





Doktori (PhD) értekezés  
Soproni Egyetem  
Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola  
Erdővagyon-gazdálkodás (E3) Program

## **HOSSZÚTÁVÚ ERDŐÁLLOMÁNY PROGNÓZISOK**

Készítette:  
Kottek Péter

Témavezetők:  
Dr. Borovics Attila  
Dr. Gál János

Sopron  
2023



HOSSZÚTÁVÚ ERDŐÁLLOMÁNY PROGNÓZISOK  
Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta:

Kottek Péter

Készült a Soproni Egyetem  
Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola  
Erdővagyon-gazdálkodás (E3) programja keretében

Témavezető(k): Dr. Borovics Attila  
Dr. Gál János

Az értekezés témavezetőként elfogadásra javasolt: igen / nem

\_\_\_\_\_   
témavezető(k) aláírása

A komplex vizsga időpontja: 20 \_\_\_\_ év \_\_\_\_\_ hónap \_\_\_\_ nap

A komplex vizsga eredménye: \_\_\_\_\_ %

Az értekezés bírálóként elfogadásra javasolt (igen /nem)

1. bíráló: Dr. \_\_\_\_\_ igen / nem \_\_\_\_\_   
(aláírás)

2. bíráló: Dr. \_\_\_\_\_ igen / nem \_\_\_\_\_   
(aláírás)

Az értekezés nyilvános védésének eredménye: \_\_\_\_\_ %

Kelt Sopron, 20 \_\_\_\_ év \_\_\_\_\_ hónap \_\_\_\_ nap

\_\_\_\_\_   
a Bíráló Bizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_   
az EDHT elnöke



## NYILATKOZAT

Alulírott Kottek Péter jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a Hosszútávú erdőállomány prognózisok című PhD értekezésem önálló munkám, az értekezés készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény szabályait, valamint a Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Doktori Iskola által előírt, a doktori értekezés készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.<sup>1</sup>

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

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

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

Sopron, 20.....

.....  
doktorjelölt

---

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

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





## Tartalomjegyzék

KIVONAT .....	10
ABSTRACT .....	11
1 BEVEZETÉS .....	13
2 SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	19
2.1 A szervezett, hosszú lejáratú fatermési kutatás Magyarországon .....	19
2.1.1 A fatermési táblák jelentősége .....	19
2.1.2 Az ERTI hosszúlejratú tartamkísérletei.....	20
2.1.3 Az első generációs fatermési táblák .....	20
2.1.4 A második- és harmadik generációs fatermési táblák .....	21
2.1.5 A fatermési nomogramok.....	21
2.1.6 A fatermési táblák függvényesítése.....	23
2.1.7 Legújabb fatermési táblák .....	24
2.2 Fekete Zoltán cikkei.....	25
2.3 Magyar János erdőrendezési és faterméstani munkássága.....	25
2.4 Ajtay Viktor módszere .....	27
2.5 Király László prognózis-tárgyú munkássága .....	29
2.2.1 Király László kandidátusi értekezése (1978) .....	29
2.2.2 Fatermési táblák alkalmazása – kutatási zárójelentés (1988).....	34
2.2.3 OTKA 1875 zárójelentés 1986-1991 (1992).....	35
2.2.4 Az élőfakészlet-mérlegről az OTKA 1875 zárójelentésben.....	37
2.2.5 Erdeink jövőképe (1994).....	37
2.2.6 Új eljárások a hazai erdőrendezésben (1999).....	40
2.2.7 Király egyéb publikációi .....	40
2.6 Egyéb hazai források.....	41
2.7 A normál erdő fogalma a nemzetközi faterméstani szakirodalomban .....	43
2.8 Az erdőmodellek rendszerezése Marek Fabrika szerint.....	44
2.8.1 A modellek koncepciója, működésének alapelvei .....	44
2.8.2 A modell objektuma, alapegysége .....	45
2.8.3 A modell térbeli szerveződése, térszerkezete.....	46
2.8.4 A modell időléptéke .....	46
2.8.5 Modell típusok .....	46
2.8.6 Trendek az erdőmodellezés nemzetközi szcénájában .....	51
2.9 Az erdők szénkészlet-változásának modellezése .....	51
2.9.1 A CASMOFOR modell.....	54
3 ADAT ÉS MÓDSZER .....	57

3.1 Az Országos Erdőállomány Adattár.....	57
3.2 A DAS modell általános leírása és építőkövei .....	59
3.3 Az erdőtelepítési prognózis BAU scenáriójának bemutatása .....	62
3.4 A fahasználati rezsimevezetésének elméleti háttere .....	65
3.4.1 A terület-alapú görgetés .....	65
3.4.2 A BAU scenárió definíciója.....	66
3.4.3 Az összes véghasználati hozami terület, mint vezérlő adat.....	67
3.4.4 A véghasználatok igazgatási adatkezelésből kiinduló definíciója.....	68
3.4.5 Az összes hozami terület predikciója (BAU) .....	68
3.4.6 A hozami terület felbontása erdőrészekre .....	71
3.4.7 A rezsimeértelmezése.....	74
3.4.8 Haváriák és korai véghasználatok .....	75
3.4.9 Erdőtervi és tapasztalati vágáskorok .....	80
3.4.10 Előhasználatok.....	80
3.5 A DAS modell főbb moduljai .....	83
3.5.2 Poolok.....	83
3.5.3 A poolok korrekciója.....	85
3.6 Vezérlő adatok.....	86
3.6.1 A véghasználati mátrix levezetése.....	86
3.6.2 A felújítási mátrix levezetése .....	87
3.7 Az üresvágások benépesítése .....	89
3.8 Loader.....	89
3.9 Roller .....	93
3.10 Ágenda .....	97
3.10.1 Összes hozami terület.....	98
3.10.2 FNAWS.....	99
3.10.3 FAWS.....	99
3.11 Statisztikák .....	101
4 EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK .....	103
4.1 A BAU scenárió szerinti középtávú előremetszés (2016-2050) értékelése.....	103
4.1.1 Erdőterület.....	103
4.1.2 Élőfakészlet .....	104
4.1.3 Növekmény .....	105
4.1.4 Folyónövedék .....	106
4.1.5 Véghasználati hozami terület .....	107
4.1.6 Véghasználati fatérfogat.....	108
4.1.7 Üres terület .....	109

4.1.8 Nettó CO <sub>2</sub> -megkötések és kibocsátások a biomasszában.....	110
4.1.9 Átlagos kor.....	111
4.2 Országos erdőállomány-prognózis BAU scenárió összehasonlítás a referencia-időszakkal (2006-2015).....	112
4.2.1 Fakészlet (sum_ufakr).....	112
4.2.2 Növekmény (novekmény).....	112
4.2.3 Növedék (sum_ufnov).....	113
4.2.4 Véghasználati hozami terület (sum_vh_ha).....	113
4.2.5 Véghasználati fatérfogat (sum_vh_m3).....	113
5 ESETTANULMÁNY – ERDŐÁLLOMÁNY PROGNÓZIS A SZOMBATHELYI ERDÉSZETI ZRT. TERÜLETÉRE.....	114
5.1 A scenáriók specifikációja.....	114
5.2 Eredmények.....	116
6 ÖSSZEFOGLALÁS.....	122
6.1 Tézisek.....	122
6.2 A modell legfontosabb tulajdonságai és lehetőségei.....	124
6.3 A modell gyakorlati felhasználása.....	125
6.4 A modell tervezett fejlesztései.....	125
6 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	129
7 HIVATKOZÁSOK.....	132
7 ÁBRA- ÉS TÁBLÁZATJEGYZÉK.....	141
8 MELLÉKLETEK JEGYZÉKE.....	142

## KIVONAT

### Cím: **Hosszú távú erdőállomány prognózisok**

Az erdőállomány-prognózis, illetve a hozamszabályozás egészen az 1990-es évek közepéig a magyar erdészeti tudományok meghatározó témája volt. Király László professzor iskolateremtő tézisei nemzetközi szinten is elismerést arattak. Az erdőállomány-prognózisok tovább gondolását a gazdálkodás fenntarthatóságának kérdése és az erdőkre nehezedő terhek összetett mivolta tette újra aktuálissá: a gazdasági eredményesség és a természetvédelem sokszor egymásnak ellentmondó céljait, az erdőállomány fahozamának konkurens felhasználási lehetőségeit (pl. faipari alapanyagként és megújuló energiaforrásként, vagy ki nem termelve széntárolóként) csak tudatos és megfontolt tervezéssel és előrelátással lehet egyensúlyban tartani. A problémahalmazt napjainkban tovább tetézi a klímaváltozás folyamata, mely hazánkban az erdőkre nézve egyre kedvezőtlenebb termőhelyi körülményeket teremt; a földhasználati arányokat eltoló, emelkedő élelmiszer árak és sok egyéb tényező.

A kutatás célja olyan módszerek kidolgozása és segítségével olyan modell megalkotása volt, mely az Országos Erdőállomány Adattár adott időponthoz tartozó állapot-adatai alapján alkalmas az erdőállomány jövőbeli állapotainak és folyamatainak előrevetítésére különböző scenáriók szerinti paraméter-együttesek segítségével. A modell alkalmazásának célja az erdőállomány lehetséges és valószínű jövőbeli fejlődési pályáinak felvázolása, különös tekintettel az erdőgazdálkodás szemléletének változásaira és a termőhelyi körülmények nagy léptékű megváltozására (klímaváltozás).

A kutatás során létrehoztam a DAS modellt (Distributions Applied on Stands model), mely egy erdőrészlet alapú erdőállomány prognózis modell. A modell alkalmas az élőfakészlet, a növedék, a kitermelt elő- és véghasználati fatérfogat és a szénmegkötés előrejelzésére erdőrészlet szinten, valamint regionális és országos szinten is. A modell az Országos Erdőállomány Adattár adatait használja. Alkalmas térben explicit input-paraméterek fogadására (pl. klímaváltozási előrejelzések) és az eredmények térképi megjelenítésre is, így azok térinformatikai szoftverekkel feldolgozhatók. A modell országos léptékben is működtethető, képes kb. 600 ezer erdőrészlet és 1,2 millió fafajisor adatait kezelni. A szabályzó paramétersorok a referencia-időszak ténylegesen tapasztalt folyamatain alapulnak: a modellben valós vágáskor-eloszlások és valós felújítási viszonyok működnek.

## **ABSTRACT**

**Title: Long-term forest prognosis models**

Until the mid-1990s, forest growth modelling was a dominant topic in the Hungarian forest sciences. Professor László Király applied the concept of normal forest to beech stands in Hungary and developed a mathematical description of normal forest. His school-creating theses have gained international recognition. Forest growth modelling and carbon cycle modelling has become even more relevant as the complexity of the burden on forests and the growing need for sustainable forest management arose. The contradictory goals of economic efficiency and nature conservation, the competitive uses of the wood yield (e.g., as raw material for wood products, as source of renewable energy, or as carbon storage in the standing volume) can only be balanced with conscious and considered planning and foresight. The set of problems is further exacerbated by the process of climate change, which is creating increasingly unfavourable production conditions for forests in Hungary; and the increasing food prices and many other factors lead to changing land-use patterns. The aim of my research was to create a model which is able to forecast under different scenarios the future state and processes of the forest, based on the descriptive data of the National Forest Database. The purpose of the application of the model is to outline the possible and likely future development trajectories of the forest, with special regard to the changes in the forest management approach and the large-scale changes in the growing conditions (driven by the ongoing climate change).

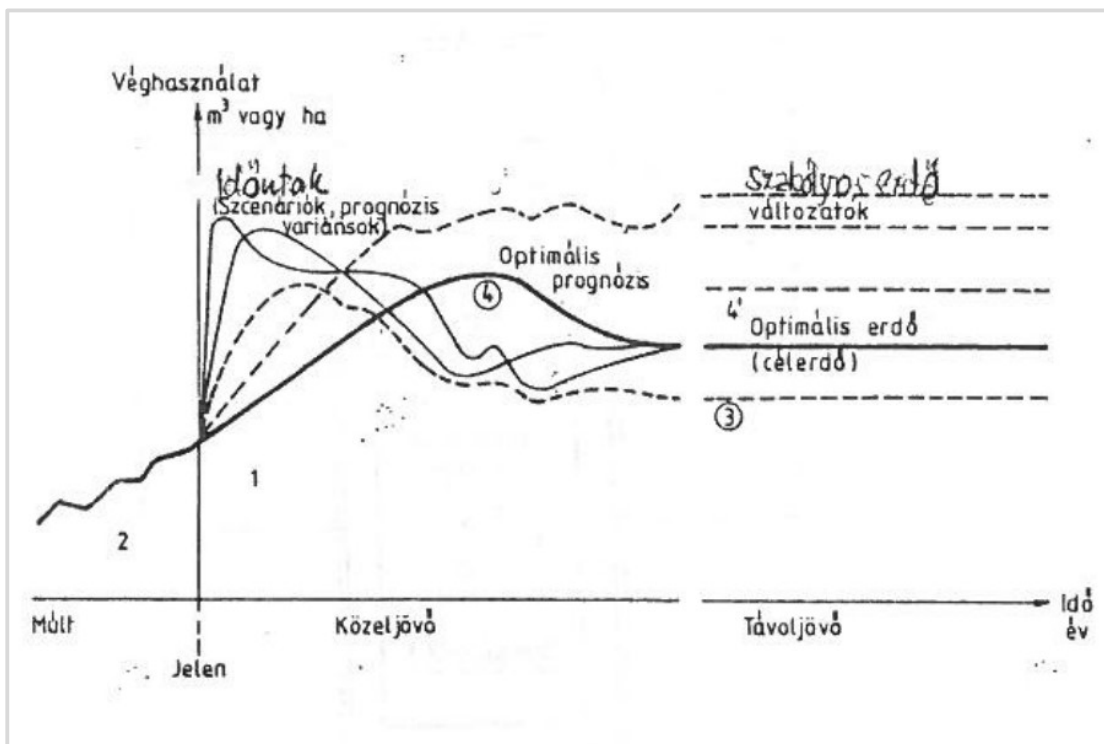
I developed the DAS forest model (Distributions Applied on Stands model) which is a forest stand based model suitable for the projection of standing volume, increment, harvest, and carbon sequestration on the stand level as well as regional or country level. The modelling unit of the DAS model is the forest subcompartment. The DAS model uses the data of the National Forestry Database (NFD) including geospatial data. The model is suitable for the further processing of spatially explicit input parameters such as climate change forecasts. The output of the model is also georeferenced and can be further processed using GIS software. The model handles the data of approximately 600,000 forest subcompartments. The tree species row is the sub-unit of the model. Data on tree species, origin, age, growing stock, increment etc. of each subcompartment is stored in tree species rows. The model simultaneously processes the data of 1.2 million tree species

rows and describes their development in time. The parameters used by the model are based on the actual processes of the reference period. The model uses empiric cutting age distributions and a regeneration matrix derived from historic NFD data.

## 1 BEVEZETÉS

A magyar erdőrendezési hagyományból autentikusan következnek bizonyos lehetőségek, megoldások és fejlődési vonalak az erdőállomány-prognózis készítés szakterületén. A magyar fatermésstan íve a fatömegtábláktól a fatermési táblák generációin át a modern távérzékelésre alapuló erdőbecslési módszerekig igen impozáns és koherens építmény. A hazai Országos Erdőállomány Adattár területi teljeskörűsége törekvő koncepciója, területi felbontása, a termőhelyi viszonyok és faterméstani folyamatok leírásának részletessége ritkaságszámba megy, a nemzetközi gyakorlatban domináns szisztematikus erdőleltárak képest egészen eltérő, ebből következően a rá építhető prognózisok módszerei, illetve előnyei és hátrányai is mások. Szerettem volna olyan prognózis-készítési módszerekkel foglalkozni, melyek kihasználják e lehetőségeket, és próbáltam lelkiismeretesen megmutatni és nevesíteni, hogy a magyar szakmai hagyomány mely elemei milyen hatással voltak az eredményül megszülető módszerekre és modellre, milyen elemekből építettem, hogyan vettem át és hogyan módosítottam azokat. A dolgozat ezt az ívet próbálja bejárni, és hangsúlyai elsősorban a hazai előzményeken vannak.

Az erdőállomány modellezése és jövőbeli állapotainak prognosztizálása – talán megengedhetem magamnak a kijelentést – az erdőrendezési szakterület csúcsa. Összefoglaló és szintetizáló eszköze mindannak, amit a tudomány, a gazdálkodó szervezetek és az igazgatás gondol és tenni szokott vagy szándékozik tenni az erdővel, illetve amit a természet megenged: nagyon sok szereplős, rendkívül összetett folyamatok játszódnak le, az esély a modell előrejelzéseinek félrecsúszására meglehetősen. A modellkészítő előtt tehát általában nem az a cél lebeg, hogy az erdőállomány állapotait pontosan előre vetítse, hanem hogy modelljével megmutassa a lehetséges fejlődési pályákat és nagy vonalakban demonstrálja az egyes fejlődési irányok, intézkedések, erdőkezelési trendek következményeit és hatását, azaz körberajzolja a jövőállapotok lehetséges terét (1. ábra).



1. ábra. Az erdőállomány lehetséges időútjai (Király 1944).

A magyar erdészeti szakirodalom viszonylag gazdag prognózis-modellekben: egyszerűbb és összetettebb, csak a hozamokra koncentráló és komplex, az erdőállomány fafaj- és korosztály- szerkezetét leíró modellekre is van példa. Ezek az erdőállományt mind valamilyen aggregált szinten modellezik, általában korosztálytáblából (fafajcsoport- és korosztály-bontásban) kiindulva, előnyre váltva az egyszerű adatszerkezetet, azaz viszonylag könnyen paraméterezhető, rövid futásidejű, gyors kérdésekre gyors válaszokat adó módszerek jöttek létre, és a modellek alap-logikája (ti., hogy a korosztályokat korosbítsuk, termeljük le, majd újítsuk fel a modellben) – alig változott az egyes interpretációkban. A szabályozó paraméterek általában hipotetikusak („mi lenne, ha?”) vagy valamilyen normát képviselnek (erdőnevelési modell táblák, erdőtervi vágásérettségi korok). Ezek a módszerek léteznek, már megalkották őket és jól betöltik a funkciójukat; üzleti vagy tudományos projekt-környezetben, államközi szerződésekből felmerülő feladatok esetén, határozott célok és szorító határidők közt jól szolgálják a kutatás, az erdőgazdálkodók vagy az ágazatpolitika igényeit.

Nagyon leegyszerűsítve egy erdőállomány-prognózis készítésekor koncepcionális szinten a következő döntéseket kell meghozni:



1. meg kell választani a modell adatszerkezetének alapobjektumát, szervezési egységét, annak térbeli felbontását, összefüggésben a folyamatok térléptékével és a modellfutás ciklusának időléptékével;
2. meg kell választani a projekció módszerét, a jövőbeli időállapotok előállításának mikéntjét (a növekedés és a pusztulás dinamikáját, e kettő természetes bolygatásokból, a termőhely változásából adódó és antropogén okait, a faterméstani módszereket);
3. meg kell alkotni a szabályozás logikáját, azaz, hogy mikor, mi alapján és mely állományokat érintenek a fakitermelések, mi az erdőnevelés rendje és mi szabályozza az erdősítéseket.

Előttem a következő lehetőségek nyíltak:

1. A magyar erdész szakemberek óriási elméleti és gyakorlati tárgyismerettel rendelkeznek arról, hogy az erdőben, az erdőgazdálkodásban milyen folyamatok zajlanak, mi miért és hogyan történik, hogy az egyes erdőrészek sorsa hová vezethet. Ez a tudás létezik, hozzáférhető és felhasználható, s főleg kisebb léptékű vizsgálatokban (pl. regionális vagy egyetlen gazdálkodóhoz tartozó erdőállomány modellje esetén) becsatornázható a munkába, és amennyiben lehetséges, érdemes használni. A részletesség és a kidolgozottság lehetséges opció. De minél egyszerűbb és aggregáltabb egy modell adatszerkezete, annál kevesebb jelenséget lehet általa megragadni. Modellemben tehát e tárgyismeret befogadásának céljából a legrészletesebb térbeli felbontás mellett döntöttem, ami még adatokkal támogatható, s ez jelenleg az erdőrészlet szintje.
2. A korábbi erdőállomány-modellek alkalmazásának voltak technikai korlátai, ami az aggregált (korosztálytábla-alapú) megoldások felé vezettek: a korabeli számítástechnika eszközök kapacitása. Számomra már megadatott, hogy nem gond több százezer erdőrészletet külön-külön növedékesíteni.
3. A korosztálytáblán alapuló modelleket nagyon nehéz georeferálni, az eredményeknek térbeli felbontást adni. A korosztálytábla országos vagy regionális léptékben írja le az erdőt, de a lokális szinten egy korosztálytábla-alapú modell szinte használhatatlan, s ami még rosszabb, nem is paraméterezhető. Pedig az erdők fejlődését befolyásoló külső hatások ma már elsősorban téradatok formájában modellezhetők: pl. a klímaváltozásról megtanultuk, hogy a termőhelyi

körülmények egészen kis léptékű variabilitása is számít a faállományok fennmaradásában. Lehetséges és valószínű, hogy ezeket sorsdöntő mikroklimatikus viszonyokat nem fogjuk tudni paraméterezni a közeljövőben, de a lehetőséget érdemes megteremteni rá.

4. A korábbi magyar erdőállomány-modellekből fájón hiányoznak a valós gyakorlatokon, tény-számokon alapuló szabályozó paraméter-sorok. Az Országos Erdőállomány Adattárból (OEA) elvileg előállíthatók azok az erdőállomány szerkezetére vonatkozó statisztikák, melyek segítségével vizsgálható az erdőállomány változásának mikéntje: a vágáskorok tényszerű alakulása, a felújítások gyakorlata, az erdőnevelési beavatkozások hatása. Ezekből a statisztikákból valós adatokon nyugvó szabályozó paraméterek vezethetők le. Az OEA korábbi technikai megvalósítása nem volt alkalmas e paramétersorok kellő pontosságú becslésére, de a 2006 óta működő ESZIR igen, mert kollégáimmal beépítettük azokat a megoldásokat, amik a historikus adatok visszakereshetőségét és összevezethetőségét lehetővé tették.
5. Meglátásom szerint minden jogos és nemtelen kritika mellett a hazai erdőállomány valóságára vonatkozó tudásunk elsősorban az Adattárból származik. Tény, hogy az országos erdőállományra vonatkozó, a széles szakmai konszenzusnak megfelelő statisztikák, hazai és nemzetközi adatszolgáltatások döntően még mindig az Adattárra épülnek. A prognózis következtetései és a historikus adatok koherenciája, illetve a validálhatóság okán a modell eredményeinek összevethetőnek kell lennie az OEA idősoros adataival, ezért a modellben az Adattárhoz minél közelebbi faterméstani megoldásokra van szükség. Az Adattárban alapvetően fatermési táblákon alapuló fakészlet-számítási és növedékesítési módszerek dolgoznak (a nem fatermési táblás felvételek eredményeit is fatermési táblák alapján egészítjük ki és növedékesítjük). A fatermési táblák kellő rugalmasságot biztosítanak a klímaváltozás hatására várhatóan megváltozó növekedési viszonyok leírására. A modell alatt lehetséges a fatermési táblák lecserélése, ha szükséges, ahogy az Adattár fatermési táblái is lecserélhetők. A vágásos üzemmód esetében tehát a fatermési táblák jó megoldást nyújtanak a faterméstani változók számítására.
6. Az Adattárban használt, az erdőrészlet homogenitását tételező, egyfafajos táblákon túlmutató faállomány-szerkezeti konstrukciók praktikusán nem

alkalmazhatók az erdőrészek összességére. Az egyes állományok fejlődését célzottan leíró fatermési modellekből csak gyertyános-kocsánytalan tölgyesekre készült hazai modell (Béky et al, 1996). Az örökzöld üzem mód leírását adekvát módon megoldó egyesfa-modellek jelenleg elérhetetlenek, nincs beépíthető, hazai viszonyokra kidolgozott és kalibrált megoldásunk, és egy létező modell adaptációja sem várható a közeljövőben. A kifejezetten szálaló gazdálkodás az erdőállománynak még mindig csak egy-két százalékán gyakorlat, s bár a nem-vágásos gazdálkodás elterjedését várjuk, nem okoz jelentősebb hibát, ha a modellből a nem-vágásos gazdálkodás részletesen kidolgozott mechanizmusai egyelőre hiányoznak. Illetve, ha sikerül igazolni, hogy a fatermési táblák érvényesek és leskálázhatók a facsoport (patch, gap) vagy akár az egyesfa szintjére, korlátozott funkcionalitással a fatermési táblák is alkalmasak lehetnek az örökzöld fatermésének jellemzésére.

