b>	298	327	<b>293</b>	13	9	<b>9</b>
<b>min</b>	120	40	<b>80</b>	7	4	<b>6</b>
<b>max</b>	1360	1876	<b>1326</b>	74	60	<b>59</b>



**15. ábra** Hektáronkénti tőszám (N) az MX2523 módszer szerint, Vitális és Zakariás (2006) adatai alapján



**16. ábra** Hektáronkénti körlapösszeg (G) az MX2523 módszer szerint, Vitális és Zakariás (2006) adatai alapján

## 4.5 A faállomány-szerkezeti felmérés elsődleges eredményei

Egy felmérés során, mintavételi pontonként, az alábbi elsődleges eredmények közlését javaslom (9. táblázat). A Vár-hegy eredményei az M.4 mellékletben található.

### 9. táblázat

A faállomány-szerkezeti felmérés elsődleges eredményei és azok javasolt közlési formája.

rövid név	FAÁSZ tulajdonság	mérték-egység	javasolt közlés
ZAR	a lombkoronaszint összes záródása	%	térkép
FLSO	a felső lombkoronaszint borítása	%	térkép (kördiagramm)
ALSO	az alsó lombkoronaszint borítása	%	
CSJE	a cserjeszint borítása	%	
GYEP	a gyepszint borítása	%	
LEKS	lékesség (L0, L1, L2-3, LX)	kategória	térkép
MAG	az állomány becsült magassága	m	térkép
N	hektáronkénti törzsszám (élő összesen)	db/ha	térkép
N_[...]	hektáronkénti törzsszám fajonként külön	db/ha	térkép
G	hektáronkénti körlapösszeg (élő összesen)	m <sup>2</sup> /ha	térkép
G_[...]	hektáronkénti körlapösszeg fajonként külön	m <sup>2</sup> /ha	térkép
EAN_[.....]	törzsszám alapján számított, fajok szerinti elegyarány megoszlás	%	térkép (kördiagr.)
EAG_[.....]	körlapösszeg alapján számított, fajok szerinti elegyarány megoszlás	%	térkép (kördiagr.)
FAJLISTA	az élő fa- és cserjefajok listája	lista/MVP	lista
FAJSZAM	összes fajszám (élő)	db/MVP	térkép (kördiagramm)
FAJSZFA	az élő fafajok fajszáma	db/MVP	
FAJSZCS	az élő cserjefajok fajszáma	db/MVP	
EAN_D05-10	az 5-10 cm átmérőjű (élő fák) számaránya	%	térkép (kördiagramm)
EAN_D10-20	a 10-20 cm átmérőjű (élő fák) számaránya	%	
EAN_D20-30	a 20-30 cm átmérőjű (élő fák) számaránya	%	
EAN_D30-40	a 30-40 cm átmérőjű (élő fák) számaránya	%	
EAN_D40-60	a 40-60 cm átmérőjű (élő fák) számaránya	%	
EAN_DNM60	a 60 cm-nél vastagabb (élő fák) számaránya	%	
EAG_KI	kimagasló helyzetű fák elegyaránya	%	térkép (kördiagramm)
EAG_UR	uralkodó helyzetű fák elegyaránya	%	
EAG_KZ	közbeszorult helyzetű fák elegyaránya	%	
EAG_AL	alászorult helyzetű fák elegyaránya	%	
EAN_TS	tősarj eredetű fák számaránya	%	térkép
N_OR	óriás termetű fák hektáronkénti száma	db/ha	térkép
N_4H	hektáronkénti álló holtfa szám	db/ha	térkép
G_4H	hektáronkénti álló holtfa körlapösszeg	m <sup>2</sup> /ha	térkép
V_4F	hektáronkénti fekvő holtfa mennyisége	m <sup>3</sup> /ha	térkép
N_4V	hektáronkénti vágott tuskók száma	db/ha	térkép
G_4V	hektáronkénti vágott tuskók körlapösszege	m <sup>2</sup> /ha	térkép

#### **4.6 Értékelés-módszertani fejlesztések: faállomány-szerkezeti típusok meghatározása a Vár-hegy erdőrezervátum példáján**

Az ER HTV tematikus felmérések az alap- és levezetett adatok széles választékát eredményezi, amely zavarbaejtően sokféle lehetőséget kínál a további elemzés, értékelés számára. A lehetőségek közül azokat tekintem a legfontosabbaknak, amelyek az erdőrezervátum-kutatás fő kérdéseire adnak válaszokat.

Így a további értékelés-módszertani fejlesztéshez az alábbi szempontokat vettem figyelembe:

- Adjon átfogó képet az erdőrezervátum teljes (felmért) magterületéről.
- Mutassa meg a faállomány sokféleségét és az alapvető típusokat, valamint azok területi mintázatát.
- Nyújtson jól áttekinthető információt a faállomány-szerkezeti típusok főbb tulajdonságainak eloszlásairól és variációjáról.

Ebben a dolgozatban viszont *nem* vettem figyelembe:

- a változások értékelésének szempontját,
- az interdiszciplináris (tematikus felmérési modulok) közötti összefüggések elemzésének lehetőségét.

A hazai erdőrezervátumok legtöbbször – így a Vár-hegy esetében is – vágásos gazdálkodás alatt álltak. A felhagyást követően ezek az állományok átalakulóban vannak egy természetesebb állapot felé. Olyan új erdőszervezetek, ill. erdőtípusok kialakulását feltételezzük és keressük – különösen a tölgyek által dominált, elegyes erdők esetében – amelyeket még nem láthattunk, nem ismerünk.

Ezért egyik fő feladatunk a faállomány-szerkezeti adatok közül a

- fontos változók együttesének kiválasztása (4.6.1),
- a jellemző faállomány-szerkezeti típusok megtalálása (4.6.2), majd
- e típusok jellemzése (4.6.3).

Mindezt a többváltozós adatfeltárás eszköztára alapján összeállított séma szerint végeztem (8. ábra). A módszertani részleteket a 3.4-es fejezetben ismertettem.

#### 4.6.1 Ordináció: a faállomány-szerkezeti alapadat-mátrix értékelése

Mint már a 3.7 fejezetben bemutatottam, az alapadatmátrix változóiból, többféle válogatás közül, a „v14s” jelzésű bizonyult a legeredményesebbnek. Azonban tanulságos néhány másik elemzés eredményét is értékelni.

A „v05” változat által figyelembe vett 13 változó: a hektáronkénti törzsszám (N) és a hektáronkénti körlapösszeg (G), továbbá a fontosabb fa- és cserjefajok elegyarányai (KTT, MOT, CST, GY, B, MK, MJ, HUSO, CSSZ, MOGY valamint az egyéb fafajoké). A szignifikáns komponensek száma: 3, az általuk képviselt összes varianca: 45%. Hasonló viselkedést, erős korreláltságot mutatnak (17. ábra):

- a bükk és gyertyán (EABUKK, EAGY),
- a cser, húsos som és valamelyest a mezei juhar (EACST, EAHUSO, EAMJ), utóbbi csoporttal, pontosabban a cser elegyarányával erősen korrelál a hektáronkénti körlapösszeg (G),
- a molyhos tölgy és a cserszömörce (EAMOT, EACSSZ) is korreláltságot mutat,
- a hektáronkénti törzsszámmal (N) pedig a húsos som elegyaránya (EAHUSO) mutat erős összefüggést.

Ebben az esetben a többváltozós térben a fő súlypontokat a kocsánytalan tölgy (EAKTT), a cser (EACST), a bükk (EABUKK), kisebb mértékben pedig a molyhos tölgy (EAMOT) elegyaránya szabja meg. A magas kőris (EAMK) meglehetősen különáll a többtől. Ezek az eredmények nem meglepőek, különösen ha a fő erdőtípusokra gondolunk (üde erdők, cserszömörccés molyhos tölgyes, stb). Nyilvánvaló, hogy ilyen adatsorból faállomány-szerkezeti típusokat még nem írhatunk le.

A „v03s” jelzésű válogatásban csak a záródást, a szintenkénti borításokat és a magasságot elemeztem, tehát az erdő vertikális jellemzőit (18. ábra). A szignifikáns komponensek száma csak 2 (7 változó alapján), az általuk képviselt összes varianca: 58%, tulajdonképpen elég jelentős. Ennek a PCA térnek a szerveződése egyszerűbb. Egymáshoz közel helyezkednek el:

- a záródás, a felső lombkoronaszint borítása és valamelyest az alsó lombkoronaszint borítása (ZAR, FLSO, ALSO).

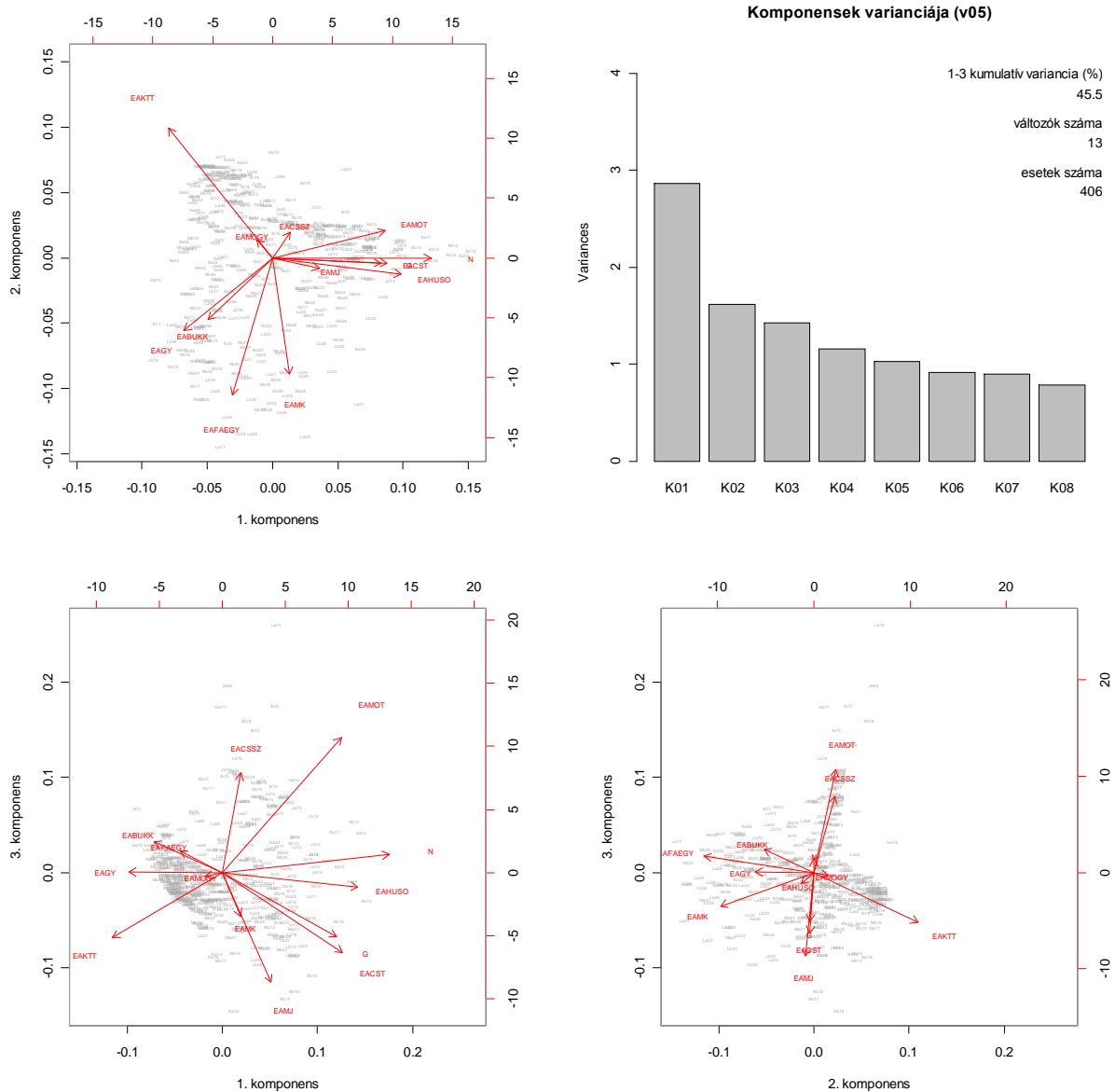
Ezekkel szemben áll a lékesség (LEKS), és ettől a tengelytől többé-kevésbé függetlenül, egymással viszont szembenállva a cserjeszint és a gyepszint borítása (CSJE, GYEP). Az állomány magassága (MAG) valamelyest különáll, de mindenképpen ellentétesen a cserjeszint borításával. A faállomány, a cserjeszint és a gyepszint azok a fő szereplők, amelyek ezt a teret alapvetően strukturálják. Mindez egybevág elvárásainkkal.

Végül a „v14s” válogatás (20 változó: záródás, szintekénti borítások, állománymagasság, fő fafajok és a húsos som elegyarányai, valamint három jellemző átmérőosztály törzsszám adata, ahol a szignifikáns komponensek száma 6, az általuk képviselt összes varianca pedig itt a legmagasabb: 68%) eredményeit elemezve persze bonyolultabb a kép (19. ábra), de a korábbi megállapításokat megerősítik és további elemekkel gazdagítják:

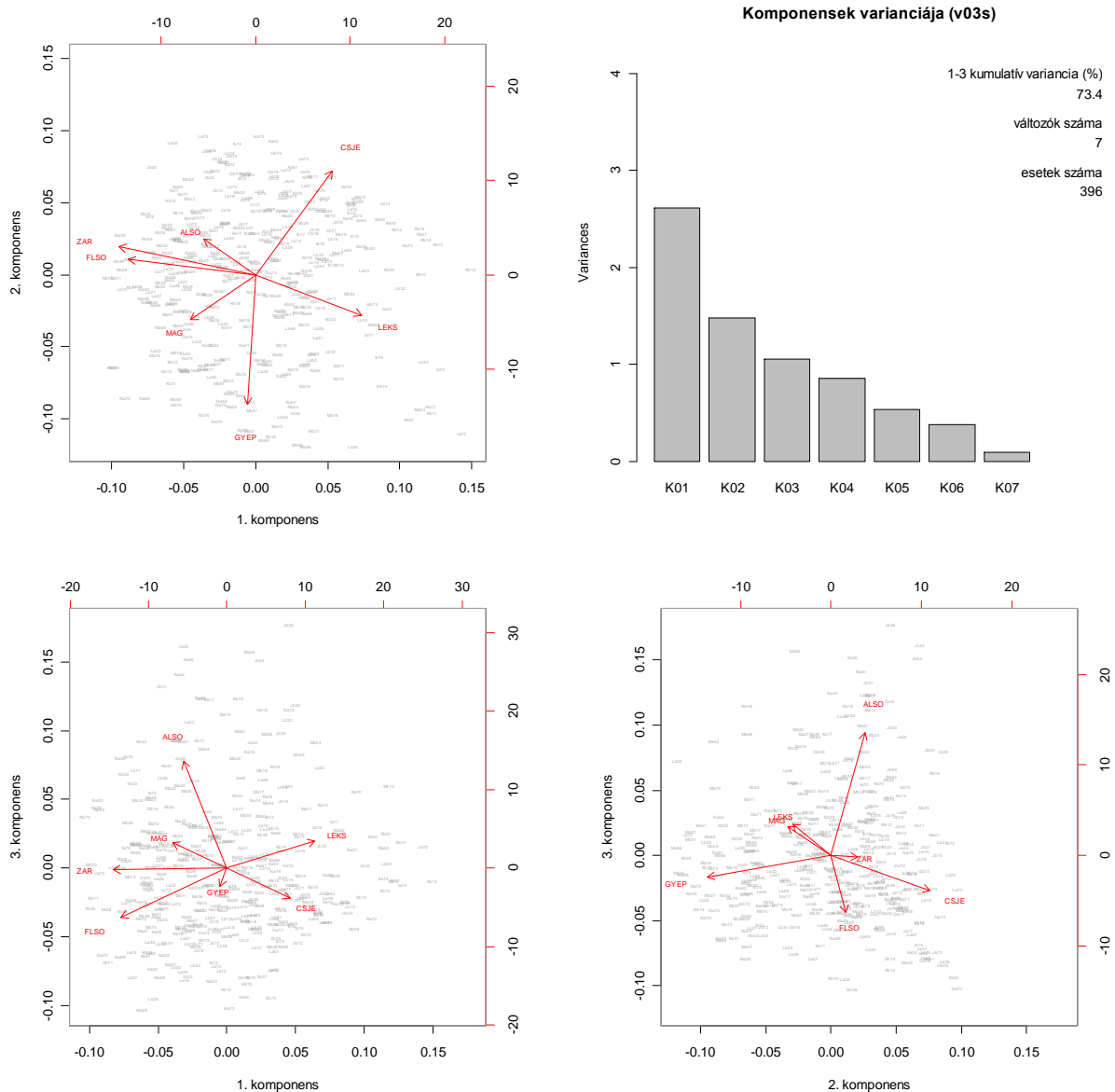
- a bükk és gyertyán (EABUKK, EAGY) itt is együtt állnak,
- a cser, húsos som és a mezei juhar (EACST, EAHUSO, EAMJ) itt is hasonló vektorokkal jellemezhetők, azonban a hektáronkénti körlapösszeg (G) kevésbé korrelál, viszont az 5-10 cm átmérőosztály törzsszáma beállt ebbe a csoportba (természetesen a húsos sommal erősen korrelálva),
- a molyhos tölgy elegyarányával (EAMOT) hol a cserjeszint (CSJE), hol a 10-20 cm átmérőosztály törzsszáma (NELO\_D10.20) áll közel (a cserszömörécét ebből az elemzésből kihagytam),
- a hektáronkénti törzsszám (N) és a húsos som elegyaránya (EAHUSO) itt is közelállást mutat, de azért bonyolultabb a kép, amennyiben a vékonyabb átmérőosztályok (NELO\_D05.10, NELO\_D10.20) is ide csatlakoznak, és kisebb mértékben a gypeszint záródása (GYEP),
- a záródás és a felső lombkoronaszint borítás (ZAR, FLSO) együttállása ebben az esetben is szoros.

Ebben a főkomponens térben a fontosabb súlypontok kissé máshogyan helyezkednek el, de a főfafajok: a kocsánytalan tölgy (EAKTT), a cser (EACST), a bükk (EABUKK) és a molyhos tölgy (EAMOT) elegyaránya, továbbá a lékesség (LEKS) és azzal ellentétesen a záródás (ZAR) változatosan rendezi el a lokális állományok pontjait. A lékesség ellentétesen áll a záródással, a magasság pedig a cserjeszint borításával.

Sokkal változatosabb képet látunk tehát, amely összhangban áll az egyszerűbb elemzések megállapításaival és korábbi ismereteinkkel. Viszont be kell látnunk, hogy ezt a hatdimenziós állapotteret sem vagyunk képesek intuitív módon kielégítően értelmezni. A főkomponensek adatmátrixának további sokváltozós elemzése (osztályozása) szükségszerű.

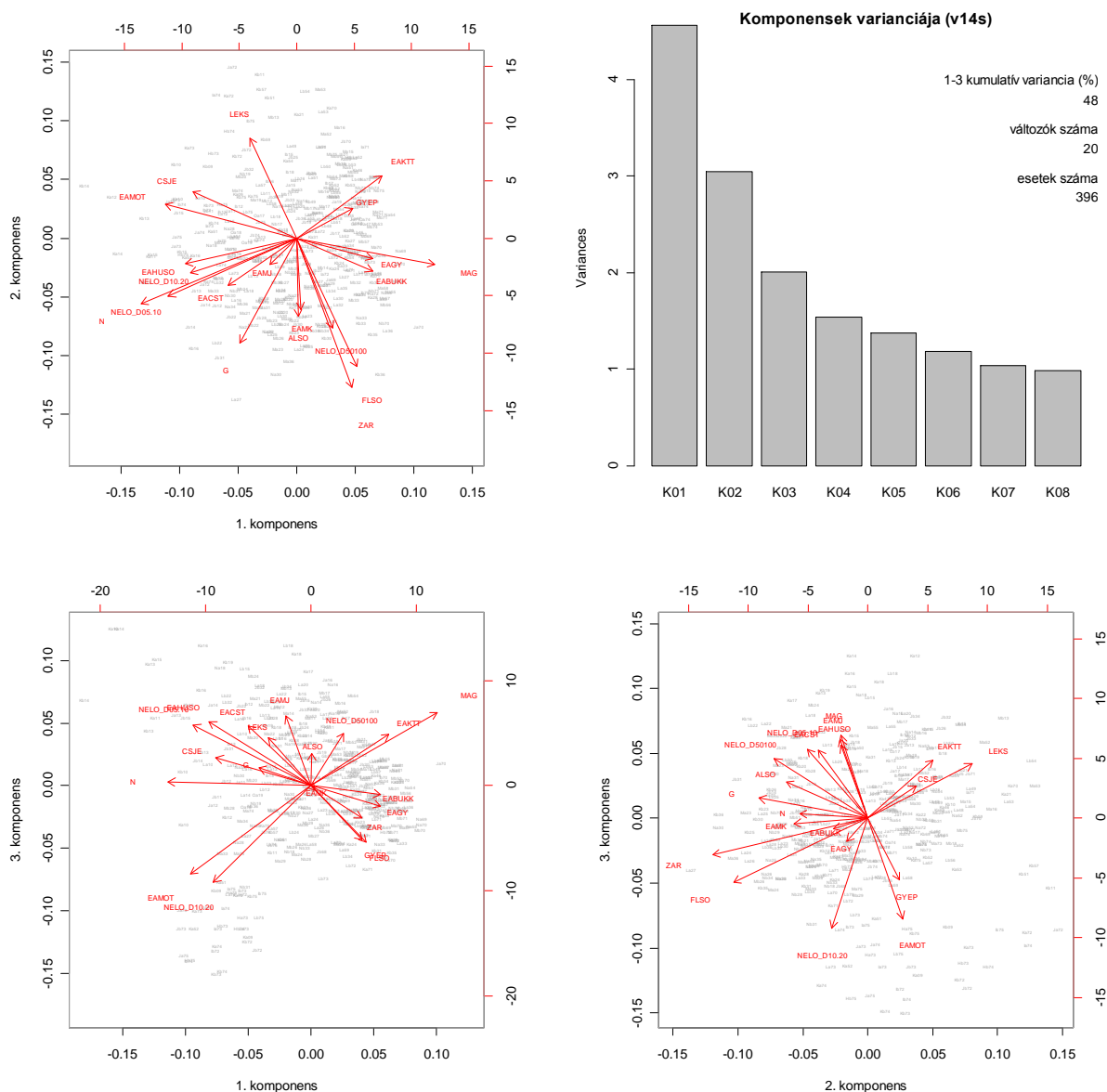


**17. ábra** A „v05” jelzésű PCA futtatás eredményének összefoglalása. Az itt figyelembe vett 13 változó: a hektáronkénti törzsszám (N) és a hektáronkénti körösszeg (G), továbbá a fontosabb fa- és cserjefajok elegyarányai. A szignifikáns komponensek száma: 3, az általuk képviselt összes variancia: 45%.