Ezekből a megfontolásokból született meg erdőállomány-prognózis modellem. Arra a kérdésre, hogy miért pont ilyen modellt dolgoztam ki és miért döntöttem a később részletezett megoldások mellett, a fenti indoklást tudom adni.

A kutatás célja tehát olyan módszerek és eljárások kidolgozása, amelyek segítségével előállítható az erdőállomány múltbéli tény véghasználati- és felújítási rezsimek modellje, ezek klimatikus, legiszlációs és egyéb okokra visszavezethető modifikációi, a különböző feltételezett jövőbeli fejlődési pályáikhoz tartozó stratégiák és az ezekhez tartozó scenáriók.

A kutatás célja továbbá egy olyan modell megalkotása volt, amely az Országos Erdőállomány Adattár adott időponthoz tartozó állapot-adatai alapján alkalmas az erdőállomány jövőbeli állapotainak és folyamatainak előrevetítésére különböző scenáriókhoz tartozó paraméter-együttesek segítségével. A modell alkalmazásának célja az erdőállomány lehetséges és valószínű jövőbeli fejlődési pályáinak felvázolása, különös tekintettel az erdőgazdálkodás szemléletének változásaira és a termőhelyi körülmények nagy léptékű megváltozására (klímaváltozás). Kiemelt fontosságú az erdőállomány szabályozó folyamatainak realisztikus megközelítése, a felújítási és véghasználati viszonyok valós és az ismert tényeknek megfelelő leírása (BAU – Business as Usual scenárió), valamint az, hogy a modell eredményei legyenek validálhatóak az Országos

Erdőállomány Adattár múltbéli adatai alapján: a modell helytálló volta (eljárásainak és paramétereinek jósága) vizsgálható legyen.

## 2 SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Modellező munkámmal párhuzamosan részletes szakirodalmi áttekintést végeztem, feldolgoztam a hazai erdőrendezés nagyformátumú alakjainak, Fekete Zoltán-, Magyar János- és Király László professzoroknak a munkásságát; különös tekintettel az utóbbira, hiszen erdőállomány prognózisokkal legnagyobb terjedelemben ő foglalkozott és modellem koncepcióit meghatározóan innen vezettem le. Király professzor munkásságának, illetve a kapcsolódó hazai és nemzetközi szakirodalomnak elemző, kritikai áttekintése képezte a munkám elméleti háttérét. A szakirodalomban fellelt legfontosabb megállapításokat a hozzájuk fűzött megjegyzésekkel, és a prognózis modellem elkészítésére vonatkozó fontos következtetések kiemelésével együtt az alábbiakban mutatom be.

### 2.1 A szervezett, hosszú lejáratú fatermési kutatás Magyarországon

#### 2.1.1 A fatermési táblák jelentősége

A fatermési táblák a (vágásos üzemű erdőkre jellemző) faállományok növekedésének és fatermési adatainak legáltalánosabb és legszéleskörűbben alkalmazható modelljét adják mind a mai napig. Az erdészeti igazgatási adatkezelés és valószínűleg a nagygazdálkodói állomány-nyilvántartás sem képzelhető el fatermési táblák nélkül. A legfőbb ok, hogy az erdőállomány egészét leírni hivatott Országos Erdőállomány Adattárban az előforduló összes hazai faállományra elfogadható pontosságú fatermési modellt kell adni, és mert a növedékesítés sem képzelhető el a kor-magasság növekedésmentek és a korhoz rendelt folyónövedék, fakészlet stb. adatok nélkül – s mindezt a fatermési táblákban találjuk. Nem csak arról van szó, hogy a fatermési táblás erdőbecslési módszer olcsó és könnyen elvégezhető, hanem elsősorban arról, hogy az erdőtervek és általában a faállomány-leírás teljes adatigényét egyelőre csak fatermési táblák segítségével lehet kielégíteni.

A távérzékelési módszerek sem fogják rövidtávon felváltani a fatermési táblákat, mert egyelőre nem ismeretesek olyan távérzékelési módszerek, melyek megfizethető áron, tetszőleges vonatkozási időpontra nézve, az előforduló faállományok teljes kor- fafaj- és termőhelyi spektrumáról tudnának dendometriai adatokat szolgáltatni – sőt, saját fejlesztési tapasztalataimból kiindulva a távérzékelési módszerek a fejlesztés jelen állapotában maguk is erőteljesen támaszkodnak a fatermési táblákra (pl. a kor meghatározásában, paraméter-kalibrációknál, ellenőrzéseknél).

Az erdőnevelési modelltablák pedig az erdőkezelés-erdőművelés normáit fogalmazzák meg a gazdálkodói gyakorlat számára (gyerítések szakszerű és ajánlott visszatérési ideje, erélye), mely funkció más módon szintén nehezen kiváltható, és az igazgatási gyakorlat az ilyen szakkérdésekben az erdőnevelési modelltablákat referenciaként használja.

### **2.1.2 Az ERTI hosszúlejaratú tartamkísérletei**

Az Erdészeti Tudományos Intézet erdőművelési és fatermési osztálya 1961-ben alakult újjá dr. Solymos Rezső vezetésével. 1962-ben kezdték meg a szervezett, hosszú időtartamú erdőnevelési és fatermési kutatásokat, amikor megtörtént az első kísérleti parcella kijelölése Szentendrén, a Lajos-forrásnál (Birck és mtsai 1962, Bondor 1988). A tartamkísérletek és a belőlük származó eredmények a magyar erdészeti kutatás egyik legnagyobb és legjelentősebb vállalkozása volt, évtizedekben mérhető és a mai napig tartó hatása volt a hazai erdőgazdálkodásra. A kutatási program indulásakor a kutatógárda a következő kutatókból és munkatársaikból állt: Birck Oszkár, Bogay János, Márkus László, Sopp László, Szodfridt István, Tallós Pál, s később csatlakoztak: Béky Albert, Bondor Antal, Magyar Pál, Kovács Ferenc, Mendlik Géza, Hajdú Gábor, Halupa Lajos, Rédei Károly, Somogyi Zoltán és Veperdi Gábor. (Veperdi 2012).

A kutatás céljait a következőkben határozták meg (Birck és mtsai 1962):

- A nevelővágások erélyének, időpontjának, illetve az optimális visszatérési időnek a megállapítása.
- A nevelővágások hozamra gyakorolt hatásainak megállapítása.
- A záródás, sűrűség és elegyarány vizsgálata.
- Alakszám, körlap, magasság, fatermés vizsgálata.
- Fatérfogat- és fatermési tablák szerkesztése.

### **2.1.3 Az első generációs fatermési tablák**

A fatermési kutatások első eredményei az erdeifenyő (Solymos R. 1965), a bükk (Birck O. és Mendlik G. 1968) és a vöröstölgy (Birck O. 1962) fatermési tablák megszületése volt (Bondor 1988). Az 1970-es évek elejére minden fontos hazai fafaj fatermési táblája elkészült, az elkészült tablák és szerzőik a következők voltak: Adorján J. (1974) mézgáséger, Bondor A. (1967) szelídgesztenye, Béky A. (1969) gyertyán, Hajdú G. (1978) cser, Kiss R. (1970) kocsányos tölgy, Palotás F. (1969.) fűz, Solymos R. (1971)

erdeifenyő, Sólymos R. (1972) feketefenyő, Szodfridt I. (1969) óriásnyár, Szodfridt I. és Palotás F. (1971) fehér- és szürkenyár.

#### **2.1.4 A második- és harmadik generációs fatermési táblák**

Az első generációs fatermési táblák elkészülte után megtörtént a hosszú lejáratú tartamkísérleti parcellák újrafelvételezése. „A hosszúlejáratú erdőnevelési és fatermési kísérleti területek újrafelvételét követően a növedékadatok, az egyes fafajok növekedésmenetének pontosabb ismerete alapján” (Bondor 1988) szerkesztették a második- és harmadik generációs fatermési táblákat. Az elkészült táblák és szerzőik a következők voltak: Mendlik G. (1983) bükk, Béky A. (1981 és 1983) gyertyán, kocsánytalan tölgy, Kiss R., Juhász Gy. és Somogyi Z. (1986) kocsányos tölgy, Rédei K. (1984) akác, Kovács F. (1983) cser, Kovács F. (1981 és 1986) kőris, Kovács F. (1984) feketefenyő, Halupa L. és Kiss R. (1978) és Halupa L. (1982) a nemes nyár, Rumszauer J. (1985) nyír, Bondor A. (1984) szelídgesztenye, Tuskó László (1974) vörösfenyő.

A fatermési táblák második és harmadik generációi már számítógéppel készültek, az állományszerkezeti vizsgálatok eredményeinek figyelembevételével.

Rédei és Gál (1984) a korban nagyon előremutató módon elkészítették a vadonat új akác fatermési tábla nomogramjait már évekkel a többi fafajra vonatkozó táblákhoz tartozó nomogrammok elkészítése előtt.

#### **2.1.5 A fatermési nomogramok**

Hazánkban Fekete Zoltán készített elsőként fatermési nomogramot 1945-ben tölgy fafajra, de a magyar szakirodalomból és erdészeti gyakorlatból ma ismert grafikus fatermési táblákat (azaz nomogramokat) Király László alkotta meg (Király 1964) és több lépcsőben fejlesztette. Király a numerikus fatermési táblák használatából eredő esetleges hibák kiküszöbölésére érdekében alkalmazta a külföldön használatos grafikus fatermési táblákat. Nomogramjainak szerkezete azonban eltért a külföldi formától, annál könnyebben leolvasható, áttekinthetőbb táblákat szerkesztett (Peszlen 2011). A grafikus fatermési táblákat a valamennyi numerikus fatermési táblára elkészítette (Király 1964). A fatermési osztályokat egyes esetekben összevonta, így egységesen hat fatermési osztályt alakítva ki minden fafajra. A régi termőhelyi osztálytól való megkülönböztethetőség érdekében mindenütt egységesen bevezette a fatermési osztály

kifejezést. A folyónövedéket pedig – igazodva az erdőtervezés gyakorlati elvárásaihoz – a leolvasási kort követő 10 évre adta meg, és a fatömeg első deriváltjaként definiálta.

A legelső nomogramok főleg Greinertől átdolgozva készültek el (bükk, éger, gyertyán, nyír, erdeifenyő, jegenyefenyő, lucfenyő, vörösfenyő), illetve Fekete Zoltántól (akác) és Magyar Jánostól (nyár) (Peszlen 2011).

Király 1966-ra továbbfejlesztette nomogramjait, az új nomogramok bár megjelenésükben különböztek a jelenleg használt nomogramoktól, használatukban megegyeztek (Peszlen 2011).

Az erdészeti igazgatásban ma is használt fatermési rendszer alapjául szolgáló, és prognózis-modellem fatermési rendszerének alapját adó nomogram-sorozat 1971-72-re datálódik (ezek a dátumok szerepelnek az íveken), bár formális publikációban nem jelentek meg. Király és munkatársai ez esetben sem saját alapadatokkal dolgoztak, hanem a szakminisztérium segítségével az ERTI kutatóitól kérték meg a tartamkísérletek eredményeit, majd grafikus formába alakították át azokat. Az átalakítást Király a „X.Y-től átdolgozva” sőt „ideiglenesen átdolgozva” formában jelölte, ami sajnos nem jelzi kellő hangsúllyal az adatfelvételekbe, a parcellák gondozásába, az adatok feldolgozásába fektetett, gyakran évtizedeket átölelő kutatói munkát.

Az 1971-72-es, általában első generációsnek nevezett nomogramok:

1. Akác sarjerdő Dr. Sopp L.-től átdolgozva (1971)
2. Akác szálerdő Dr. Sopp L.-től átdolgozva (1971)
3. Bükk Dr. Birck - Mendliktől átdolgozva (1971)
4. Cser sarjerdő Dr. Sopp L.-től átdolgozva (1971)
5. Cser szálerdő Dr. Sopp L.-től átdolgozva (1971)
6. Éger Dr. Adorján J.-től átdolgozva (1971)
7. Erdeifenyő Dr. Solymos R.-től átdolgozva (1971)
8. Fehérnyár Dr. Szodfridt I.-től átdolgozva (1971)
9. Feketefenyő Dr. Solymos R.-től átdolgozva (1971)
10. Fűz Palotástól átdolgozva (1971)
11. Gyertyán Béky A.-től átdolgozva (1971)
12. Kocsányostölgy Dr. Kiss R.-től átdolgozva (1971)
13. Nyár Dr. Magyar Jánostól ideiglenesen átdolgozva (1971)



14. Nyír Greinertől átdolgozva (1971)
15. Óriásnyár Dr. Szodfridt I.-tól átdolgozva (1971)
16. Vörösfenyő Greiner-től átdolgozva (1971)
17. Kocsánytalantölgy sarjerdő Dr. Sopp L.-tól átdolgozva (1972)
18. Kocsánytalantölgy szálerdő Dr. Sopp L.-tól átdolgozva (1972)
19. Lucfenyő Dr. Solymos R.-tól átdolgozva (1972)
20. Vöröstölgy Birck O. - Sopp L.-tól átdolgozva (1972)

### **2.1.6 A fatermési táblák függvényesítése**

A fatermési táblák függvényesítését elsősorban számítástechnikai előnyeik indokolják: a numerikus formákkal szemben általában gyorsabbak, kisebb memória-igényűek és fokozatmentesen alkalmazhatók a bemeneti paraméterek (kor, magasság) értelmezési tartományán; másodsorban a függvények merevsége miatt képesek a numerikus táblák kisebb anomáliáit is kiegyenlíteni. Gál J. (1977, 1978, 1980, 1986, 1988) adott teljeskörű megoldást a hazai fatermési táblák függvényesítésére, az első generációs fatermési táblák függvényesítése az ő nevéhez fűződik.

A fatermési táblák függvényesítéséhez a Backmann-függvényalakot használta. A függvényesítés algoritmusai az 1977-es kezdeti stádiumtól az 1988-as legutolsó verzióig folyamatosan fejlődtek. A függvények a végső, leginkább kidolgozott formájukban már harmadfokú tagokat is tartalmaznak, illetve a dendrometriai mérce jellemzésére egy egyszerű rang helyett (ami a fatermési osztály száma  $FTO = 1-6$ ) egy valódi metrikus és folytonos változót használt: az angolszász szakirodalomból ismerős siteindex-et (SI, megegyezés szerinti korban elért állomány-átlagmagasság). A harmadfokú tagok érzékenyebbé tették a regressziót, ami az előnye, de egyben hátránya is, mert így hajlamosabbak a függvények az instabilitásra, főleg az értelmezési tartomány szélein.

Kis módszertani kitérővel szeretném ismertetni a Gál-féle függvényesített fatermési táblák felhasználásának érdekében végzett fejlesztéseimet.

A Gál-féle 1988-as megoldás szerint a modellezett 20 fatermési táblához egyenként 40-40 darab paraméter tartozik. Munkatársaimmal rögzítettük e paramétereket, hárman, egymástól függetlenül, összevetettük az eredményeket és így egy elég megbízható paramétertáblát kaptunk. Ezután számítógépes programmá írtam át az egész függvényrendszert. A program lehetővé teszi, hogy magasság, fatermőképesség vagy SI bemenő paraméterekkel bármilyen más változót (fakészlet, növedék, körlap) számítani

lehet, köztük a magasságot adott kor és fatermőképesség esetén. A Gál-féle függvényrendszer magja a fatermőképesség és az SI közti transzformáció. Eleinte a SI-fatermőképesség egyenlet megoldására numerikus közelítéseket használtam, majd később leprogramoztam a harmadfokú egyenlet valós gyökeket megadó Cardano-képletet.

Gál (1988) a kutatási jelentés 15-ik oldalán fatermési táblánként megadja a SI értelmezési tartományát, alkalmazhatóságának szélső értékeit, melyeken kívül a függvényeket nem szabad használni, de nincs a dolgozatban információ arról, hogy mi alapján határozták meg ezeket a határokat.

Saját felfedezésem, hogy az fatermőképesség-SI transzformáció harmadfokú egyenlete miatt a SI-nek minden táblára létezik egy elméleti határa is. Az átalakító egyenletből a felhasználási céltól függően mindkét irányban, mindkét mennyiséget ki kell tudni fejezni, tehát az egyenletet oda-vissza meg kell tudni oldani, s e szerint az SI-fatermőképesség harmadfokú egyenletnek az értelmezési tartományon belül monotonnak is kell lennie, azaz egy darab SI-értékhez egy darab fatermőképesség-értéknek kell tartoznia és viszont. Ez a korlát bizonyos táblák és a hozzájuk rendelt paramétersorok esetében elég szűk, több tábla esetében szűkebb, mint a Gál-féle kutatási jelentés (1988) 15-ik oldalán megadott határok, továbbá az eredeti nomogramokon használt fatermőképesség-határoknál is kissé szűkebb (pl. bükk, nyír, feketefenyő esetében). Az SI elméleti határait később úgy határoztam meg, hogy vettem egy olyan pontot az értelmezési tartományon, ami minden táblánál értelmezhető és valid volt ( $SI = 20$  m), és attól jobbra-balra megkerestem a függvény szélsőértékeit.

A Gál-féle függvényesített fatermési táblák alkalmazásának következő lépése a függvények jóságának ellenőrzése volt – ezt úgy volt a legegyszerűbb megvalósítani, hogy megrajzoltam a függvényekkel a nomogramokat. Ehhez tájékozni (mérthelyesre hozni) kellett az eredeti beszkenelt nomogram-nyomtatványokat, és az eredeti nyomtatványokon síknegyedenként  $87 \times 130$  mm-es keretbe belerajzolni a nívóvonalakat. Ennek eredményeit mutatja be a jelen disszertáció V. melléklete.

### **2.1.7 Legújabb fatermési táblák**

Az 1990-es években szervezeti és pénzügyi okokból a fatermési kutatások lendülete visszaesett (Peszlen 2015). Ennek ellenére jelentek meg fatermési táblák: Rédei (1991) vöröstölgy és Hajdu (1995) ezüsthárs. Ezt követően több helyi fatermési tábla is elkészült, elsősorban szakdolgozat, illetve diplomamunka keretében (Peszlen 2015).

Rédei és munkatársai (2011) elkészítették a nyírségi akácok táji fatermési tábláját. Rédei és Ábri (2023) a Duna-Tisza közti vegyes akác-nyár ültetvények növekedési modelljét is elkészítették. Kollár (2022a–e) a domb- és hegyvidéki őshonos fafajok vonatkozásában tett javaslatot új fatermési táblák bevezetésére.

## **2.2 Fekete Zoltán cikkei**

A fatermési táblák alkalmazásába Fekete Zoltán cikksorozata vezette be a magyar szakközönséget. Az elő- és véghasználatokról szóló publikációjában (Fekete 1923) eljárást közöl a fatermési táblák alkalmazására különböző „gyerítési rendszerek” mellett (s ezen az eltérő erélyű és visszatérési idejű elő- és véghasználatok szisztémáit, azaz a különböző fahasználati rezsimeket érti). Bemutatja a főállomány és mellékállomány fakészletének alakulása közti összefüggést (a vágásos üzemmódú faállomány fejlődésének a klasszikus farkasfog-görbéjét), rámutat a termőhelytől függő, de az előbbi kettőtől független összfatermés jelenségére (az „összes fatermés” kifejezést használja). Megállapítja, hogy „szabályos sűrűséget feltételezve, ez a fatömeg [az összfatermés] a termőhelyi jóság legközvetlenebb kifejezője”, ezzel előre vetíti a fatermőképesség fogalmát.

Fekete Zoltán (1938) javasolta a sűrűség azon számítási módját, amit a prognózisban magam is használok. A sűrűséget  $e$  szerint a záródásból, a sűrűségi-szorzók vagy sűrűség-záródás viszonyszámok segítségével kell előállítani. E sűrűségi-szorzók kapták később a „lambda” nevet. A javaslat a faállományok felvételezésének céljából tétetett, olyan esetekben, amikor a körlap mérése nem célszerű. Ezen túlmenően a sűrűség Fekete-féle értelmezése nagyszerű szolgálatot tesz a fakészletek előre vetítésének esetében is. Fekete akác és tölgy fafajokra közölte záródás-sűrűség átszámító táblázatait.

## **2.3 Magyar János erdőrendezési és faterméstani munkássága**

Magyar János 22 éven át oktatta erdőmérnök hallgatók generációit, az erdőrendezés és fatermés tan területén iskolateremtő professzor volt. Nagy szerepet vállalt az erdőrendezéstannak a sajátos magyar természeti adottságokra alapozott szaktudományá fejlődésében (Gál 2011).

Az erdőgazdálkodás, az erdősítési és erdőnevelési feladatok céljairól akadémiai székfoglaló előadásában a következőképp szövegezte: „(...) erdőgazdálkodásunkban a

gazdálkodás általában közismert három elvét: a szükségletfedezés, a tartamosság és a gazdaságosság elvét, ill. követelményét, egyetlenegy, azaz hármasként kell érvényesíteni, amikor is persze a szükségletfedezés követelménye: első az egyenlők között.” (Magyar 1989) A világháború utáni faínségben az erdőgazdálkodás feladatai közül – nem túlzóan, de határozottan – a faanyagtermelést a tartamosság elé helyezte.

Nevéhez fűződik az erdőrésztlet-szintű szabályozás bevezetése és a vágásérettségi kor erdőrésztletre alkalmazása: „Annak ellenére, hogy a faanyagra népgazdaságunknak nagy szüksége van, erdeinkben mégsem vehetjük tervbe minden erdőrésztletre a faanyag- (a lignum)- termelést elsősorban rendeltetésként, ill. célként (...) Erdőrésztletenként külön-külön kell megtervezni a faállomány vágásérettségi korát és szerkezetét, valamint az alkalmazandó üzemmódot, mégpedig mindenekelőtt az erdőrésztlet elsősorban rendeltetésének megfelelően.” (Magyar 1989)

Magyar János szakított a hagyományos, szabályos erdőállapothoz viszonyító erdőtervezés gyakorlatával. A következőképp határozta meg a vágásérettségi kor tervezését a különböző állományokban: „Az elsősorban faanyagtermelésre kijelölt erdőrésztletek faállományára műszaki (ipari) vágásérettségi kort, az elsősorban magtermelésre és elsősorban védelemre kijelölt erdőrésztletek faállományára pedig élettani (biológiai) vágásérettségi kort kell tervezni. Az elsősorban faanyagtermelésre és az elsősorban védelmi rendeltetésre tervbe vett erdőrésztletekre nézve az üzem- és hozamszabályozást külön-külön kell elvégezni.” Modellemben a szabályozó paraméterek rendeltetés szerint való megkülönböztetése ide nyúlik vissza.

Majd: „A véghasználati hozamszabályozást az elsősorban faanyagtermelésre kijelölt erdőrésztletekre nem a vágásfordulós, ill. nem az ún. korosztályos, ill. térszakozásos, avagy egyesített szakozásos eljárással, és még kevésbé a „hozadék egyenlő növedék” elv alapján, hanem a vágásérettségi viszonyok alapján kell megtervezni, – a gyorsabb növési fafajok esetében mintegy 10-15 éves, a lassúbb növésiéi esetében pedig mintegy 20-30 éves távlatban.” (Magyar 1989) Modellem jelenlegi formájában a vágásbesorolás ennek az elvnek a megvalósítása.

Magyar János innovációja az úgynevezett vágásérettségi tábla is, mely a tervezett vágáskorok alapján az elkövetkező három évtizedre mutatja ki a használati lehetőségeket (Gál 2011). A „30 éven belül vágásérett állományok” című tábla mind a mai napig az erdészeti hozamvizsgálat és hozamszabályozás alapvető táblázata, mely az ESZIR-ben

beépített riportként fut, és hosszabb távú hozamprognózisok alapját is képezi (Borovics et al. 2023).

Magyar Jánosnak jelentős szerepe volt a korabeli körzeti erdőtervek, az üzemtervek formai és tartalmi követelményeinek kidolgozásában. Megalkotta az üzemtervek nyomtatványrendszerét, melyek az 1955-ös utasításban jelentek meg és egészen a számítógépek bevezetéséig használták őket.

Fentiek mellett behatóan tanulmányozta az erdőrészek térbeli elhelyezkedés szerinti és termőhelyi minőség szerinti osztályozásának módszertanát. Magyar János kimutatta, hogy adott korban a faállományok magassága sokkal nagyobb szóródást mutat, mint ahogy azt régebbi fatermési tábláink alapján feltételezhetnék. Ugyancsak kimutatta, hogy ez a szórásmező hazánk területén DNy-ről ÉK-re haladva süllyed.

Ő nevezte el a fatermési táblák szerkesztésekor alapvető kor-magasság szórásmező felosztását dendrometriai mércének, és ő határozta azt meg főbb fafajainkra. Műszaki doktori értekezését „A fatermési táblák szerkesztésének alapkérdései” címen védte meg. Disszertációja nyomtatásban is megjelent (Magyar 1940), és méltán tekinthetjük máig is szakirodalmunk egyik legértékesebb gyöngyszemének (Gál 2011).

Grafikus eljárásra épülő és mértani haladványos táblaszerkesztési módszere (Magyar 1940), amivel a fatermési táblák vezérgörbéit és osztályainak határait szerkesztették meg, a számítógépes módszerek megjelenéséig meghatározó volt, és kortársai közül egyedül Kiss Rezső táblája mert kivételesen egyenosztatú lenni.

Az egykorú faállományok fatermésének felmérésébe bevezette a kimagasló faegyedek átlagmagassága, az ún. felsőmagasság fogalmát és számítási módszerét.

Eredményei közé tartozik még a nemes nyár fajtákra készített első fatermési táblák megalkotása. 1965-ben adták ki azt a gyűjteményt, ami a jórészt a századfordulón készült Greiner-féle fatermési táblák átdolgozott változatait tartalmazta, kiegészítve néhány újabb Fekete Zoltán, Magyar János, majd Sólomos Rezső által készített táblával.

## **2.4 Ajtay Viktor módszere**

Az első magyar vágásbesorolási rendszert (a hagyományos térszakoláson túlmutató mérlegelési koncepciót) egy Ajtay Viktor nevű úr (m. kir. főerdőmérnök) vezette elő (Ajtay 1937a). Kortárs bírálói elismeréssel illették. Kissé obskurus és kevésbé algebrai,

okokat és okozatokat összemosó, de kétségen felül szellemes és kimunkált módszere a faállományok korát, sűrűségét és fejlődőképességét értékelte. E paramétereket számszerűsítette. Elgondolása szerint a faállomány kor szerint vágásérett, ha az rendeltetését már betöltötte; sűrűség szerint vágásérett, ha kiritkultsága miatt a kisebb növekmény, a csökkent talajvédelmi hatás okán fenntartani nem érdemes; fejlődőképesség szerint vágásérett, ha bármilyen károsítás, termőhelyi körülmény vagy emberi hatás miatt további gyarapodás már nem várható tőle.

A vágássorrendszámot, ami egy erdőtümbön (tag) belül az egyes részletek letermelési sorrendjét adta (tehát a mai statisztikai fogalomrendszer szerint egy rang típusú változó volt, és nem határozta meg sem a vágáskort, sem az addig hátralévő időt, csak a véghasználatok sorrendjét), egy empirikus képlettel határozta meg, amiben a kor és a fenntarthatóság egyenesen, a sűrűség fordítottan volt arányos a vágássorrendszámmal. A képletben a kor a vágásérettségi kor arányában (százalékában) kifejezve szerepel, egyfajta arányos vágásérettségi mutatóként. A sűrűség figyelembevételénél a fő- és mellékállomány fogalmi felé mutató definíciót ad: „a lényeg csak az, hogy az állománynak hányad része az, ami ma az állomány aktív életében részt vesz, vagy ami ezzel egyértelmű, hány százalék az, ami az aktív életből már kilépett”, és külön minősíti az aktuális záródáshányat és a hamarosan kilépő száradékot. A fejlődőképességet egy 15 fokú skálán minősítette (pontozta) a mai ésszel erősen szubjektív megítélés alapján. A koncepcióban a három bemenő paraméter korántsem független, mégis össze vannak szorozva.

A faállományok felvételéhez a gyérítési kijelöléshez hasonló mintavételes módszert ajánl, melynek keretében a faegyedeket minősíti, majd ebből vezeti le a faállományra vonatkozó fenti három paramétert. Az eredmények kiértékeléshez polárkoordinátás grafikus módszert javall.

Érdekesség, hogy definíciót ad a rendeltetésre is: „a rendeltetés pedig elsősorban az, hogy hasznot hozzon akár közvetlenül az által, hogy értékében gyarapszik, akár közvetve azáltal, hogy fennmaradásával talaját javítja, a mellette levő állományt védi, a felújulást biztosítja stb.”

Ajtay hozamszabályozási rendszere (Ajtay 1937b) elrugaszkodik a merev térszakolástól (az időszakonként egyenlő hozamok dogmaszerű alkalmazásától) és az erdőgazdasági, illetve jövedelmezőségi racionalitás miatt elfogadja az egyenetlenségeket. A

vágássorrendszámra alapozott, táblázatos mérlegelési módszert használ. Felismeri a gazdálkodási kényszereket, mi szerint az elvi vágásérettség nem egyenlő a vágáskorral. Célul tűzi ki a lehetőleg egyenletes hozamokat, de bátran javasolja a véghasználatok szükséges előre hozását vagy hátrébb sorolását (a tartalék-képzést). Tudatában van a szabályozás egységére vonatkozó dilemmának, a szemléletek ütközésének (ti., hogy alapvetően a faállományokat vagy az erdőállományt szabályozzuk-e) – de mindenkoron igyekszik egységként kezelni a vizsgált erdőtömböt: „maga az egész erdő, mint egy részeire nem osztott konglomerátum képezi az eljárás tárgyát”.

Fadgyas szerint (Fadgyas 1990) Ajtay neve alatt 1948-ban megjelent hozamszabályozási módszer, mint igazgatási utasítás (MALLERD 1948) látott napvilágot, de ekkor már „vágásérettségi koronként csoportosította az állományokat és grafikus kiegyenlítést alkalmazott”, fafaj és eredet szerinti bontásban. Érdekesség, hogy az erdőtervezési körzetenként végzett hozamkiegyenlítés lényegében a mai napig az 1948-as Utasításban megjelent koncepció szerint folyik: a faállományok területét 30 évre előre tekintve, vágásérettség szerint 3 darab 10 éves csoportokba sorolják, és az hozadéki területek ingadozó oszlopait egyéni mérlegeléssel, az erdőrészeket vágásbesorolásának előrehozatalával vagy elhalasztásával kiegyenlítik.

## **2.5 Király László prognózis-tárgyú munkássága**

### **2.2.1 Király László kandidátusi értekezése (1978)**

A fafajsort fogalma az erdőrészen belül azon faegyedek halmaza, melyek az összes erdőtervezési szempont szerint azonos csoportba sorolhatók (lásd: „az állomány területileg egyértelműen el nem különíthető részhalmaza, amelyre valamennyi leírási tervezési ismérv értéke közel azonos, s ezért egy sorban leírható”). Elvben nincs az definiálva, hogy melyek a fafajsort megkülönböztető attribútumok: ha szükséges és értelmes, akkor fafaj, kor, vagy bármilyen faterméstani változó mentén összevonhatók a faegyedek egy fafajsortba. A faállományt, mint véges attribútum-mezőt tekintjük. Ezen belül a fafajsort egy nagyon furcsa elméleti absztrakció, hiszen a természetben ilyesmi nincs (faegyedek vannak, faállományok vannak és erdei növénytakarók vannak), és személyes véleményem, hogy a fafajsort fogalmát Király koncepciójában az egyes fafajcsoportokra alkalmazható területszámítás szükségessége hozta létre, ami pedig korosztálytáblák előállításához kellett. A korosztálytáblák pedig a szabályozás és a

prognóziskészítés eszközei – a fafajsort fogalma tehát egészen magas szempontból, a prognózis-készítés felől magyarázható és értelmezhető.

Király az első erdőállomány-prognózisok elkészültét 1970-74 közé datálja. Ebben a korszakban fogalmazódott meg és vált ketté az üzemtervezés (a vállalati gazdálkodás) és a nagy távlatú erdőállomány gazdálkodás koncepciója. Az indoklás szerint „az erdőállomány-gazdálkodás irányítása főhatósági feladat, mivel a fokozatosan növekvő, javuló hozam csak országos szinten biztosítható”. Csak az állam szabályozhat – mondja a korszak – mert főleg azok a szolgáltatásai, amiket ma immateriális javaknak nevezünk, csak így biztosíthatók. A prognózis és a szabályozás ebben a kontextusban, a meghatározó állami irányítás és a szinte kizárólagos állami vagyonkezelés mellett gyakorlatilag szinonimák voltak.

Az erdőállomány-szabályozás követelményeit, illetve céljait a következőkben fogalmazza meg:

- az erdőterület nem csökkenhet;
- az erdei termékekből és szolgáltatásokból álló „hozam” sem csökkenhet;
- az erdők állapotát és hozamát javítanunk kell az erdőállomány-szerkezet és a faállomány-szerkezetek javításával, s – ha lehet – az erdőterület növelésével.

A korabeli szemlélettel egyezően a szabályozást nem piaci, és nem is közgazdasági meghatározottságúnak tekinti, hanem a szakigazgatás által kikényszerített irányítási feladatnak. És ennek objektív okát adja: az erdővagyon és a hozamok értéke nem egzaktul felmérhető. „Az erdőgazdálkodást elsősorban hatósági utasítás jellegű üzemtervekkel kell szabályozni” – írja.

Az erdészeti szaknyilvántartást Király nevezi Országos Erdőállomány Adattárnak (OEA), melyből a mai közkeletű „Adattár” kifejezés rövidült. Megjegyzendő, hogy az 1978-as kandidátusi dolgozat szövegében még nem használt nagy kezdőbetűket, tehát nem tulajdonnévként tekinti.

Indoklást ad a felsőmagasság elhagyására és az átlagmagasság használatára, mely döntés az egész alkalmazott faterméstant a mai napig meghatározta. „A felső magasság és az átlagmagasság eltérése általában 2 m alatt van. Egyébként a szokásos átlagmagasság – felsőmagasság regressziós egyenesek nem túl meggyőzőek. Ha az ember – helyesen – a



kétféle magasság közti eltéréseket vizsgálja, az átlagmagasság függvényében, meglehetősen bizonytalan összefüggésekhez jut.”

Ekkor vezették be a Járó által kidolgozott „Az egyes termőhelytípus változatokon alkalmazható célállományok és azok várható növekedése” című táblázatot, az ún. Járó-táblát (Járó 1972), ami a felújítások tervezésének zsinórmértéke ma is, és átfogó programot adott a faállományok kezelésének legfontosabb döntéséhez, a fafajválasztáshoz. A klímaváltozás hatásainak figyelembevétele tette aztán szükségessé a Járó-tábla korszerűsítését (Czímber et al. 2018).

Azt, hogy az erdőben mit kell csinálni, annak faállomány-szinten Járó Zoltán, erdőállomány-szinten Király László adta meg a programját, alkotta meg a fogalmait, algoritmizálta és foglalta rendszerbe módszereit (a megfogalmazás erős, persze, hiszen a szakmai előzmények évszázadosak).

Király elégedetlen volt az erdősítési előírások tartalmával, mert nem találta alkalmasnak prognózis készítéséhez. A prognózist jövőképhez kötötte, és a jövőképhez távlati faállomány-típus, várható vágáskor és a faállományok vágáskori minőségi besorolása (fatermési osztály vagy egyenesen fatermőképesség) szükséges. (Az általam használt prognózis-módszertan ezeket a változókat valószínűségi eloszlásokból valószínűsíti, illetve a vágáskori elegyarányokat szabályozó erdőnevelési mátrix működéséből vezeti le.)

Az előhasználatok tervezési adatait ítéli a legproblematisabbnak. A beavatkozás konkrét időpontja (a 10 éves erdőtervezési cikluson belül) bizonytalan, az erély és a  $m^3$ -ben megadott gyérítési fakészlet szintén. „Egy erdészet (Lillafüred) területére elvégzett vizsgálatunk során a terv- és tényszámok között semmiféle korrelációt nem tapasztaltunk.” A gyérítsek hatására az egészállomány átlagmagassága akár egy egész fatermési osztályt is átugorhat. (Lásd még: Markov-láncok, később.) Ezek a megfigyelések erősítették meg abban, hogy a saját modellben (DAS) a fahasználati rezsimet, az elő- és véghasználatok visszatérési idejét és erélyét a valósághoz minél közelebbi eredmények elérésnek érdekében tény-adatok eloszlásából vezesse le és valószínűségi eloszlásként értelmezsem.

Király (1978) megállapítja, hogy „a maximális [az erdőtervezésben használatos vágásérettség felső határa] és a fiziológiai vágáskor egymástól jelentősen eltérhet.” A túltartás határait, az állományok beavatkozás nélküli összeomlásának várható korára,

mely a prognózisban a véghasználat és a felújítás kényszerét jelölné ki – nem ad támpontot. A kérdés megválaszolására a magyar szakirodalomban egyedül Dobay (2009) tesz kísérletet tág véghasználati kor-tartományok tapasztalati becslésével 10-60 éves intervallumokban, faállomány-típusonként.

Bátorkodom hosszabban idézni az alábbi, számomra kiemelt jelentőségű szakaszt, ami a prognózisban általában a fakészlet és szűkebben az előhasználatok modellezésére kidolgozott eljárást alapozta meg (Király 1978, 4511. fejezet: Az élőfakészlet meghatározása fatermési táblákkal, nomogramokkal és függvényekkel, 69. oldal):

*„A fatermési táblák készítési módszere és felhasználási módjai között nálunk és külföldön egyaránt bizonyos ellentmondás mutatkozik.*

*A táblák alapjául szolgáló kísérleti területek kiválasztása [az ERTI hosszú lejáratú kísérleti parcelláiról van szó, a tartamkísérletekről, lásd Birck et al, 1962] a kitűzött tudományos célnak megfelelően történt. A kísérleti területek zömét teljes, vagy csaknem teljes sűrűségű, egyöntetű állományokban létesítették, hogy a növekedési törvényszerűségeket mennél szabatosabban és mennél szignifikánsabban lehessen kimutatni. Az így kapott eredményeket azonban elsősorban az élőfakészlet és növedék egyszerűbb és gyorsabb meghatározására használták fel, ami esetenként jelentékeny szisztematikus hibához vezethetett.*

*A kétféle cél kétféle vizsgálati módszert igényelne: az alapkutatásnak az erdő növekedési törvényszerűségeit tükröző fatermési táblák, függvények előállítását kellene célba vennie. Ha az ilyen tábla egyúttal a leginkább kívánatos (ökonómiai szempontból optimális) állományfejlődést mutatja be, normatív tábláról beszélünk. Az ilyen táblákat az erdőrendezés elsősorban tervezési célra tudja jól hasznosítani.*

*Az élőfakészlet meghatározás és az erdeink pillanatnyi állapotának bemutatására viszont az ország, vagy egy-egy táj valamilyen típusú erdeinek átlagos adatai közötti összefüggéseket tükröző táblákat, függvényeket igényli. Ezeket statisztikus fatermési tábláknak lehet nevezni.”*

A fenti osztályozás szerint a modellemben alkalmazott fatermési táblák „statisztikus” jellegűek, így a bennük foglalt fakészletek az erdőnevelési rezsim gyakorlatának megfelelő, országosan átlagosnak tekinthető mennyiségű mellékállományokat tartalmaznak. Emiatt a prognózis-modellben az előhasználatok fakészletét nem szabad levonni a fakészletből, és ugyanezért növedékesíteni sem szabad a táblák szerinti folyónövedékkel (habár az az összfatermés folyónövedéke). Modellem a növekménnyel számol, erdőállomány-szinten torzítatlan fakészlet-bebecslést így lehet elérni. Így vagyunk összhangban statisztikus jellegű fatermési tábla belső összefüggéseivel, a kor-magasság szórásmezőben leolvasott fatermőképesség-izovonalak által kirajzolt növekedési pályákkal.

Sajnos Király professzor kandidátusi értekezésében (Király 1978) nem részletezi a fatermési táblák és az 1971-72-es első generációs nomogramok készítésének részleteit, csak illusztrációként közöl néhány kész példányt.

Király részletesen tárgyalja (Király 1978, 453. fejezet) a fatermőképesség prognosztikai alkalmazását, és a dinamikus bonitálás módszerét javasolja a véghasználat-kori fatermőképesség predikciójára. Sajnos a megoldás csak abban az esetben működtethető, ha rendelkezünk információval a termőhelyi adatokból levezethető potenciális fatermőképességről. Ellenben az aktuális és a véghasználat-kori állapot közti fatermőképesség-eltolódás leírására használt függvényalak jól használható a klímaváltozás hatásait tárgyaló (még csak tervezett) scenárió (KLM) modellezésére.

Király kitér (Király 1978, 4533. fejezet) az erdőrészletenkénti prognóziskészítés problémájára: "az erdőrészletenkénti prognózis üzemtervi megalapozása általában nem mondható kielégítőnek. Ahhoz, hogy az üzemterv valóban határozatlan időre szóló alapterv lehessen, ezt kellene elsősorban megoldani." Modellem nagy vonalakban megvalósítja ezt az elképzelést, hiszen az erdőrészleteket és azok fafajsortait több évtizeden keresztül aktualizálja a fatermési táblákban foglalt, konstans fatermőképességgel jellemezhető kor-magasság növekedési görbék alapján, bár a sűrűség (az elegyarányok és a záródás) változásait egyelőre nem követi.

A hozadékszabályozásról szóló fejezetben (Király 1978, 481) tárgyalja a komplex erdőállomány-prognózisokat megelőző, de azokkal rokon üzemtervezési szabályozási módszereket. A korosztálytáblázatokból átlagos vágáskorokkal szabályos üzemosztályokat képeztek (ez volt a jövőkép elődje), és ehhez hasonlították az aktuális

koreloszlást. Az üzemtervi szabályozás a véghasználati hozami terület és a vágásérettségi táblázat vizsgálatát jelentette, és esetleges átsorolásokat a vágásérettségi korokban és sürgősségekben, azaz inkább csak hozamkiegyenlítést. De a módszertan terület-alapú volt és kevésbé függött a fakészlet-meghatározás és -előremetszés bizonytalanságaitól.

A módszertan fokozatosan fejlődött az üzemtervi nagyságrend felől a regionális és országos lépték felé. A távlati erdőkép kidolgozásáról szóló fejezetben (Király 1978, 4821) előre vetíti az erdőtelepítési prognózis, az erdőművelésből való kivonás előrejelzését (várható vagy tervezett területi változások), a távlati erdőkép („futurologiai értelemben vett jövőkép”) kialakításának szükségességét, azaz a komplex erdőállomány-prognózis elemeit.

A jövőkép kialakításáról azt írja: „(...) helyesebb rögzített vágásforduló helyett vágáskor-eloszlással, szabályos üzemosztály helyett sztochasztikus üzemosztállyal dolgozni." Prognózisomban ezeket a módszereket (bár más célból, nem a jövőképre koncentrálnva) valósítottam meg a vágáskor-eloszlások alkalmazásával. A vágáskor-eloszlások ábráján egyértelműen azonosíthatók a korai (gyakran kényszerű, egészségügyi jellegű) véghasználatok, amik egy gyakorlatias prognózis szempontjából azért fontosak, mert sem az erdőtervezési vágásérettségek eloszlásában nem jelentkeznek, sem az erdőnevelési modellátlák segítségével nem modellezhetők.

A kandidátusi értekezés összefoglaló fejezetében (Király 1978), javaslataiban ez áll: "Megbízható és igen nagy távlatú prognózis és terv csak a valóság tudományos alapossággal történő vizsgálatára támaszkodva készíthető el." Nyilvánvalóvá teszi rendszeralkotó szándékát, hogy számára minden fejlesztési feladat és kutatási téma a prognózis felé mutat: a fogalmak kialakítása, a módszerek fejlesztése, a technológiai eszközök hadrendbe állítása, az intézményi szervezet megerősítése – ezen építőkövek egymásra helyezve alkotják az erdőrendezés épületét, melynek csúcspdíze az erdőállomány-prognózis.

### **2.2.2 Fatermési táblák alkalmazása – kutatási zárójelentés (1988)**

A fatermési táblák szabályozási- vagy prognózis-célú alkalmazása (a növedék predikciója, a faállomány fejlődésének és hozadékának előre jelzése, a szabályos állapot meghatározása) tulajdonképpen az 1879. évi XXXI. törvény előírásaiban is megjelenik. A szabályozás kezdetben erdőállományra alkalmazott eljárás, majd az 1950-es Erdőrendezési Utasítás (Magyar János) teszi az erdőrésztet a szabályozás

alapegységévé. A fatermési táblák alkalmazását a mai formájában az 1970-es Üzemtervezési Útmutatóban fogalmazták meg.

Király ugyanitt (Király et al. 1988) tisztázza az igazgatásban alkalmazott fatermési táblák definícióit, az egész- és főállomány viszonyát a fatermési táblákban, mint modellben, és ezek fakészletének figyelembevételét a fakészlet-számításkor.

A vágáskor-eloszlások megadásakor általam is alkalmazott fatermési osztályok definíciói az 1986-os Erdőrendezési Útmutatóban láttak napvilágot. E definíciók és megegyezések kialakulását hosszú és jól dokumentált szakmai disputa előzte meg, melyet Király dokumentált (Király et al. 1988). A fatermési osztály (FTO) a végeredmény szerint a fatermőképesség (megállapodás szerinti referencia-korban tekintett összesfatermés átlagnövedék 100%-os elegyarány és sűrűség mellett) kor-magasság dimenziókban értelmezett szórásmezejének felosztása 6 osztályra, kis kompromisszumokkal egyenközű lépésekben.