**18. ábra** A „v03s” jelzésű PCA futtatás eredményének összefoglalása. Itt csak a záródást, a szintenkénti borításokat és a magasságot vettem figyelembe (7 változó). A szignifikáns komponensek száma: 2! (de 3 komponens szerint ábrázolom az eredményeket), az általuk képviselt összes variancia: 58%.





**19. ábra** A „v14s” jelzésű PCA futtatás eredményének összefoglalása. Ebben a változatban a záródást, a szintekénti borításokat, a magasságot, a fő fafajok (és a leggyakoribb cserjefaj, a húsos som) elegyarányait, valamint három jellemző átmérőosztály törzsszám adatát vettem figyelembe (20 változó). A szignifikáns komponensek száma: 6, az általuk képviselt összes variancia: 68%.

#### 4.6.2 Osztályozás: a jellemző faállomány-szerkezeti típusok meghatározása

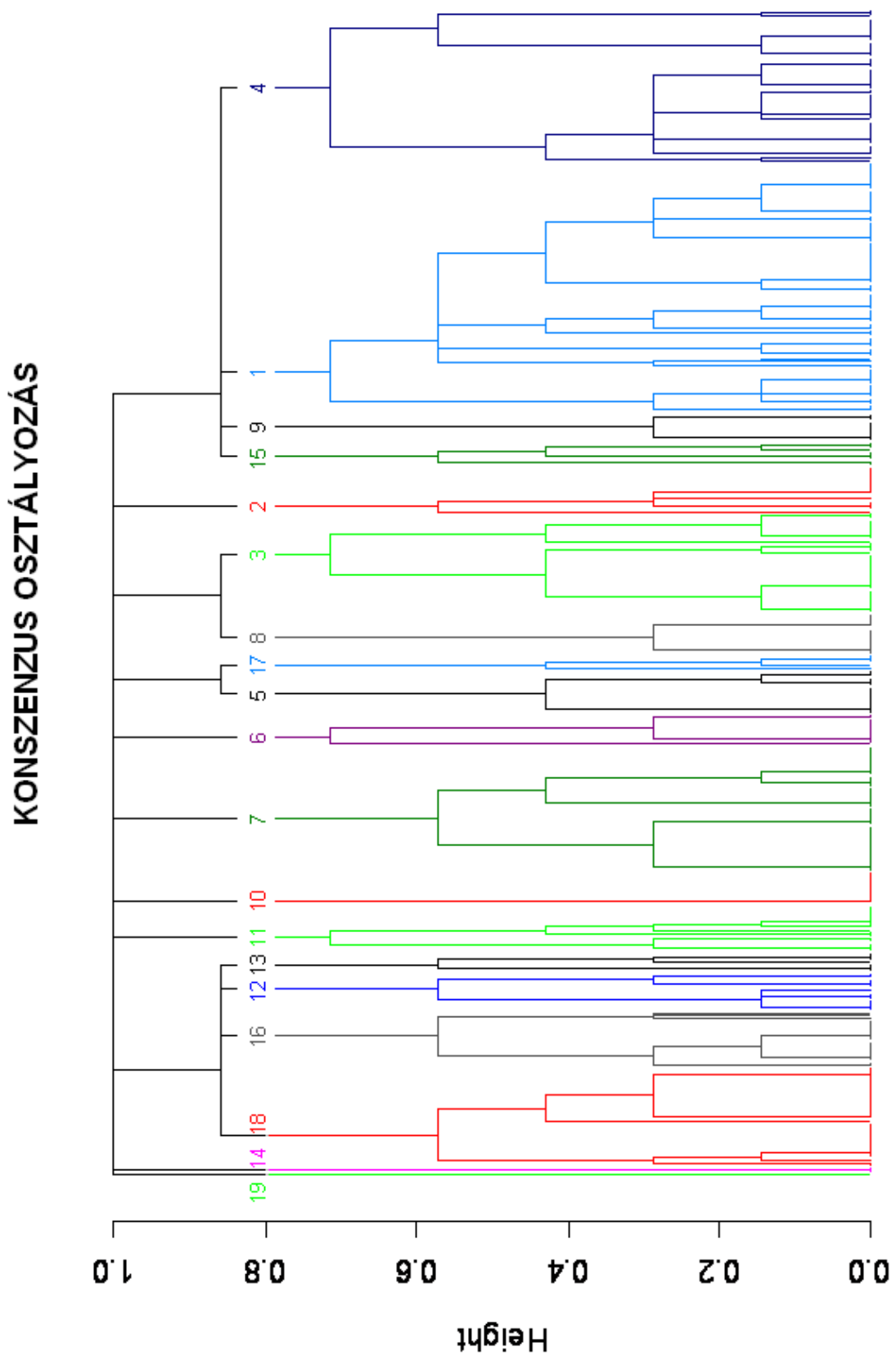
A „v14s” szignifikáns főkomponenseinek távolság-mátrixán 4 hierarchikus osztályozás, összesen 7-féle osztályozási eredményét vettem alapul a végső hierarchikus klaszterezéshez, amellyel a konszenzus osztályozást elkészítettem (a módszer részleteiről a 3.7. fejezetben írok). A konszenzus dendrogrammot 0,8-es szintnél vágtam el, az osztályokat eltérő színnel

ábrázolva különböztettem meg (20. ábra), amelynek eredményeképpen a 396 MVP-on kiértékelt lokális állományt 19 faállomány-szerkezeti csoportba soroltam (a „silhouette” vizsgálatok 18, ill. 19 csoportnál jeleztek optimális osztályozást). Az egyes osztályokat a konszenzus osztályozás azonosítói szerint mutatom be a 10. táblázatban. A csoportoknál a következő fejezetben adott elnevezéseket használom a megértés és jobb azonosíthatóság segítése érdekében.

### 10. táblázat

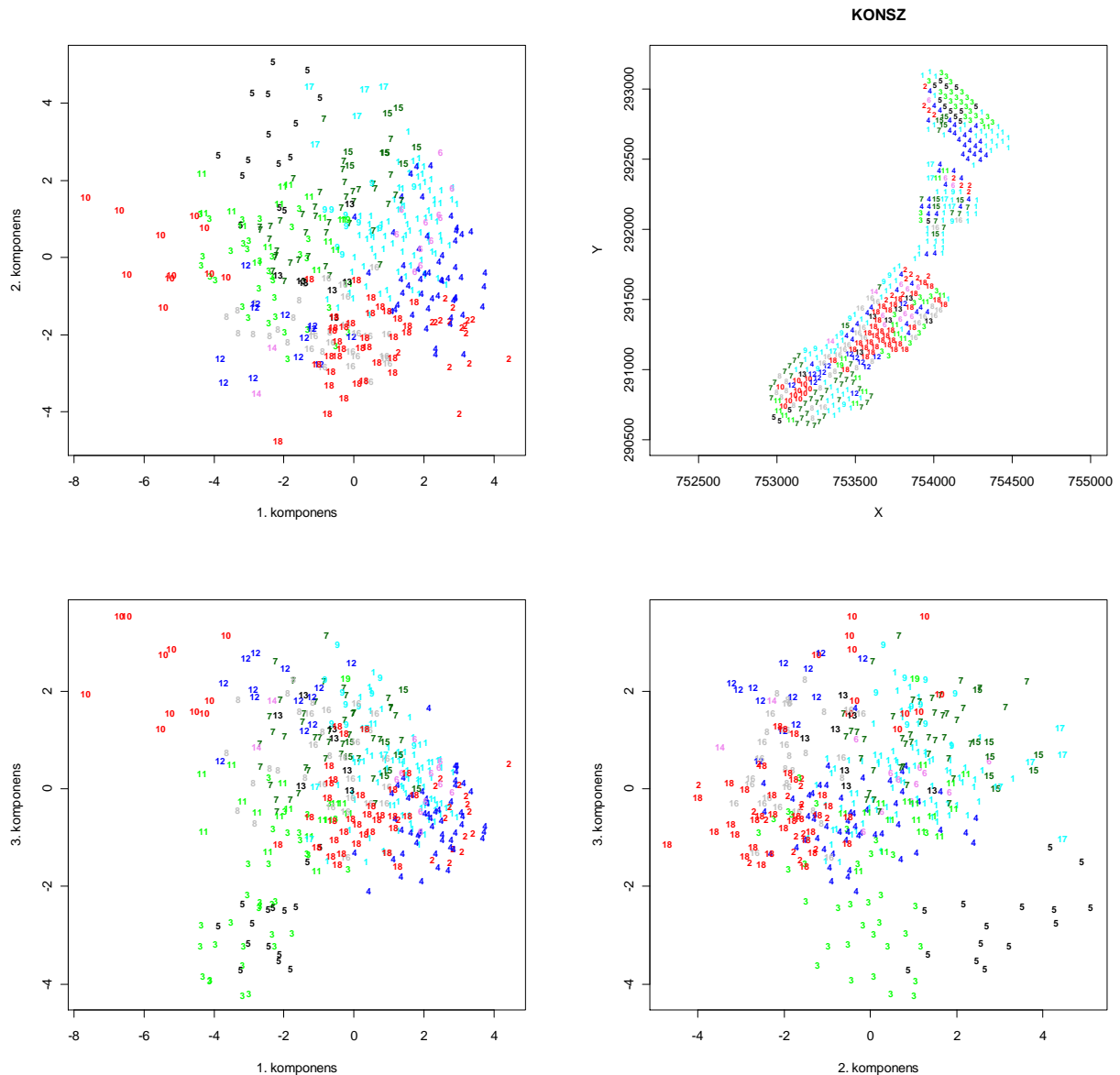
A konszenzus osztályozás eredményeként kapott faállomány-szerkezeti csoportok száma, elnevezése, mérete és a színes ábrákon alkalmazott színe.

csoport	elnevezés	méret	szín
[1]	Ligetes, jelentős cserje- és gyepszinttel rendelkező, gyertyánosodó, elegyes cseres-kocsánytalan tölgyes (CS-KTT)	85 MVP	világos kék
[2]	Zárt, magas, elegyes, bükkös szálerdő (B)	16 MVP	piros
[3]	Ligetes, húsos som cserjés, alacsony molyhos tölgyes (MoT)	34 MVP	zöld
[4]	Zárt, elegyes, gyertyános-kocsánytalan tölgyes (GY-KTT)	52 MVP	sötét kék
[5]	Nyílt, cserszömörccés molyhos tölgyes bokorerdő (MoT)	15 MVP	fekete
[6]	Lékes, gyepszintes, elegyes gyertyános-bükkös (GY-B)	11 MVP	sötét lila
[7]	Ligetes, lékes, erősen cserjés, középmagas cseres tölgyes (CS-KTT)	43 MVP	sötét zöld
[8]	Nagyon cserjés, középmagas, cseres-molyhos tölgyes (CS-MoT)	14 MVP	sötét szürke
[9]	Lékes, betöltődő (gyertyánosodó), erősen cserjés, közép-magas gyertyános-kocsánytalan tölgyes (GY-KTT)	10 MVP	fekete
[10]	Lékes, kiligetesedett lombozatú alacsony, molyhos tölgyes, bezáródott húsos som cserjeszinttel (MoT)	11 MVP	piros
[11]	Lékes, ligetes, erősen cserjés, alacsony, cseres-molyhos tölgyes (CS-MoT)	16 MVP	zöld
[12]	Háromszintes, lékes, gyertyánnal és mezei juharral betöltődő, húsos somos, elegyes, cseres-molyhos tölgyes (CS-MoT)	13 MVP	kék
[13]	Kiligetesedett, lékes, húsos somos, kőrisesedő elegyes tölgyes (ELT)	7 MVP	fekete
[14]	Gyertyánnal és magas körissel betöltődő (kigyérített) tölgyes ---	2 MVP	lila
[15]	Kiligetesedett, lékes, gyertyánnal töltődő, elegyes gyertyános-tölgyes (GY-KTT)	8 MVP	sötét zöld
[16]	Háromszintes, elegyes, gyertyános-kocsánytalan tölgyes (GY-KTT)	19 MVP	szürke
[17]	Kiligetesedett, lékes, gyertyánnal betöltődő fénygazdag molyhos tölgyes (MoT)	5 MVP	világos kék
[18]	Zárt lombkoronájú, dúsabb aljnövényzetű, cserekekkel, molyhos tölgyekkel és magas körissel dominált, elegyes erdő (ELT)	34 MVP	piros
[19]	Kiligetesedett, lékes, gyepszintes állomány ---	1 MVP	zöld



**20. ábra** A konszenzus dendrogrammot 0,8-es értéknél elvágva, a 396 lokális állomány alapján, 19 faállomány-szerkezeti csoportot kapunk.

A mintavételi pontok (MVP) konszenzus osztályozásának eredményét az első három főkomponens síknézetein és a Vár-hegy erdőrezervátum térképére allokálva is bemutatom (21. ábra). Az ábrázolás során ugyanazokat a kódokat és színeket használom.



**21. ábra** A „konszenzus” osztályozás eredményeként 19 faállomány-szerkezeti típusba soroltam a Vár-hegy erdőrezervátum lokális állományait. A csoportokat a fenti ábrákon az első három főkomponens síknézetein, ill. a területre allokáltan mutatom be.

### 4.6.3 Értelmezés: a faállomány-szerkezeti típusok jellemzése

A konszenzus osztályozással a leginkább homogénnek tekinthető csoportokat hoztam létre (10. táblázat, 20. és 21. ábra). A 19 csoportból 17-et jellemeztem, ahol az ismétlések (esetek) száma elérte legalább az ötöt. A leírásokat és az ábrákat a faállomány-szerkezeti adatok csoportonkénti lekérdezése és értékelése alapján készítettem el, kiegészítve az élőhelyek szerinti összesítésekkel, valamint az állományok várható változásaira vonatkozó megjegyzéseimmel. A csoportokra vonatkozó részletes leírásokat és ábrákat az M.5 melléklet tartalmazza.

Az alábbiakban megadom a jellemzés általános szempontjait és az ábrák magyarázatát az [1]-es csoport példáján.

Minden csoportnak igyekeztem adni egy **rövid és lényegretörő nevet**, amelyben három szempontra tértem ki: az erdőszerkezet fiziognómiai jellegzetességeire; egyes fa-, cserjefajok vagy szint jellemző uralmára vagy előretörésére (folyamatra); az erdő fő típusára. Például *„Ligetes, jelentős cserje- és gyepszinttel rendelkező, gyertyánosodó (részben mezei juharosodó), elegyes cseres-kocsánytalan tölgyes”*.

A megnevezés után zárójelben megadtam a típushoz tartozó MVP-ok számát, vagyis az esetek, ill. ismétlések számát, pl. (N=52). Ez az érték az ábrákon is fel van tüntetve, mint esetszám, de a leírásban is szerepel, kissé redundáns módon.

A **típusok leírása** támaszkodik az ábrákra (példa a 22. ábra a-b és d-e box-plot diagrammjai, valamint a típusok 22.c ábrán látható térbeli allokációja), de azokat gyakran kiegészítettem az adatbázisból lekérdezett információkkal is. A leírásban kitérek a hektáronkénti törzsszám és körlap-összeg (N és G) átlagára és szórására, az állomány záródására, a felső és alsó lombkorona-szint, a cserjeszint és gyepszint borítására valamint a lékesség mértékére. Az itt feltüntetett állomány-magasságot és szórást az uralkodó helyzetű fák mérései alapján számítottam (22.a ábra „box-plot” diagrammok). Minden esetben szövegesen is értékeltem a törzsszám és körlap-összeg szerinti elegyarányt (22.d-e ábra), kiemelve a típus legfőbb jellegzetességeit és összevetve az átmérő-osztályok szerinti törzsszám eloszlással (22.b ábra). Az ábráról közvetlenül le nem olvasható, de a szövegben gyakran kiemelt elegyarány jellegzetességeket (mint pl. a gyertyán vagy a cserjefajok részaránya adott átmérő-osztályban) közvetlenül az adatbázisból lekérdezve vettem. Például: *„Ebbe a faállomány-szerkezeti típusba 85 lokális állomány sorolható (együttal a legnagyobb csoport), amelyekben a hektáronkénti tőszám átlagosan 468 tő,*

szórása jelentős:  $\pm 238$  tő/ha. A hektáronkénti körlapösszeg  $26,4 \pm 5,3$  m<sup>2</sup>. Átlagosan 70%-os záródású, közepes mértékben lékes lombkorona-szerkezetű típus (a második lombkoronaszint alárendelt mértékű), általában jelentős borítású cserje- és gyepszinttel. Különösen a gyepszint borításának szóródása nagy. Az állományok átlagos magassága 20,3 m, szórása:  $\pm 3$  m (26.a ábra). Az állományt idősebb (vastag) kocsánytalan tölgyek uralják, kevés cserrel, nagyobb számú (vékonyabb) gyertyánnal, helyenként mezei juharral. Szórványosan minden, a területen előforduló fafaj bekerül ebbe a csoportba (26.d, e ábra). A 30-40 cm-es méretosztálynál van az átmérő szerinti eloszlás maximuma, ennél vastagabb tölgyek is jelentős mértékben fordulnak elő, míg a legvékonyabb (10 cm alatti) csoportban nagy szóródás mellett viszonylag alacsony az átlagos részesedés (26.b ábra). Itt a cserjefajok részaránya 32%, a fafajok közül főleg fiatal gyertyánok (az összes gyertyán 52%-a) és mezei juharok (az összes mezei juhar 75%-a) található, ebben a csoportban tölgy nem fordul elő.”

Az adatbázisból lekérdezve állítottam össze a fő erdőtípusok eloszlását is. A lokális állományokat Bölöni János sorolta be élőhely-kategóriákba, amelyeket egyes tölgyesek, tölgyesek, gyertyános-tölgyesek és bükkös erdőtípusokba vontam össze. Az [1]-es csoport példáján: „Egyes tölgyesek: 41, tölgyesek: 29, gyertyános-tölgyesek: 15, bükkösök: 0 MVP” A típus térbeli elhelyezkedését bemutató ábra (22.c ábra) alapján értékeltem a mintázatot. Például: „Ezek az állományok jellemzően zonális mintázatot mutatnak, vagyis a hegyvonulat Ny-ÉNy-i lejtőjén egy sávban, a nyereg környékén és a Csák-pilis-lápa völgyfőjében, valamint a Vár-hegy D-DK-i oldalában található cseres-tölgyes részben fordulnak elő.”

Végül a **feltételezhető folyamatokra** vonatkozó megjegyzéseimet foglaltam össze a leírás végén. Ezeknél az adatok és kimutatások mellett közvetlen terepi tapasztalataimra, helyenként megérzéseimre támaszkodtam. Például: „Az állományok jelentős mértékben lékesek, amelyekben megkezdődött a betöltődés, elsősorban gyertyánnal és sok elegendő fajtával. Feltételezhető folyamatok: előrehaladott átalakulás (fafajcsere), közepes mértékű gyertyánosodás.”

A részabrák pontos értelmezéséhez az alábbi magyarázatok tartoznak.

A „box-plot” (pontosabban: „box-and-whisker” plot) diagrammokon a medián, a 25-75%-os tartomány, a szélső értékek és kilógó értékek láthatók.

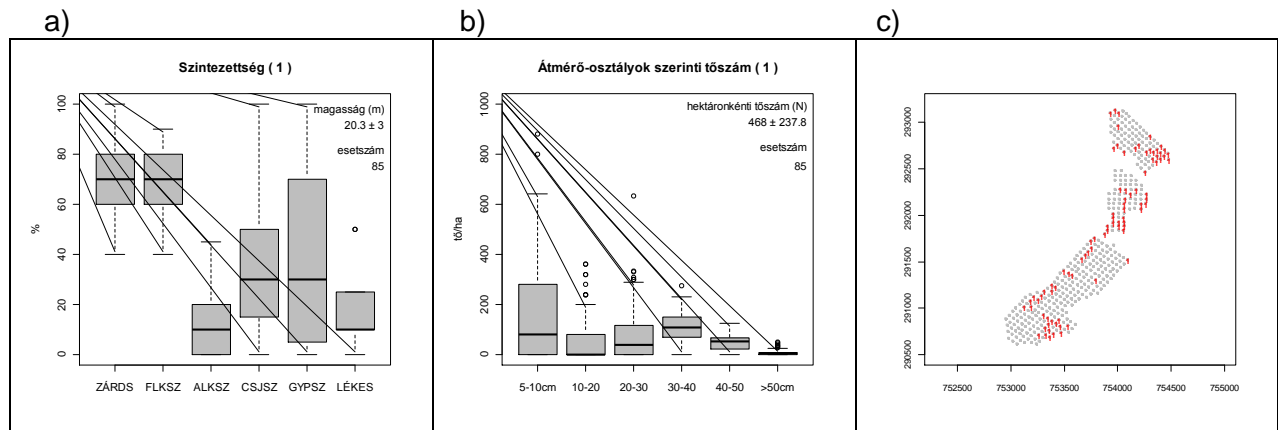
**a) Szintezettség (%):** ZÁRDS – a lombkorona záródása a felső és alsó lombkoronaszintet együtt figyelembe véve (0-100%); FLKSZ – a felső lombkorona-szint borítása (0-100%); ALKSZ – az alsó lombkorona-szint borítása (0-100%); CSJSZ – a cserjeszint borítása (0-100%); GYPSZ – a gyepszint borítása (0-100%); LÉKES – a lékesség mértéke, ahol az „L1”

(1 uralkodó fakoronányi lék) kategóriát 10%-ra, az „L2-3” (2-3 uralkodó fakoronányi lék) kategóriát 25%-ra, az „LX” (nagyobb lék vagy összeroppanás) kategóriát 50%-ra transzformálva végeztem az elemi statisztikai számításokat. A jobb felső sarokban feltüntetett „magasság (m)” alatt az uralkodó állomány-magasság és szórás látható, amit az uralkodó helyzetű fák magasságai alapján számítottam.

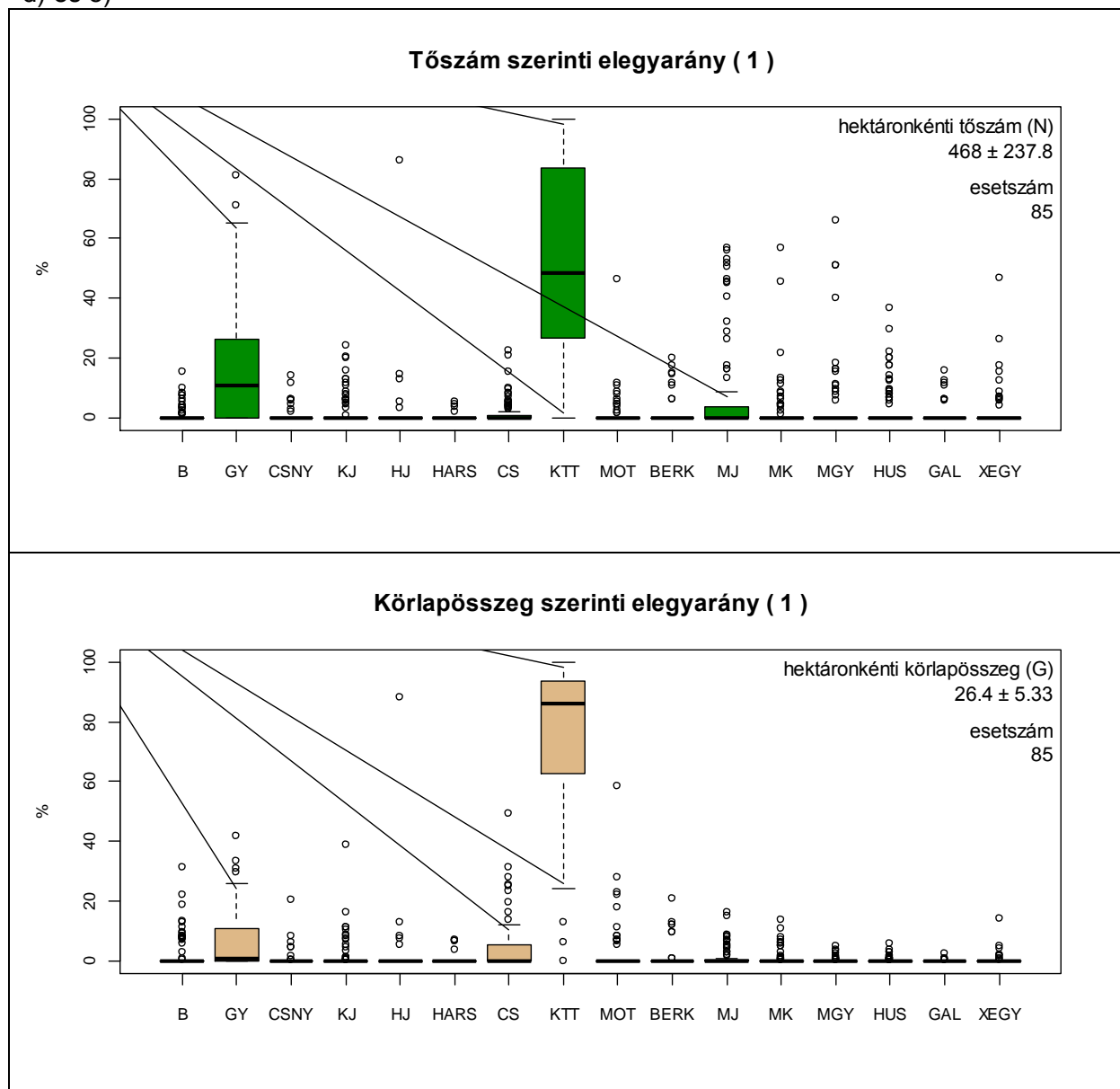
**b) Átmérő-osztályok szerinti tőszám (tő/ha):** A hektáronkénti becsült törzsszámot jelenti 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 és >50 cm mellmagassági átmérő-osztályokra számítva, minden fa- és cserjefaj élő törzsét figyelembe véve, kettős (kombinált) mintavétel alapján, az MX2523 számítási eljárás szerint. A jobb felső sarokban az összes hektáronkénti törzsszám átlaga és szórása található.

**c) Térbeli allokáció:** Térképes ábra, amely az adott típus mintavételi pontok szerinti elhelyezkedését mutatja. A tengelyek mentén az EOTR szerinti Egységes Országos Vetületi koordináták vannak feltüntetve m-ben kifejezve. A szürke pontok a Vár-hegy erdőrezervátum magterületének felmért mintavételi pontjait (MVP) reprezentálják, a piros számok pedig azokat, ahol az adott típus előfordul. A szám a faállomány-szerkezeti típus azonosító száma, amelyet a 10. táblázatban és a 20-21. ábrákon is alkalmazok.

**d) és e) Törzsszám és körlap-összeg szerinti elegyarány:** A hektáronkénti becsült törzsszámot jelenti fa- és cserjefajonkénti bontásban, minden fa- és cserjefaj élő törzsét figyelembe véve, kettős (kombinált) mintavétel alapján, az MX2523 számítási eljárás szerint. A jobb felső sarokban az összes hektáronkénti törzsszám (N), ill. körlap-összeg (G) átlaga és szórása található. A fajok rövidítései: B – bükk (*Fagus sylvatica*), GY – gyertyán (*Carpinus betulus*), CSNY – madárcseresznye (*Cerasus avium*), KJ – korai juhar (*Acer platanoides*), HJ – hegyi juhar (*Acer pseudoplatanus*), HARS – hársak (*Tilia* sp.), CS – cser (*Quercus cerris*), KTT – kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* agg.), MOT – molyhos tölgy (*Quercus pubescens*), BERK – berkenyék (*Sorbus* sp.), MJ – mezei juhar (*Acer campestre*), MK – magas kőris (*Fraxinus excelsior*), MGY – mogyoró (*Corylus avellana*), HUS – húsos som (*Cornus mas*), GAL – galagonyák (*Crataegus* sp.), XEGY – minden egyéb faj.



d) és e)



**22. ábra** Az [1]-es faállomány-szerkezeti típus főbb tulajdonságainak grafikus ábrázolása (az ábrák magyarázatát lásd a szövegben).



#### 4.6.4 A faállomány-szerkezeti típusok áttekintő elrendezése

A csoportok „egyszerű paraszti ésszel” való átrendezése sokat segíthet az áttekintésben, a jobb megértésben. Elsődleges szempontnak kínálkozik a fő erdőtípusok termőhelyi üdeség szerinti rendezése (a cserszömörccés molyhos-tölgyes bokorerdőtől a bükkösig). Második rendezési szempontnak az állományok ligeteseződését (záródáshiányát) választottam. Minél ligetesebb egy állomány, annál inkább várhatjuk annak „dinamizálódását” vagyis a felújulási folyamatok megerősödését. Persze ez erős leegyszerűsítés, hiszen láthatjuk az M.5 mellékletben, hogy sokféle folyamat lehetséges (elfüvesedés, elcserjésedés, többféle betöltődés ...), de a konszenzus osztályozás által adott „rendezésnél” mindenképpen szemléletesebb áttekintést várhatunk (11. táblázat).

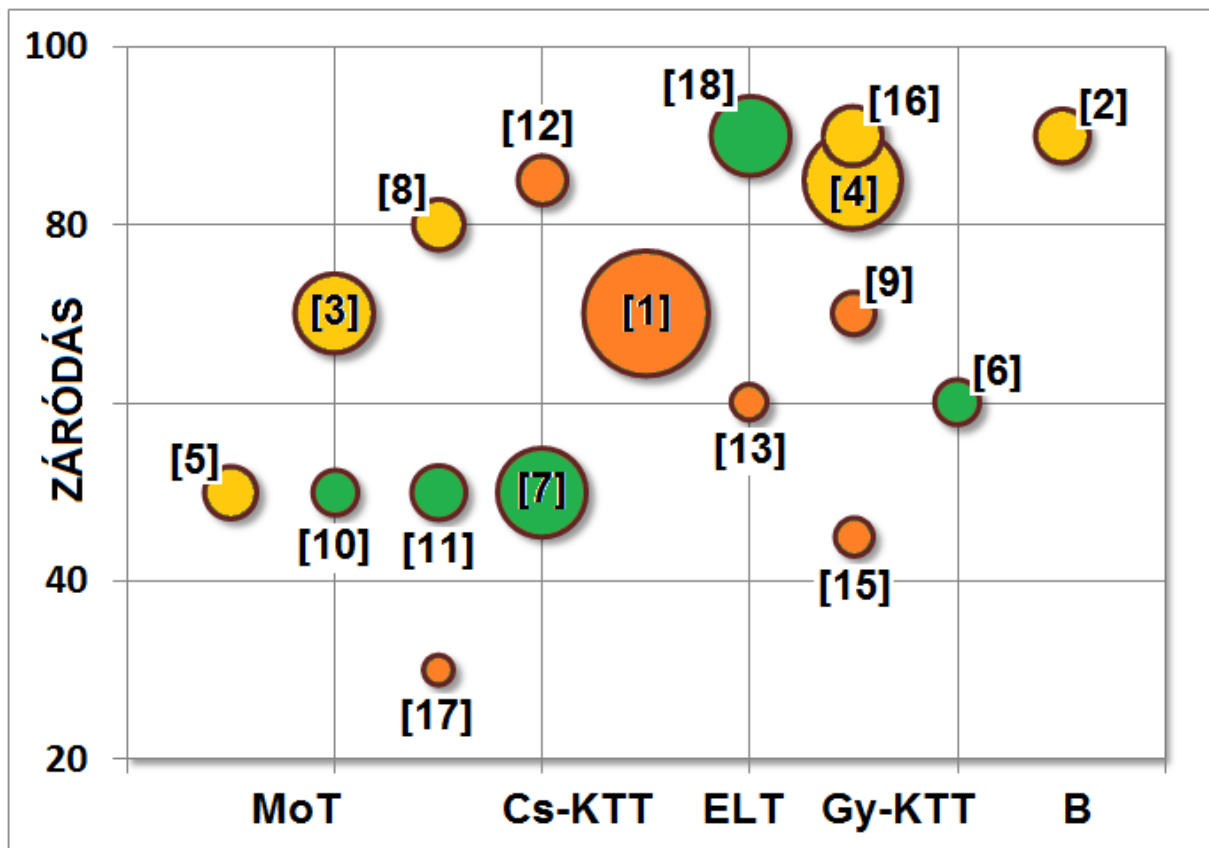
#### 11. táblázat

A faállomány-szerkezeti csoportok növekvő termőhelyi üdeség és csökkenő záródás (záródáshiány) szerint rendezve. A betöltődést és az erős cserje vagy gyepszintet kiemeltem.

csoport	elnevezés	
[5]	Nyílt, cserszömörccés molyhos tölgyes bokorerdő	MoT / 50%
[3]	Ligetes, húsos som cserjés, alacsony molyhos tölgyes	MoT / 70%
[10]	Lékes, kiligetesedett lombosított alacsony, molyhos tölgyes, <u>bezáródott húsos som cserjeszinttel</u>	MoT / 50%
[8]	Nagyon cserjés, középmagas, cseres-molyhos tölgyes	CS-MoT / 80%
[11]	Lékes, ligetes, <u>erősen cserjés</u> , alacsony cseres-molyhos tölgyes	CS-MoT / 50%
[17]	Kiligetesedett, lékes, <b>gyertyánnal betöltődő</b> fénygazdag molyhos tölgyes	MoT / 30%
[12]	Háromszintes, lékes, <b>gyertyánnal és mezei juharral betöltődő</b> , húsos somos, elegyes cseres-molyhos tölgyes	CS-MoT / 85%
[7]	Ligetes, lékes, <u>erősen cserjés</u> , középmagas cseres tölgyes	CS-KTT / 50%
[1]	Ligetes, jelentős cserje- és gyepszinttel rendelkező, <b>gyertyánosodó</b> , elegyes cseres-kocsánytalan tölgyes	CS-KTT / 70%
[18]	Zárt lombkoronájú, dúsabb aljnövényzetű, cserekekkel, molyhos tölgyekkel és magas kőrissel dominált, elegyes erdő	ELT / 90%
[13]	Kiligetesedett, lékes, húsos somos, <b>kőrissedő</b> elegyes tölgyes	ELT / 60%
[16]	Háromszintes, elegyes, gyertyános-kocsánytalan tölgyes	GY-KTT / 90%
[4]	Zárt, elegyes, gyertyános-kocsánytalan tölgyes	GY-KTT / 85%
[9]	Lékes, <b>betöltődő</b> (gyertyánosodó), <u>erősen cserjés</u> , közép-magas gyertyános-kocsánytalan tölgyes	GY-KTT / 70%
[15]	Kiligetesedett, lékes, <b>gyertyánnal töltődő</b> , elegyes gyertyános-tölgyes	GY-KTT / 45%
[6]	Lékes, <u>gyepszintes</u> , elegyes gyertyános-bükkös	GY-B / 60%
[2]	Zárt, magas, elegyes, bükkös szálerdő	B / 90%

Ha e két szempont szerint rendezzük el az üdeség és záródás síkjában a csoportokat, akkor az alábbi ábrát kapjuk (23. ábra). A narancs színnel jelölt csoportokra jellemző valamilyen betöltődési folyamat. Ezek 80% alatti záródásúak (a [12]-es csoport kivételével, amelynél a betöltődés és a cserjeszinttel való záródás egyszerre van jelen). Vannak ugyanakkor kifejezetten lékes-ligetes állományok, amelyeknél viszont már a cserjeszint vagy gyepszint nagyfokú zártsága lehet az egyik blokkoló akadálya a természetes felújulás elindulásának (másik fő ok a nagy vadnyomás).

Természetesen más elrendezések is ösztönzőek lehetnek további kérdések és spekulációk felvetésében, azonban az igazi előrelépést a felmérés megismétlésétől és a bekövetkező változások értékelésétől várom.



**23. ábra** A faállomány-szerkezeti csoportok elrendezése a fő erdőtípus által indikált termőhelyi üdeség és a lombkorona záródás(hiány)ának síkjában. A körök mérete a csoportok méretével arányos, a számozás a csoportokat azonosítja. A narancs színű csoportokra jellemző valamilyen betöltődési folyamat, míg a zöld színnel a cserjeszint (vagy a gyepek) nagyon erős borítását, zártságát jelzem.

#### **4.7 A területen bekövetkezett főbb zavarások az elmúlt évtizedekben és néhány megfigyelt folyamat**

A faállomány-szerkezeti vizsgálatokon kívül elvégeztük az aljnövényzeti szint, és az újulati- és cserjeszint felmérését (Horváth 2008a, Horváth 2008b, Horváth és mtsai 2008), valamint a terület erdőtörténetének feltárását (Mázsa és mtsai 2009). Mindezek külön értékelésére nem térek ki, abban azonban sokat segítettek, hogy képet kapjak a magterületet ért főbb zavarásokról és felfigyelhessek néhány feltűnő mozzanatra.

A II. Világháború óta a következő nagyobb zavarások érték az erdőrezervátumot. Jelentős gyérítéseket végeztek a mai magterület határát részben kijelölő feltáró út elkészítésekor a 60-es évek végén, elsősorban az Észak-nyugati oldalon (önmagában a feltáró út megépítése is komoly zavarással járt). A gyérítések egészen pontos mértékét nem ismerjük, de a korhadó vágott tuskók (M.4.20-21. ábra), a lombkorona szintek borítási viszonyai (M.4.2. ábra) és a betöltődöttség állapota megmutatja az ötven évvel ezelőtti fahasználatok helyét és hozzávetőleges mértékét.

Az 1970-es és 1980-as években tölgypusztulás söpört végig Európán és Magyarországon (Führer 1998b), amely néhány év alatt főként a kocsánytalan tölgyek egy részét vitte el (Kotroczó és mtsai 2007, Tóthmérész 2001). Ennek eredményeként a Vár-hegy kocsánytalan tölgyeseiben, helyenként 20-50%-os lékesedés, kiligetesedés következett be egy évtized alatt. Úgy tűnik, hogy az uralkodó tölgyek pusztulása azóta sem állt meg teljesen, de annak mértékéről csak a következő felmérés eredményei alapján lesznek adataink. Az állva elpusztult fák kidőlése rendszerint csak évek múltán következik be, amely idő alatt az ágrendszer nagy része már letöredezik, így a bedőlő törzs rendszerint kisebb mértékű törést okoz a lombkoronában, mint a viharok által kidöntött fák (kisebb mértékben ez utóbbi is rendszeresen előfordul).

Kevésbé súlyos következményekkel jelentkezett 2004 és 2006 között a gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) hatalmas gradációja, amelynek egyik súlypontja éppen a Dél-bükki tölgyes zónára esett (Csóka és Hirka 2007), ami 2005-ben a magas kőrisek és fagyal bokrok (mindkettő Oleaceae) kivételével az erdő teljes tarrá rágásához vezetett.

A térségre évtizedek óta jellemző a rendkívül magas vadlétszámból fakadó terhelés, amit évről évre a fennsíkról és a bükki „kövek” térségéből télen lehúzódnó nagyszámú vad emel meg.

A lombkoronaszint lékesedése, kiligettedése következtében megindult az erdő regenerációja is, amely láthatóan eltérő erdőfejlődési utakat követ. Az üdébb, inkább gyertyános-tölgyes élőhelyeken keletkezett lékekben elsősorban *gyertyán, magas kőris és mezei juhar betöltődése* alakult ki, ilyenek a [9]-es (ide sorolható a [14]-es is), a [15]-ös, a [17]-es és kisebb mértékben az [1]-es faállomány-szerkezeti típus üdébb részei. Van továbbá egy elegyes molyhos tölgyes-cseres típus is [12]-es, amely a lékekben betöltődéssel gyertyánosodik, részben mezei juharosodik.

Több állományban – különösen a szárazabb termőhelyeken – jellemző, hogy a beáramló fényt egy szinte teljesen záródó, *megerősödő húsos somos cserjeszint* hasznosítja. Ennek mélyárnyékában aljnövényzet és újulat nélküli, avaros talajfelszín alakul ki. Ilyen, szélsőségesen elcserjésedett faállomány-szerkezeti típust mutat a [7]-es, szárazabb körülmények között pedig a [10]-es. Ehhez hasonló, de az uralkodó faállományból többet megőrzött típusok a [8]-as és [11]-es cseres-molyhos tölgyes, továbbá a [3]-as molyhos tölgyes. Ezeknél is előfordulhat, hogy a somos cserjeszint kerül uralomra, de a fafajok újulata is nagy valószínűséggel megjelenhetne, ha a vadnyomás csökkenne.

Vannak nagyon elegyes állományok (a [13]-as és [18]-as), amelyeknek a további fejlődése – éppen az állományt alkotó sok fafaj következtében sokféle lehet. A [13]-as típusban ez a kérdés már az *elkőrisesedés irányába* látszik eldőlni. Úgy látszik más fejlődési pályát is bejárhatnak egyes állományok, amikor a felnyílt lombkoronaszinten keresztül érkező többletfényt nem elsősorban a cserjék, hanem a *dominánssá váló gyepszint* hasznosítja. Ilyen a [6]-os és a [18]-as típus, amelyekről nem látszik, hogy a gyep uralmát megtöri-e és ha igen mikor, a fásszárúak új generációja. Ezt a folyamatot minden bizonnyal a vad nagyobb létszáma és megnövekedett hatása ugyancsak nagy mértékben meghatározza, sőt Rooney (2008) az erdők gyepszintjében a fűfélék uralomra jutását egyenesen egy legelő-erdő-állapot felé történő átmenetnek tekinti.

Van továbbá a gyertyános-tölgyeseknek sok zárt állománya (a [4]-es és [16]-os), amelyekre még inkább *a gyarapodás jellemző*, de beindulhat lékesedési folyamat is. Ugyancsak zárt szálerdő képet mutatnak a hegy szubmontán bükkös állományai (a [2]-es), ezekre is még a gyarapodás, növekedés jellemző, de várható, hogy a lékesedés ezekben az állományokban hamarosan beindul. Ezek a bükkösök nagyon elegyesek és kis kiterjedésűek, ennek következtében további fejlődésük elég változatos lehet.

Végül a cserszömörccés-molyhos tölgyes bokorerdő állományokat kell említenem a terület szélsőségesen kitett és száraz termőhelyein ([5]-ös). A fák növekedése ezeken a helyeken igen lassú, de ez a társulás nagyon stabilnak látszik.

Mindezek mellett megfigyeltem néhány említést érdemlő fafajcserét is, amire a holtfák és élőfák, vagy a fák méreteiből és egymáshoz viszonyított elhelyezkedéséből lehetett következtetni. Egy-két mintavételi ponton jellemző az öreg, csúcsszáradó molyhos tölgyek fiatal cserekkel vagy magas kőrisekkel való túlnövése, elnyomása (pl. Mb-024, Na-027). Több lékre jellemző, hogy csak magas kőrisekkel töltődik be (pl. Ma-055), előrehaladottabb állapotban a fiatal magas kőrisek már belenőttek a felső lombkoronaszintbe is (pl. Ma-033). A Csák-pilis-lápa É-Ny-ra néző déli peremén a völgyben megerősödött életerős bükkök egy átmeneti zónában öreg molyhos tölgyeket nyomtak el (amelyek már elpusztultak). Ez szoros kapcsolatban lehet a felnövekvő erdőállomány árnyékoló és mikroklímamódosító hatásával. Végül – inkább csak érdekességként – a Vár-hegy gerince és a turistaház közötti kőgörgeteges meredek Dél-keleti oldalon túlnőtt, leárnyalt majd elpusztult cserszömörce fákat találtam, amelyeknek magassága 6-8 m körül lehetett. Itt a cserszömörce korábbi, elszigetelt előfordulásának „lokális kihalását” láthattam.

A leírt faállomány-szerkezeti típusok és a terepen felismert folyamatok alapján átfogó erdőfejlődési modellt még nem tudok felvázolni. Az azonban jól megfigyelhető, hogy az elegyes tölgyesek, a termőhely, a mezoklíma, az uralkodó szintet érő zavarások, valamint a felújulási folyamatokat meghatározó vadnyomás mértékének függvényében különféle irányokba mozdulnak el. Az esetek egy részében magas kőris, gyertyán, mezei juhar vagy csertölgy kap nagyobb szerepet, más esetben pl. egy elfüvesedett gyepszint vagy húsos somos cserjeszint válhat meghatározóvá.