A mortalitás becslésével kapcsolatban Király professzor a ma is fennálló problémára irányít éles keresőfényt: sem akkor, sem eladdig nem sikerült számszerűsíteni a mortalitást, főleg a változó gyéritettségi állapot függvényében (Király et al. 1988). „Úgy tűnik, hogy továbbra is meg kell elégednünk a mortalitás hozzávetőleges becslésével” – írja.

Király professzor (Király et al. 1988) külön kiemeli a lambda és a fatermési táblák alkalmazásának problematikáját a prognózis-készítés esetén. „Általában azzal számolunk, hogy a fatermési osztály a kor előre haladtával nem változik. Ez ugyan a Markov-láncokkal jellemezhető sztochasztikus növekedési folyamatok ismeretében erősen vitatható feltételezés, gyakorlati célokra azonban elfogadható.” E szerint a faállomány egy átlagos fejlődési pályán a kor-magasság szórásmezőben megrajzolt fatermőképesség-izovonalon halad.

### **2.2.3 OTKA 1875 zárójelentés 1986-1991 (1992)**

Sorba veszi az időközben készített prognózisokat, melyek általában erdőgazdálkodás- vagy erdőgazdaság-szintű vizsgálatok. 10-15 ilyen munka készült. Hangsúlyozza a klasszikus szabályos (egy vágáskorú) jövőkép-modell elavultságát, és finoman jelzi azt a megrázkódtatást, amit a felismerés a szakmai körökben és főleg a korabeli ágazatirányításban okozott. „A korábbi távlati erdőkép-modell – a klasszikus szabályos erdő – azonban túl merevnek, és az esetek többségében elérhetetlennek bizonyult. Ez a

felismerés helyenként (pl. nálunk, Magyarországon) – a korlátlan növekedés dogmájával megtámogatva – a szabályos erdő célkitűzés feladásához vezetett, másutt viszont (pl. Japán, NSZK, NDK, Csehszlovákia, Ausztria) rugalmasabb szabályos erdő meghatározások kialakítására ösztönzött.” Megállapítja, hogy a szabályos erdőmodellek közül „a gyakorlatban a több vágáskorral dolgozó modell látszik előnyösebbnek, könnyebben kezelhetőnek”. Saját vizsgálataim alapján ezt szeretném kiegészíteni azzal, hogy a gyakorlat az erdőállomány aktuális állapotára vonatkozóan a legbonyolultabb, folytonos eloszlású változatot produkálja azzal a kitételrel, hogy az adatmodellnek megfelelően diszkrét függvényekkel kell leírni (a faállományok kora egy természetes szám, egész években mérhető).

Bemutat egy prognózist a hazai bükk rész-erdőállomány szabályozására vonatkozóan. Ebben figyelemre méltó az átalakítás időtávtálatának árnyalása: a szabályos állapot kb. 200 év alatt áll be, de az első 100 évben, tehát egy vágásforduló alatt lezajlik a területi hiányos 1-40 éves korosztályok terület-pótlása, a terület eloszlás kor szerinti monotonitásának kialakítása, ami a szerkezet-átalakítás meghatározó mozzanata.

Bevezeti az „erdőállomány dinamikus vizsgálatának” módszereit, ami az egyes állapot-adatok (erdőterület, fakészlet) éves vagy hosszabb periódusra alkalmazott, analitikus és mérlegszerű elemzése mérleg-egyenletekkel.

- Erdőterület esetén:  
Területváltozás két időpont között = Telepítések + Talált erdők – Kivonások +/-  
Egyéb területváltozások és korrekciók.
- Fakészlet esetén:  
Növedék = Növekmény + Fahasználat + Mortalitás.

Az analitikus, mérlegszerű összehasonlító vizsgálat két időpont állapot-adatai között tulajdonképpen a prognóziskészítés magja, hiszen le kell írni és számszerűsíteni azokat a részfolyamatokat, amik a kiinduló állapot erdőállományát a végállapotba vitték. Amennyiben az ismert folyamatok adatai nem állítják elő a végső állapot-adatokat, vizsgálni kell az egyes részfolyamatok leírásának helyességét, elsősorban az egyes folyamatokra vonatkozó adatgyűjtés teljességét.

Az erdőállomány-prognózisok módszereinek rendszerezésére a következő felosztást adja:

1. véghasználati lehetőségek hosszú távú feltárása (a vágásérettségi táblázat alapján végzett hozamkiegyenlítés továbbfejlesztése, mely valójában nem teljes értékű erdőállomány-prognózis, hiszen nem vetíti előre az erdőállomány várható képet, nem szimulálja az erdőállomány szerkezeti változásait, csak a hozamokkal foglalkozik, bár az átsorolásokhoz mérlegelési kereteket adó vágásérettségi szakaszok felhasználása a jövőképpel rendelkező módszerek felé mutat);
2. jövőképhez közelítő módszerek (mely a szabályos állapot felé mutató hagyományos, képletes hozamszabályozás korszerűsítésének mondható);
  - a. a jövőkép felé vezető optimális időút keresése összetett célfüggvény segítségével, kvadratikus programozással (Király et al. 1987);
  - b. a jövőkép közelítése egy egyszerűbb, vektor-interpolációs módszerrel.

#### **2.2.4 Az élőfakészlet-mérlegről az OTKA 1875 zárójelentésben**

A '70-es évek faterméstani kutatásai és fejlesztései gyökeresen átírták a szakmai fogalmakat és a fakészletre, illetve a növedékre vonatkozó arányérzéklet. A szakirodalomban követhető heves viták tárgya volt az új faterméstani segédeszközökkel (az 1970-72-es első generációs nomogramokról és 1974-es kiadású ERTI-féle fatermési táblákról van szó) kapott eredmények, melyek mind a fakészletre, mind a növedékre a korábbiaknál jóval nagyobb értékeket adtak.

Király tesz egy kísérletet az országos erdőállomány 1950-1980 közötti állapotváltozásainak elemzésére, tehát a zárójelentés készültekor (1992) már a múltra vonatkozó folyamatok leírására, több változatban. Az élőfakészlet-mérlegben a növedéket tartja a legkevésbé megbízhatónak. A fakitermelési tényt számokkal elégedetlen, de jobb statisztikák nem állnak rendelkezésére. A mortalitásra durva becslést alkalmaz, a különböző változatokban 13-30 millió m<sup>3</sup>-nek tekinti 30 évre, azaz a növedék kb. 5%-ának (évi 0,5-1,0 millió m<sup>3</sup>). Megállapítja, hogy az egyenleg ellentmondásai „olyan nagyok, hogy a nem szakember számára is nyilvánvaló az adatok összehangolatlansága.”

#### **2.2.5 Erdeink jövőképe (1994)**

A tanulmányban a jövőkép és a szabályozás koncepciójának már egy kései, kidolgozott formáját adja. A bevezetőben végigveszi a szabályozás céljait (fenntarthatóság, tartamosság), ezek erdészettörténeti megfogalmazásait (Muzsnay Géza, Divald Adolf és

Wágner Károly), a felállított jövőkép megbízhatóságára vonatkozó elvárásokat (ti., hogy sem a szakma, sem a társadalom nem kíván lemondani sem a fahozamokról, sem az egyéb szolgáltatásokról sem, még átmenetileg sem). A célkitűzések közé tartozik a skálázhatóságra vonatkozó igény: a modellnek képesnek kell lennie a teljes országos erdőállomány és annál kisebb területi egységek kezelésére is. Az erdőállomány szabályozási sémáján belül a szabályozó ágenszt – az erdőrendezőket és erdőművelőket, illetve intézményeiket – az ökológiai rendszer részeként definiálja.

Itt mutat rá a szabályos erdő fogalmának és a szabályozás egységének (ti. erdőállomány-szinten vagy faállomány-szinten szükséges szabályozni) összefüggésére. Kezdetben az erdő tervezése erdőállomány-tervezést jelentett (térszakolás). A klasszikus szabályos erdő ideájának elavulása és elérhetetlensége, ti., hogy egyforma területű, azonos vágáskorú faállományokat feltételezett, illetve célzott meg – vezetett a részletszintű tervezéshez.

Király számára mindig a jövőkép volt a fontos, ennek előállításra koncentrált a gondolatát, matematikai és módszertani apparátusát (s kevésbé a jövőképet közelítő algoritmusokra). A jövőkép fogalmát kettéválasztja:

- A jövőkép egy előre definiált, az erdőállomány közel állandónak (stacionér) tekinthető állapota, melynek kor- és fafajszerkezete állandósult és stabil, mely a termőhelyeknek, az ágazati céloknak, a korlátozásoknak, a kívánatos fafajpolitikának, a gazdasági eredményességnek, a kiegyenlített hozamoknak stb. megfelelően kialakított optimum, s amely felé a prognózis konvergál, amely felé az erdőállomány aktuális állapotát a prognózis valamilyen módon közelíteni igyekszik. (Király ezt a megoldást preferálta és távlati erdőképet értett alatta.)
- A jövőkép lehet egy stratégia határeset (a matematikai analízisbeli limesz), melyet nem előre adott kívánalmak szerint alakítanak ki, hanem a szabályzó mátrixok, a rezsimek, a modell működése forrja ki. Ez a megközelítés feltételezi, hogy a folyamat konvergens. A konvergencia kritériuma: „amikor az állapotadatok már alig változnak”. (Modellem ebben az utóbbi felfogásban dolgozik, bár arra vonatkozóan nem teszek állításokat, hogy konvergens lenne, vagy belátható időn belül konvergálna. A tapasztalatok szerint a 2 millió hektár kiterjedésű erdőállomány esetén a változások több száz év alatt szűnnek meg, ami



nem reális, egyszerűen kívül esik a kompetenciánkon és halandóságunk korlátain.)

A jövőképek típusainak felsorolásakor megkülönbözteti a klasszikus szabályos (egy vágáskorú); több vágáskorú; lépcsős eloszlású (ferde egyenesekkel határolt) és folytonos vágáskor-eloszlású korszerkezeteket. A legutóbbinak bemutatja az egységnyi területre átdolgozott, normalizált változatát is, ami független mind a vizsgált erdőállomány területétől, mind annak vágáskorától és összehasonlításokat tesz lehetővé.

Felsorolja a jövőkép-kialakítás és a prognózis-modell működtetésének szükséges moduljait: erdőtelepítési prognózis; a jelenlegi erdőállomány fafajszerkezet-változásának becslése; a hektáronkénti élőfakészletek fafajcsoportonkénti és korosztályonkénti becslése; a korosztályokat egymásba átvivő algoritmusok kidolgozása, melyek alkossanak konvergens stratégiát; a vég- és előhasználat területeinek, fakészleteinek meghatározása. (Igen óvatos, már-már tudománytalan kifejezéseket használ ezekben a mondatokban, pl. azt írja „a jelenlegi erdőterület jövőbeni fafajösszetételének kipuhatolása”.)

A prognózis-módszertan leírásából világos, hogy korosztály-alapú modelltől beszél, amiben tehát nem külön követi, korosbítja, használja és újítja fel az erdőrészteket, hanem korosztályokba aggregálva eleve nagyobb egységekkel dolgozik.

Király elképzeléseiben működtethetőnek látszik a műszaki szempontból is reális maximális vágáskor, ami nem az állományok biológiai fenntarthatóságát jelenti. A maximális vágáskorokat nem jellemzi, mindössze annyit állít, hogy „szakmailag megalapozottak”, ami az erdőgazdálkodás trendjeinek változékonysága ismeretében elég relatív kijelentés. A vágáskor-eloszlásokat a gyakorlatban elegendőnek tartja zárt eloszlásokkal modellezni. Ebben a koncepcióban tehát nincs vagy nem nagyon van a gazdálkodásból kihagyott erdőállomány-rész (Forest Not Available for Wood Supply, FNAWS; azon erdőrészek halmaza, melyek valamilyen okból, általában a rendezetlen gazdálkodási viszonyok vagy a felújítás kockázatai miatt belátható időn belül nem kerülnek véghasználatra és előre láthatóan természetes összeomlásukig állni fognak, lásd még: Dobay 2009). A vágáskor-eloszlás modellezésére kiválasztott egyszerű háromszög-eloszlással a FNAWS nem írható le, vagy az igen magas maximális vágáskorok erős torzítást visznek a prognózisba.

Hangsúlyozza, hogy nem megoldott az erdőnevelési mátrix leírása (az egyes állományok kortól függő elegyarány-változásainak és terület-eltolódásainak jellemzése).

### **2.2.6 Új eljárások a hazai erdőrendezésben (1999)**

Király utolsó nagyobb írása (Király 1999) a szokásosnál sokkal olvasmányosabb összeállítás a magyar erdőrendezés történetéről, 1970-től kezdődően. Az egyéb forrásokban nem szereplő megállapításait emelem ki.

Ebben a dolgozatban látom igazolását annak a gyanúmnak vagy sejtésemnek, hogy Király számára az egész munkásság íve a prognózisok és az erdőállomány-szabályozás felé mutat: kezdve az erdőleírás fogalmainak kialakításától, a felvételi módszerek és segédeszközök kidolgozásán át az erdőállomány-modellek fejlesztéséig. Az Országos Erdőállomány Adattár azért néz így ki, ahogy ránk hagyta, hogy prognózisokat lehessen rajta futtatni.

Kívánatos fejlesztési irányként a korosztálytáblák kibővítését tartotta folyónövedék-adatokkal, tervezett előhasználati arányokkal, tervezett véghasználati hozami területekkel. A prognózis szabályozó mátrixait kívánta levezetni ezekből (felújítási mátrix, erdőnevelési mátrix, véghasználati mátrix, véghasználati vágáskor-eloszlás), hogy a hozamszabályozással egyesített prognózis-módszerét az üzemi gyakorlatban is használni lehessen. Meggyőződése volt, hogy a szabályozás eredményét a megfelelő sürgősség-definíciók használatával erdőrésztetekre is le lehet és kell bontani. (Modellemben erre teszek kísérletet.)

### **2.2.7 Király egyéb publikációi**

„Előhasználati fatömegeket fatermési táblák segítségével nem szoktunk megállapítani, mivel az erdőnevelési módszerek a táblák elkészítése óta jelentős mértékben megváltoztak" – állapítja meg (Király 1964), tehát érzékelték a fahasználati rezsimek változásának jelentőségét, az erdőművelés ideáljainak egymás után következő korszakait. Világossá teszi, hogy a statisztikus fatermési táblák a faállományok fejlődésének általános érvényű és nagy léptékben a legkevesebb szisztematikus hibával használható modelljei. Leírja azokat a problémákat (Magyar János és Solymos Rezső kutatásai alapján), amik a korabeli (1970 előtti) fatermési táblákkal kapcsolatban adódtak és az új nomogramok kialakításához vezettek.

Szintén ebben a cikkben áll, hogy „Solymos Rezső számos összehasonlítása ugyancsak arra mutat, hogy fatermési tábláink alkalmazásakor szisztematikus hibával is számolnunk kell. A legnagyobb hiba feltehetőleg éppen a hozadékszabályozásunk egyik alapjául szolgáló folyónövedéket terheli.” Ez a meglátás volt a legfontosabb megerősítés abban, hogy a prognózisom módszertanában a növedék felhasználását (aktualizáláskor a növedék hozzáadogatását valamely kiindulási élőfakészlethez) elkerüljem.

## 2.6 Egyéb hazai források

A növedékszorzó alkalmazásáról és a sűrűséggel való összefüggéséről (ti., hogy a sűrűséget használjuk növedékszorzóként is, amennyiben az nem haladja meg a 100%-ot) úgyszintén Király (1966) ad útmutatást.

Csontos (1985) összefoglalót ad az erdőrendezés 1945 óta tapasztalt fejlődéséről. Cikke a szakigazgatási adatkezelés és az erdőrendezési rendszerépítés első fejlesztési szakaszának lezárásakor született: a rendszer minden eleme már áll. Az évenként aktualizált számítógépes Adattár létrejöttét 1975-re teszi. Egy 1983-ban készült, 2020-ig szóló optimalizált véghasználati prognózis eredményeit közli. Az optimalizálási modell az erdőnevelési modelltáblák vágásérettségi koraival számol. A modell kalkulál az erdőtelepítések hatásával és a rövid vágásfordulójú fafajok akár többszöri visszatérésével is. A hozamkiegyenlítést grafikus módszerekkel végezték. A módszertan szerzőségét nem tisztázza, de valószínűnek tartom, hogy a Bán-Solti-Péti-féle eljárásokról van szó. Megállapítása szerint a várható és elérhető hozam egyenletesen nő, 1980-tól 10 éves periódusokban rendre 56,2; 63,2; 65,4 és 66,5 millió m<sup>3</sup>.

Fadgyas Kálmán méltatlanul kevés publikációjának egyike az 1990-ben megjelent hozamszabályozási témájú vitairat (Fadgyas 1990). Gyönyörűen szerkesztett, klasszikus kérdés-válasz felépítésű írásmű a szókrátészi párbeszédnek élénk modorában. Az 1955-ös Útmutatóban (Országos Erdészeti Főigazgatóság 1955) megjelent szabályozási módszerről megjegyzi, hogy „a vágásérett állományok fakészletét erősen egyszerűsített (nagyon pontatlan) módon növedékesíti”, és csak 1971. óta „van lehetőség a gazdaságtalan, vagy más ok miatt a fahasználatból kizárt erdők elkülönítésére, és ezzel a szabályozásból való kihagyásra”. A lehetőség azonban nehezen váltható tette, mert ezen állományok elkülönítése, részletszintű azonosítása nem megoldott.

Fadgyas indoklást ad arra a kérdésre, hogy miért pont 30 évre szól a gyakorlatban bevett hozamkiegyenlítési módszer: mert józan ésszel ennél tovább előre nem látni, ennyi idő

alatt jelentős mértékben megváltozhat az erdő szerkezete és az ágazati politika egyaránt (utóbbival kapcsolatban lásd például az egymást követő erdőtörvények visszatérési idejét: 1879, 1935, 1961, 1996, 2009, 2017). A hozamkiegyenlítésben sem indokolt a vágásérettséghez képest 30 évnél nagyobb mértékben előre hozni vagy tartalékolni egyes állományokat, túl nagy ugyanis a faanyag értékromlásának kockázata, illetve a vágáséretlen állományok erőszakolt korai letermeléséből adódó növedék-kiesés. Rövid vágásfordulójú állományok esetén a 30 év is túlzás. „Szabályozni a tervezőnek csak a meglévő állományok mértékéig lehet tűrhető biztonsággal” – írja, kijelölve a visszacsatolás reális lehetőségeit.

*„Az országos hozamok az üzemenkénti hozamszabályozások eredményeként állnak össze. Nálunk is, más európai országokban is. Országos hozamszabályozás — olyan értelemben, hogy annak lebontását üzemenkénti erdőtervekben érvényesítenék — még nem volt.”*

Az utóbbi idézet azért fontos, mert bár indoklás nélkül, de arról szól ennek a hatalmas tapasztalatokkal bíró szakembernek a szájából, hogy egyetlen országos léptékű stratégia sem csatolható vissza a gyakorlatba, azaz az effektív szabályozás lehetősége mind időléptékében, mint térléptékében korlátozott. Az indoklás igen röviden a tulajdonjogból és a gazdálkodók önálló döntésekhez való jogából származik: a legerősebb központi irányítással sem sikerült még ennyire korlátozni és irányítani a gazdálkodás független szereplőinek tevékenységét.

Fadgyas (1980) arra is rámutat, hogy az erdőnevelési gyakorlatok megváltoznak, s mely gondolatot továbbvezetve felállíthatjuk az erdőgazdálkodási rezsimek lehatárolásának ötletét, illetve a fatermési táblák és nevelési modellek alkalmazásának korlátait.

*„A gyéritési módszereknek az utóbbi évtizedekben bekövetkezett változásai, a helyenként nagymértékben eltérő belenyúlási erély lehetetlenné teszik fatömeg meghatározására mindenütt alkalmas fatermési táblák készítését, egyszerűen azért, mert a sűrűség és záródás között állandó, szoros összefüggés nem található.”*

## 2.7 A normál erdő fogalma a nemzetközi faterméstani szakirodalomban

Az erdészettudomány kezdeti szakaszában, különösen az erdő jövedelmeinek adóztatása szempontjából a legfontosabb probléma magának az erdőnek és az erdőből származó hozamnak a fenntartása volt (Suzuki 2003). A „normál erdő” fogalmát Németországban dolgozták ki a 19. században. Az első szakember, aki felismerte és ránk hagyta a fenntartható erdő szükségességét, egy freibergeri ezüstabánya-tiszt volt, H. von Carlowitz. Később, a 18. század elején Hundeshagen (1848) Tübingenben kidolgozta az ideális erdő koncepcióját, amelynek minden korosztályban ugyanakkora terület van a vágásforduló legfiatalabb korosztályától a legidősebbig. Így amikor a rendszeres véghasználatok keretébe az utolsó korosztály legidősebb korfokát kivágják és felújítják, a korosztály-eloszlás továbbra is változatlan marad (Leslie 1966; Suzuki 2003). Ezt az ideális erdőt „normál erdőnek” nevezte el.

Az 1960-as években Japánban komoly probléma volt az erdők hozamának előrejelzése. A jövőbeli erőforrások előrejelzése érdekében újra felfedezték a hagyományos német erdőtudományt, és a gyakorlatban is megvalósították a normál erdő gondolatát (Suzuki 2003).

A stabil, állandósult állapotú erdőt, amely elválaszthatatlanul kapcsolódik a fenntartható erdőgazdálkodáshoz, Suzuki (2003) a „tágabb értelemben vett normál erdőnek” nevezte el. Suzuki a folytonos vágáskor eloszlású normál erdőt definiálta „tágabb értelemben vett normál erdőként”. A folytonos vágáskorú normál erdőt a klasszikus egyvágáskorú normál erdők halmazaként értelmezte.

Suzuki az adott időszakban kivágott erdőterület meghatározására egy, a terület korától függő vágási paramétert vezetett be, melyet „gentanritu”-nak (vagy „gentannak”) nevezett el. Az erdő növekedését és a gyérítéseket egy átmeneti mátrix segítségével reprezentálta (Suzuki 2003).

Feltételezve az irányítási cél időfüggő változását, Yoshimoto (1996a) bevezetett egy nem stacionárius Poisson-eljárást a fahasználati mintázat rögzítésére a gentán valószínűségi becsléshez. Időfüggő átlagos növekedési függvényt alkalmazott a sztochasztikus modellezéshez, és bevezette a gazdasági tényezők időfüggő változását (Yoshimoto 1996b).

Az 1990-es évek közepéig az erdőnövekedés modellezése a hazai erdőtudománynak is meghatározó témája volt. Király László professzor a normál erdő fogalmát alkalmazta a magyarországi bükkállományokra, és kidolgozta a normál erdő matematikai leírását (Király et al. 1992; Király és Mészáros 1995). Iskolateremtő tézisei nemzetközi elismerésre is szert tettek. Míg Suzuki elméleti úton vezette le az ideális normál erdő fogalmát, Király a vágásterület-eloszlások elemzéséből jutott alapjaiban hasonló eredményre.

## 2.8 Az erdőmodellek rendszerezése Marek Fabrika szerint

Marek Fabrika a Zólyomi Egyetem professzora, és nagyon jól követhető logikai rendszert alkotott (Fabrika et al. 2019) a létező és lehetséges erdőmodellekről.

### 2.8.1 A modellek koncepciója, működésének alapelvei

Meglátása szerint az erdőmodellek alapvető koncepciói három tudományterületről származnak.