## 5. Értékelés

### 5.1 A hosszú távú vizsgálsorozat (HTV) módszertani kerete

Magyarország, ill. a Kárpát-medence mai *környezeti viszonyai között* a természetszerű vagy természetes erdő-állományok működését, dinamikáját leginkább meghatározó tényezők<sup>19</sup>: a helyi termőhely-ökológiai és klimatikus feltételek és azok mintázata (Babos 1954; Majer 1962; Bidló és mtsai 2004, Willis et al. 1997); az erdő természetes fejlődési folyamatai (Czajlik 1996; Czajlik et al. 2003a, 2003b); a lékdinamika (Standovár & Kenderes 2003; Czajlik et al. 2003c; Mihók et al. 2007; Kenderes et al. 2008); a nagyvad állományok túlzott terhelése (Mayer 1975; Milner et al. 2006; Katona és mtsai 2007; Molnár et al. 2008; Ammer et al. 2010); az időjárási szélsőségek, a rendkívüli időjárási események erdőtakarót sújtó, nagyléptékű bolygatásai<sup>20</sup> (Somogyi 1998, 2003; Kenderes et al. 2007); egyre több területen és egyre nagyobb mértékben pedig a spontán és agresszívan terjedő özönfajok inváziója (Botta-Dukát 2008; Molnár et al. 2008) vagy rovarfajok gradációja (Csóka & Hirka 2009). Gyakran több kedvezőtlen tényező együttes fellépése vezet nagyfokú fapusztuláshoz (kárláncolat határ-termőhelyen álló, aszály következtében legyengült bükkökön - Lakatos & Molnár 2009). A lista élén található az erdőfejlődési folyamatok és a termőhely-ökológiai mintázatok, ezzel szoros összefüggésben pedig a lékdinamika, amelyek térbeli mintázata „finom”, vagyis hektáros léptéknél részletesebb, sebessége pedig közepesen lassú, vagyis leginkább a néhány évtizedes léptékben írható le. Ehhez a térbeli és időbeli léptékhez igazodik a dolgozat során bevezetett és használt „lokális állomány”, és a funkcionális megközelítésű „elemi erdődinamikai egység” fogalmak. A lokális erdőállomány és az elemi erdődinamikai egység mintavételezését terepen állandósított mintavételi pontokkal (MVP) valósítjuk meg. E mintavételi pontok negyedhektáros sűrűségű hálózata a homogénnek tekintett faállomány foltok (állabok) és termőhely-ökológiai mintázatok felismerésére és változásainak követésére alkalmas rendszert alkot erdőállományaink nagy részében.

Az ERDŐ+h+á+l+ó hektáronként 4 mintát vesz, amely részletesebb a Hochbichler et al. (2000) által minimálisan javasolt, és sok erdőrezervátum-felmérés során alkalmazott hektá-

<sup>19</sup> Minden természetes és közvetetten ható tényező, ami nem tekinthető közvetlen emberi, leginkább erdészeti beavatkozásnak. Számptalan alkalommal alakul ki vita azon, hogy a közvetett hatások milyen jelentősek lehetnek, ezért „tisztán” természetes folyamatokról már aligha beszélhetünk. Ez jórészt igaz, de azért a legtöbb, erdészeti beavatkozás (pl. végvágás, erdőtelepítés, cserjeterisztítás, erdőfeltárás ...) még mindig erőteljesebb következményekkel jár, mint az áttételesek.

<sup>20</sup> Egyre több adat igazolja, hogy a klímaváltozással a szélsőséges időjárási helyzetek gyakorisága térségünkben is növekszik.

ronkénti 1 mintavételnél (Albrecht 1990; Althoff et al. 1993; Kärcher et al. 1997; Meyer 2000; Meyer et al. 2006; Stuurman F. & J. Clement 1993) és a flandriai erdőrezervátumokban alkalmazott hektáronkénti 2 felmérésnél is (Keersmaecker et al. 2005). Ennek ellen-súlyozására viszont a mintavételi pontokon kevésbé intenzív a mintavétel. A legtöbb esetben viszont a szisztematikus mintavételt transekt és/vagy mintateres vizsgálatokkal kombináltan végzik (mint Vár-hegy esetében is). Az erdőrezervátumok egy részében teljes faállomány-szerkezet felmérés, ún. törzstérkép készül. Erre nálunk is van példa (Szalafő Őserdő, bükki Őserdő erdőrezervátumok), azonban ezeket a hazai felfogás szerint „célorientált kutatás”-ként tartjuk számon, amelyeket dolgozatomban nem tárgyalok.

A mintavételi pontokon, a fekvő és álló holtfa komponenseket is vizsgáló faállomány-szerkezet felmérési modul (FAÁSZ), újulati- és cserjeszint felmérési modul (ÚJCS), aljnövényzeti – lágyszárú szint felmérési modul (ANÖV), valamint termőhely, talaj térképezési modul (TALAJ) szerint készül felmérés, amelyekkel ez a rendszer biztosítja kompatibilitását az Európai Erdőrezervátum-kutatási Hálózat (FRRN) közösségében, annak minimális adatgyűjtési ajánlásai szerint (Hochbichler et al. 2000).

## **5.2 A faállomány-szerkezet felmérésének MVP FAÁSZ módszere**

A célkitűzés, a költségek, a haszon (információ) és a célkitűzésnek megfelelő reprezentativitás érzékeny egyensúlya dönti el, hogy egy mintavételi módszer mennyire hatékony, mennyire eredményes és kifizetődő. Ennek különösen nagy jelentősége lehet, ha a program finanszírozása általában véve alacsony és/vagy rapszódikus. Az erdőleltározás során alkalmazott módszerek jó kiindulási alapul szolgálnak, de az eltérő célkitűzés (általában: vágásos üzemmódú gazdálkodás alatt álló erdőrészek, erdőtömbök vagy zónák jellemző átlagértékeinek statisztikusan elég pontos becslése) miatt más módszer kidolgozásához folyamodtunk. Legfontosabb szempontok, amelyeket a mintavétel során (4.2 fejezet, B-1 komponens) figyelembe vettünk:

- a pontokban végrehajtott mintavételeknek a lokális faállományt kell reprezentálniuk , az elemi erdődinamikai egység léptékéhez igazodva (célkitűzés),
- egy-egy átlagos mintavételbe legalább 10-15 fa kerüljön bele, hogy a fő elegyarány- és átmérő-viszonyok minimális reprezentáltságát elérjük (célkitűzés és reprezentativitás),
- egy-egy átlagos mintavételbe lehetőleg 50-nél több fa ne kerüljön bele, hogy az elegendő reprezentativitást a módszer lényegesen ne haladja meg (célkitűzés),

- a minél jobb, minél pontosabb összehasonlíthatóság biztosítása miatt célszerű a módszert a felmérések során (vagy területről területre) változatlanul alkalmazni, tehát valamilyen „univerzális” megoldást kell keresni (haszon),
- az újabb felmérések mindig ugyanazokban a mintavételi pontokban készülnek, ennek következtében a módszer a változásokat (különbségeket) nagyon pontosan fogja tudni detektálni (haszon),
- a lokális faállományok nagyon különbözőek lehetnek és az erdő dinamikája következtében folyamatosan változnak, így a módszernek a lehető legváltozatosabb faállomány-szerkezeti körülmények között is helyt kell tudni állni úgy, hogy közben lehetőség szerint ne veszítsen reprezentativitásából, a mintavétel pedig „alkalmazkodjon” a vizsgálati objektum aktuális állapotához (haszon és reprezentativitás),
- a módszer, a mintavétel ugyanakkor ne legyen túlságosan „drága” (költség),
- az eredmények elemzésekor az egyes mintákat – utólag (*a posteriori*), az értékelés céljának megfelelő szempontok alapján – összevonjuk homogénnek tekinthető tematikus csoportokba, vagy folt-csoportokba amikor is ezek a minták ismétléseknek tekinthetők. Ezzel újabb mintázatok felismerésére és statisztikai szempontból objektív vizsgálatokra nyílik lehetőségünk (haszon).

Az európai erdőrezervátum-kutatásban a „célkitűzés – költség – haszon – reprezentativitás” kihívásra többféle válasz is született. A leggyakrabban 0,1 hektáros (17,8 m sugarú) mintakörök<sup>21</sup> teljes felmérését végzik (Albrecht 1990; Kärcher et al. 1997; Meyer 2000; Meyer et al. 2006; Stuurman & Clement 1993), Hochbichler et al. (2000) is ezt javasolja. Alig tér el ettől a Hessen tartományban alkalmazott módszer. Ott 20 m sugarú (0,126 ha) mintakörökkel dolgoznak, 7 cm-es mellmagassági átmérőtől (Althoff et al. 1993). Az extenzív monitorozásra vonatkozó svájci ajánlás (Brang et al. 2008, Keller 2005) viszont koncentrikus mintakörökkel való felmérést javasol: 0,02 hektáros (7,98 m sugarú) mintakörben a 7-36 cm mellmagassági átmérőjű, a 0,05 hektáros (12,6 m sugarú) mintakörben az ennél vastagabb fákét. Szintén koncentrikus mintakörök felmérése alapján dolgozott Burrascano et al. (2008), akik 4 m (0,005 ha), 13 m (0,053 ha), és 20 m (0,126 ha) sugarú mintakörökben 2,5 cm, 10 cm és 50 cm átmérőhatárokkal végeztek faállomány-szerkezeti felméréseket Olaszország „old-growth” erdőit felmérve. Utóbbiak már sokkal kisebb költséggel járnak és alkalmazkodnak a faállomány-szerkezet aktuális adottságaihoz, bár az olasz kutatók által megválasztott paraméterek alapján a középső mintakörbe nagyon sok fa belekerül. Az MVP FAÁSZ módszer a mintakörös felmérést a szögszámláló próbával ötvözi, amelynek meghatározóan fontos paramétere a mintavételi szög, ennek következtében pedig a „szoró

<sup>21</sup> Gyakran csak kiválasztott mintapontokon, amelyek a teljes magterület faállományát vagy az erdő egyes típusait hivatottak reprezentálni.



tényező”, pontosabban: relaszóp egység (Veperdi 2008) vagy „basal area factor” (Husch et al. 2003). Elsősorban ettől függ, hogy egy adott átmérőjű fát a szögszámláló mintavétel mekkora hatósugáron (határtávolságon) belül veszi figyelembe. Egy 50 cm átmérőjű fa 2-es szorzótényezővel 17,7 m távolságból kerül mintába. A 45 – 55 cm közötti vastagságú, megmért magasságú, uralkodó fák a Vár-hegy adatsorából átlagosan 20 m magasságot mutatnak a 12,5 – 32,5 m közötti tartományban, attól függően hogy száraz termőhelyen álló molyhos tölgyesben vagy jobb termőhelyen növekedő bükkösben vagyunk. A 2-es szorzóval végzett próba van leginkább összhangban azzal az elvárással, hogy a mintavétel az 1 – 1,5 famagasságú körből válasszon uralkodó fákat. A fák, ill. a faállomány méreteihez igazodó szögszámláló próbás mintavétel plaszticitása jól érvényesül hazai viszonyaink között.

Ha az előbbieken tárgyalt módszereknek a várható költség oldalát szeretnénk megbecsülni, akkor a mintákba kerülő fák számait érdemes egymáshoz hasonlítani, hiszen a ráfordítás ezzel arányos (12. táblázat). A Brang et al. (2008) által javasolt koncentrikus mintakörös és az MVP FAÁSZ megoldás 1/3 – 1/4 annyi fa felmérését igényli, mint a többi mintavétel. A Brang et al. (2008) 7,98 és 12,6 méteres mintakör sugarához (ha azokat a 2-es szorzótényezőjű szögszámláló próba határtávolságaként értelmezzük) 22,6 cm és 36,6 cm átmérők tartoznának, míg a 7 cm-es átmérőhöz 2,47 méter sugarú mintakör. Mindezekből kitűnik, hogy a 7 – 22,6 cm-es átmérőtartományt a szögszámláló próbánál valamivel nagyobb, míg az annál vastagabb törzseket annál kisebb intenzitással mintázza meg, de a FAÁSZ módszernél minden átmérőtartományt valamivel alacsonyabbal, amelyet a 12. táblázat összehasonlító adatai is megerősítenek. A Burrascano et al. (2008) által alkalmazott módszer viszont jól mutatja azt is, milyen erősen függ a mintavétel a vizsgált állomány szerkezeti tulajdonságaitól is, hiszen ez a módszer a Hidegvíz-völgy paramétereivel jellemezhető virtuális faállományban majdnem kétszeres mintaszámot ad (35 fa a 18-hoz képest), az összes többi helyzettől jelentősen eltérően. Meg kell még jegyezni, hogy a szögszámláló próba bizonyos helyzetekben megfeleltethető a koncentrikus körös mintavétel általánosított esetének, amennyiben minden fa-átmérőhöz hozzárendelhető annak határtávolsága, mint egy újabb almintavételi kör a koncentrikusok sorozatában.

## 12. táblázat

Egy-egy mintavételbe eső fa becsült száma a Hidegvíz-völgy faállomány-szerkezeti paramétere (Vitális és Zakariás 2006) és a Vár-hegy faállomány-szerkezeti paramétere alapján készített random mintázatú szimulált faállományok esetében, 25 minta átlagában (a fákat minden esetben 5 cm-es mellmagassági átmérőtől vettem figyelembe). A becsült átlagos mintaszám a várható „költségek” jó mutatója.

MÓDSZER	Althoff et al. 1993 Normal-Probekreis	Albrecht 1990 Stichproben-kreis	Brang et al. 2008 Stich-proben	Burrascano et al. 2008 circular areas	FAÁSZ 4.2.1 fejezet
a módszer paramétere	0,126 ha-os 20 m sugarú mintakör	0,1 ha-os 17,8 m sugarú mintakör	2 koncentrikus mintakör: 0,02ha / 7,98m 0,05ha / 12,6m	3 koncentrikus mintakör: 0,005ha / 4m 0,05ha / 13m 0,126ha / 20m	0,025ha / 8,9m mintakör, és a 2-es szög számláló próba
Hidegvíz-völgy (random, szimulált)	85 fa	69 fa	17-18 fa	35 fa	26 fa
Vár-hegy (random, szimulált)	71 fa	56-57 fa	16 fa	18 fa	20 fa

Meghatározó „célkitűzés – költség – haszon” kérdés az is, hogy a faállománynak milyen általános tulajdonságait jellemezzük (4.2 fejezet, A komponens) és a mintavételbe kerülő fáknak milyen tulajdonságait mérjük fel (4.2 fejezet, B-2 komponens), továbbá a fekvő holtfa frakciót hogyan vizsgáljuk (4.2 fejezet, C komponens). Ezek áttekintésére és összehasonlítására állítottam össze a 13. táblázatot. A változók jelentős része minden hivatkozott módszernél monitorozás tárgya (vastagon szedett sorok), ezekben az esetekben tehát a szerzők közötti erős konszenzusról beszélhetünk. Ám a részletekből kiderül, hogy a tulajdonságok leírásában, kategorizálásában kisebb-nagyobb eltéréseket tapasztalhatunk (pl. az állomány színteztettségének, vertikális szerkezetének jellemzése, a korhadtsági fokozatok alkalmazása, a mellmagassági küszöbátmérők eltérései stb). Mindezek közül, a ráfordítások (költségek) mértékére leginkább a mintába kerülő fák számának, a famagasság mérésnek, a fák pozicionálásának (első felméréskor) és a fákra vonatkozó felméréndő tulajdonságok összetettségének van nagy hatása.

A Közép-európai mezőnyhöz viszonyítva, az MVP FAÁSZ módszer a legfontosabbnak (leginformatívabbnak) tartott jellemzőket vizsgálja, takarékosnak tekinthető mintavétellel és mértéktartó részletességgel, amelyek között van néhány egyedi sajátosság is (mint pl. az „eredet” és a „rendkívüli faalak”).

**13. táblázat**

A faállomány-szerkezet mintavételes jellemzésére alkalmazott, terepen **felmérendő tulajdonságok áttekintése** Közép-európai erdőrezervátum-kutatási módszerek körében. Vastag kiemeléssel jelzem azokat a tulajdonságokat, amelyeket a módszerek nagy többsége vizsgál.

<b>MÓDSZER</b>	<b>Althoff et al. 1993 Normal- Probekreis</b>	<b>Albrecht 1990 Stichproben- kreis</b>	<b>Brang et al. 2008 Stichproben</b>	<b>Burrascano et al. 2008 circular areas</b>	<b>MVP FAÁSZ 4.2.1 fejezet</b>
<b>AZ ERDŐÁLLOMÁNY ÁLTALÁNOS JELLEMZÉSE</b>					
záródás (%)	–	–	–	–	+
felső és alsó lkszint borítása (%)	–	+ és magassága	–	–	+
cserje- és újulati szint borítása (%)	–	+ és magassága	–	–	+
gyepszint borítása (%)	–	+	–	+	+
mohaszint borítása (%)	–	+	–	–	–
<b>lékesség v. szintezettség</b>	<b>záródási kategóriák</b>	<b>záródási kategóriák</b>	<b>+ kategóriák</b>	–	<b>+</b>
<b>újulati szint vizsgálata</b>	<b>+ almintavétel</b>	<b>+ almintavétel</b>	<b>+ almintavétel</b>	–	<b>+ ÚJCS modul</b>
faállomány- erdőtípus	+ főfafaj(ok)	+ faáll.-típus	–	–	+ másik modul
elegyességi mód	–	+ kategóriák	–	–	–
állomány- kor(osztály)	+	+	–	–	–
állomány- kár, sérülés	–	+ kategóriák	–	–	–
állomány(fa) minőség	–	+ kategóriák	–	–	–
állomány- magasság	–	+ becslés	–	–	1-3 uralkodó fa mérése alapján

*a következő oldalon folytatódik*

a 13. táblázat folytatása

MÓDSZER	Althoff et al. 1993 Normal- Probekreis	Albrecht 1990 Stichproben- kreis	Brang et al. 2008 Stichproben	Burrascano et al. 2008 circular areas	MVP FAÁSZ 4.2.1 fejezet
<b>A MINTÁBA KERÜLŐ ÉLŐ FÁK ÉS ÁLLÓ HOLT FÁK, FACSONKOK</b>					
fafaj	+	+	+	+	+
mellmagas- sági átmérő	+	+	+	+	+
	(≥ 7 cm)	(≥ 4 cm)	(≥ 7 cm)	(≥ 2,5 cm)	(≥ 5 cm)
pozíció	+	- (rajz)	+	-	+
szintezettség, szoc. helyzet	+	+	+	-	+
		(IUFRO oszt.)	(IUFRO oszt.)		(Kraft oszt.)
koronahossz	+	-	+	-	-
egészségi állapot	+	+	+	+	+
korhadtság (álló holtfa)	+	+	+	+	+
eredet	-	-	-	-	+
rendkívüli faalak	-	-	-	-	+
famagasság mérés	+	+	+	+	csak 1-3 uralkodó fa
			(kb. 1/3-a)	minden 10-ik	
<b>FEKVŐ HOLTFA FELMÉRÉS</b>					
módszer	teljes felmérés (koordináták)	teljes felmérés (rajz)	vonál- transzekt mintavétel (3x15m)	teljes felmérés (12m kör)	vonál- transzekt mintavétel (3x9m)
fafaj	+	+	+	+	+
átmérő	+	+	+	+	+
	(≥ 20 cm)	(≥ 10 cm)	(≥ 7 cm)	(≥ 10 cm)	(≥ 5 cm)
korhadtság	+	+	+	+	+
kéreg-vesztés	+	-	-	-	-
„napsütöttség”	+	-	-	-	-
„borítottság” moha, zuz ...	+	-	+	-	-

### **5.3 A becsült törzsszám (N) és körlapösszeg (G) számításának értékelése**

E két, alapvető paraméter számításának egyszerű módját tankönyvek, ill. kézikönyvek tárgyalják (Husch et al. 2003, Veperdi 2008). A szögszámláló próbára lásd például Bitterlich (1947, 1984) és Grosenbaugh (1958) munkáit. A kettős (kombinált) mintavételre (mintakör és szögszámláló próba) vonatkozóan viszont meg kellett találni a helyes megoldást.

Gyakori az erdőbecslésben, hogy egymásba ágyazott koncentrikus körökkel végzik a mintavételt, mint az előző fejezetben már említett Brang et al. (2008), ahol a mintakörök sugara (r) és a felmért fák átmérője (d) így alakul:  $r_1 = 7,98\text{m} / d_1 = 7 - 36\text{cm}$ ; ill.  $r_2 = 12,6\text{m} / d_2 > 36\text{cm}$ , és Burrascano et al. (2008) esetében, ahol  $r_1 = 4\text{m} / d_1 = 2,5 - 10\text{cm}$ ;  $r_2 = 13\text{m} / d_2 = 10 - 50\text{cm}$ ;  $r_3 = 20\text{m} / d_3 > 50\text{cm}$ . A nemzeti erdőleltárak esetében is gyakran alkalmazzák ezt a megközelítést, mint Svédországban Brassel & Lischke (2001):  $r_1 = 7,98\text{m} / d_1 = 12 - 36\text{cm}$ ; ill.  $r_2 = 12,6\text{m} / d_2 > 36\text{cm}$ , vagy Flandriában Van Loy et al. (2003):  $r_3 = 9\text{m} / d_3 = 7 - 40\text{cm}$ ; ill.  $r_4 = 18\text{m} / d_4 > 40\text{cm}$  (az  $r_1$  és  $r_2$  mintakörökben az újulati szintet vizsgálják), mint Spanyolországban Asensio et al. (2010):  $r_1 = 5\text{m} / d_1 = 7,5 - 12,5\text{cm}$ ;  $r_2 = 10\text{m} / d_2 = 12,5 - 22,5\text{cm}$ ;  $r_3 = 15\text{m} / d_3 = 22,5 - 42,5\text{cm}$ ,  $r_4 = 20\text{m} / d_4 > 42,5\text{cm}$  és másutt (Tomppo et al. 2010). A megoldás minden esetben az, hogy az egymást kiegészítő átmérőtartományokra vonatkozó részeredményeket külön értékelik, majd azokat összegezve kapják a végeredményt. Ezt az additivitást az MX2523 is teljesíti, amelyhez a mintakör sugarát (8,92m) és a 2-es szögszámláló próba ugyanezen határtávolságához tartozó mellmagassági átmérőt (25,23cm) kellett egymáshoz rendelni, hogy a felmért fák populációját két, egymást kiegészítő részhalmazban külön-külön lehessen értékelni, az ennél vékonyabb és az ugyanekkora vagy vastagabb fák csoportjára, a mintakörös és a szögszámlálós próba számítási módjának megfelelően. Más paraméterekkel ugyan, de lényegében hasonló megoldást alkalmaznak Ausztriában a harmadik országos erdőleltározás óta (Schadauer et al. 2007, Gschwantner et al. 2010). Az itt alkalmazott almintakörök sugara 2,6 m, amelyben az 5 – 10,4 cm átmérőjű fákat mérik fel, míg az ennél vastagabbakat 4-es szögszámláló próba szerint választják ki az állományból. Az almintakör sugara azonos a 10,4 cm átmérőhöz tartozó 4-es próba határtávolságával. Lényegében tehát a fákat itt is vékonyabb és vastagabb csoportra bontva mérik fel mintakörös, ill. szögszámláló módszerrel.

## **5.4 Javaslat a faállomány-szerkezet sokváltozós statisztikai, adatfeltáró módszerekkel való értékelésére**

### **A vizsgálandó kérdés behatárolása**

Az erdőrezervátum-kutatás központi kérdései az erdődinamikára, a természetes folyamatokra, az erdőszerkezetre és mintázatára, a gazdag és különleges élőviláguk sokféleségének megismerésére, az egyszerű és bonyolult összefüggések feltárására és értelmezésére irányulnak.

„A természetes struktúra, a dinamikus folyamatok nyomon követése az erdőrezervátumot fontos referenciaterületté teszi, ahol a 'biológiai automáció' (Zukrigl) tanulmányozható. Az eredmények az erdőgazdálkodás számára közvetlenül hasznosíthatók, de ugyanígy a biológiai tudományok számára is nagy jelentőségűek; pl. a növénytársulástan számára az erdőrezervátumok fontos típusúterületté válhatnak.” írja Mátyás Csaba 1993-ban. Czajlik (1994) megfogalmazásában „Leibundgut munkásságának<sup>22</sup> üzenete röviden így szól a ma emberének: Elkerülhetetlen, hogy az erdőt végre önálló, saját törvényekkel szabályozott, egységes organizmusként kezeljük, mellyel szemben az emberiségnek csupán egyetlen kötelessége van, a megőrizve megismerés.” Somogyi többször is megfogalmazta az itt folytatandó kutatások általános célkitűzéseit (Somogyi 1993, 1994a, 2002), a fenntartható erdőgazdálkodás fejlesztésének szempontjait jobban hangsúlyozva: „A tanulmányozás lehet öncélú vagy inkább: alapkutatási célú, tehát, hogy a körülöttünk lévő rendkívül izgalmas világról minél több érdekes dolgot megtudjunk. Helyesebb azonban, ha arra gondolunk, hogy az erdőrezervátumokban folyó erdőkutatások végső soron ahhoz járulhatnak hozzá, hogy a – túlnyomó többségben levő és valamilyen használat alatt álló – többi erdő kezelését az eddigieknél természetesebb módon, bennük kevesebb kárt okozva, racionálisabban és a társadalmi igényeket jobban kielégítve végezhessük.” (Somogyi 2003b). Az európai erdőrezervátum-kutatásokat összefogó COST E4 akció 2-es munkacsoportja behatóan foglalkozott a kutatási célkitűzések áttekintésével és arra a megállapításra jutott, hogy ezek harmonizálása nagyon nehéz volna, mert a kutatásokat motiváló célok és alkalmazások nagyon sokfélék. Azonban a legfőbb ajánlás kiemeli, hogy a faállomány-szerkezetet, a holt fát, a cserjeszintet, a felújulási szintet, valamint a gyepszintet megismételhető mérési módszerekkel kell vizsgálni, hogy a regeneráció és az állomány-szerkezet időbeli változásai megfigyelhetők, elemezhetők és összehasonlíthatók legyenek (Hochbichler et al. 2000).

<sup>22</sup> a Közép-európai őserdők vizsgálata

A Horváth és Czájlik (2002) által összeállított, a hosszú távú vizsgálatok keretében tervezett kutatások egyik fő kérdése: „*Milyenek a faállomány-szerkezet mintázatai és dinamikája, ...?*” Ennek megválaszolásához meg kell először állapítani a faállomány-szerkezet típusait vagyis a finomabb faállomány-szerkezeti egységeket, valamint azok térbeli mintázatát. Majd az újrafelmérések adatsorai alapján a változások is meg fognak mutatkozni. Az állomány-szerkezeti egységek megállapítása és értékelése újra- és újra visszatérő lehetőség, amely a folyamatok felismerésében, értelmezésében és dokumentálásában segít.

### **A választott adatok köre**

A javasolt elemzés során a faállomány-szerkezet legfontosabbnak ítélt szempontjait helyeztem előtérbe (3.4 fejezet, 4. és 5. táblázat):

- az állományok vertikális szerkezetét, struktúráltságát jellemző változókat (szintek borítása, lékesség, állománymagasság – 7 változó)
- a sűrűségi és fatömeg-viszonyokat jól jellemző tőszám és körlapösszeg értékeit (2 változó)
- a főbb fa- és cserjefajok elegyarány viszonyait leíró változókat (az összevontan kezelt „egyéb fák”-at, a mogyoró és cserszömörce elegyarányát végül elhagyva – 8 változó)
- az élő fák és cserjék átmérő-viszonyait tükröző relatív gyakorisági eloszlásokat (a végső változóból a középső átmérőosztályokat elhagyva – 3 változó)
- az élő fák és cserjék szociális helyzet viszonyait leíró relatív gyakorisági eloszlásokat (végül ezeket teljesen elhagyva), valamint 2 speciális változót,
- a biztosan tősarj eredetű fák és a faóriások részarányát (végül ezeket is teljesen elhagyva).

Az ordinációs és klasszifikációs módszereket ezen a sokváltozós információs alapon, integráltan alkalmaztam, amint e módszerek egymást kiegészítő használatát Podani (1997) is hangsúlyozza (3.4 fejezet).

### **Adatfeltárás, információsűrités, magyarázó változók, releváns komponensek**

Főkomponens analízist alkalmaztam az alapadatokban rejlő információ sűritésére. Ez az előfeldolgozásnak is tekinthető lépéssorozat segít összeválogatni a leginkább jelentőséggel bíró változók együttesét, és megbízhatóbb, erőteljesebb osztályozáshoz vezet a következő lépések során (Plastria et al. 2008). A módszer alkalmazásának egyik legfontosabb kérdése, hogy hány (fő)komponens reprezentálja megfelelően az alapadatokban rejlő releváns információt (Podani 1997). Túl kevés komponens figyelembe vétele információ-vesztéssel jár, míg túl sok komponens megtartása a zaj növekedéséhez vezet. Ennek eldöntésére a

Peres-Neto et al. (2005) által ajánlott egyik eljárást alkalmaztam. A legeredményesebbnek az ún. „v14s” változat bizonyult, amely 20 faállomány-szerkezeti változó alapján 6 szignifikáns komponensben, 68% összvarianciát képviselő főkomponensekhez vezetett.

### **A „legjobb” osztályozás elérése**

Hétféle osztályozási algoritmust használtam, amelyek egy része hibás eredményre vezetett, ezeket a további elemzésből kizártam. Az alkalmasnak bizonyult klasszifikációs eljárások esetében a következő lényeges kérdés, hogy a kapott dendrogramokat milyen magasságnál (hasonlóságnál) érdemes értelmezni, annak érdekében, hogy minél egységesebb csoportokat kapjunk eredményül. Ezt a Rousseuw (1987) által kidolgozott módszerrel végeztem, majd konszenzus-osztályozással jutottam el a végső faállomány-szerkezeti csoportokhoz.

Ezzel az eljárás-sorozattal az adatainkban tapasztalható bonyolult, sokdimenziós képet jobban értelmezhető állomány-szerkezeti típusokba rendeztem, amelyek típusokat és átmeneti állapotokat egyaránt reprezentálhatnak a folyamatok értelmezésétől függően.

### **A sokváltozós módszerek alkalmazása**

A szakirodalmat áttekintve többféle irányzat megoldásaival lehet párhuzamot vonni. A Közép-európai őserdők kutatása alapján Leibundgut (1959, 1982), valamint Korpel' (1989, 1995) és (Zukrigl et al. 1963), a Kékes-Észak erdőrezervátum vizsgálatai alapján pedig Czajlik (1996, 2002) leírták a bükk által dominált erdők természetes dinamikáját, erdőfejlődési ciklusait. A ciklusok jellemző erdőfejlődési szakaszai térben is lehatárolható, térképezhető állományfoltok dinamikus mozaikjaként értelmezhetők (pl. Bončina 1999, Bončina 2000, Czajlik 2002, Czajlik és mtsai 2003). Az erdőfejlődési szakaszok megállapítása és térképezése ezekben az esetekben a bükkös őserdők tanulmányozása és a folyamatok szakértői felismerése alapján valósult meg – éppen ezért ezeket az eredményeket Commarmot et al. (2005) szubjektívnek és nehezen reprodukálhatónak, míg Bončina (1999) megközelítő leírásnak és a folyamatok megértését segítő eszköznek tekinti. Franklin et al. (2002) ezeket mesterséges konstrukcióknak tartja, ugyanakkor egy-egy uralkodóvá váló erdőökológiai folyamat felismerését heurisztikus élménynek tekinti és a szakértői megközelítést maga is alkalmazza. Az állomány-szerkezeti alapinformációk köre természetesen hasonló: vertikális szerkezet, színtezettség, magasságok, lékesség, borítás-zártság, koronaméretek; a fő fafajok elegyarány viszonyai; a törzsátmérők eloszlási viszonyai; az élő fakészlet és a holtfa viszonyok; a felújulási szint állapota (pl. sűrűsége,



fejlettsége, összetétele), a térbeli viszonyok. Az erdőfejlődési szakaszokat rendszerint transzekt vagy mintateres vizsgálatok adataival támasztják alá (pl. a fafajok átmérő-csoportonkénti tőszáma, körlapösszege és fatömege) és gyakran a transzektok rajzaival demonstrálják. Ezeknél a vizsgálatoknál sokváltozós módszereket nem alkalmaztak, a mintavételezést pedig alapvetően preferenciálisnak tekinthetjük, hiszen a transzektet, mintaterületet többnyire kiválasztott erdőfejlődési szakaszokban vették fel.

Érdeemes megemlíteni az amerikai erdő-vegetációs kutatásokat a 70-es, 80-as évekből, amelyekre jellemző, hogy elsősorban erdőtípusokat kívántak meghatározni és azok termőhelyi összefüggéseinek feltárását tűzték ki célul. E mellett, gyakran az akkor még újdonságnak tekinthető sokváltozós módszerek használhatóságát tesztelték (pl. Grigal & Goldstein 1971, Robertson 1978, Crow & Grigal 1980, Golden 1981). Ugyanakkor a fafajok megmért mellmagassági átmérővel, körlapösszegével, tőszámával – gyakran pedig az ezekből képzett ún. „species importance value”-vel dolgoztak, szemben az európai vegetációs iskolák abundancia – dominancia skálák szerinti becslésével. Újabb tengerentúli kutatások (Rentch et al. 2005, Franklin & Kupfer 2004) már finomabb faállomány-szerkezeti kérdéseket boncolgatnak a többváltozós módszerek eszközeit is alkalmazva

A Közép-európai erdőrezervátum kutatások és kutatók újabb generációinak megismételt felmérései idősoros adatokat eredményeznek (Heiri et al. 2009, Janík et al. 2008, Vacik et al. 2009, Vrska et al. 2009), amelyek értékelésekor esetenként többváltozós módszereket is alkalmaznak, így Heiri et al. (2009) főkomponens elemzés alapján mutat be idősoros trajektóriákat 31 mintaterületre, ill. a hat vizsgált erdőrezervátumra. Az eredmények inkább az elegyarányok különbségeiből fakadó erdőtípusokat különíti el és nem erdőfejlődési szakaszokat reprezentáló faállomány-szerkezeteket. Általában azonban nem alkalmaztak többváltozós módszereket, mert a tapasztalatok egyszerűbben, ill. közvetlenebbül (is) értelmezhetők, mint pl. a bükk dominanciájának kis mértékű növekedése, az átmérő-osztályok számának növekedése, az árnyékolást kevésbé tűrő fajok visszaszorulása, a vastag álló holtfák számának lassú növekedése (Heiri et al. 2009 – feltétlenül hozzá kell tenni azonban, hogy a szerzők „zárt erdőállomány” vagy „optimális erdőfejlődési szakasz”-ban lévőknek ítélték meg ezeket a régen felhagyott állományokat, amelyekben foltos differenciálódás még nem alakult ki).

A Vár-hegy erdőrezervátum esetében azonban két szempont feltétlenül indokolja a többváltozós módszerek alkalmazását, mégpedig az, hogy

- kevésbé ismerjük a térségünkre oly jellemző elegyes tölgyesek természetes dinamikáját, mert nem maradtak fenn őserdő referenciák (legfeljebb csak állomány-

töredékek), ennek fényében az alapvető faállomány-szerkezeti típusok megtalálása, felismerése is még előttünk álló feladat,

- a jobban ismert bükkösökhöz képest, a tölgyesek fafajösszetétele és állomány-szerkezete sokkal változatosabb, mondhatni „sokváltozósabb”, ezért joggal tételezhetünk fel többféle állapotot, bonyolultabb átmeneteket.

Mindez nem csak a felsőtárkányi Vár-hegyre, hanem Magyarországra, sőt a Kárpát-medence téréségének természetes lomboserdő állományaira kiterjesztve is igaz. A már számos erdőrezervátumban létesített (és létesítendő) ERDŐ+h+á+l+ó mintavételi pontjaiban nyert alapadatok egyik legfontosabb elemzési megközelítésének a dolgozatomban is bemutatott sokváltozós statisztikai módszerek integrált alkalmazása ajánlható.

## 6. Összefoglalás

Az Erdőrezervátum Program Magyarországon a 90-es évek elején indult, amelynek első korszaka az alapvető fogalmak meghatározásával, az erdőrezervátum-hálózat kijelölésével és a védettség feltételeinek megteremtésével telt. A fontosabb hazai kutató-műhelyek terveket és módszertani javaslatokat is készítettek, amelyek harmonizálására és kipróbálására nem került sor. Ezidőtájt a COST Action E4 együttműködés (Forest Reserves Research Network) keretében folyt európai szintű áttekintés, fogalom-meghatározás és kutatás-módszertani harmonizálás az erdőrezervátum-kutatás területén. A hazai előzmények, valamint a hazai és COST E4 tapasztalatok összegzése alapján készítettük el egy széleskörű szerzőgárda együttműködésével „A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei” című könyvet (szerk. Horváth és Borhidi 2002). Ez a munka megszabta a fő célkitűzéseket, a kutatások stratégiáját és módszertani irányát, továbbá összeállította az erdőrezervátumok kutatásszempontrú besorolását és rövid jellemzését az 1998/99-es II. országos felmérés eredményei alapján (Horváth és Bölöni 2002). Bár határozott lépéseket tettünk a kutatási területek és módszerek meghatározása és illesztése felé, de még nem jutottunk el az operatív részletek kidolgozásáig és összehangolásáig.

A hosszú távú általános mintavételi tervet, a faállomány-szerkezet, az újulati és cserjeszint, továbbá az aljnövényzet felmérésének egységes módszerét, valamint e módszertani modulok illesztését, és e módszerek kiterjedt terepi tesztelését és a tapasztalatok széles körű megvitatását 2003 és 2009 között végeztük. Dolgozatom jelentős részben ehhez a közös munkához kapcsolódik, célkitűzései:

- a hosszú távú vizsgálatsorozat módszertani kereteinek bemutatása,
- a faállomány-szerkezet kettős (kombinált) felmérési módszerének indoklása és részletes dokumentálása,
- a hektáronkénti törzsszám és körlapösszeg számításának megoldása,
- javaslat a faállomány-szerkezet értékelésének módszertanára.

A módszereket a felsőtárkányi Vár-hegy, a Hidegvíz-völgy, a Kékes és a Szalafő Őserdő erdőrezervátumokban létesített ERDŐ+h+á+l+ó mintavételi pontjaiban teszteltük. A tesztelés során felmért állományok sokfélesége jól reprezentálta a hazai erdőrezervátumokban előforduló szerkezeti típusokat, amely megerősítette e megközelítés és módszer általános érvényét. A dolgozat leginkább a 94 hektáros Vár-hegy erdőrezervátum felméréséhez és értékeléséhez kapcsolódik. A magterület a Déli-Bükk Felsőtárkány – Eger közötti hegyvonulatán található, a csúcstól és gerincet, valamint a K-DK-i és Ny-ÉNy-i oldalak és a

Csák-pilis-lápa felső részét foglalva el. A hegy fő tömegét triász korú szürke, tűzköves mészkő adja, helyenként dolomittal, fehér mészkő és vörös kovapala rétegekkel. A gyertyános-tölgyes makroklímát a délies kitettséű oldalakban szárazabb cseres-tölgyes, az északi kitettségekben pedig bükkös mezoklíma váltja fel, főként lejtőhordalék és agyagbemosódásos barna erdőtalajjal, továbbá – szélsőséges termőhelyeken – barna, vörös fekete rendzinákkal és sziklás, köves váztaalajjal. Az 1870-80 körül felújított, nagyrészt sarjeredetű, 30-50 éve felhagyott lomberdő ma 130-140, 60-70 és 20-30 éves, valamint a gerincközeli részeken egy nagyon öreg korosztállyal jellemezhető. Az erdőt kocsánytalan tölgyek, cserekek, molyhos tölgyek és magas kőrisek dominálják, sok elegyfajjal – száraz cseres-kocsánytalan tölgyes, üde gyertyános-kocsánytalan tölgyes, helyenként pedig szubmontán bükkös, mész- és melegkedvelő tölgyes, molyhos-tölgyes bokorerdő, valamint egyes sziklaerdő és tetőerdő típusokat alkotva. A 80-as években lezajlott tölgypusztulás és a helyenkénti gyérítések következtében kiligetesedett erdők szerkezete változatos. Magas kőris, gyertyán és mezei juhar betöltődése látható, a vadlétszámot évtizedek óta túlzottan magasnak tartják.

A hosszú távú vizsgálatsorozat (HTV) stratégiájának fő eleme az „ERDŐ+h+a+l+ó”-nak elnevezett *faállomány-dinamikai és erdőökológiai megfigyelő-hálózat*, amelyet terepen állandósított mintavételi pontok (MVP), 4 MVP/ha sűrűségű, többnyire szabályos kitűzésű rendszere alkot. A MVP-okban faállomány-szerkezeti (MVP FAÁSZ), újulati- és cserjeszint felmérést (MVP ÚJCS), aljnövényzeti felmérést (MVP ANÖV), valamint talajtérképezést (MVP TALAJ) és dokumentum fotózást végzünk, évtizedes visszatéréssel tervezve. A terepi infrastruktúra hatékony kihasználását tudományos és dokumentációs-információs szolgáltatások egészítik ki.

Miután az erdőrezervátum-kutatás legfontosabb kérdései az erdőállományok szerkezetére, mintázatára és az ott zajló folyamatok megismerésére irányulnak, a vizsgálatok központi elemének a mintavételi pontokban végrehajtott, egységes faállomány-szerkezeti felmérés módszerét (MVP FAÁSZ) tekintjük. A viták és tesztelések során kiforrott módszer maga is moduláris, ami az erdőállomány általános jellemzéséből, a lokális faállományból mintaként kiválasztott, 5 cm-es vastagságot elérő vagy meghaladó (élő és holt) álló fák vagy cserjék felméréséből, és a fekvő holtfa frakció mintavételes vizsgálatából áll. Az erdőszerkezet logikai modelljének megfelelően feljegyezzük a záródást, a szintenkénti borításokat és becsüljük a lékesség mértékét az uralkodó fák magasságának 1 – 1,5-szeres sugarú körzetében, valamint mérjük az állomány uralkodó magasságát. A lokális faállományból egy 8,92 m sugarú mintakörös és egy „2-es” szög számláló próbás kombinált mintavételt alkalmazunk, amely az aktuális állomány-szerkezethez alkalmazkodóan *univerzális, repre-*

*zentatív*, egyúttal pedig *alacsony költségű és gazdag információtartalmat eredményező* módszer. A MVP FAÁSZ (és a többi, mintavételi pontokhoz kapcsolódó) módszer a természetes lékdinamika által meghatározott, ún. „elemi erdődinamikai egység” léptékéhez leginkább igazodó adatgyűjtést valósít meg. A mintába kerülő fákra a következő tulajdonságokat kell megállapítani vagy felmérni: a fajt; a mellmagassági átmérőt; a pozíciót (első felméréskor); a szociális helyzetet; az egészségi állapotot; a korhadtság mértékét (holtfa esetében); a sarjeredetet (ha az biztosan megállapítható), valamint a normálistól eltérő rendkívüli faalakot. A szisztematikus mintavételes megközelítésű német, svájci és olasz módszerekkel összevetve, eredményeiben jól összevethető és költséghatékony rendszert alkottunk.

Munkám során megtaláltam és leírtam a kettős (kombinált) mintavételes módszerrel vett nyers adatok kiértékelésének helyes számítási módját (MX2523). Ennek lényege, hogy a felméréndő fák mintapopulációját két csoportra osztva, külön-külön kell értékelni, majd a részeredményeket összegezni. A mintakör 8,92 m-es sugárához tartozóan a 25,23 cm mellmagassági átmérőnél vékonyabb fák csoportját a mintakörös (próbateres) felmérés szerint, a 25,23 cm-es vagy ennél vastagabb fák csoportját a szögszámláló próba szerint vett felmérés értékelési szabályait követve. Az almintákra külön kell kiszámítani a hektáronkénti törzsszámot ( $N_{mk}$ ,  $N_{sz}$ ) és körlapösszeget ( $G_{mk}$ ,  $G_{sz}$ ), amelyek összeadásával kapjuk a mintapont lokális állományára vonatkozó helyes becslést.