**Biológiai.** Az alapkérdés, hogy miért növekednek a növények? A válasz központi eleme a fotoszintézis leírása volt, ami a kauzális erdőmodellek felé vezetett. Ezek a sejtek, növények (és egész erdőállományokra kiterjeszhető) biofizikai és biokémiai folyamatait írják le. Elterjedt a „fluxusmodell” elnevezés is, ami a talaj, a légkör, a faállomány, a légyszárúak, az állatvilág stb. modellezett poolok közti anyag- és energia-áramlásokra utal. E modellek egyenleteket állítanak fel a víz és a különböző tápanyagok áramlására, a hő- és energia-háztartásra vonatkozóan és rendkívül sok paramétert, kimérni szükséges együtthatót használnak.

A működés módja szerint folyamat-alapúak (process-based). A modell működése biológiai, öko-fiziológiai alapokon áll, a modellezett jelenségek a fotoszintézis, a respiráció, az allokáció.

A szakterület meghatározó kutatója Graham Douglas Farquhar ausztrál biofizikus.

**Matematikai.** Az alapkérdés, hogy a fák morfológiája, ágainak, szerveinek szerkezete és arányai mitől olyanok, amilyenek? A válasz a fraktálokban, a matematikai fraktál-fogalomban van, s ez lett a morfológiai egyesfa-modellek alapja. Szokás ezeket strukturális modelleknek, vagy fraktál-modelleknek is nevezni.

Meghatározó kutatója Aristid Lindenmayer budapesti születésű biológus (néha magyarként, néha magyar származásúként említik, pályafutásának nagy része az Utrechti Egyetemhez köthető). Munkásságának fő terméke az L-rendszerek (L-systems) nevezett formális nyelvtan (growth grammar), aminek segítségével definiálni lehet olyan objektumokat és kapcsolatukat, melyek rekurzív ismétlésével bonyolult struktúrák alakíthatók ki, pl. a növényi formák szimulálhatók.

**Erdészeti.** Az alapkérdés az erdők hozamaira irányult: mennyit és milyen gyorsasággal növekednek? Ez a megközelítés az alapja a mai erdészeti tudományokban hagyományosnak tekinthető empirikus modelleknek, ahol egyesfákra, faállományokra és erdőállományokra nézve statisztikai, függvényyszerű modelleket állítanak fel, melyek független változója elsősorban az idő, az évek múlása; paramétereik pedig a fafaj, a termőhely tulajdonságai és a többi.

A működés módja szerint empirikus modellek. A modell statisztikai összefüggéseket használ, általában regressziós formában, aminek alapadatai erdőleltárakból vagy erdészeti mintavételekből származnak.

Meghatározó kutatója Ernst Assmann német erdész.

### 2.8.2 A modell objektuma, alapegysége

A szerveződés objektumai, a modell alapegységei hordozzák a modell érdeklődésére számot tartó változókat, pl. mellmagassági átmérő vagy annak eloszlása, élőfakészlet, biomassa stb. Fabrika eredetiben görög betűkkel jelöli, lásd a 2.1 ábrát.

- a) A növény szervei.
- b) A növény egésze (a fa).
- c) A fák valamilyen leíró attribútum szerint kialakított halmaza (kohorsz, osztály), pl. átmérőosztály.
- d) A populáció (faállomány, erdőrészlet).
- e) Ökoszisztéma (biom).

### 2.8.3 A modell térbeli szerveződése, térszerkezete

A modell objektumai milyen geometriába rendeződnek? A térszerkezet a környezeti változók hatását közvetíti a modell objektumai felé, illetve meghatározza az objektumok egymáshoz való viszonyát a térben.

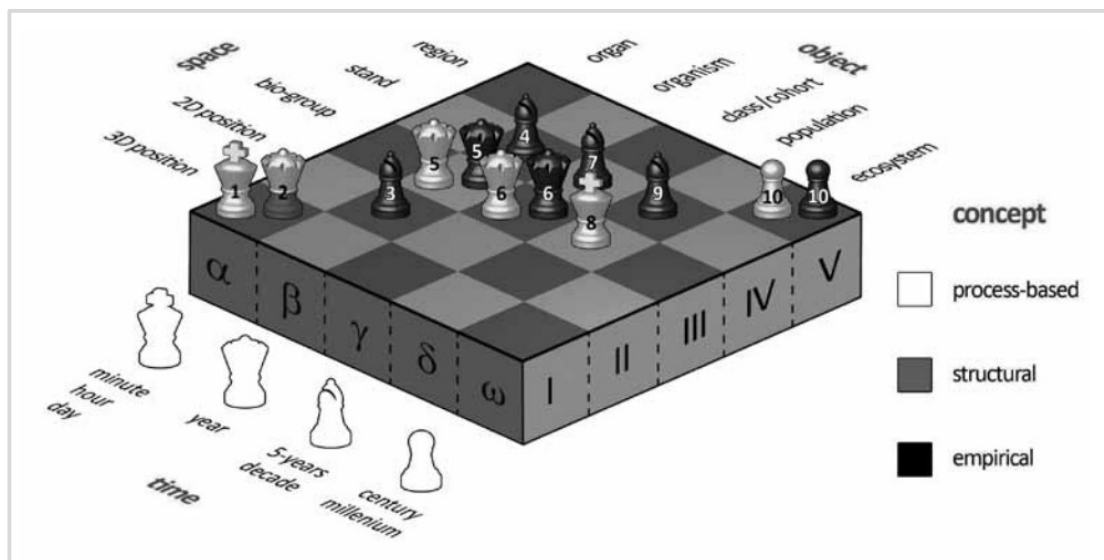
- I. 3D térben,
- II. 2D térben,
- III. biológiai meghatározottságú csoportosulások egymáshoz való viszonyai szerint,
- IV. faállomány-szinten,
- V. régiók szintjén.

### 2.8.4 A modell időléptéke

A modell működésének időbeli alapegysége, időosztása, alapvető ciklusának jellemző nagyságrendje. A modellek általában erre a periódusra határozzák meg a kimeneti változókat. Lehetséges értéke a perc léptéktől az éveken és több éves ciklusokon át a hosszú évszázadokig terjed.

### 2.8.5 Modell típusok

Fabrika a lehetséges modell-típusokat egy sakktáblán szemléltette (2. ábra).



2. ábra. Az erdőmodellek lehetséges típusai Fabrika (2019) szerint. Az osztályozás a modell objektuma, tér- és időléptéke és az algoritmikusok alapelvei szerint. A sakkfigurákon látható számozás a modell típusokat jelenti, ezek leírását lásd a szövegben. A térszerkezeti tulajdonságot a római számok, a szerveződés alapegységeit görög betűk jelölik. Az időléptéket a sakkbábu típusa jelzi.



**1. Öko-fiziológiai modellek.** Besorolás: alapegysége a növényi szerv, 3D-ben (alfa-I). Folyamat-alapúak. A faegyedek levélzetén szimulált asszimiláció a modell alapfolyamata. Vannak az egyes leveleket külön-külön kezelő változatok, de általában a lombkoronát egy általánosított objektumként, esetleg rétegenként írják le. A beeső fény mennyisége és eloszlása fontos szabályzó, ami az asszimiláló felület elhelyezkedésétől függ a 3D térben. Az asszimiláció eredménye a nettó biomassza, amit a növény szervei közt allokál.

TRAGIC (Pfreundt 1988, Hauhs et al. 1995)

BALANCE (Grote és Pretzsch 2002; Rötzer et al. 2009)

**2. Funkcionális-strukturális növény-modellek.** Besorolás: alapegysége a növényi szerv, 3D-ben (alfa-I). Strukturális működésű modellek. A növény morfológiai fejlődését szimulálják 3D térben a Lindenmayer-féle L-rendszerek elvei (növekedési nyelvtan) szerint. A növény ezek szerint rekurzívan fejleszt új szerveket és elágazásokat a régiék helyére, és elágazó fraktálként ábrázolható. Az új növényi szervek méretét és alakját öko-fizikai folyamatok szabályozzák, legfontosabb közülük a fotoszintézis és az allokáció.

GROGRA (Kurth 1999)

LIGNUM (Perttunen et al. 1998)

GroIMP (Kniemeyer 2008)

**3. Távolságfüggő egyesfa-modellek.** Besorolás: alapegysége az egyesfa, 2D-ben (beta-II). Empirikus működésű modellek. Faegyedek fejlődését (átmérő- és magassági növekedését) szimulálják statisztikai függvényekkel, 2D térben, törzstérkép alapján, a környezeti változók (az állomány növekedési erélye, fatermőképessége vagy termőhelyi változók) függvényében, a faegyedek közti kompetícióra tekintettel. A faegyedek közti kompetíciót indexekkel írják le és azok méretei és egymástól való távolsága szabályozza.

FOREST model (Ek és Monserud 1974)

SILVA (Pretzsch et al. 2002, Pretzsch 2009)

**4. Távolságfüggetlen egyesfa-modellek.** Besorolás: alapegysége az egyesfa, de faállomány-léptékben működik (beta-IV). Empirikus működésű modellek. Faegyedek fejlődését szimulálják statisztikai függvényekkel, 2D térben, törzstérkép nélkül, csupán a számosságukat, a gyakoriságukat meghatározva. A kompetíciót faállomány-szintű paraméterek, pl. a záródás vagy sűrűség szabályozza; vagy a faegyed elhelyezkedése valamilyen dendrometriai jellemző (pl. a faállomány magasság-eloszlása) kumulált gyakoriság-függvényén.

STAND PROGNOSIS MODEL (Wykoff et al. 1982)

PROGNAUS (Sterba 1995)

BWIN (Nagel 1996)

**5. Folt-modellek vagy facsoport-modellek (gap-models).** Besorolás: alapegysége az egyesfák kisebb halmaza, a faállománynál kisebb térléptékben kezelve (beta-III).

Empirikus működésű modellek. A folt mérete általában 100-1000 m<sup>2</sup>. A faállományon belüli, térben összefüggő csoportosulásokat jelent (pl. egy magfa és az őt körülvevő utód-csoportja, domborzati vagy mikro-termőhelyi különbségek hatására megjelenő foltok az állományban stb.), és ezek fejlődését szimulálják generációkon át, azaz a faegyedek élettartamának sokszorosát kitevő időtartam alatt. A faegyedek pozíciója nem ismert, csak a denrometriai jellemzőik (magasság, d13, fafaj), de a foltok pozíciója és elhelyezkedése fontos változó. A természetes szukcesszió léptékű változásokat írják le.

JABOWA (Botkin et al. 1972)

FORET (Shugart és West 1977)

PICUS (Lexer és Hoenninger 2001)

**6. Kohorsz-modellek.** Besorolás: alapegysége a faállományon belüli osztály, a faállomány alatti térléptékben kezelve (gamma-III). Empirikus és procedurális működésű modellek. A faállományon belüli homogén szerkezeti egységek (pl. szint, azonos fafajú egyedek csoportja, azonos magasságú és szociális osztályú faegyedek halmaza) fejlődését írják le. Minden kohorszt jellemez az egyedszáma, és a növekedési folyamatokat csak a kohorsz típus-egyedére kell modellezni. A faegyedek nem váltogatnak a kohorszok között, a halmazok egyedszámát csak a mortalitás szabályozza.

(A kohorsz eredetileg római katonai egység, a légio állt tíz kohorszból. A szociológiában a kohorsz alatt valamilyen tulajdonságukban homogén, a populációt alatti kategóriát értenek, pl. a kb. egy időben születettek csoportja, generáció; azonos származásúak; közös történelmi társadalmi tapasztalatokon átesettek és a többi. A természettudományokban inkább a sztrátum fogalma elterjedt hasonló jelentésben.)

ForClim (Bugmann 1996)

**7. Eloszlás-modellek.** Besorolás: alapegysége a faállományon belüli osztály, a faállomány térléptékében kezelve (gamma-IV). Empirikus működésű modellek. A faállományok átmérő- és magassági eloszlásának alakulását szimulálják, a különböző, az állományfejlődés egymást követő állapotainak láncolatát felrajzolva. Az eloszlások egymásba alakulását Markov-láncokkal írják le. Szerzők: Moser 1974; Sloboda 1976; Suzuki 1971; Buongiorno 2001

**8. Big Leaf („nagy levél”) modellek.** Besorolás: alapegysége a növényi szerv, nagy léptékben (delta-III). Folyamat-alapú működésűek. A teljes növénytársulás teljes asszimilációs tevékenységét egyetlen nagy levél metafórájában modellezik, és terület- vagy térfogat-egységre vetítik. Ez a térbeli egység egy vegetáció-típust jellemez. Az asszimilációs folyamatok homogének a térben zajlanak, nincsenek pl. szintek. A sugárzás abszorpcióját levélterület-indexekkel írják le a Lambert-Beer törvény alapján (mely összefüggés a fény elnyelése, az elnyelő közeg tulajdonságai és a közegben megtett út között).

3-PG (Landsberg és Waring 1997)

Biome-BGC (Thornton et al. 2005)

Biome-BGCMuSo (Hidy et al. 2016, 2018; magyar adaptáció az ELTE-n)

**9. Faállomány-modellek.** Besorolás: alapegysége a faállomány, a maga térléptékében kezelve (delta-IV). Empirikus működésű modellek. A leginkább hagyományosnak mondható konstrukció. Tipikusan a fatermési táblákra vezethetők vissza. Tejes faállományok fejlődését szimulálják. A bemeneti paraméterek a kor és a termőhely jóságát, a faállomány produktions teljesítményét leíró változó (fatermőképesség, fatermési osztály, site index), és környezeti változók (pl. klímaváltozási paraméterek). A leggyakrabban egyetlen és egykorú vágásos erdőkre vonatkoznak. Ide sorolható minden magyar vonatkozású modell, amit ismerek, köztük a sajátom is.

STAOET (Franz 1968)

DFIT (Bruce et al. 1977)

HOSZA (Szabó Gábor 1988)

CASMOFOR (Somogyi 2019)

DAS (Kottek 2017)

**10. Biom-modellek.** Besorolás: alapegysége a biom, nagy léptékben kezelve (omega-V). Empirikus és procedurális működésű modellek. A vegetáció-típusok (azaz biom: sivatag, bozótos, száraz tundra, sztyeppe, száraz erdő, esőerdő stb.) a környezeti változók (hőmérséklet, csapadék stb.) hatására bekövetkező, hosszú idő alatt lejátszódó változásait leíró statikus modellek.

BIOME (Prentice et al. 1992)

DOLY (Woodward és Smith 1994)

### **2.8.6 Trendek az erdőmodellezés nemzetközi szcénájában**

Fabrika áttekintése szerint a jelenlegi trend a hibridizáció, tehát a korszerű modellek különböző funkciókra különböző léptékű és különböző objektumokra vonatkozó folyamatokat kapcsolnak össze.

A másik trend a térlépték változása, tehát a korábbi modellek fejlesztése skálázással felfelé, általánosabb összefüggések felé; vagy lefelé, a részletesebb térbeli felbontás irányába.

A Fabrika által áttekintett 34 modell közül a DAS modellhez hasonlóan 14db dolgozott faállomány-térléptékben, ezek közül 6db éves vagy 5 éves időléptékű, 4db objektuma a faállomány, de érdekes módon csak kevés (2db) nyugszik empirikus (hagyományos faterméstani-dendrometriai) alapelveken.

## **2.9 Az erdők szénkészlet-változásának modellezése**

A legtöbb erdőtanúsítási program az erdő globális szén ciklushoz való hozzájárulását a gazdálkodási gyakorlatok fenntarthatóságának fontos mutatójaként tekinti (Forest Stewardship Council 2004). A fenntartható erdőgazdálkodás kulcsfontosságú koncepció, amely támogatja a modern erdészeti gyakorlatot azáltal, hogy felismeri az erdők társadalmi, ökológiai és gazdasági eredményei közötti egyensúly megteremtésének szükségességét (MCPFE 2003; Duncker et al. 2012). A jövőbeni szénkészlet-változások előrevetítésére és becslésére irányuló szakpolitikai igények is egyre nőnek, mivel a nemzetközi megállapodások megkövetelik az országoktól, hogy nyomon kövessék az erdők szén-dioxid-kibocsátását és -elnyelését, és arról jelentést készítsenek (Kurz et al. 2009). A Párizsi Megállapodás és az EU 2018/841 rendelete a földhasználatból, a földhasználat megváltoztatásából és az erdőgazdálkodásból származó üvegházhatású gázok kibocsátásának és eltávolításának a 2030-as éghajlati és energiaügyi keretbe történő felvételéről azt az elvárást tükrözi, hogy az erdők és az erdészeti ágazat fontos szerepet játszhat a klímaváltozás mérséklésében (Pilli et al. 2016b). Az EU 2018/841 rendelete értelmében a meglévő erdők üvegházhatású gázkibocsátását az EU-

tagállamokban az Erdő Referenciaszinthez (FRL) képest kell elszámolni a 2021-2030 közötti időszakban (Grassi és Pilli 2017).

Az FRL a jövőbeli kibocsátások és -elnyelések egyenlegének országspecifikus előrejelzett alapértéke, amelyhez a tényleges kibocsátásokat és elnyeléseket hasonlítani szükséges elszámolási célból. Az FRL-ek becslése a „jelenlegi erdőgazdálkodási gyakorlat és intenzitás folytatólagos megvalósulása” koncepció alapján történik, amelyre nézve a historikus referencia-időszak a meghatározó (Grassi és Pilli 2017). Ez azt jelenti, hogy az FRL-ben ugyanazokat a gazdálkodási gyakorlatokat és intenzitást vetítik előre, amely a referencia-időszakban volt tapasztalható, így az FRL nem tartalmazza azt a hatást, amelyet a meglévő (vagy jelenleg tervezett) szakpolitikai intézkedések, illetve piaci folyamatok, valamint az erdőtulajdonosok magatartása gyakorolhat a jövőbeli erdőgazdálkodási gyakorlatra és intenzitásra (Grassi és Pilli 2017).

Ahogy Böttcher és munkatársai (2008) hangsúlyozzák, az erdők korosztályszerkezete a múlt tükre, azaz a korábbi erdőgazdálkodási gyakorlatok öröksége a gazdálkodási (vagy zavarási) rezsim megváltozása után még évtizedekig fennmaradhat (Canadell et al. 2007). A fák növekedése, mortalitása és szénkészlete az állomány szintjén korfüggő, amint azt jól megalapozott empirikus összefüggések mutatják, amelyek számszerűsítik a fatermőképesség korfüggőségét (Pregitzer és Euskirchen 2004; Zaehle et al. 2006) és az ökoszisztéma nettó tápanyagfelvételét (Goulden et al. 1998; Schulze et al. 1999; Mund et al. 2002; Law et al. 2003; Desai et al. 2005).

Amikor a modellszimulációkat különböző kezdeti korosztály-eloszlások és erdőkezelési forgatókönyvek feltételezésével indítjuk kiderül, hogy az örökölt korszerkezeti hatás nagyobb lehet, mint az erdőkezelés megváltoztatásának hatása. Így ugyanaz a gazdálkodási változás, amelyet a különböző korstruktúrájú erdőkben alkalmaznak eltérő szénegyenleghez vezethet (Böttcher et al. 2008). Ugyanazzal a kezelési rendszerrel egy túlnyomórészt fiatal erdőkkel rendelkező országban nő az erdők szénkészlete, míg egy túlnyomórészt idősebb erdőkkel rendelkező országban valószínűleg csökken a szénkészlet, mivel a gazdálkodás megváltoztatása módosíthatja a nyelő vagy forrás erősségét, de a korosztályszerkezet, mint örökség hosszú ideig befolyásolja az szénkészletváltozások irányát (Böttcher et al. 2008).

Az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontja (JRC) a kanadai fejlesztésű Carbon Budget Modellen (CBM-CFS3) alapuló módszert dolgozott ki az erdők üvegházhatású gáz

kibocsátásainak és megkötéseinek előrejelzésére, összhangban az FRL-re vonatkozó javaslattal (Grassi és Pilli 2017). A kanadai erdészeti ágazat szén-dioxid-költségvetési modellje (CBM-CFS3) egy leltár-alapú, hozam adatok által vezérelt modell, amely szimulálja a föld feletti és a földalatti biomasza, valamint az elhalt szerves anyagok, köztük a talaj állomány- és tájszintű széndinamikáját (Kurz et al. 2009). A modellben minden erdőállomány földrajzilag egy térbeli egységhez kapcsolódik (Pilli et al. 2013). A CBM az Éghajlat-változási Kormányközi Testület által kiadott útmutató (IPCC 2006) 3. szintű megközelítését valósítja meg (Kurz et al. 2009). A CBM-et regionális és nemzeti szinten is alkalmazták és validálták Kanadában (Kurz és Apps 1999; Stinson et al. 2011) és Oroszországban (Zamolodchikov et al. 2008), és sikeresen adaptálták az európai erdőgazdálkodási feltételekhez is (Pilli et al. 2013; Pilli et al. 2014a; Pilli et al. 2014b). A JRC tanulmányai azt mutatják, hogy a CBM jó eszköz arra, hogy segítse az országokat az erdők széndinamikájának becslésében, beleértve a természetes zavarások hatásait, valamint a tagállamok Üvegházgáz Leltárainak uniós szintű ellenőrzésére is alkalmas, összhangban az IPCC iránymutatásaival. A modellt már alkalmazták az összetett erdőművelési rendszerekkel jellemezhető európai erdők közelmúltbeli és jövőbeli széndinamikájának szimulálására (Pilli et al. 2013; Pilli et al. 2016a).

Grassi és Pilli (2017) tanulmányukban a CBM-mel modellezett és uniós szinten összesített FRL-előrejelzések kulcsfontosságú eredményeit mutatták be. Hangsúlyozzák, hogy az EU szintű növedék hosszan tartó növekvő trendje 2005 körül megbicsaklik és az esetleges csökkenés első jeleit mutatja. Ezért a „jelenlegi” gazdálkodási gyakorlat és intenzitás folytatásához a fakitermelési mennyiségek növelésére lehet szükség. Ez az oka annak, hogy az abszolút kitermelési mennyiségeket nem tartják állandóan az előrejelzésekben, hanem a megfigyelt kitermelési mennyiségek és a „faellátásra rendelkezésre álló biomasza” arányát tekintik állandónak (Grassi és Pilli 2017). Ugyanezen okból a javasolt FRL-modellezési megközelítés nem feltételezi, hogy a referencia-időszakban megfigyelt fakitermelés és növekmény közötti arány állandó marad a jövőbeli előrejelzésekben. Ez az arány a jelenlegi gazdálkodási feltételek és intenzitás mellett várhatóan növekedni fog, mivel a legtöbb uniós erdő várható elöregedése magasabb kitermelést tesz szükségessé, míg a növekmény enyhén csökkenni fog az életkorral összefüggő hatások miatt. Ennek eredményeként EU-szinten az FRL-modellből származó fakitermelés-növekmény arány várhatóan több mint 10%-kal nő (Grassi és Pilli 2017).