Az elvi megoldás gyakorlati próbájaként, egy *valós adatsoron* összehasonlító elemzéseket végeztem, egy *random mintázatú szimulált adatsoron* pedig érzékenységvizsgálatot csináltam az összehasonlított módszerek megbízhatóságának kiismerésére. A valós adatsort a Vár-hegy 3 hektáros, ún. „1-es mintaterület”-ének törzstérképe szolgáltatta. Ennek adatbázisán különböző mintavételi és számítási módszerek változatait szimuláltam 12 ismétlésben. Majd az N és G számítására vonatkozó leíró statisztikákat hasonlítottam össze, páronkénti két mintás t-próbát is alkalmazva. A lokális állományok tulajdonságainak becslésére az 1000 m<sup>2</sup> területű mintakörös felmérést tekintettem mérvadónak (M2c). Ehhez viszonyítva a 250 m<sup>2</sup> területű mintakörös mintavétel (M2a), a szögszámláló próba (M1), a kettős mintavétel átlagolása (MX-ÁTL), ill. a kettős mintavétel helyes értékelési módjának (MX2523) eredményei szignifikánsan ugyan nem különböztek egymástól (kivéve a hektáronkénti törzsszámra vonatkozó M2c és M1 összehasonlítást), de összhangban álltak az MX2523 számítási módszerrel szemben támasztott elvárásaimmal. A statisztikai valószínűség szempontjából nézve, az eredménytelenséget a viszonylag kis mintaterület faállományának egyedi jellegzetességei és a kis ismétlésszám okozhatta. Ezért összeállítottam egy nagyobb ismétlésszámot lehetővé tevő másik adatsort, amelyet a Hidegvíz-völgy

erdőrezervátum faállományának fő jellemzőivel (elegyarány, törzsszám, körlapösszeg, átmérőeloszlás), random elrendezésben szimuláltam, és amelyen két érzékenységvizsgálatot terveztem meg. A „PLUSZ-18N” kísérletsorozatban a hektáronkénti tőszámot növeltem meg, random mintázatban „beültetett” különböző átmérőjű fákkal, mintegy 3% mértékben. A „PLUSZ-2G” kísérletsorozatban a hektáronkénti körlapösszeget növeltem meg, random mintázatban „beültetett” különböző átmérőjű és számú fákkal, mintegy 5% mértékben. A egyes virtuális kísérleteket rendre 5, 15, 25, 35, 45 és 65 cm vastag fákkal hajtottam végre, hogy az átmérők hatását vizsgálhassam. A szimulált adatbázison végzett érzékenységvizsgálati kísérletek egyértelműen kimutatták az MX2523 értékelés nagyobb fokú, sokkal kiegyenlítettebb megbízhatóságát, különösen a szélső, 20 cm alatti és 40 cm feletti átmérőtartományokban.

A Közép-európai mezőnyhöz viszonyítva, az MVP FAÁSZ módszer a legfontosabbnak tartott jellemzőket vizsgálja, takarékosnak tekinthető mintavétellel és mértéktartó részletességgel, amelyek között van néhány egyedi sajátosság is.

Az ERDŐ+h+á+l+ó szerinti MVP FAÁSZ felmérési alapadatok értékelésére vonatkozóan kidolgoztam egy komplex sokváltozós statisztikai elemző munkafolyamatot, amelynek eredményeként objektív választ kaphatunk arra a kérdésre, hogy milyen faállomány-szerkezeti típusok jellemeznék egy-egy erdőt és milyen ezeknek a típusoknak a térbeli mintázata. A MVP-ok adataiból készített alapadatok mátrixán (I.) standardizált főkomponens elemzéseket végzek, amelyek közül a legnagyobb magyarázó erővel bíró változaton „random lambda” eljárással kiválasztom a szignifikáns (vagyis leginformatívabb) főkomponenseket (A). Ennek eredményeként kapjuk a szignifikáns főkomponensek adatmátrixát (II.), amely a következő lépésben az osztályozások bemenetét adja. Több osztályozó eljárás lefuttatása javasolt, amelyeknek leginkább jónak tekinthető megoldásait egy ún. „silhouette” értékeléssel választhatjuk ki (B). Ezek kimenetei alapján válogatható össze az osztályozási eredmények adatmátrixa (III.), amely a konszenzus osztályozás (C) bemenetét biztosítja. A konszenzus osztályozás eredményeit (IV.) már arra használhatjuk fel, hogy az egyes osztályokat, vagyis faállomány-szerkezeti típusokat szakmai szempontból értelmezzük és az eredményeket az erdőrezervátumot bemutató térképen ábrázoljuk (D).

A Vár-hegy ERDŐ+h+á+l+ó 396 MVP-ján végzett elemzés 17, jól jellemezhető faállomány-szerkezeti típust, ill. csoportot eredményezett (további két típusra csak 1-2 ismétlés esett). A konszenzus osztályozás elkülönítette a főbb erdőtípusokat (a molyhos tölgyestől a bükkösig), de azokon belül olyan faállomány-szerkezeti altípusokat is megkülönböztetett, amelyek már erdődinamikai szempontból is jól értelmezhetők. A kiligetesedett (vagy

kigyérített) üdébb, gyertyános-tölgyes jellegű élőhelyeken keletkezett lékekben elsősorban a gyertyán, magas kőris és mezei juhar betöltődése alakult ki, van továbbá egy hasonlóan viselkedő elegyes molyhos tölgyes-cseres típus is, szárazabb körülmények között. Több állományra jellemző, hogy a kiligetesedés következtében megnövekedett fényt egy teljesen záródó és megerősödő húsos somos cserjeszint hasznosítja, amely szárazabb és üdébb körülmények között is kialakul, ugyanakkor több átmenet is látható a cseres és molyhos tölgyesek felé. Ezzel párhuzamosan, más állományokban a gyepszint került uralomra („elfüvesedett tölgyes”). Több típus rendkívül elegyes, van ahol a magas kőris válik uralkodóvá. A zárt, üdébb gyertyános-tölgyes és szubmontán bükkös állományokra még a gyarapodás, növekedés jellemző, viszont a szélsőségesen kitett és száraz termőhelyek cserszömörccés-molyhos tölgyes bokorerdő állományai mintha változatlanok lennének.

A leírt faállomány-szerkezeti típusok és a terepen felismert folyamatok alapján átfogó erdőfejlődési modellt még nem tudok felvázolni. Az azonban jól megfigyelhető, hogy az elegyes tölgyesek, a termőhely, a mezoklíma, az uralkodó szintet érő zavarások, valamint a felújulási folyamatokat meghatározó vadnyomás mértékének függvényében különféle irányokba mozdulnak el. Az esetek egy részében magas kőris, gyertyán, mezei juhar vagy csertölgy kap nagyobb szerepet, más esetben pl. egy elfüvesedett gyepszint vagy húsos somos cserjeszint válhat meghatározóvá.

A már számos hazai erdőrezervátumban létesített (és létesítés alatt álló) ERDŐ+h+á+l+ó mintavételi pontjaiban nyert alapadatok egyik legfontosabb elemzési megközelítésének a dolgozatomban is bemutatott sokváltozós statisztikai módszerek integrált alkalmazása ajánlható.

## 7. Summary

The Hungarian Forest Reserve Programme was set off in the early 1990s. At the beginning, it focused on defining fundamental terms, setting up the forest reserve network, and creating conditions for protection. Prominent national research groups prepared plans and methodological proposals. At the same time, Hungary joined the COST Action E4 (Forest Reserves Research Network) to review forest reserve research in Europe and to clarify the terminology and harmonize research methodology. Based on the preliminaries in Hungary, and the Hungarian and COST E4 experiences, a book entitled “*The aims, strategies and methods of forest reserve research in Hungary*” (edited by Horváth and Borhidi, 2002) was written by a wide range of authors. The book determined the primary aims, strategies and methods of research, categorized forest reserves according the types and intensity of research conducted, and described each forest reserve briefly based on National Survey 2, 1998/99 (Horváth and Bölöni, 2002). Although it made the first move to define research sites and methods and to adjust them to each other, it failed to elaborate and harmonize the details.

Between 2003 and 2009, a devoted research team developed a general long-term sampling plan, elaborated a uniform technique for the survey of stand structure, regeneration and ground vegetation, adjusted and tested these methodological modules in the field, and discussed the experiences comprehensively. Present dissertation is linked largely to this joint work.

The aims of my thesis were:

- to present the methodological framework of the series of long-term surveys,
- to verify and document the method of double (combined) stand survey,
- to clarify the calculation of stem number per hectare and stand basal area based on the double (combined) survey, and
- to give a proposal for the method of stand structure assessment.



Methods were tested in the forest reserves of Vár-hegy at Felsőtárkány, Hidegvíz-völgy, Kékes and Szalafő Őserdő, at the FOREST+n+e+t (ERDŐ+h+á+l+ó) sampling points. The great variety of the stands surveyed gives a fair representation of the stand types found in Hungarian forest reserves, which guarantees universality to our method and approach. Present paper is mostly connected to the survey and evaluation of the 94-ha Vár-hegy forest reserve. The core area is situated on the hill range of the Southern Bükk mountain between Felsőtárkány and Eger, occupying the hilltop, the ridge and the E-SE and W-SW slopes, and the upper part of the Csák-pilis area. The mass of the bedrock is Triassic grey lime and chert with layers of dolomite, white lime and red silica shale at places. The oak-hornbeam macroclimate is replaced by dry Turkey oak – sessile oak mesoclimate on southern slopes, and by beech mesoclimate on northern expositions. The soil is mostly colluvial and lessivated brown forest soil, or brown, red and black rendzina and rocky skeletal soils at extreme sites. The deciduous forest was regenerated mainly by sprout in 1870-80, and was abandoned about 30-50 years ago. At present, it comprises of age groups 20-30, 60-70 and 130-140 years, and one group older than 170 years near the ridge. The forest is dominated by sessile oak, Turkey oak, white oak and common ash with many mixing species. The trees form dry Pannonian-Balkan Turkey oak – sessile oak forests, mesic sessile oak – hornbeam forests, submontane beech forests, closed thermophilous oak woodlands, white oak scrubs, and mixed rock woodlands and topforests. Owing to the oak decline in the 1980s and some sporadic thinnings, these abandoned stands have turned into more diverse stands with openings: common ash, hornbeam and field maple are filling the gaps. The amount of game is incredibly high especially in winter, when they move down from higher regions of the Bükk mountains.

*What could the "functional" stand units of a natural tree stand be? What could the size of the smallest stand patch be where the structures and processes to be examined can occur?* It is determined primarily (but not exclusively) by gap dynamics in our ecological circumstances. Consequently, the smallest possible stand unit of forest dynamic processes is determined by the dimension of the range of gap dynamic processes (but not the gaps themselves), which is approximately a stand with a radius of 1-1.5 times the dominant tree height. Evidently, it is the dimension of gap formation and of its ecological impacts. Of course, such a unit may not be torn away from its environment, the forest stand, without destroying its function; its functioning can only be examined in extensive stands. This special stand size, which cannot be delineated precisely, is named an "*elementary forest dynamic unit*", and is considered a forest stand of 0.1-0.5 ha. Sampling was carried out right in this dimension. Each sample represents the current state of a local tree stand. The temporal data series of every sample may describe an elementary forest dynamic episode, where considerations should be made

of the stochastic processes, the environment or site, the forest historical patterns and their interfering transitions. Neighbouring local patches of the same type can make up one homogeneous stand. Thus, sampling is principally aimed at describing elementary forest dynamic units, which makes the “*a posteriori*” identification of higher level units possible as well.

The main component of the sampling design of long term monitoring is the “*Stand dynamic and ecological observation network of natural forests*” (FOREST+n+e+t), which composed by a regular grid of sampling points (MVP) with a density of 4 MVP per hectares. Every network is set up and used within the framework of a long-term surveillance (HTV) research project. The surveys and researches are carried out at these sampling points in the following interrelated basic survey topics: stand structure module (FAÁSZ), regeneration and shrub layer survey (ÚJCS), ground vegetation survey (ANÖV), site/soil mapping (TALAJ) and taking documentary photo. We have adapted the vertical stand structure model recommended by COST E4 (Hochbichler et al. 2000) and have slightly modified it owing to the method of ground vegetation survey and canopy schematization. Consequently, all lying dead wood, and all the woody shoots of live or dead trees or shrubs reaching or exceeding 5 cm of diameter at breast height (DBH) are considered as part of the stand structure. The canopy is treated as either one- or two-layered (upper and lower canopy). Thinner living woody shoots (DBH < 5 cm) reaching heights of 130 cm or more are regarded as shrub layer. Woody shoots between 50 cm and 130 cm of height are taken for regeneration. All herbaceous plants, and the woody shoots not exceeding a height of 50 cm are considered ground (herb) layer. This model is applicable in more than 90% of the core areas of forest reserves in Hungary.

We have developed a new method for stand survey that is more universal than the one used for characteristic stand types in forest management planning. We had two reasons for doing so. On the one hand, the structure of natural (or becoming more natural) stands is much more diverse than that of production forests, which diversity has to be reflected in the sampling method as well<sup>23</sup>. On the other hand, a universal method can be used repeatedly without any further adjustment.

---

<sup>23</sup> Recording the diversity of stand structure reveals structure types, which would be overlooked when averaging the samples.

The FAÁSZ method is made up of the following modules: 1) general description of forest stand, 2) sampling of local tree stand (MX2523), and 3) survey of lying dead wood. For the estimation of the relevant attributes of stand structure (e.g. tree species composition, diameter distribution, stand basal area) a sample population has to be selected from the tree stand. The survey of stand structure is done by combining the method of circular sampling plot with fixed radius with the angle-count sampling method. This makes sampling universal and representative, and at the same time low-cost, easy-to-learn and clearly reproducible. The use of circular sampling plot ensures that a part of the total area is sampled and that thinner stems standing densely or in groups are represented appropriately in the sample. The angle-count method is more sensitive to the dominant, thick, scarcely distributed trees even in stands of highly different tree stand structures. Owing to the greater distance of bigger trees, the angle-count method counterbalances any spatial micro-heterogeneity originating from patchy patterns. The combined method has two essential parameters: the radius of the permanent circular sampling plot (8.92 m) and the multiplication (basal area) factor “k” (2) of the angle-count method, which means that about 10% of an area can be sampled at a sampling density of 4 MVP per hectare. The double (combined) sampling, i.e. the selection of trees to be sampled, is done easily in practice: all trees standing at 8.92 m horizontally from the sampling point or nearer have to be measured, together with the more distant, larger trees that fall within the angle-count with the multiplication factor 2.

In the double (combined) method (coded as MX2523), the sample population of trees is made up of two complementary subsamples. One is the group of trees less than DBH 25.23 cm, which fall within the sample by the circular sampling plot method ( $n_{mk}$ ), the other is the group of trees equal to or more than DBH 25.23 cm, which fall within the sample by the angle-count method ( $n_{sz}$ ). Consequently, both the estimated stem number per hectare (N) and the stand basal area per hectare (G) parameters have to be added.

$$N = N_{mk} + N_{sz} \text{ (stem/ha)}, \quad \text{and} \quad G = G_{mk} + G_{sz} \text{ (m}^2\text{/ha)}$$

I've run two comparative analyses to test the performance of MX2523 method against the others. One preliminary study involved a complete tree mapping survey carried out in a three-hectare sample plot with 12 subsamples of a typical, mixed, diverse oak stand in Várhegy forest reserve. Then various simulated sampling and evaluating methods (M2c – 0.1 hectare circular plot as reference; M2a – 0.025 hectare circular plot; M1 – angle count sampling; MX-ATL – averaging results of double sampling; MX2523 – additionally calculated method) were compared in the GIS database of the survey. This comparative study doesn't result in significant differences among the various methods, due to few (12) cases and the

discrete characters and patterns of this stand. To overcome this inefficiency I've planned and run a sensitivity test on simulated data sets.

Sensitivity tests are suitable for determining the method-dependence and reliability of the estimation of stem number per hectare (N) and stand basal area (G) parameters, in the interrelationship of a semi-natural stand and the sampling methods. I chose a forest stand (Hidegvíz-völgy forest reserve, Vitális & Zakariás 2006) with known species composition and a diverse structure. Using its tree species composition, mixture ratio and diameter distribution data, I created 25 one-hectare randomly structured virtual stands. In the centre of each stand I carried out double (combined) sampling (as control), and set up two “*what if...*” series of experiments with 5, 15, 25, 35, 45 and 65 cm breast height diameter of randomly “planted” trees. In experiment “PLUSZ-18N”, I increased the number of stems per hectare with 3% in every case. In this experiment I tested the estimation of stem number per hectare according to three different calculations: the so-called “VAGY” method (estimation of N based on subsamples of the circular sampling plot, estimation of G based on subsamples of the angle-count method), the “MX-ÁTLAG” method (based on the average of both subsample estimations) and the “MX2523” method. In experiment “PLUSZ-2G”, I increased the stem basal area per hectare with 5% in every case. In this experiment I tested the estimation of stand basal area per hectare according to the same calculation methods: the so-called “VAGY” method, the “MX-ÁTLAG” method and the “MX2523” method. These experiments were used to examine divergences from the control, and to test the standard deviation of divergences along the series of diameters.

The double (combined) sampling method, i.e. method MX2523 can be used in various stand structures effectively owing to its double nature. The angle-count component adapts well to a range of higher diameters and more sparse population characteristic to large trees, while the permanent circular sampling plot component reduces the possibility of error arising from the random pattern of thinner trees to minimum. The combined sampling method and its analysis according to MX2523 integrate the assets of the two methods, and are therefore “universally” applicable. The sensitivity of the method is ensured by the fact that sampling points are fixed in the field and repeated surveys have to be carried out at the same points. The sensitivity tests “PLUSZ-18N” and “PLUSZ-2G” have shown the perceptibility of minor changes (+3% in stem number, and +5% in stand basal area) within the total range of diameters. Our method is considered “robust” in a sense that it does not exaggerate the presence of thinner or thicker trees in the sample, as opposed to other methods. Further, while the employment of the double (combined) method achieves optimal representativeness (at least 10-15 trees in a

sample), it incurs low costs (20 or 26 trees on average per sample in the randomly simulated examples of Vár-hegy and Hidegvíz-völgy), as was confirmed by comparison with similar systems (Albrecht 1990, Althoff et al. 1993, Brang et al. 2008, Burrascano et al. 2008).

For the identification of stand structure types I developed a workflow of multivariate statistical methods. I analysed the complete dataset of the 398 FOREST+n+e+t sampling points of Vár-hegy forest reserve. Of the 32 variables describing tree stand structure, 20 were used in further principal component analysis (PCA). The first six components proved to be significant and comprised 68% of the total variance. Their adequacy was tested with the so-called “random lambda” procedure. Using the component scores of the six PCA axes, cluster analysis was further used to define stand structures types. I used seven clustering methods on the distance matrix calculated from the data matrix of the 6 PCA axes’ scores. Three of the classifications (single link, centroid and K-medians) yielded ambiguous results, but the complete link (CMP), the group average (AVG), the average link (MCQ) and Ward’s minimum variance method (WRD) gave interpretable results. To find the optimal number of clusters (i.e. to decide where to cut the dendrogram), “silhouette” examinations were made. The outcoming results of the seven classifications (CMP-16, AVG-9, AVG-18, MCQ-13, MCQ-18, WRD-19 and WRD-26) based on the „silhouette” evaluation were summarized in a final, so-called consensus classification. The following attributes of stand structure were found to be relevant in determining the types: variables of vertical structure (cover of layers, gap extent, stand height); stem number per hectare and stand basal area, which characterize density and tree volume; variables describing the mixture ratios of the main tree and shrub species; the relative frequency distributions of diameter classes that reflect the diameter distribution of live trees and shrubs. The 6 significant components of the principal component analysis explained 68% of the total variance, based on the initial 20 variables of stand structure. These components formed basis for further classifications. The “best” classification was achieved with the consensus clustering of the results of several classifications. This procedure turned the multidimensional description inherent in the data into easily interpretable stand structure types. Depending on the interpretation of the data, the clusters may mean either structure types or transitional stages. I integrated ordination and classification methods, their combination was found to be an effective and recommendable tool to determine stand structure types in forest reserves, especially in mixed stands.

In order to characterize the stand structure types obtained from the consensus classification, I applied graphical descriptive statistics to describe stratification, stem number in the diameter classes, the mixture ratio of the most relevant 15 woody species according to stem

number and stand basal area, and the spatial pattern of the types examined. Stand structure types were characterized textually as well.

Based on the analysis of 396 MVPs of the Vár-hegy FOREST+n+e+t, 17 characteristic stand structure types or groups could be marked off (two more types were represented only once or twice). Consensus classification has separated the major forest types (ranging from white oak to beech forests) and further stand structure categories within them, which can be interpreted as forest dynamic units. In opened mesic oak-hornbeam habitats, gaps are filled chiefly by hornbeam, common ash and field maple, and there is a mixed white oak - Turkey oak type displaying similar dynamics, under drier conditions. In several stands, the increased amount of light due to thinning is utilized by a completely closed shrub layer of cornelian cherry under both dry and fresh conditions, while transitions to Turkey oak and white oak stands are also apparent. Other stands, however, are dominated by the ground layer ("grassy oak stand"). Several types are uncommonly mixed, some are dominated by ash. The closed, mesic oak - hornbeam and submontane beech stands are in a state of growth, while smoke tree - white oak scrublands on extreme expositions and dry sites seem to be stagnant.

## 8. Köszönetnyilvánítás

Az őserdők és erdőrezervátumok hányatott sorsáról érdekes történetek tanúskodnak. Ezeket az erdőket a történelem fordulatai, a tulajdonosok és hivatalok döntései sokkal jobban megtépták – leginkább kiirtották vagy átalakították – mint az évezredek viharai. Az erdőrezervátumok létrehozását és jogi, védelmi helyzetének stabilizálását éppen ezért feltétlenül sikernek tartom. Köszönetet mondok ezért elsősorban azoknak az elkötelezett erdészeknek, természetvédőknek, kutatóknak, hivatalnokoknak és döntéshozóknak, akik a 80-as és 90-es években újra megküzdöttek a gondolatért, hogy az Erdőrezervátum Program Magyarországon is valósággá válhasson.

Hálás vagyok a sorsnak, hogy az erdőrezervátum-kutatás megtalált, pedig nem kerestem – csak belecsöppentem. Ma már azt gondolom, erre „vártam”. Hálás vagyok ezért Borhidi Attila „tanár úr”-nak, aki rám bízta ezt a Vácrátótra került<sup>24</sup> ügyet és akinek bizalmát és segítségét a mai napig élvezhetem. De bizalmat kaptam Fekete Gábor tanár úrtól is, aki a háttérben mindig támogatta a programot, mint ahogy az „MTA ÖBKI” mindenkori vezetői is.

Erdőismeretből rengeteget támaszkodtam Bölöni János tudására, míg a dolgozat elkészítésében fontos módszertani segítséget kaptam Botta-Dukát Zoltántól. Az angol nyelvre történő fordításban most is Pászty Gabriella volt segítségemre, míg a magyar helyesírásban és a szöveg hibáinak felderítésében Gulyás Györgyi munkatársam.

Van egy csapat, akikkel sokat dolgoztunk együtt, gyakran vitázva és ritkán összeveszve. Főként „A hazai erdőrezervátum-kutatás” könyv szerzőgárdája, majd az ER Tudományos Tanácsadó Testület tagjai, de közvetlen és távolabbi munkatársak is: Aszalós Réka, Bartha Dénes, Bidló András, Borhidi Attila, Bölöni János, Czajlik Péter, Gergely Zoltán, Heil Bálint, Horváth Jenő, Illés Gábor, Jelítai Edit, Király Géza, Kovács Gábor, Maglóczky Zsófia, Mányoki Gergely, Mázsa Katalin, Ódor Péter, id. Ósz Gusztáv, Siller Irén, Somogyi Zoltán, Standovár Tibor, Tanács Eszter és Temesi Géza. Sokat köszönhetek nekik, mert tudást, szemléletet, lelkesedést, kitartást, bizalmat, együttműködést vagy küzdést, és gyakran barátságot kaptam tőlük. Hadd emeljem ki közülük Czajlik Pétert, aki elsősorban erdő- és szakmaszeretetével nyűgözött le.

---

<sup>24</sup> Ma sem tudom egészen pontosan, hogyan is került ez a megbízás az MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézetéhez, mert ennek történetét és hátterét többféle verzióban hallhattam. Az bizonyos, hogy a Természetvédelmi Hivatal részéről ebben kulcsszerepet játszott Temesi Géza, Kovács Mátyás és Tardy János.

Köszönöm témavezetőm, Veperdi Gábor gondos segítségét, Mátyás Csaba támogatását és a Nyugat-Magyarországi Egyetem intézeti tanszékeinek nyitottságát és fogadókészségét, amellyel az erdőrezervátum-kutatást segíteni tudják.

Az Erdőrezervátum Programot az 1990-es évek óta, elsősorban a természetvédelmi tárca finanszírozta<sup>25</sup>. A programot és rendezvényeinket több nemzeti park és erdőgazdaság is „magáénak érezte”. Ezeket a támogatásokat ezúton is köszönöm.

Köszönöm végül szüleimnek, feleségemnek, gyerekeimnek és nagyobb családomnak a lehetőséget, hogy a kutatói pályát választhattam, művelhettem és a mai napig élvezhetem, annak ellenére, hogy a tudományos karriert nem úgy „futottam be”, ahogy ma már biztosan nem tehetném.

Órbottyán, 2012. március 19.

---

<sup>25</sup> Ez a támogatás szinte évről évre csökkent, 2012-re talán meg is szűnik – ennek okát elsősorban a minisztériumok költségvetésének drasztikus visszafogásában és átrendezésében látom, semmiképpen sem szándékos „leépítésben”.



## 9. Hivatkozott irodalmak és dokumentumok

### Jogszabályok

- 30/1991. (V. 14.) OGY határozat a fokozottan védett erdők használatáról.  
 Forrás: [http://www.erdorezervatum.hu/htm/jogszabaly/30\\_1991\\_ogy\\_határozat.htm](http://www.erdorezervatum.hu/htm/jogszabaly/30_1991_ogy_határozat.htm)
- 3581/1991. Kormányhatározat a Kormány rövid- és középtávú környezetvédelmi intézkedési tervéről. Forrás: <http://www.erdorezervatum.hu/htm/jogszabaly/3581.htm>
1996. évi LIII. törvény A természet védelméről. Magyar Közlöny, 1996/53: 3305-3325.
1996. évi LIV. törvény Az erdőről és az erdő védelméről. Magyar Közlöny, 1996/53: 3325-3347.
1996. évi LV. törvény A vad védelméről, a vadgazdálkodásról, valamint a vadászatról. Magyar Közlöny, 1996/53: 3347-3367.
- 1/2000. KöM rendelet az Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság illetékességi területén lévő egyes védett természeti területek erdőrezervátummá nyilvánításáról. Magyar Közlöny, 2000/26: 1296-1298.
- 2/2000. KöM rendelet a Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság illetékességi területén lévő egyes védett természeti területek erdőrezervátummá nyilvánításáról. Magyar Közlöny, 2000/26: 1298-1299.
- 3/2000. KöM rendelet a Bükki Nemzeti Park Igazgatóság illetékességi területén lévő egyes védett természeti területek erdőrezervátummá nyilvánításáról. Magyar Közlöny, 2000/26: 1299-1304.
- 4/2000. KöM rendelet a Duna-Dráva Nemzeti Park Igazgatóság illetékességi területén lévő egyes védett természeti területek erdőrezervátummá nyilvánításáról. Magyar Közlöny, 2000/26: 1304-1307.
- 13/2000. KöM rendelet a Fertő-Hanság Nemzeti Park Igazgatóság illetékességi területén lévő egyes védett természeti területek erdőrezervátummá nyilvánításáról. Magyar Közlöny, 2000/66: 4065-4068.
- 14/2000. KöM rendelet a Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság illetékességi területén lévő egyes védett természeti területek erdőrezervátummá nyilvánításáról. Magyar Közlöny, 2000/66: 4068-4072.
- 15/2000. KöM rendelet a Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatóság illetékességi területén lévő egyes védett természeti területek erdőrezervátummá nyilvánításáról. Magyar Közlöny, 2000/66: 4072-4074.
- 16/2000. KöM rendelet a Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóság illetékességi területén lévő egyes védett természeti területek erdőrezervátummá nyilvánításáról. Magyar Közlöny, 2000/66: 4074-4075.
- 17/2000. KöM rendelet a Kőrös-Maros Nemzeti Park Igazgatóság illetékességi területén lévő egyes védett természeti területek erdőrezervátummá nyilvánításáról. Magyar Közlöny, 2000/66: 4075-4076.
- 88/2000 FVM rendelet Az Erdőrendezési Szabályzatról.  
 Forrás: [http://www.erdorezervatum.hu/htm/jogszabaly/88\\_2000.htm](http://www.erdorezervatum.hu/htm/jogszabaly/88_2000.htm)
- 6/2004. KVvM utasítás a Ramsari Egyezmény Magyar Nemzeti Bizottság és a Magyar Nemzeti Erdőrezervátum Bizottság létrehozásáról. Környezetvédelmi és Vízügyi Értesítő 3., 6/2004.

- 11/2007. (III. 30.) KvVM rendelet a Bükkhát természetvédelmi terület létesítéséről és erdőrezervátummá nyilvánításáról. Magyar Közlöny, 2007/38: 2515-2518.
- 12/2007. (III. 30.) KvVM rendelet a Kelemér-Serényfalva természetvédelmi terület létesítéséről és erdőrezervátummá nyilvánításáról. Magyar Közlöny, 2007/38: 2518-2521.
- 29/2007. (X. 6.) KvVM rendelet a Sümegi Fehér-kövek természetvédelmi terület létesítéséről és erdőrezervátummá nyilvánításáról. Magyar Közlöny, 2007/134: 9711-9713.
- 19/2008. (VIII. 22.) KvVM rendelet a Baláta-tó természetvédelmi terület bővítéséről és erdőrezervátummá nyilvánításáról. Magyar Közlöny, 2008/123: 14330-14333.
- 4/2009. (IV. 10.) KvVM rendelet a Nyugat-Mecsek Tájvédelmi Körzet létesítéséről, valamint a Kőszegi-forrás erdőrezervátum létrehozásáról. Magyar Közlöny, 2009/48: 14292-14298.

## Irodalmak

- Agócs J. (1990): Természetes ökoszisztémák hálózatának kialakítása Magyarországon. *A Helyzet* 5. 2(3): 10-13., Sopron – ER Archívum (1990/P-002), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Agócs J. (1992): Hazai természetes erdőrezervációk hálózatának kialakítása. Kutatási jelentés, EFE, Sopron – ER Archívum (1992/D-001), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Albrecht, L. (1990): Grundlagen, Ziele und Methodik der waldökologischen Forschung in Naturwaldreservaten, *Naturwaldreservate in Bayern, Band 1*, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München, p. 221.
- Althoff, B., R. Hocke & J. Willig (1993): Waldkundliche Untersuchungen, Grundlagen und Konzept. *Naturwaldreservate in Hessen 2. Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung, Band 25.* p. 170. – ER Archívum (1993/P-010), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Ammer, C., T. Vor, T. Knoke & S. Wagner (2010): Der Wald-Wild-Konflikt. Analyse und Lösungsansätze vor dem Hintergrund rechtlicher, ökologischer und ökonomischer Zusammenhänge. *Band 5 Göttinger Forstwissenschaften.* Universitätsverlag Göttingen, Göttingen, p. 184.
- Antli I., Lehoczky I. (2002): Vaskereszt erdőrezervátum (32) Hosszútávú Fenntartási Terve. Kutatási jelentés – ER Archívum (2002/D-005), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Asensio, I. A., S. C. Ruiz, J. M. Millán, S. S. M. de Toda, G. S. Peña, F. P. Martín, J. A. V. Aranguren & R. V. Bombin (2010): Spain In Tomppo, E., Th. Gschwantner, M. Lawrence & R. E. McRoberts (eds.): *National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting.* Springer, pp 527-540.
- Aszalós R., Bölöni J., Horváth F. & Mázsa K. (2004): Összehasonlító vizsgálat hálózatban történő faállomány-szerkezet felmérési módszertan részleteinek kidolgozására, a Várhegy erdőrezervátumban, átfedéssel a faegyed szintű felmérés mintaterületeivel. In Mázsa K. (szerk.): *Az Erdőrezervátum program 2003. évi feladatai.* Kutatási jelentés – ER Archívum (2004/D-001), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Babos I. (1954): Magyarország táji erdőművelésének alapjai. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. p. 163.

- Bartha D., Bidló A., Borhidi A., Bölöni J., Czajlik P., Esztó P., Forró E., Hahn I., Horváth F., Kovács G., Maglóczky Zs., Mázsa K., Oroszi S., Siller I., Somogyi Z., Standovár T., Temesi G. és Traser Gy. (2002): Az erdőrezervátum fogalma. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, 15-16. p.
- Bartha D. és Esztó P. (2001): Az Országos Erdőrezervátum-hálózat bemutatása az Országos Erdőállomány-adattár alapján. *ER, Az erdőrezervátum-kutatás eredményei* 1(1): 21-44.
- Bidló A., Gucsik A., Heil B., Illés G., Juhász P., Kovács G., Varga Zs. (2004): Termőhely-feltárás a Vár-hegy erdőrezervátum területén. Kutatási jelentés – ER Archívum (2004/D-006), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Bidló A., Kovács G. és Forró E. (2002): Termőhelyi vizsgálatok. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 157-174.
- Bitterlich, W. (1947): Die Winkelzählmessung. *Allg. Forst. Holzwirtschaft. Zeitung* 59:4-5.
- Bitterlich, W. (1984): The relascope idea. Relative measurements in forestry. Commonwealth Agricultural Bureaux, London, p. 242.
- Bončina, A. (1999): Stand dynamics of the virgin forest Rajhenavski rog (Slovenia) during the past century. In: Diaci, J. (ed.) *Virgin Forests and Forest Reserves in Central and East European Countries*, Ljubljana. p. 95-100.
- Bončina, A., (2000) Comparison of Structure and Biodiversity in the Rajhenav Virgin Forest Remnant and Managed Forest in the Dinaric Region of Slovenia. *Global Ecology and Biogeography* 9(3), pp.201-211.
- Bölcsházai Belházy E. (1895): Az erdőrendezéstan kézikönyve. Országos Erdészeti Egyesület, Budapest
- Bölöni J. (2004): Többszemponútú erdőtípológiai vizsgálatok a Tési-fennsík déli részén. Doktori Értekezés, kézirat. NyME Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok DI, Sopron, p. 128.
- Bölöni J., Molnár Zs., Kun A. és Biró M. (2007): Általános Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszer, Á-NÉR2007. MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete, Vácrátót, 184 old., forrás: <http://www.novenyzetiterkep.hu/?q=magyar/node/366>
- Brassel, P. & H. Lischke, H. (eds., 2001): *Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the Second Assessment*. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institut WSL. 336 p.
- Brolly, G. & G. Király (2009): Evaluation of Terrestrial Laser Scanning in the Hidegvízvölgy (ER-46) Forest Reserve. *Acta Silvatica Et Lignaria Hungarica* 5:119-130.
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P Burnham, J. L. Laake, D. L. Borchers & L. Thomas (2001): *Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations*. Oxford University Press, New York.
- Chikán Z. (1961): Őskori erőd a Vár-hegyen. *Az egri vár híradója*, 1961/2, Eger
- Crow, T. R. & Grigal, D. F. (1980): A Numerical Analysis of Arborescent Communities in the Rain Forest of the Luquillo Mountains, Puerto Rico. *Vegetatio* 40(3):135-146.
- Csóka Gy. & Hirka A. (2009): A gyapjaslepke (*Lymantria dispar* L.) legutóbbi tömegszaporodása Magyarországon. *Növényvédelem* 45(4):196-201.

- Czajlik P. (1994): Az erdőrezervátumok hasznosításáról. A természetvédelmi területek célja – új felfogásban. *Környezet és Fejlődés* 5(2):29.
- Czajlik P. & Horváth F. (2002): Eseményfigyelés. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 108-113.
- Czajlik P., Kenderes K. & Standovár T. (2003): Report on Site-based Permanent plot, Second-Phase and New Mapping Studies: Óserdő Forest Reserve, NAT-MAN Working Report 52.
- Czajlik P. & Somogyi Z. (2002): Faállomány-szerkezeti vizsgálatok. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 114-157.
- Czajlik P. (1989): Vándortábortól az "őserdő" rezervátumig. *Soproni Egyetem* 36(1):36-39.
- Czajlik P. (1990a): Védett erdők moratóriumának szükségessége. Parlament Környezetvédelmi Bizottság. Első Környezetvédelmi "Nyílt Nap". Különkiadvány 7.
- Czajlik P. (1990b): Óserdőrezervátumok létesítésének és fenntartásának indokolása. Kézirat, – ER Archívum (1990/D-006), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Czajlik P. (1990c): A hazai erdőrezervátumok jelentősége, célja, kiválasztásuk főbb szempontjai. Kézirat – ER Archívum (1990/D-007), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Czajlik P. (1990d): A Csörgő-völgyi Erdődinamikai project célja, az eddig elvégzett munkák, a jelenlegi helyzet. A Helyzet 5. 2(3):19-21, Sopron – ER Archívum (1990/P-003), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Czajlik P. (1991): Kékes I-II erdőrezervátum. Kiinduló állapotfelvétel. Kutatási jelentés. ER Archívum (1991/D-001), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Czajlik P. (1993): Erdőrezervátum-hálózat. Faállomány-szerkezeti vizsgálatok. Előtanulmány (kézirat) – ER Archívum (1993/D-005), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Czajlik P. (1994): Megtörtént a magyarországi erdőrezervátum-hálózat végleges kijelölése. *Környezet és Fejlődés* 5(2):36-38. – ER Archívum (1994/P-005), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Czajlik P. (1996): Koreloszlás és szukcesszió háborítatlan erdőállományokban: esettanulmány. In Mátyás (szerk.): Erdészeti ökológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest., pp. 84-92.
- Czajlik P. (1999): A "Vásárhelyi István" Természetvédelmi Körnek és az eddigi tevékenységének rövid bemutatása. Kézirat, ER Archívum (1999/D-002), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Czajlik P. (2002a): A módszerek részletezése vizsgálati szintenként. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 140-147.
- Czajlik P. (2002b): Vizsgálati stratégiák. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 135-140.
- Czajlik P. (2002c): Erdőrezervátumok besorolása kutatási érték szerint. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 132-135.

- Czajlik P. (2002d): A faállomány-szerkezeti vizsgálatok adatai. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 152-157.
- Czajlik P. (2009): Kékes-Észak erdőrezervátum és térségének története: egy őserdőfragmentum fennmaradása. ER, Az erdőrezervátum-kutatás eredményei 3:7-94.
- Czajlik P., Gergely Z., Tulipán T. (1993): "Kékes Észak" – egy létesítendő erdőrezervátum. *Környezet és Fejlődés* 4(3-4):64-66.
- Czajlik P., Hallgató F., Szuromi L. (2000): Kékes-Észak Erdőrezervátum (56) Hosszútávú Fenntartási Terve. Kézirat – ER Archívum (2000/D-006), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Csáky P. (2000): Nagy Istrázsa-hegy Erdőrezervátum (03) Hosszútávú Fenntartási Terve. Kézirat – ER Archívum (2000/D-005), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Czajlik P. (1996): Esettanulmány: koreloszlás, szukcesszió háborítatlan erdőállományokban. In: Mátyás Cs. (szerk.): Erdészeti ökológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 84-92.
- Czajlik, P., K. Kenderes, T. Standovár & G. Tímár (2003a): Report on Site-based Permanent Plot, Second-phase and New Mapping Studies: Kékes Forest Reserve (NAT-MAN Working Report 51), p. 28.
- Czajlik, P., K. Kenderes & T. Standovár (2003b): Report on Site-based Permanent plot, Second-Phase and New Mapping Studies: Óserdő Forest Reserve (NAT-MAN Working Report 52), p. 12.
- Czajlik, P., L. Gálhidy, K. Kenderes, B. Mihók, P. Ódor, T. Standovár, G. Tímár & K. Kelemen (2003c): Report on Site-Based Permanent Plot, Second-Phase and New Mapping Studies: Alsó-hegy Forest Reserve (NAT-MAN Working Report 53), p. 17.
- Dani B., Lehoczky I. (2004): Dávodi-erdő Erdőrezervátum (27) Hosszútávú Fenntartási Terve. Kézirat – ER Archívum (2004/D-002), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Fekete Z. (1951): Erdőbecsléstan. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Franklin, J., T. A. Spies, R. Van Pelt, A. B. Carey, D. A. Thornburgh, D. R. Berg, D. B. Lindenmayer, M. E. Harmon, W. S. Keeton, D. C. Shaw, K. Bible & J. Chen (2002): Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example. *Forest Ecology and Management* 155(1-3): 399-423.
- Franklin, S. B. & Kupfer, J. A. (2004): Forest Communities of Natchez Trace State Forest, Western Tennessee Coastal Plain. *Castanea* 69(1):15-29.
- Frelich, L. E. (2002): Forest dynamics and disturbance regimes, Studies from temperate evergreen – deciduous forests. Cambridge University Press, 266. p.
- Fuchs, F. (1861): Ungars Urwälder und das Wesentlichste zur Kenntniss, Beurtheilung und Einführung eines rationellen Forstbetriebs in ungarischen Privatwäldungen für solche, die ohne Forstmänner von Fach zu sein, als Waldbesitzer oder deren Bevollmächtigte, Rechtsfreunde, Oekonomiebeamte oder sonst wie in die Leitung der Forstverwaltung einen wesentlichen Einfluss nehmen. Georg Kilian's Univeristäts-Buchhandlung, Pest.
- Führer E. (szerk.) (1998a): Módszertani útmutató a gazdasági (fatermesztési) rendeltetésű erdőkben kiválasztott erdőrezervátumok vizsgálatához. Minimum program. Kézirat – ER Archívum (1998/D-070), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Führer, E. (1998b): Oak Decline in Central Europe: A Synopsis of Hypothesis. In McManus, M. L. & A. M. Liebhold (eds.): Proceedings: Population Dynamics, Impacts, and Integrated Management of Forest Defoliating Insects. USDA Forest Service General Technical Report NE-247. pp. 7-24.

- Golden, M. S. (1981): An Integrated Multivariate Analysis of Forest Communities of the Central Great Smoky Mountains. *American Midland Naturalist* 106(1):37-53.
- Gower, J. C. (1971): A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics* 27:623–637.
- Grigal, D. F. & Goldstein, R.A. (1971): An Integrated Ordination-Classification Analysis of an Intensively Sampled Oak-Hickory Forest. *Journal of Ecology* 59(2):481-492.
- Grosenbaugh, L. R. (1958): Point-Sampling and Line-Sampling Probability Theory, Geometric Implications, Synthesis. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Occasional Paper 160.
- Gschwantner, Th., K. Gabler, K. Schadauer & P Weiss (2010): National Forest Inventory Reports - Austria. In: Tomppo et al. (eds.): National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting. Springer. pp. 57-71.
- Hahn I., Standovár T. (1994): Az erdőrezervátumokban végzendő botanikai kutatásokról. *Környezet és Fejlődés* 5(2):43-45.
- Halupa L. (1992): Erdőrezervátumok kijelölése és vizsgálata. Kutatási jelentés – Archívum (1992/D-009), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Heiri, C., A. Wolf, L. Rohrer, & H. Bugmann (2009): Forty years of natural dynamics in Swiss beech forests: structure, composition, and the influence of former management. *Ecological Applications* 19(7):1920-1934.
- Helton, J., R. Cooke, M. McKay & A. Saltelli (2006): Sensitivity Analysis of Model Output: SAMO 2004. *Reliability Engineering & System Safety* 91(10-11):1105-1108.
- Hochbichler, E., A. O'Sullivan, A. van Hees & K. Vandekerckhove (2000): Recommendations for Data Collection in Forest Reserves, with an Emphasis on Regeneration and Stand Structure. In EUR 19550 – COST Action E4 – Forest reserves research network, Luxembourg, Office for Official Publ. of the European Communities, pp. 135-182.
- Holdampf Gy. (1992): Az erdőrezervátum hálózat. A III. Országos Környezetvédelmi Információs Konferencián 1992. szeptember 17-én elhangzott előadás. *Erdészeti Lapok* 127(11):327-330.
- Horváth F. és Czajlik P. (2002): Összegzés, értékelés és a szintézi lehetőségei. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 226-235.
- Horváth F. (2008a): Az újulati és cserjeszint felmérésének módszere (2008. június 23.), Kézirat – ER Archívum (2008/D-010), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Horváth F. (2008b): ERDŐ+h+a+l+ó aljnövényzeti szintjének, valamint újulati és cserjeszintjének felmérése a Vár-hegy erdőrezervátum magterületén. In Mázsa (szerk.) (2009): Az Erdőrezervátum Program szakmai irányítása és koordinálása, 2008. évi felmérési feladatok. Zárójelentés – ER Archívum (2009/D-003), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Horváth F., Ádám R., Balázs B., Bárány G., Bölöni J., Mázsa K. és Németh J. (2008): A Vár-hegy erdőrezervátum (ER-59) aljnövényzeti, valamint újulati- és cserjeszint felmérése. Kézirat – ER Archívum (2008/D-011), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Horváth F. (2009): ÚJCS-3 – harmonizált javaslat az újulati és cserjeszint felmérésére. Kézirat – ER Archívum (2009/D-009), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Horváth F. és Borhidi A. (szerk.) (2002): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, 289. p.