Pilli és munkatársai (2016b) EU-szintű elemzést végeztek az erdők fakitermelés és természetes zavarások hatására bekövetkező szénkészletváltozásait modellezve. Eredményeik azt mutatják, hogy a fakitermelés hatása jóval nagyobb, mint a természetes bolygatásoké. Ugyanakkor az egészségügyi termelések miatt a természetes bolygatások hatása sokszor nehezen megkülönböztethető a fakitermelés hatásától. A viharokkárok hatása a biomassza szénkészletére 5-10-szer nagyobb, mint a tüzeseteké, azonban a viharok csak közvetett kibocsátást okoznak, a tüzek pedig közvetlen és közvetett kibocsátásokkal is járnak (Pilli et al. 2016b). Pilli és munkatársai (2016a) elemzésükben az 1990 előtti erdőterületek nettó széndioxid-kibocsátását becsülték meg az Európai Unió 26 országára nézve a 2000–2012 közötti időszakban. Eredményeiket független esettanulmány alapján validálták, és összehasonlították az országok által az Egyesült Nemzetek Éghajlat-változási Keretegyezményének (UNFCCC) benyújtott, 2014-es Üvegházhatású Gázoleltárakban szereplő adatokkal is. Magyarország azon országok közé tartozott, ahol a modelleredmények és az Üvegházgáz Leltárban közölt adatok egyezése nem volt jó. A becslések mind a trend, mind a szint tekintetében jelentősen eltértek, ennek oka további elemzést igényel. A Magyarország által közölt szénelnyelés lényegesen alacsonyabb a modellezéssel becsült értéknél, és nagyobb évenkénti ingadozást mutat (Pilli et al. 2016a).

Pilli és munkatársai (2017) az erdőművelés alatt álló európai erdők szénkészleteit és fluxusait is elemezték, illetve részletesen számszerűsítették az erdők és a légkör közötti szén-áramlást és a szénkészleteket 2030-ig. Emellett különböző modellforgatókönyvek alapján modellezték a korszerkezet, a fakitermelés, a természetes bolygatások és a földhasználat váltás hatásait az öt erdei széntárolóra (azaz a föld feletti és föld alatti biomasszára, a holtfára, az avarra és a talajra) és a fatermékekre, mint széntárolóra. Az eredmények arra utalnak, hogy az európai erdők össznövekedése enyhén csökken, és a fakitermelés 20%-os növelésével megközelítjük az 1990 előtti erdőterület maximális fakitermelési potenciálját. Magyarország esetében 2000-től 2012-ig meglehetősen állandó anyagforgami időt és csökkenő nettó elsődleges produkciót becsült a modellezés (Pilli et al. 2017).

### **2.9.1 A CASMOFOR modell**

Somogyi (1997) fejlesztette ki az első magyar országspecifikus erdősítési szénmegkötési modellt (Carbon Sequestration Model for Forestations, CASMOR) a COMAP



(Comprehensive Mitigation Assessment Process; Sathaye et al. 1995) alapján. A CASMOFOR modell (Somogyi 2019) az előző modell alapvetően újraalkotott változata, amely az IPCC módszertanán alapul, és az 1990-es évek óta folyamatos fejlesztés alatt áll, figyelembe véve a hazai erdők sajátosságait és az IPCC útmutatási és jelentési követelményeit, illetve azok változását. A CASMOFOR-t eredetileg arra tervezték, hogy modellezze azt, hogy mennyi szén kötődik meg az idő előrehaladtával az erdőtelepítésekben, de képes egyéb erdőket és ültetvényeket is modellezni. Az átlátható modellezési keretrendszer minden olyan országban használható, ahol megfelelő adatok állnak rendelkezésre olyan alapvető erdei folyamatok modellezésére, mint a fák növekedése és lebomlása, valamint az erdőgazdálkodás. A CASMOFOR egy MS Excel alapú rendszer, nem térben explicit. Fatermési tábla adatokat, valamint sűrűség és biomassza-expanziós tényezőket alkalmaz, illetve felhasznál az állomány kezelésével kapcsolatos információkat, és egyéb állandókat, amelyek egy része faj- és termőhely-specifikus (Somogyi 2019).

A CASMOFOR-NFDB elnevezésű dinamikus növekedési modell az összes magyarországi erdőre (Somogyi et al. 2019; Somogyi 2020) jött létre az EU 2018/841 rendelet szerinti új jelentési követelmények teljesítése céljából, és az országspecifikus FRL kialakítása érdekében. A modell összhangban van a magyar Üvegházgáz Leltárral és az IPCC módszertani irányelvein alapul. A modellben felhasznált tevékenységi adatok fő forrása az Országos Erdőállomány Adattár és a Nemzeti Üvegházgáz Leltár Jelentés adatai. Az Országos Erdőállomány Adattár erdőrészeket leíró adatai képezik az input adatokat a modellezéshez, ezzel kiiktatva a fatermési táblák használatát és biztosítva a teljesebb konzisztenciát az Adattárral és az Üvegházgáz Leltárral (Somogyi et al. 2019; Somogyi 2020).

A modell leírás szerint (Somogyi et al. 2019) a modell 150 korosztályt különböztet meg, és a faállományok paramétereit a kor függvényében írja le. A modellezés során az életkor egy évvel történő emelése azt eredményezi, hogy az adott korosztály teljes területe átkerül a következő korosztályba. A 150. korosztály esetében a kor növelésével a terület továbbra is a 150-es korosztályban marad. A véghasználattal érintett területek az első korosztály előtti, mínusz hároméves korosztályba kerülnek, ezzel leképezve az erdőfelújítás időigényét, és az ahhoz tartozó átfutási időt, mely itt szakértői becslés szerint három éves.

A modell egy fatérfogat különbségi tényezőt használ, amely a területspecifikus nettó éves fakészlet növekedés mértékét jellemzi egy korosztályban a területspecifikus növekedés, gyérítés és pusztulás eredményeképp. Ez a tényező reprezentálja a közelmúltbeli fanövekedési, gyérítési és mortalitási szint által okozott változásokat.

A növekedési függvények fejlesztéséhez az Országos Erdőállomány Adattár korosztályonkénti historikus terület és élőfakészlet adatai kerültek felhasználásra. Az egyes fajokra (és fajcsoportokra), fatermési osztályokra és korosztályra vonatkozóan ugyanazon történeti adatokból alakította ki a Szerző a növekedési függvényeket. Összesen 132 növekedési görbét alakított ki mozgóátlagok felhasználásával egy fafaj és fatermési osztály specifikus küszöbértékig; ezen küszöbértékek felett pedig lineáris közelítést alkalmazott (Somogyi et al. 2019).

## 3 ADAT ÉS MÓDSZER

### 3.1 Az Országos Erdőállomány Adattár

Az Országos Erdőállomány Adattár nemzetközi összehasonlításban szokatlan a benne tárolt adatok mennyisége és az erdészeti igazgatásban betöltött szerepe miatt. Az Adattár a hazai erdőtervezés és az erdőfelügyelet nélkülözhetetlen eszköze, és az ágazatpolitikai intézkedések végrehajtásának ellenőrzésében is fontos szerepet játszik.

Az Adattárban az ország minden egyes erdőrészletére vonatkozóan digitális térkép és több mint 300 nyers és származtatott adat érhető el. Az Adattár minden erdőrészlet vonatkozásában adatokat tárol a termőhelyi viszonyokról, a fafajösszetételről, az erdőgazdálkodóról, az előírt és már elvégzett erdőgazdálkodási tevékenységekről (fakitermelés, erdőfelújítás stb.), a védettségi besorolásról. A dendrometriai paraméterek leírása fafajsorokban történik, mely az Adattár legkisebb alapegysége. Az egyazon erdőrészlethez tartozó fafajsorok leggyakrabban az alábbi attribútumok valamelyikében eltérnek egymástól: fafaj, eredet, kor, szint.

Az Adattár hardver architektúrája egy Oracle 9g majd 10g alapú rendszer, amelyet egy PHARE projekt keretében fejlesztettek ki 2005-ben (Tobisch és Kottek 2013).

Az Adattár létrehozásának két fő célja az erdészeti igazgatási tevékenységhez szükséges ellenőrzés és monitoring kiszolgálása; illetve a magyar erdőkre vonatkozó releváns adatok tárolása volt kataszteri szemléletben (erdő- és egyéb részletenként), teljeskörű területi lefedéssel. Az Adattár jelenlegi szerkezete csak az első célnak felel meg meglehetősen jól. Részben ez az oka annak, hogy léteznek más adatbázisok is, amelyek a magyarországi erdőket írják le (pl. a Szisztematikus Erdőleltár, NFI). Az első célból következően az Adattár két fő adatforrása az erdőtervezés és az erdőfelügyelet. Az adattömeg nagyrészt (közel 90%-ban) az erdőtervezéssel kapcsolatos adatgyűjtésből származik.

Magyarország erdőterületének mintegy egytizedének erdőtervezése történik meg évente, ami azt jelenti, hogy minden erdőrészletet közelítőleg 10 évente egyszer terveznek. Az erdőtervezés terepi felvételezésen alapszik, és a következő 10 éves periódusra írja elő az erdőkezelési feladatokat, illetve azok ütemezését. A terepi felmérés során az állomány főbb jellemzőiről (például terület, kor, fafaj, magasság, átmérő, lombkorona zártsága)

vesznek mintát az erdőtervezők. A két erdőtervezés közötti időszakban az Adattárban a növedékesítés fatermési táblák felhasználásával történik.

Az Adattár fatermési rendszerének központi eleme a fatermési táblák alkalmazása, elsősorban az élőfakészlet- és a növedék-számítás területén. Az alkalmazott fatermési táblák mind a mai napig az 1971-72-es datálású I. generációs nomogramok digitalizált (numerikus) változatai, melyek elavultsága évtizedek óta probléma, de az ágazatirányítás eleddig nem vállalta a döntést a lecserélésükről, mert a váltás a status quo felrúgásával, az erdőállomány több fontos mutatójának (pl. élőfakészlet, növedék, fahasználatok mennyisége) ágazatpolitikai szempontból kockázatos megváltozásával járna.

Az Adattár struktúráját, adatszerkezetét és algoritmusait részletesen a IX. melléklet mutatja be.

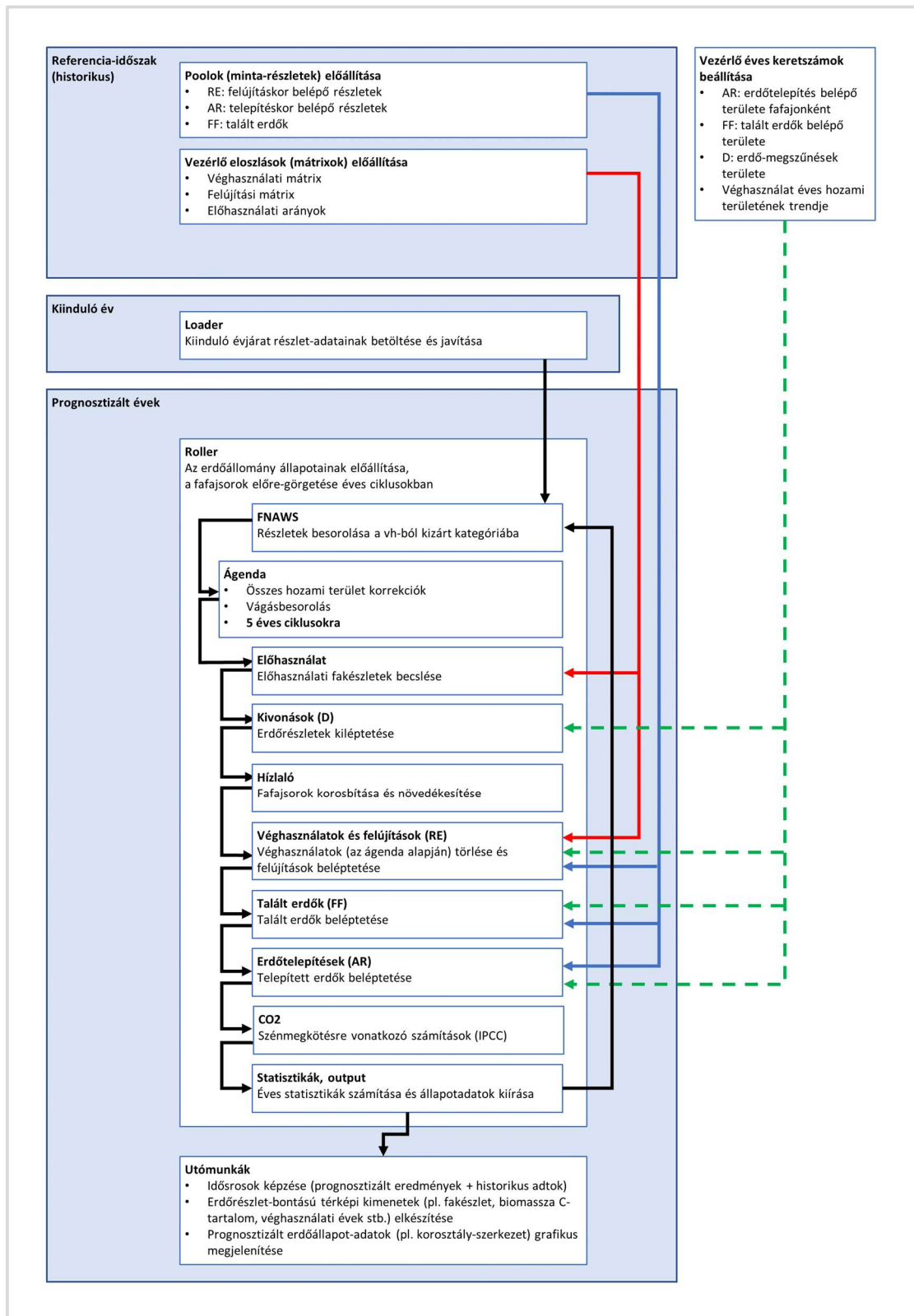
### 3.2 A DAS modell általános leírása és építőkövei

Kutatásom során létrehoztam a DAS modellt (Distributions Applied on Stands model), mely egy erdőrészlet alapú erdőállomány prognózis modell. A modell alkalmas az erdőállomány fafaj- és korosztály-szerkezetének, az élőfakészlet, a növedék, a kitermelt elő- és véghasználati fatérfogat és a szénmegkötés előrejelzésére regionális és országos szinten, és a modell sztochasztikus természetéből adódó korlátokat szem előtt tartva viszonylag alacsony aggregáltsági fokon is. A modell az Országos Erdőállomány Adattár adatait használja. Alkalmas térben explicit input-paraméterek fogadására (pl. klímaváltozási előrejelzések) és az eredmények térképi megjelenítésre is, így azok térinformatikai szoftverekkel feldolgozhatók. A modell az országos prognózis előállításakor kb. 600 ezer erdőrészlet és 1,2 millió fafajsor adatait kezelte. A szabályzó paramétersorok a referencia-időszak ténylegesen tapasztalt folyamatain alapulnak: a modellben valós vágáskor-eloszlások és valós felújítási viszonyok működnek. A modell újra paraméterezése a 2016-2021 időszak historikus adatainak felhasználásával jelenleg (2023) zajlik.

A modell számos ponton kapcsolható az erdészeti tudományok más modelljeihez: inputjai lehetnek a klíma- és termőhelyi várakozások téradatai; outputjai pedig a fatermékek termelésének előre-vetítése, megújuló energiatermelési tervek, széndioxid megkötési scenáriók, tágabban pedig az erdő által szolgáltatott egyéb immateriális javak és szolgáltatások becslése (pl. a természetesség alakulása) lehetnek.

A modell a Király-féle jövőkép-fogalomrendszerből indul ki és több teoretikus újítása van. Tapasztalati (tény) vágáskor-eloszlásokkal és felújítási mátrixszal dolgozik. Az erdőállomány fejlődését nem egy optimálisnak tartott jövőkép felé tartva írja le, hanem a megismert folyamatokat viszi tovább, illetve ezek változtatásaival fogalmazhatók meg különböző fejlődési pályák. A modell éves bontású, az országos prognózisban pl. 2050-ig adott eredményeket. A DAS modell alulról felfelé építkező architektúrájú (bottom-up), ami azt jelenti, hogy egy erdőrészlet élőfakészlet-adatai az adott részlethez rendelt fafajsorok fakészlet-adatainak összegzésével állnak elő. A regionális és országos szintű összegzés, vagy bármely más sztrátumhoz (pl. fafajcsoportok és korosztályok, rendeltetések és tulajdonformák stb.) tartozó részösszegek az adott földrajzi egységhez vagy sztrátumhoz tartozó erdőrészletek adatainak szummájaként állíthatók elő. A modell

a Microsoft Visual FoxPro programozási nyelvet használja és Windows környezetben fut. A felhasznált bemeneti és előállított kimeneti fájlok dBase, WKT és CSV formátumúak. A további alfejezetekben részletesen ismertetem a DAS modell felépítését és alegységeit. A DAS modell építőköveit és a közöttük lévő kapcsolatokat a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra: A DAS modell folyamatábrája

### 3.3 Az erdőtelepítési prognózis BAU scenáriójának bemutatása

Mertl (2017) remek összefoglalót ad a magyarországi erdősültség modern kori (kb. a 18. századtól kezdődően) alakulásáról és okairól, nemzetközi kitekintéssel a 2000. óta meghirdetett hazai erdőtelepítési programokról és azok megvalósulásának sikerességéről, az erdőtelepítések versenyképességének alakulásáról más földhasználati módok, elsősorban a mezőgazdasági hasznosítással összevetve.

A '90-es évek végén kidolgozott, majd többször újragondolt Nemzeti Erdőtelepítési Program (Vidékfejlesztési Minisztérium 2010) hosszú távon az ország 27%-os erdősültségének az elérését tűzte ki célul; ez a célkitűzés maradandó nyomot hagyott az ágazati stratégiai gondolkodásban, s az egymás után következő tervek és programok állandó eleme volt, többször megerősítésre került például a Nemzeti Vidékfejlesztési Programban az Új Magyarország Vidékfejlesztési Programban vagy a Nemzeti Erdőstratégiában (Földművelésügyi Minisztérium 2016) is.

Az erdőtelepítések területe a DAS modell input paramétere. A modell jelen dolgozatban bemutatott 2016-os országos szintű futásához az erdőtelepítésekre vonatkozó előrejelzést Szamosfalvi Károly és munkatársai készítették, annak részletes leírása az Agrárklíma II. projekthez kapcsolódó kutatási jelentésben lelhető fel (Szamosfalvi et al. 2017).

A BAU scenárió esetén Szamosfalvi és munkatársai (2017) feltételezték, hogy minden a korábbi években tapasztaltaknak megfelelően fog történni. Az erdőtelepítések fafajcsoportonkénti és megyénkénti megoszlásának meghatározása a 2004-2014 évek időszakában megvalósult erdőtelepítések arányszámainak figyelembevételével történt. A 2004-2014-es időszakban ugyanakkor a fenyők még nem elhanyagolható területi arányban (408 ha) fordultak elő a telepítések között. Mivel ezek az új támogatási rendszer szerint kiesnek a támogatott fafajok köréből, területi részesedésüket az akác célállománycsoportba sorolták át, tekintve, hogy szélsőségesebb termőhelyeken történő alkalmazhatóságuk miatt az akáchoz állnak legközelebb.

Az erdőtelepítési prognózis BAU scenáriójának készítésénél az alábbi feltételezésekből indultak ki:

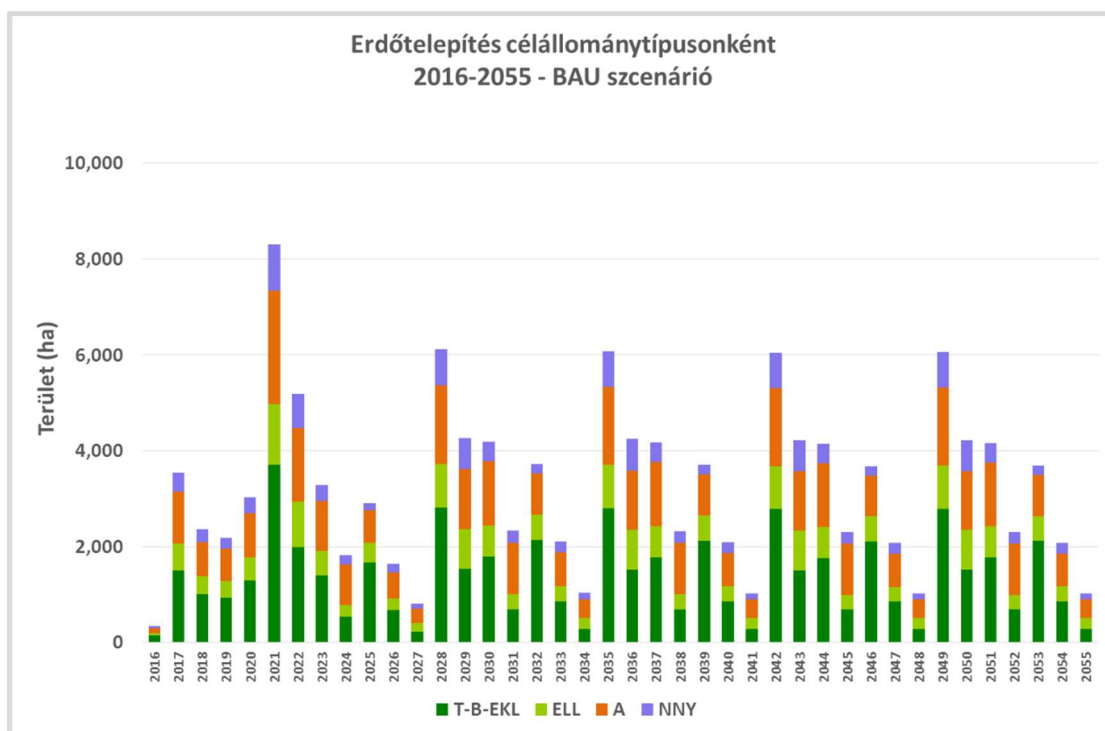
1. Az erdőtelepítés megyék közti eloszlása a korábbi 10 évben tapasztaltaknak megfelelő lesz.



2. Az egyes megyéken belül a telepítendő célállományok aránya megközelítően meg fog egyezni az elmúlt 10 évben a valóságban tapasztalt arányokkal.
3. A megyéket, mint területi alapegységeket azért tekintettük összehasonlítási és viszonyítási alapnak, mert hosszabb távra visszamenőleg ilyen területi bontásban rendelkezik adatokkal az erdészeti igazgatás. Továbbá más ágazati prognózisok esetében is a megyéket közigazgatási és területszervezési egységként veszik figyelembe.
4. Ültetvények telepítésétől eltekintettünk, a rendelkezésre álló forrásoknak teljes egészében erdőtelepítésre történő felhasználásával számoltunk.

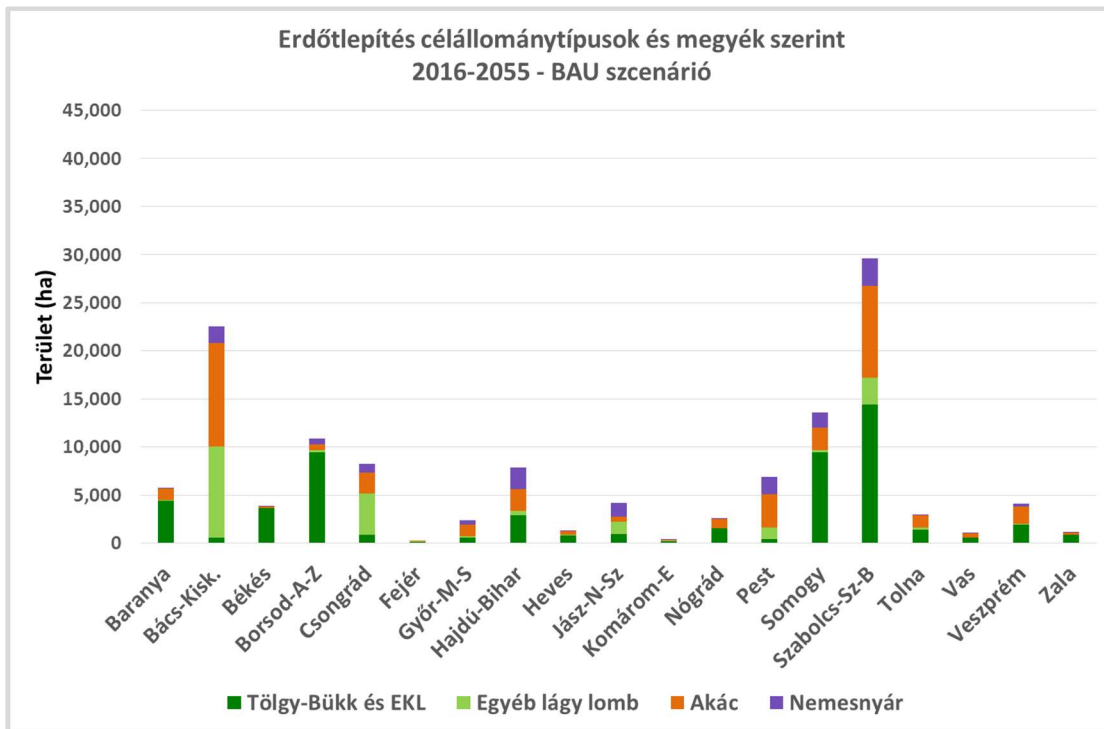
A telepítések cikluson belüli éves megoszlásának becsléséhez az Országos Erdőállomány Adattárban nyilvántartott telepítés első kiviteli területek 2008 és 2014 közötti eloszlását vették alapul.

A telepítések prognosztizált évenkénti, célállományok szerinti megoszlását a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra: Erdőtelepítések célállománytípusonként a BAU scenárióban

A telepítések megyék közötti prognosztizált megoszlása pedig a 5. ábra szerint alakul a BAU scenárióban.



5. ábra: Erdőtelepítések célállománytípusok és megyék szerint a BAU scenárióban

A 2016-2055 periódusban az előrejelzés szerint összesen 129 769 ha erdő telepítése várható.

### 3.4 A fahasználati rezsím levezetésének elméleti háttere

#### 3.4.1 A terület-alapú görgetés

A hazai hozamszabályozási kísérletek és megoldások ismeretében (főleg a Szabó Gáborral folytatott konzultációkat emelném ki) elég korai fázisban biztos voltam benne, hogy a prognózis fatermési modellje terület-alapú lesz, azaz a faállományok területét fogja előre görgetni, és ezen az alapon fog fakészleteket, növedéket, egyéb faterméstani változókat számítani valamilyen hektáronkénti fajlagos értékek segítségével.

A másik input a fakészlet-számítás ismert bizonytalanságának ismerte volt: nem találtam meggyőzőnek és kellően rugalmasnak az Adattár átlagos fakészleteinek kivetítésével, pl. a fakészletek függvényesítésével (Dr. Tobisch Tamás, Szabó Gábor) vagy a növedék kumulálásával (Bán-Solti) dolgozó modelleket, mert természetesen a részletezettségtől függően, de mindenképpen túl sok pillanatnyi paramétert rögzítenek (pl. egészségügyi állapot, záródás- és fatermőképesség-eloszlások), mely paraméterek a modell futása alatt valószínűleg inkább dinamikusan változók lesznek. (Az erdőállomány egy adott időpillanatban ismert állapotából levezetett fakészlet-regressziók egyébként elterjedtek és széles körben elfogadottak az erdőállomány-modellezés irodalmában, pl. EFISCEN, CASMOFOR NFDB.) A klímaváltozás, mint jelenség pont arról szól, hogy nem csak a fafajok jellemző elterjedése, de a faállományok fatermőképessége, záródása, egészségügyi állapota stb. nagyon gyorsan változnak meg, akár vágásfordulón belül is, és olyan modellt akartam, amivel e jelenségek paraméterezhetők és időben dinamikusan változó módon megragadhatók.

A faállomány hektáronkénti fakészletének modellje a fatermési táblás számításokban, egy fafajsorra:

$$fak = fak\_táblai(ffj, er, ftk, kor) * \text{részszűrűség}(ear, zár, lambda)$$

ahol:

- fak = fajlagos fakészlet (m<sup>3</sup>/ha)
- fak\_táblai = 100%-os sűrűsége vonatkozó táblai fakészlet (m<sup>3</sup>/ha)
- ffj = fafaj
- er = eredet
- ftk = fatermőképesség, az összfatermés átlagnövedéke (m<sup>3</sup>/ha/év)
- kor = kor (év)
- ear = elegyarány (%)
- zár = záródás (%)

- $\lambda$  = záródás-sűrűség viszonyszám, vagy sűrűség-szorzó

A rugalmasság igényéhez a fatermési táblák, mint a legáltalánosabban alkalmazható és paraméterezhető fatermési modellek illettek, tehát biztos volt, hogy az előre görgetett faállomány-területekhez fatermési táblákból származó fakészletet stb. fogok majd használni. A fatermési táblák alkalmazása esetén ugyanis paraméterezhető a fatermőképesség (ami a faállomány növekedési erélyét, a termőhely jóságát egyszerre írja le), és ezáltal zárt képletben megfogalmazható az állományok leromlása.

Ugyanígy a részsűrűség számításában megjelenő záródás és elegyarány, mely változók átmeneteiben egyfelől a faállományok várt kiritkulása és felnyílása; másfelől egyes állományok esetén az elegyarányok eltolódása ragadható meg, alkalmas időben változó termőhelyi adottságok kezelésére, ha ezeknek a változóknak a fejlődésére részmodellek fogalmazhatók meg.

A növedékesítéssel dolgozó módszereket azért vettem el, mert míg az élőfakészlet a faegyedek és faállományok közvetlen mérésével határozható meg, a folyónövedék mindig származtatott mennyiség az erdőbecslési adatgyűjtéseknél, így elvi alapon is több bizonytalanságot hordoz.

Ehhez a koncepcióhoz illeszkedően a hozamokat is terület-alapon kellett meghatározni.

### 3.4.2 A BAU scenárió definíciója

A BAU (Business as Usual - az eddigi gyakorlat szerint) scenárió alatt azt értem, hogy a scenárió 2050-ig tartó időablakában:

1. a gazdálkodás módszerei azonosak maradnak (változatlan erdőfelújítási, erdőnevelési és véghasználati viszonyok);
2. változatlan termőhelyi-környezeti viszonyok maradnak fenn, tehát pl. az erdőkárok a jelenlegi szintet nem lépik túl radikálisan, valamint a termőhelyi, ezen belül kiemelten a klimatikus és a hidrológiai viszonyok változatlanok maradnak;
3. nem lép be olyan közgazdasági vagy jogi szabályzó, ami alapvetően felforgatná a status quo-t.

A BAU scenárió ebben az értelmezésben teljes változatlanságot feltételez, mert csak az erdőállomány belső korosztály-dinamikája működött. Ugyanakkor nem reális, hiszen a szakmai konszenzus szerint az erdőkárok mértéke már középtávon is a jelenleginél

mindenképpen nagyobb lesz, s ehhez visszacsatolásként várhatóan a gazdálkodás is alkalmazkodni fog. A BAU és majd a jövőben definiálandó és felépítendő scenáriók (pl. az erdőnevelési mátrixot beépítő; a klímaváltozás hatására növekedő erdőkárokat figyelembe vevő; a klímaváltozás hatására a fatermőképesség eltolódását figyelembe vevő; a klímaváltozás hatására megváltozó felújítási rezsimet alkalmazó; vagy a jelenlegitől eltérő energia-stratégia hatását kalkuláló – és a többi) közti összefüggések analitikus vizsgálata és a kauzalitás megteremtése, az erdőállományra ható külső tényezők szétválaszthatósága miatt azonban szükség van egy ilyen változatlan nullpont felállítására.

### **3.4.3 Az összes véghasználati hozami terület, mint vezérlő adat**

A nemzetközi modellezési irodalomban elterjedt megoldás, hogy az erdőállomány hozamait a faanyagra vonatkozó közgazdasági kereslet felől határozzák meg, lásd pl. 2011-ben, az ühg-leltárak FM referencia-szintjének meghatározásában, amikor az EFI koordinációja mellett 14 országgal egyetemben Magyarország is az EFISCEN (2023) erdőállomány-modellt és a G4M közgazdasági modellel együttesen alkalmazta (UNFCCC 2011). A projekt támogatásában magam is részt vettem, s csalódást keltő volt, hogy a setup a magyar összes bruttó fakitermelést kb. 4-5 millió m<sup>3</sup>-es szinten prognosztizálja (a végleges eredmények közé később kerültek be realiztikusabb eredmények).

Fapiaci trendekre és közgazdasági megfontolásokra magyar viszonylatban is lehetne olyan előremetszéseket alapozni, amik a hozamok alakulására vonatkoznának, de nem ismerek olyan közgazdasági irányultságú szakértőt, aki itthon a témával foglalkozik, se az igazgatási, se az üzleti, se a tudományos-egyetemi szcénában. Ilyen témájú publikációt nem találtam (2016-ban, a szerk). Még árprognózissal se nagyon foglalkozunk.

Egyébként a feladat egyáltalán nem lenne lehetetlen, az alapadatok az OSAP-statisztikákban meg is van hozzá, de a magyar erdész-szakma adós ennek a területnek a lefedésével.

Ezért a BAU-szcenárió esetében a hozami területek meghatározásának statisztikai módszereire voltam kénytelen hagyatkozni, melyek az erdőállomány hozami területét historikus adatok alapján vetítik előre (lásd a 3.4.5. fejezetet).

### 3.4.4 A véghasználatok igazgatási adatkezelésből kiinduló definíciója

Nagy Frigyes Vince tanácsaitól támogatva döntöttem végül a véghasználatok igazgatási szemléletű definíciója mellett. Ő azt mondta, hogy a belépő felújítási kötelezettség területe az, amit a felügyelet a véghasználatok esetén gondosan adminisztrál, határozatban rögzít és nyilvántart. Érdemes azt használni, mert az adattári összefüggésekben ez a vezérlő adat, ez az összekötő kapocs a véghasználattal érintett öreg állomány területe és a felújítással keletkező új állomány területe között. A véghasználati mátrix levezetésekor használt hozami terület-definíciókat lásd az 1. táblázatban.

*1. táblázat: A kötelezettség területe és a hozami terület felhasználási módokként*

<b>A kötelezettség területe és a hozami terület felhasználási módokként</b>	
<b>Fahasználat módja</b>	<b>Hozami terület definíciója</b>
Tarvágások	Érintett terület (a részlet területe).
Fokozatos felújítógátások	Redukált terület (kb. a fafajsorterületéből arányosan eltűnő terület).
Egyéb	Felújítási kötelezettség alá vont terület, főleg egészségügyi- és egyéb termeléseknél, illetve minden egyéb felhasználásnál, ami felújítási kötelezettséget keletkeztet.

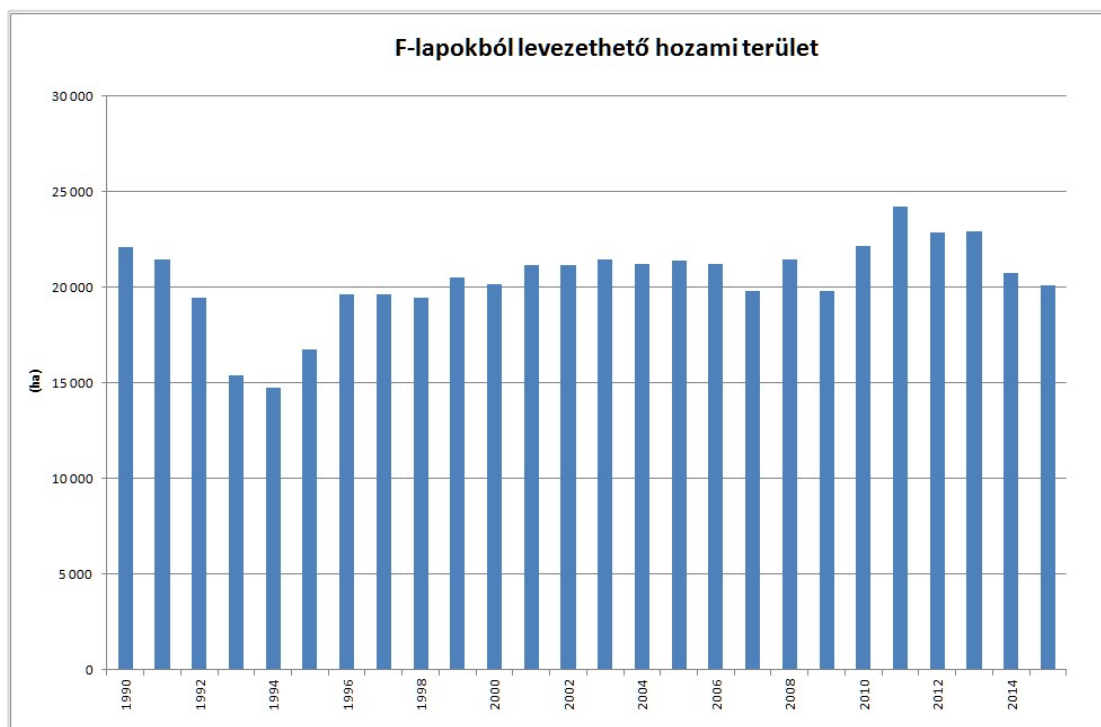
### 3.4.5 Az összes hozami terület predikciója (BAU)

A modellben az erdőállomány összes véghasználati hozami területét egy paraméter-táblázat határozza meg, mely évenként tartalmaz sorokat. (Az összes hozami terület ilyen egyszerű előírhatósága nagyon praktikus abból a szempontból is, hogy könnyen interpretálható, illetve, hogy más scenárióknál egyszerű lesz módosítani.)

A tapasztalatok (a hivatalos, ill. a saját statisztikáim) szerint az éves összes véghasználati hozami terület a fenti definíció szerint 20-25 ezer hektár szokott lenni évente.

Az összes véghasználati hozami terület meglehetősen stabil, és nincs szoros összefüggésben az erdőtervekben meghatározott vágáskorokból levezethető hozami területtel (6. ábra). Vizsgálataim szerint az erdőtervezésben szokásos kimutatásban szereplő 1-10, 11-20 és 21-30 éven belül vágásérett állományok összes területének kb.

kétharmada kerül valóban véghasználatra a vonatkozó periódusban. Ebből azt a következtetést vontam le, hogy a valós véghasználati rezsimet középtávon elsősorban nem az erdőállomány korosztály-szerkezete és az erdőtervek előírásai határozzák meg (ez csak a potenciál), hanem főleg külső tényezők (fakitermelési kapacitások, fapiaci igény stb.), melyekre kevés rálátásunk van szakmailag.



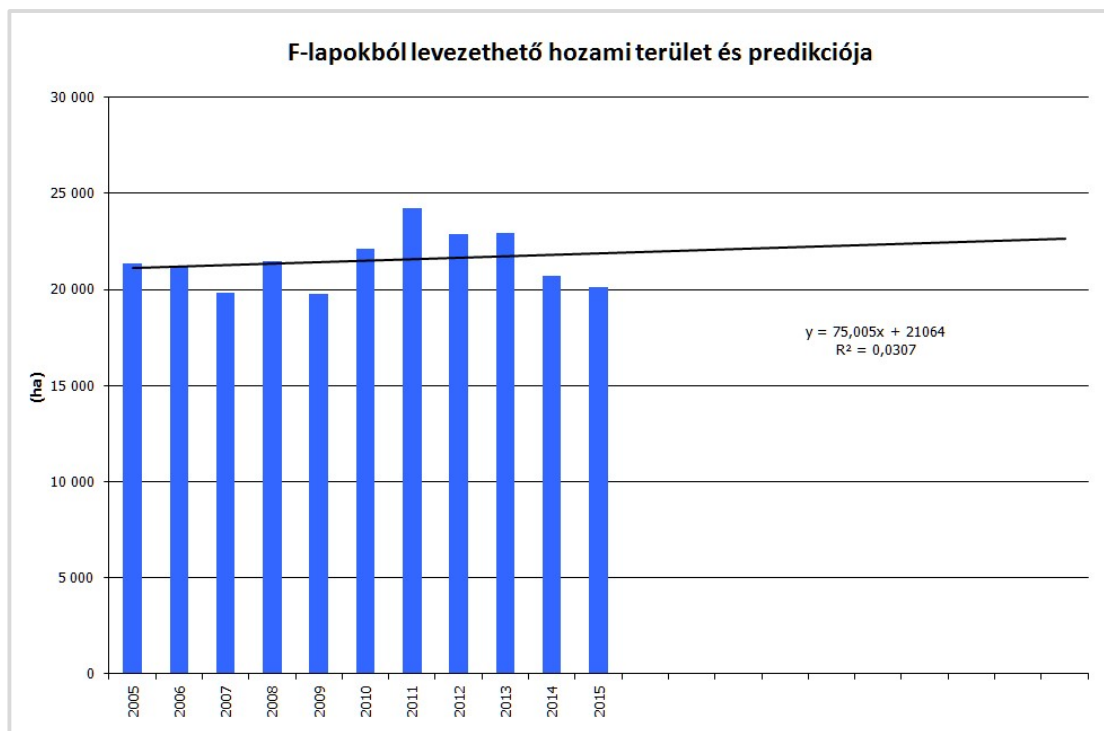
6. ábra: A fakitermelési nyilvántartásból (F-lapok) levezethető hozami terület

Az éves 20-25 ezer ha véghasználati hozami terület az elmúlt 20-30 évben elég stabilnak mondható (kivéve az 1994. körüli visszaesést, lásd később), és nagyon enyhe bővülése figyelhető meg. Erre tehát a BAU scenáriónál lehet alapozni.

A hozami terület idősorában bármilyen periodicitást, ciklikusságot nagyon nehéz lenne szakmailag indokolni, és az idősor hossza sem teszi lehetővé ennek alátámasztását. Az összes hozami terület idősorának változékonysága valószínűleg fapiaci okokra vezethető vissza (pl. átmenetileg felfutó kereslet valamilyen termékcsoporthoz), vagy az erdőgazdálkodók reakciója a szabályozási környezetre (pl. új erdőtörvények előtti kivárás), illetve az adatgyűjtés műterméke (módszertani változások). Ezekre nem lehet előrejelzést építeni. A legtöbb, amit az idősor változékonyságáról jelenleg állítani tudok, hogy éves szinten véletlenszerű.

Az idősorban a legnagyobb anomália, az 1993-1995 közti hozamkiesés a privatizáció miatt történt, ezalatt a tulajdonjogok bizonytalansága miatt az erdőállomány érintett

részen jelentősen csökkentek a kitermelések. A kitermelés visszaesése elrontaná a prognosztizált összes hozami terület trendjének meredekségét (laposságát), és biztonságosabbnak láttam a BAU scenárióban felhasználható előremetszést az egyébként is referencia-időszakként tekintett 2005-2015-ös adatokra illeszteni (7. ábra).



7. ábra: F-lapokból levezethető hozami terület predikciója

Az országos BAU scenárióhoz levezetett lineáris függvény (gaussian least squares) nagyon egyszerű, a szokásos  $R^2$  statisztika szerint rosszul is illeszkedik (hiszen a 0-tól alig eltérő a meredeksége), de megfelel a megfigyeléseknek. Nagyon lapos, nagyon óvatos, kis meredekségű, a regressziós egyenes 40 év alatt is alig emelkedik az ismert időszak 2011-es csúcsa fölé. A hozami terület trendjének enyhe emelkedése összhangban áll azzal, hogy az erdőterület továbbra is bővül, illetve, hogy az öregedő erdőállományban egyre nagyobb területű korosztályok lesznek vágásérettek, de akár konstansnak is tekinthető lenne 2050-ig.

2021. óta a hozami terület első közelítő predikciójához Theil-Sen-féle lineáris regressziót használok (Zaman–Alakus 2021), ami a meredekséget a pontpárok meredekségeinek mediánjából származtatja, és a szakirodalom szerint robusztusabb és jobban teljesít ilyen kis elemszámú, esetleg ferde eloszlású és heteroszkedasztikus, így bizonytalan meredekségű alapadatokon (ezt személyes tapasztalataim alapján meg tudok erősíteni).



A modell architektúrájába a hozami terület predikciója nincs függvény formájában beégetve, hanem a fent említett paraméter-táblázat hordozza numerikusan (lásd az I. sz. mellékletet).

A modell futásidőben az összes hozami terület trendjét kiegészíti egy random faktorról (lásd a 3.5 ábrát), ami az éves hozami területeket növeli vagy csökkenti, azaz változékonyságot, mintázatot ad neki. E változékonyság mértékét az erdőállomány hozami területeinek múltbéli, historikus idősorából vezettem le úgy, hogy a prognosztizált idősor szórása megegyezzen a historikus szórással (ami országos szinten 5% körüli, kisebb területű erdőállományokban általában nagyobb).

Általában a scenárió-tervezésben a hozami területére vonatkozó megoldás elfogadhatósága nem elsősorban a matematikai apparátustól függ, hanem inkább mérlegelés kérdése: a döntéshozó ambícióihoz mért, s óvatosságától, céljaitól függ. Ti mennyit vágjunk? Ebben a kontextusban a matematikai megoldás egy előkészítő munka, egy rávezető gyakorlat. A trenddel (mely a modellben vezérlő táblázat segítségével scenárió-függően szabadon definiálható és nem feltétlenül lineáris) és a szórással szabályozott random variabilitás együttes alkalmazása, mint általános módszer viszonylag kényelmessé teszi a scenárió-tervezés első lépéseit, és úgy gondolom, kellően gyakorlatias az adott erdőállományt gondozó szakembergárdával való egyeztetéshez.

#### **3.4.6 A hozami terület felbontása erdőrészekre**

A feladat a fentiekben levezetett összes hozami terület felosztása a rész-erdőállományok között, majd ezen keretszámok konkrét erdőrészekkel való feltöltése.

Először tisztázni kell, hogy a vágáskor-eloszlásokat milyen területre értelmezzük, és ez milyen modellezési következményekkel jár. Királynál a vágáskorok meghatározottsága kiterjedt az egész erdőállományra. Az üzemtervezés gyakorlatából kiinduló megközelítésében az adathibáktól és a kivételektől eltekintve (lásd 999 éves vágáskor, ami azt jelentette, hogy a részletnek nincs vágáskora, a véghasználat bizonytalan időre elnapolva) az erdőállomány minden egyes részletének és fafajсорának van vágásérettségi kora. A fogalomrendszer egyik fajta működtetésekor ebből a halmazból kiindulva vezették le a véghasználati rezsimit leíró véghasználati mátrixot is, ti. a rész-erdőállományok terület-eloszlását az erdőtervezéskor adott vágáskorok szerint felosztva és a hisztogramot kiegyenlítve a szabályos erdő korosztály-eloszlásához jutunk (lásd a

3.4 ábrát), aminek korosztályonkénti esése (deriváltja) adja a szabályos hozami területeket, a korosztályok területével osztva pedig a véghasználati mátrixot.

(A másik fajta működéskor a véghasználati mátrix csak a hozami terület kívánatos vágáskor-eloszlás szerinti felosztásából adódott, de ez a megközelítés csak egy táblázatkezelőben megoldott, kizárólag korosztálytábla-formátumú adatokat fogadó, inkább csak demonstrációs célú alkalmazásban láttam működni.)