- Horváth F. és Bölöni J. (2002): Az erdőrezervátumok kutatásszempontrú besorolása és rövid jellemzése. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 276-287.
- Horváth F., Mázsa K., Temesi G. (2001): Az erdőrezervátum-program. *ER, Az erdőrezervátum-kutatás eredményei* 1(1):5-20.
- Horváth F. (2011): Az újulati és cserjeszint felmérésének ajánlott módszere az ERDŐ+h+á+l+ó mintavételi pontjaiban (MVP ÚJCS). Kézirat
- Horváth F., Gergely Z., Mázsa K., Bidló A., Kovács G., Bölöni J., Mátyók G., Jelítai E. és Ódor P. (2011): Az újulati és cserjeszint felmérésének ajánlott módszere az ERDŐ+h+á+l+ó mintavételi pontjaiban (MVP ÚJCS). Kézirat
- Husch, B., T. W. Beers, J. A. Kershaw, Jr. (2003): Forest Mensuration. 4th Edition. John Wiley & Sons. USA, 443. p.
- Janik, D. D. Adam, T. Vrska, L. Hort, P. Unar, K. Kral, P. Samonil & D. Horal (2008): Tree layer dynamics of the Cahnov–Soutok near-natural floodplain forest after 33 years (1973–2006). *European Journal of Forest Research* 127(4):337-345.
- Jelítai E. & Lehoczky I. (2000): Baláta-tó Erdőrezervátum (28) Hosszútávú Fenntartási Terve. Kézirat – ER Archívum (2000/D-009), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Juhász P. (2006): Termőhely-térképezés a Vár-hegy-erdőrezervátum területén. Diplomaterv, kézirat. NYME EMK, Sopron – ER Archívum (2006/D-009), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Kalivoda B. (1990): Őserdő típusú erdőrezervátum-rendszer kialakításának programja (tervezet). *A Helyzet* 5. 2(3):16-18.
- Kärcher R, Weber J, Baritz R, Förster M, Song X. (1997): Aufnahme von Waldstrukturen: Arbeitsan- leitung für Waldschutzgebiete in Baden-Württemberg. *Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg* 199:62.
- Kaufman, L. & P. J. Rousseeuw (1990): Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. Wiley, New York.
- Katona K., Szemethy L., Nyeste M., Fodor Á., Székely J., Bleier N., Kovács V., Olajos T., Terhes A. és Demes T. (2007). A hazai erdők cserjeszintjének szerepe a nagyvad-erdő kapcsolatok alakulásában. *Természetvédelmi Közlemények* 13:119-126.
- Keersmaeker, L. D., P. V. D. Kerckhove, H. Baeté, R. Walley, B. Christiaens, M. Esprit & K. Vadekerkhove (2005): Monitoringprogramma Integrale Bosreservaten: Inhoudelijk programma en basishandleiding. Rapport IBW.Bb.R.2005.003, Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer, Geraardsbergen, p. 112.
- Keller, M. (ed., 2005): Schweizerisches Landesforstinventar. Anleitung für die Feldaufnahmen der Erhebung 2004-2007, Birmensdorf. Eidg. Forschungsanstalt WSL, p. 393.
- Kenderes, K., B. Mihók & T. Standovár (2008): Thirty years of gap dynamics in a central european beech reserve. *Forestry* 81(1):111-123.
- Kenderes, K., R. Aszalós, J. Ruff, Zs. Barton & T. Standovár (2007): Effects of topography and tree stand characteristics on susceptibility of forests to natural disturbances (ice and wind) in the Börzsöny Mountains (Hungary). *Community Ecology* 8(2):209-220.
- Király G. (2006): ERDŐ+h+á+l+ó létesítése a Hidegvíz-völgy Erdőrezervátum magterületén és a védőzóna kiválasztott területein. Kutatási jelentés, NYME EMK Geomatika és Mérnöki Létesítmények Intézet Földmérési és Távérzékelési Tanszék, Sopron – ER Archívum (2006/D-010), MTA ÖBKI, Vácrátót

- Kiss L. és Schmidt T. (1999): Buvat: Keszeges-tó Erdőrezervátum (29) Hosszútávú Fenntartási Terve. Kézirat – ER Archívum (1999/D-004), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Kolozs L. (szerk.) (2009): Erdővédelmi Mérő- és Megfigyelő Rendszer (EMMRE) 1988 – 2008. Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Központ, Erdészeti Igazgatóság, Budapest, 149. p.
- Korpel', Š. (1989): Pralesy Slovenska, VEDA, Vydavateľstvo, Slovenskej Akadémie VIED, Bratislava. pp. 329.
- Korpel', Š. (1995): Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer, Stuttgart – Jena – New York, p. 310.
- Kotroczó Zs., Krakomperger Zs., Koncz G., Papp M., Bowden R. D. & Tóth J. A. (2007): A síkfőküti cseres-tölgyes fafaj-összetételének és struktúrájának hosszú távú változása. *Természetvédelmi Közlemények* 13:93-100.
- Kovács G. (2005): A felsőtárkányi Vár-hegy erdőrezervátum holtfáinak felmérése. Szakdolgozat, kézirat, BCE KTK Növénytani Tsz., Budapest – ER Archívum (2005/D-003), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Kovács M. (1991): Javaslat a hazai természetes erdőtársulások hálózatának (erdőrezervációk) kialakítására. Kézirat – ER Archívum (1991/D-002), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Kraft, G. (1884): Zur Lehre von den Durch Forstungen. Schlagstellungen und Lichtungsschieben, Hanover (idézve Husch et al. 2003, Veperdi 2008).
- Lakatos, F. & M. Miklós (2009): Mass mortality of beech (*Fagus sylvatica* L.) in South-West Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 5:75-82.
- Lehoczky I., Jelítai E., Juhász M. (2000): Ropolyi Erdőrezervátum (26) Hosszútávú Fenntartási Terve. Kézirat – ER Archívum (2000/D-003), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Lehoczky I., Kevey B., Ripszám I., Máténé Freller M., Máté J. (2002): Kőszegi-forrás Erdőrezervátum (35) Hosszútávú Fenntartási Terve. Kézirat – ER Archívum (2002/D-004), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Leibundgut H. (1959): Über Zweck und Methodik der Struktur- und Zuwachsanalyse von Urwäldern. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 110(3):111-124.
- Leibundgut H. (1982): Europäische Urwälder der Bergstufe. Paul Haupt, Bern – Stuttgart
- Madas L. (2001): Függelék, a műben előforduló erdészeti szakkifejezések szótára és magyarázata. In Fuchs Frigyes: Ungars Urwalder – Magyarország őserdei. Erdészettörténeti közlemények LI.
- Majer A. (szerk.) (1962): Erdő- és termőhelytipológiai útmutató. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Mátyás Cs. (1992): Feljegyzés és állásfoglalás az erdőrezervátumról tartott vitaülés alapján (EFE, Sopron, 1992. okt. 22.). Kézirat – ER Archívum (1992/D-003), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Mátyás Cs. (1993): Erdőrezervátum: új koncepció tör utat. *Erdészeti lapok* CXXVIII. 1., 13.
- Marchetti, M. & C. Blasi (2010): Old-growth forests in Italy: towards a first network. *Italian Journal of Forest and Mountain Environments* 65(6):699-735.
- Mátyás Cs. (1993): Erdőrezervátum: új koncepció tör utat. *Erdészeti Lapok* 128(1):13.
- Mátyás Cs. (szerk.) (1996): Erdészeti ökológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 312 p.
- Mázsa K. és Borhidi A. (szerk.) (2003): Az 1998-99. évi erdőrezervátum felmérés és kutatási szempontú besorolás eredményeként elkészült adatlapok feldolgozása, összesítő tanulmány készítése. Kutatási jelentés – ER Archívum (2003/D-002), MTA ÖBKI, Vácrátót



- Mázsa K. (2002): Az erdőrezervátum-program koordinálása és szervezeti keretei. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., Természet-BÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 45-55.
- Mázsa K. (szerk.) (2004): Az Erdőrezervátum program 2003. évi feladatai. Kézirat – ER Archívum (2004/D-001), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Mázsa K. (szerk.) (2006): Az Erdőrezervátum program szakmai irányítása és koordinálása, 2006. évi feladatok. Kutatási jelentés – ER Archívum (2006/D-006), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Mázsa K. (szerk.) (2009): Az Erdőrezervátum Program szakmai irányítása és koordinálása, 2008. évi felmérési feladatok. Zárójelentés – ER Archívum (2009/D-003), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Mázsa K., Horváth F., Bölöni J., Balázs B. és Aszalós R. (2009): A felsőtárkányi Vár-hegy erdőrezervátum faállományának korosztály viszonyai erdőtörténeti összefüggésben. *Természetvédelmi Közlemények* 15: 347-357.
- Meyer, P. (2000): Waldkundliche Dauerbeobachtung von Naturwaldkernflächen in den Niedersächsischen Landesforsten. Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Abteilung Waldwachstum.
- Meyer, P., Wevell Von Krüger A, Steffens R, Unkrig W. (2006): Naturwälder in Niedersachsen. Schutz und Forschung. Göttingen und Braunschweig, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt und Niedersächsische Landesforsten.
- Mihók, B., L. Gálhidy, K. Kenderes & T. Standovár (2007): Gap Regeneration Patterns in a Semi-natural Beech Forest Stand in Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 3:31-45.
- Milner, J. M., C. Bonenfant, A. Mysterud, J.-M. Gaillard, S. Csányi & N. C. Stenseth (2006): Temporal and spatial development of red deer harvesting in Europe: biological and cultural factors. *Journal of Applied Ecology* 43(4):721-734.
- Mokos B. (2003): A lombkorona-szerkezet változásának detektálása, elemzése és erdőtörténeti értelmezése légifelvétel-sorozat összehasonlító vizsgálatának módszerével. Diplomamunka (kézirat), NyME EMK, Sopron – ER Archívum (2003/D-008), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Molnár, Zs., J. Bölöni & F. Horváth (2008): Threatening factors encountered: Actual endangerment of the Hungarian (semi-)natural habitats. *Acta Botanica Hungarica* 50(Suppl.): 199-217.
- Oborny B., Kertész M. és Ódor P. (2007): Térbeli mintázatok. In Pásztor E. és Oborny B. (szerk.): Ökológia. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, pp. 262-275.
- Ódor P. (2005): Javaslat a fekvő holt fa szisztematikus mérésére az erdőrezervátumokban. Kézirat – ER Archívum (2005/D-028), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Ódor P., Bölöni J. és Standovár T. (2008): Az aljnövényzet vizsgálatának módszertani kidolgozása az erdőrezervátumokban folyó hosszú távú vizsgálatsorozat keretében. Kézirat – ER Archívum (2008/D-009), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Ódor P., Bölöni J. és Standovár T. (2009): Felvételezési protokoll az aljnövényzet mintavételére az erdőrezervátum hosszú távú vizsgálatsorozat (HTV) keretében. Kézirat – ER Archívum (2009/D-008), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Ódor, P. and van Hees, A.F.M. (2004): Preferences of dead wood inhabiting bryophytes to decay stage, log size and habitat types in Hungarian beech forests. *Journal of Bryology* 26:79-95.
- Ódor, P. & Standovár, T. (2003): Changes of Physical and Chemical Properties of Dead Wood during Decay: Hungary. Working Report 23. 29 p.

- Oliver, C. D. & B. C. Larson (1996): Forest stand dynamics. Wiley, New York.
- Oroszi S. és Bölöni J. (2002): Az erdőállomány történetére vonatkozó adatok felkutatása. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., Természet-BÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 99-108.
- Pacala, S. W., Ch. D. Canham, J. Saponara, J. A. Silander, R. K. Kobe & E. Ribbens (1996): Forest Models Defined by Field Measurements: Estimation, Error Analysis and Dynamics. *Ecological Monographs* 66:1–43.
- Parviainen, J. (1999): Strict Forest Reserves in Europe - efforts to enhance biodiversity and strengthen research related to natural forests in Europe. In: Parviainen, J., D. Little, M. Doyle, A. O'Sullivan, M. Kettunen & M. Korhonen (eds.): Research in forest reserves and natural forests in european countries. Country reports for the COST Action E4: Forest Reserves Research Networks. EFI Proceedings No. 16. pp. 7-34.
- Parviainen, J., K. Kassioumis, W. Bücking, E. Hochbichler, R. Päivinen & D. Little (2000) : Mission, Goals, Outputs, Linkages, Recommendations and Partners (Final report summary) In EUR 19550 – COST Action E4 – Forest reserves research network, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, pp. 9-38.
- Peres-Neto, P. R., D. A. Jackson & K. M. Somers (2005): How many principal components? stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. *Computational Statistics & Data Analysis* 49:974–997.
- Pickett S. T. A. & P. S. White (1985): The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press, San Diego, CA. 472 p.
- Plastria, F., S. Bruyne & E. Carrizosa (2008): Dimensionality reduction for classification. In ADMA '08: Proceedings of the 4th international conference on Advanced Data Mining and Applications, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 411-418.
- Podani J. (1997): Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeldtárás rejtelmeibe, avagy „Mit is kezdjünk azzal a rengeteg adattal?”. Scientia Kiadó, Budapest
- Prodan, M. (1968): Punkstichprobe für die Forsteinrichtung. *Forst. Holzwirtschaft.* 23:225-226.
- R Development Core Team (2009): R: A Language and Environment for Statistical Computing, Reference Index, Version 2.10.1., The R Development Core Team, ISBN 3-900051-07-0, 1694 p., Forrás: <http://www.r-project.org/>
- Reiczigel J., Harnos A. és Solymosi N. (2007): Biostatisztika nem statisztikusoknak. Pars Kft., Nagykovácsi, 455. p.
- Rentch, J. S., R. H. Fortney, S. L. Stephenson, H. S. Adams, W. N. Grafton, R. B. Coxe & H. H. Mills (2005): Vegetation Patterns within the Lower Bluestone River Gorge in Southern West Virginia. *Castanea* 70(3):184-203.
- Robertson, P. A. (1978): Comparisons of Techniques for Ordinating and Classifying Old-Growth Floodplain Forests in Southern Illinois. *Vegetatio* 37(1):43-51.
- Ronkay L., Peregovits L., Moskát Cs. (1993): Az erdőrezervátumok zoológiai felmérésének követelményei, módszerei és számítógépes adatbázis-struktúrája. Kézirat – ER Archívum (1993/D-007), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Rooney, T. P. (2008): High white-tailed deer densities benefit graminoids and contribute to biotic homogenization of forest ground-layer vegetation. *Plant Ecology* 202:103-111.
- Rousseeuw, P. J. (1987): Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *J. Comput. Appl. Math.* 20:53–65.
- Sára J. (2000): Ócsai turjános Erdőrezervátum (09) Hosszútávú Fenntartási Terve. Kézirat – ER Archívum (2000/D-007), MTA ÖBKI, Vácrátót

- Schadauer, K., T. Gschwantner & K. Gabler (2007): Austrian National Forest Inventory: Caught in the Past and Heading Toward the Future. In: 2005 Proceedings of the Seventh Annual Forest Inventory and Analysis Symposium, October 3-6, 2005; Portland (eds. McRoberts, R.E., G.A. Reams, P.C. Van Deusen & W.H. McWilliams). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, pp. 47-53.
- Schuck, A., P Meyer, N. Menke, M. Lier & M. Lindner (2004): Forest Biodiversity Indicator: Dead Wood – A Proposed Approach towards Operationalising the MCPFE Indicator. In: Marchetti M. (ed.): Monitoring and Indicators of Forest Biodiversity in Europe – From Ideas to Operationality. EFI Proceedings 51: 49-77.
- Siller I. & Maglóczy Zs. (2002): Mikológiai vizsgálatok. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 182-201.
- Solymos R. (szerk.) (1994): Erdőrezervátumok kijelölése és vizsgálata. Kutatási jelentés – ER Archívum (1994/D-001), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Solymosi N. (2005): R <- ... erre, erre ...! Bevezetés az R-nyelv és környezet használatába. <http://www.univet.hu/users/nsolymosi/>
- Somogyi Z. (1993): Az erdőrezervátumokban folytatandó kutatások néhány általános kérdése. *Erdészeti Lapok* 128(10):305-307.
- Somogyi Z. (1994a): Az erdőrezervátumokban folytatandó kutatások néhány általános kérdése. *Környezet és Fejlődés* 5(2):39-42.
- Somogyi Z. (1994b): Termőhely-ökológiai kutatások az erdőrezervátumokban. *Környezet és Fejlődés* 5(2):46-47.
- Somogyi Z. (1998): A bolygatás jelensége, szerepe az erdei ökoszisztémákban és erdőművelési jelentősége. *Erdészeti Kutatások* 88:165-194.
- Somogyi Z. (2002): Az erdőrezervátumokban folytatandó kutatások általános célkitűzései. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 83-87.
- Somogyi Z. (szerk.) (2003a): Erdő nélkül? L'Harmattan Kiadó, Budapest, p. 250.
- Somogyi Z. (2003b): Kellenek-e ősredők és erdőrezervátumok? In: Somogyi (2003a) Erdő nélkül? L'Harmattan Kiadó, Budapest, 227-229 old.
- Somogyi Z. és Halupa L. (1993): Az erdőrezervátumok célja, feladata, kijelölésük és vizsgálatuk fontosabb szempontjai. Kutatási (rész)jelentés, ERTI, Budapest – ER Archívum (1993/D-001), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Standovár T. & Hahn I. (2002): Faállomány-szerkezeti vizsgálatok. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 174-181.
- Standovár T. (1996): A társulások szerveződése és jellemzése. In Mátyás (szerk.): Erdészeti ökológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 63-64.
- Standovár T. (2002a): Európai együttműködés az erdőrezervátum-kutatásban: COST E4. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 17-26.
- Standovár T. (2002b): Kutatási stratégia. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 88-99.

- Standovár T. és Hahn I. (2002): Növényzetvizsgálatok. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 174-181.
- Standovár, T., & K. Kenderes (2003): A review on natural stand dynamics in beechwoods of East Central Europe. *Applied Ecology and Environmental Research* 1(1):19-46.
- Ståhl, G., Ringvall, A. and Fridman, J. (2001): Assessment of coarse woody debris – a methodological overview. *Ecological Bulletins* 49:57-70.
- Stuurman, F. & J. Clement (1993): The standardized monitoring programme for forest reserves in The Netherlands. In Broekmeyer M. E. A., W. Vos & H. Koop (eds) Proceedings of the Forest Reserves Workshop. PUDOC-DLO, Wageningen
- Szepesi, A. (1997): Forest Health Status in Hungary. *Environmental Pollution* 98(3):393-398.
- Szomorad F. (2000a): Nagy-oldal Erdőrezervátum (71) Hosszútávú Fenntartási Terve. Kézirat – ER Archívum (2000/D-004), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Szomorad F. (2001a): Az Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság illetékességi területén található erdőrezervátumok hosszútávú fenntartási tervei (Kelemér–Serényfalva és Haragistya–Lófej). Kézirat – ER Archívum (2001/D-002), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Szodfridt I. (1993) Erdészeti termőhelyismeret-tan. Mezőgazda Kiadó, Budapest., 317 p.
- Temesi G. (1993): Erdőrezervátumok kijelölése és fenntartása (a KTM Természetvédelmi Hivatalának kutatási programja). *Erdészeti Lapok* 128(5): 146.
- Temesi G. (2001): Az erdőrezervátumok fenntartásának általános irányelvei. *Erdészeti Lapok* 136(5):141-143.
- Temesi G., Mázsa K., Horváth F. (2002): Az erdőrezervátum-program jogi, szervezeti és infrastrukturális keretei. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 27-59.
- Tomppo, E., Th. Gschwantner, M. Lawrence & R. E. McRoberts (eds., 2010): National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting. Springer, 612 p.
- Tóthmérész B. (2001) A síkfőkúti erdő fapusztulási dinamikájának monitoringja. In: Borhidi és Botta-Dukát (szerk). *Ökológia az ezredfordulón I. Konceptió, hosszú távú kutatások. Magyarország az ezredfordulón – stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián.* pp. 211-212.
- Traser Gy. (2002): Zoológiai vizsgálatok. In Horváth F. és Borhidi A. (szerk.): A hazai erdőrezervátum-kutatás célja, stratégiája és módszerei. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának Tanulmánykötetei 8., TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 202-226.
- Vacik, H., M. M. Rahman, H. Ruprecht & G. Frank (2009): Dynamics and structural changes of an oak dominated Natural Forest Reserve in Austria. *Botanica Helvetica* 119(1): 23-29.
- Van Loy K., K. Vandekerckhove & D. Van Den Meersschaut (2003): Assessing and monitoring the status of biodiversity-related aspects in Flemish forests by use of the Flemish forest inventory data. In: Advances in forest inventory for sustainable forest management and biodiversity monitoring. Kluwer Forestry Series Book – hivatkozva: Schuck et al. 2004
- Van Wagner, C. E. (1982): Practical aspects of the line intersect method. Information Report PI-X-12. Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service, Chalk River, Ontario, Canada, p. 18.

- Varga Z. (1993): A biodiverzitás vizsgálata az ERTI által kutatott erdőrezervátumokban. Kutatási tervjavaslat, kézirat – ER Archívum (1993/D-003), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Venables, W. N., D. M. Smith & The R Development Core Team (2009): An introduction to R – A Programming Environment for Data Analysis and Graphics, Version 2.10.1., The R Development Core Team, ISBN 3-900051-12-7, 95. p., <http://www.r-project.org/>
- Veperdi G. (2008): Erdőbecsléstan. Oktatási segédanyag. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Matematikai és Ökonómiai Intézet, Erdőrendezéstani Tanszék, Sopron. 109. p.
- Vitális A. és Zakariás É. (2006): A Hidegvíz-völgy Erdőrezervátum faállomány-szerkezeti felvétele és vizsgálata. Diplomadolgozat, NyME EMK Erdőrendezéstani Tanszék – ER Archívum (2006/D-001), MTA ÖBKI, Vácrátót
- Vrška, T., D. Adam, L. Hort, T. Kolář & D. Janík (2009): European beech (*Fagus sylvatica* L.) and silver fir (*Abies alba* Mill.) rotation in the Carpathians – a developmental cycle or a linear trend induced by man? In: 2. Hessisches Naturwaldforum Buche, 28 - 29. April 2008 in Bad Wildungen, pp. 22-37.
- Warren, W.G. and P.F. Olsen, 1964. A line intersect technique for assessing logging waste. *For. Sci.* 10:267-276.
- Watt, A. S. (1947): Pattern and process in the plant community. *Journal of Ecology* 35:1-22.
- Willis, K. J., M. Braun, P. Sümegi, and A. Tóth. (1997): Does soil change cause vegetation change or vice versa? A temporal perspective from Hungary. *Ecology* 78:740–750.
- Zukrigl, K., G. Eckhart & J. Nather (1963): Standortkundliche und waldbauliche Untersuchungen in Urwaldresten der niederösterreichischen Kalkalpen. *Mitt. FBVA.* 62. Heft. Mariabrunn. 244 pp.