Tehát a Király-féle megközelítésben a tervezett vágáskorok kiinduló eloszlása az erdőállomány egészére ismert, ideértve a nagyon fiatal faállományokat is, ami olyan tervezési tudatosságot és hosszú távú előrelátást feltételez az erdőállomány szabályozásáról, ami a gyakorlatban soha nem valósult meg. Az évtizedekkel korábban megadott vágásérettségi korokat felülírja az azt követő erdőtervezés, majd azt a következő, hosszú sorozatban egymás után. A gyakorlatban az erdőkezelés szokásai és aktuális trendjei szerint előre vetített vágáskorokat a következő szokások és trendek módosították, ezeknek a rezsimeknek az élettartama az ún. társadalmi igények változásával a 20-ik század második felétől számítva soha nem lehetett hosszabb 30 évnél. Az erdőkezelés így értelmezett normái (amit erdőállomány-szabályozási rezsimek nevezek) általában erdőtörvényekben fogalmazódtak meg.

Az erdőtervezés által megadott vágáskorok tehát mindig csak a legközelebbi periódusra vonatkozóan voltak gyakorlati jelentőséggel bírók, középtávon pedig az üzemi méretű hozamkiegyenlítést szolgálták, illetve hosszútávon az erdőállomány jövőképeinek előrevetítését. S habár az utóbbi két cél sem jelentéktelen, sőt; de egyik sem jelentette azt, hogy a 20-150 évre előre megadott vágásérettségek meg is valósultak.

Azoknál a faállományoknál, melyek vágásérettségi mutatója magas (várható véghasználatuk a távoli jövőben van), a vágásérettség bizonytalan, mozgékony, inkább csak tájékoztató adat, egy valószínűség.

Modellemben így határozott vágáskort csak azok a részletek kapnak, amik a hozamkiegyenlítés következő periódusában (a futásidő 5 éves ciklusában) valóban véghasználatukra kerülnek. A többről a modell futásának adott pillanatában nincs eldöntve, hogy mikor kerülnek véghasználatra. (Ez teoretikusan is új a korábbi elmélethez képest; tulajdonképpen a Király-féle megközelítés idő szerinti metszeteivel dolgozok.)

A konkrét részletekre vonatkozó vágásbesorolást historikus adatokon nyugvó, az adattár véghasználati nyilvántartásából levezetett véghasználati mátrix szabályozza, ami az egyes vágáskorokhoz a véghasználat valószínűségét rendeli.

A véghasználati mátrix az egyes rész-erdőállományok korosztályonkénti véghasználati valószínűségeinek diszkrét eloszlásait tartalmazza 5 éves osztályokban. A véghasználati mátrixok általában nem zártak; zártnak azt nevezem, ahol az egyik (általában a legidősebb) vágáskor-osztályban a használat aránya 100%, azaz ennél idősebb állomány a véghasználati mátrix alkalmazása alatt már nem keletkezhet, hisz minden részletet, ami ebbe a korosztályba belenő, a modellben letermelünk. A nem zárt véghasználati mátrixok esetén az algoritmus bizonyos eséllyel futni (túlélni) hagyja az idős faállományok egy részét, és ha a részlet kinőtt a vágáskor-eloszlás maximális vágáskorából is, már nem leselkedik rá veszély. Ezeknek az állományoknak a későbbi sorsa érdekes kérdés: várható, hogy nem maradnak fenn örökké, de egyelőre kevés tapasztalat van arra nézve, hogy a valóságban meddig állékonyak. Dobay Gábor erdőtervező kollégám például fafajcsoportonként definált, hipotetikus, ún. „végső vágáskorokat” vezetett be a probléma kezelésére (maximális, konstans értékű vágáskorokat). Az is előfordulhat, hogy a gazdálkodás, ha fogytán van az adott fafajcsoport kívánatos vágáskoraiban rendelkezésre álló állományoknak, ezen idősebb állományok után nyúl, és később mégis letermelik azokat. Jó eséllyel azonban örökterülő-üzemmódba váltanak majd, mely megoldás jól kezeli az erősen túltartott állományok felújítási kockázatait. A középtávú prognózis időablakában azonban az ilyen mértékben túltartott állományok nem halmozódnak fel olyan mértékben, hogy különösebb jelentőségük lenne.

A véghasználati mátrixok fenti definíciójának előnye, hogy:

- A prognózis időablakában a különböző időpontokban (pl. 5 évenként előre lépve) különböző vágáskor-eloszlásokat lehet alkalmazni, tehát modellezhetők az átmenetek, pl. a vágáskorok tapasztalható emelkedése természetvédelmi kezelésben.
- Alkalmazkodni tud az erdőállomány átformálódó korosztály-szerkezetéhez. Ha egy adott rész-erdőállomány területe felhalmozódik, a prognosztizált hozamai is növekednek. (A rész-erdőállományokat általában fafajcsoportonként, gazdálkodói szektoronként, rendeltetés-csoportonként, fatermési osztályonként, vagy ezen faktorok szabad kombinációjaként szokták kialakítani).

- Jól írja le a tágabban értett FNAWS jelenségét (Forest Not Available for Wood Supply, magyarul fakitermelésre alkalmatlan vagy inkább nem elérhető erdő), annak ellenére, hogy a normális vágásérettségi kort túlélő részletek köre szakmailag nagyon nehezen leírható. (Az erdőállomány eme véghasználatokat elkerülő, előbb-utóbb túltartottá váló, gyakran kezeletlen, holt készlete valójában jóval nagyobb területen jelenik meg, mint amekkora terület a FNAWS egzakt definíciókból levezethető – e tény a FNAWS-fogalom statisztikai alkalmazásaiban, az általam 2006-2016 között készített MCPFE és FAO FRA felmérések készítése során kiderült. Kutatásokat igényelne annak megértése, hogy pontosan milyen gazdálkodási körülmények miatt alakul ki.)
- Az FAWS/FNAWS fogalmát 2000-ben a TBFRA (2000) (Temperate and Boreal Forests Resource Assessment, UN-ECE/FAO) nemzetközi adatgyűjtés során Csóka Péter és Mózes Csaba alkalmazta először a magyar erdőkre nézve, átvéve a FAO által meghatározott irányelveket (vagy egyenesen megalkotva azokat, hiszen Csóka a projekt egyik vezető szakértője volt). 2006-ban a SoEF-MCPFE (2007) (State of Europe's Forests, The MCPFE Report on Sustainable Forest Management in Europe) nemzetközi adatgyűjtés alkalmával, melyet munkatársaimmal én állítottam össze, az adaptáció során a SoEF elvárásai miatt teljesen átdolgoztuk a korábbi definíciókat, és tudomásom szerint jelenleg is így használjuk azokat az 5 évenként esedékes magyar jelentésekben.

### 3.4.7 A rezsim értelmezése

Egy korszak erdőkezelési szokásait, az erdőkezelés normáit, benne a gazdálkodók döntéseit, a fapiac helyzetét, az ágazatpolitikai célokat és szabályozási környezetet, különös figyelemmel az erdőtervezési előírások szemléletére stb. – mind e hatások eredőjét összefoglalóan nevezem *rezsimnek*. Az erdőkezelés így értelmezett normái általában erdőtörvényekben fogalmazódnak meg.

A véghasználati mátrix megközelítésében azt állítja, hogy az adott rész-erdőállományból a rezsim érvényességi idején belül az egyes korosztályok kiinduló területének mekkora hányadát termeljük le a véghasználatokban.

A rezsim definíciója és algoritmusokban megfogalmazott tartalma a hozamprognózisok egyik legfontosabb stratégiai döntése. Mi a rezsim? Minek az állandósága? Milyen mennyiségeké, milyen arányoké?

A rezsim nagyjából állandó hozamot jelenti  $m^3$ -ben? Mindig 7-8 millió  $m^3$  a magyar erdők hozama az előhasználatokkal együtt? Ha a jelenleg megszokottól lényegesen eltér az összes erdőterület, a folyónövedék és az élőkészlet – akkor is? 1971-1980 között a véghasználati hozam átlagosan 4,6 millió  $m^3$  volt, 2006-2015 között átlagosan 5,1 millió  $m^3$ .

A vágáskor-eloszlások állandóak? Vagy az utóbbi évtizedekben tapasztaltakhoz hasonlóan a vágáskor-eloszlások változása állandósul középtávon, pl. tartósan differenciálódik az erdőállomány, és természetvédelmi oltalom alatt egyre nőnek, gazdasági erdőkben pedig csökkennek a vágáskorok? A folyamat vége a biológiai fenntarthatóság, illetve egy gazdasági optimum lenne, utóbbi erősen függene az aktuális fapiaci kereslettől. Mely így azonnal megváltozik, ha mondjuk egy a kötelező átvételi rendszerhez (KÁT) hasonló állami program felpörgeti a tűzifa keresletét? (Lásd: a 2017. évi Evt-ben foglalt liberalizáció után a magántulajdonú, gazdasági rendeltetésű akác állományok vágáskora leesett: Kottek et al. 2023.)

A hozamszabályozás és -prognózis szakirodalmában nagyon sok hipotézist vonultat fel a tárgyban, a Soproni Egyetem Erdőmérnöki Karán is hosszú előadások alatt szokás tárgyalni a különböző szabályozási képletek és eljárások tucatjait, ezek viszont általában determinisztikusak és csak nagyon távoli kapcsolatban vannak pl. a fapiaci kereslettel. Boldog, változatlan időkre valók. Egyáltalán nem biztos például, hogy egy jelentősebb fapiaci- vagy birtokpolitikai átalakulás után a fafajcsoportok és vágáskor-osztályok egymáshoz képesti véghasználati arányai változatlanok maradnak, de a BAU scenárió pont abból a feltételezésből indul ki, hogy a dolgok úgy mennek tovább, ahogy eddig mentek.

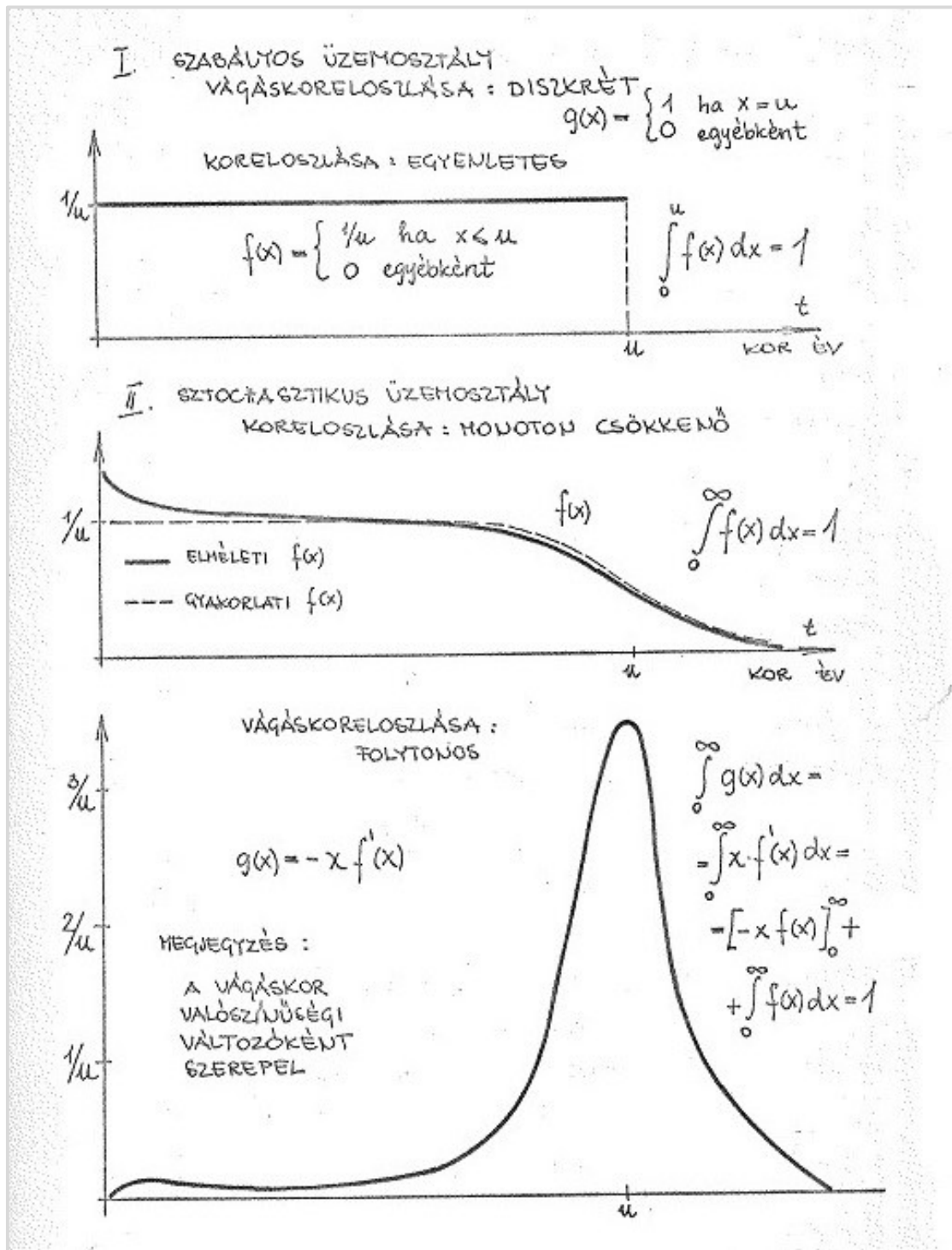
Végül azért döntöttem a vázolt megoldás mellett, mert a középtávú prognózis időablakában (2050-ig, párszor tíz évig, vagy hosszabb távon is) a változó erdőállomány-terület, a fafajcsoportok és korosztályok egymáshoz képest elmozduló területei és terület-arányai mellett is használható és értelmezhető, megszokott eredményeket produkál.

### **3.4.8 Haváriák és korai véghasználatok**

A Király-féle megközelítés gyakorlati szemszögű bírálatának másik fontos eleme a természeti kalamitások hatása: az erdőkárok, epidémiák, leggyakrabban erdőtüzek és emberi eredetű erdőirtások stb., amik felülírják és gyakran elég nagy területen írták felül a történelmi léptékű elképzeléseket ahhoz, hogy az egészet újra kelljen gondolni.

Az erdőgazdálkodás rendes gyakorlatában előforduló, egészségügyi okból bekövetkező, nem túl nagy területű véghasználatok szintén esetlegesek és általában nem szerepelnek az erdőtervezés által meghatározott vágásérettségek között. Ezeknek a korai véghasználatoknak a hatása az erdőállomány fejlődésére meglehetősen nagy, mert bár összes területük általában kicsi, jelentősen lerövidítik a vágásfordulót.

Azonban ellentétben a kalamitásokkal, az egyébként rendszeresen előforduló egészségügyi termelések hatása becsülhető és beépíthető a véghasználati mátrixba, ha korai, kis intenzitású véghasználatokat vetítünk előre (lásd a 8. ábrát, a folytonos vágáskor-eloszlás értékeit fiatal korban).

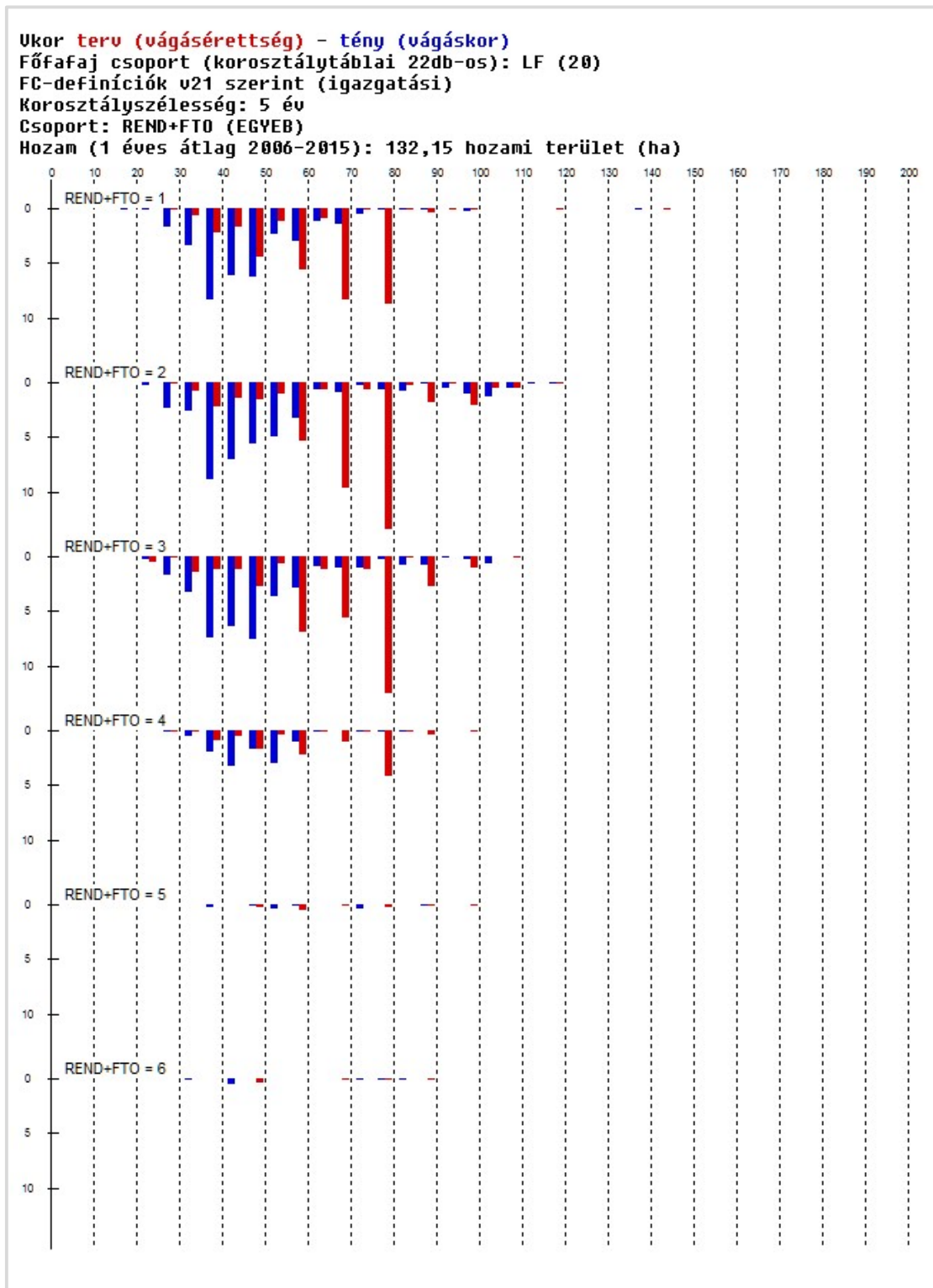


8. ábra: A szabályos és a sztochasztikus üzemosztály koreloszlása [ $f(x)$ ] és vágáskor eloszlása [ $g(x)$ ] (forrás: Király 1978, 59. ábra, 272. oldal)

Engem ez indított el a most prezentált megoldás irányába: meg akartam mérni, hogy valójában milyen arányban fordulnak elő ezek a korai véghasználatok és mekkora a hatásuk az erdőállomány előre görgetésekor. Ezért kezdtem el valódi vágáskorokkal foglalkozni. A modellben használt tapasztalati vágáskor-eloszlásokban ezek a korai

véghasználatok visszaköszönnek, s példának a közelmúltban a lucfenyővel történetet tudom felhozni. Hiába tervezték 50-80 év közé a lucosok vágásérettségét, a jellemző vágáskor a szűkárók miatt 40-50 év lett (lásd a 9. ábrát és bővebben a VI. mellékletet).





9. ábra: Tervezett vágásérettségi kor és tényleges vágáskor a lucfenyő példáján

A faállományok egészségügyi problémái lehetnek enyhébbek is, amik nem vezetnek véghasználat-szerű kitermelésükhöz, csak kiritkuláshoz, a záródás és ezen keresztül a produkció (növedék) csökkenéséhez. A modell jelenlegi állapotában ezek dinamikájával nem számol, hanem a faállomány fejlődését a felújítás és a véghasználat közt konstans

sűrűséggel írja le. A sűrűség a záródás mellett a faállomány elegyességi viszonyaitól is függ, egyszerre működik az elegyarány- és záródás-változási dinamika, lásd pl. a bükk, a gyertyán és a cser ismert hajlandóságát a térfoglalásra, az elegyarányuk megnövekedésére egyes erdőrészekben, egyetlen vágásfordulón belül. A sűrűség – benne a záródás és az elegyarányok – nagyon összetett hatások miatt változnak (gyérítési beavatkozások, a gyérítések utáni bezáródás, időskori öngyérülés, erdőkárok), melyek korrekt (pl. a véghasználati- és felújítási mátrixhoz hasonló színvonalú) modellezését még nem tudtam megoldani.

A jelenséget Király-féle nomenklatúra szerint – benne az antropogén hatásokat és az erdőkárokat egyszerre, összefoglalóan –, az erdőnevelési mátrix hordozza. Egyelőre a modellben tehát nem működik erdőnevelési mátrix.

A modell azonban jelenlegi formájában is megőrzi a kiinduló állapot sűrűség-eloszlását és tovább viszi azt a prognosztizált évekre, tehát megfelel a BAU-szenárió azon definíciójának, hogy az erdőállomány fejlődése „zavartalan” körülmények közt folyik (lásd a 3.4.2 fejezetet). A jelenleginél erőteljesebb zavarások, nagyobb hatású erdőkárok modellezése a véghasználati korok előre tolódásával modellezhető – de nem a BAU szenárió hatáskörébe tartozik.

### **3.4.9 Erdőtervi és tapasztalati vágáskorok**

Az erdőtervezési gyakorlat jellemzően 5-tel vagy 10-zel osztható vágásérettségi korokat ír elő, majd a tervidőszakban a gazdálkodó dönt arról, hogy melyik évben termeli le a faállományokat. Tekintve az erdőtervezés 10 éves visszatérési idejét, ez akár +/- 10 év eltérést is jelenthet a tervezett vágásérettség és a valós vágáskor között, de a pár éves eltérés teljesen normális, hiszen a gazdálkodónak egy sor egyéb szempontot is kell mérlegelnie (főleg a fakitermelői kapacitásainak kiegyenlítését és a fapiaci kereslet pillanatnyi helyzetét).

A valós vágáskor-eloszlások tehát természetesebb képet mutatnak: a harang-görbéhez közelebbi, folytonosabb, sokkal kevésbé csúcsos, laposabb sűrűség-függvények, továbbá széles kiterjedés van a nagyon korai és nagyon késői véghasználatok felé.

### **3.4.10 Előhasználatok**

Az előhasználatoknak az alkalmazott fatermési tábla koncepciója miatt elvileg nincs hatásuk az erdőállomány élőfakészletére és korosztálytáblai terület-eloszlására nézve,

mert az 1971-72-es, első generációs nomogramok, amikből az igazgatásban használt fatermési táblák készültek és a mai napig működnek, illetve amiket a prognózisban jelenleg használok – egészállományt tartalmaznak. Azaz főállományt és valamennyi mellékállományt a gyérintettség és az erdő kezelésének korabeli általános gyakorlata szerint.

A fatermési táblák kb. az 1960-as évek felvételeiből készültek az ERTI hosszú távú kísérleti parcelláinak méréseiből. Ebben az időben a kor erdőnevelési elvei szerint igen sűrű (5-10 éves) visszatérési idővel dolgoztak, a mellékállományok a maihoz képest szűkebbek voltak és szinte egyáltalán nem lehetett mortalitás-adatot mérni, mert korábban kivették a pusztulásnak induló száradékot, mintsem azok elhaltak volna (Veperdi Gábor szíves szóbeli közlései alapján).

A második generációs nomogramokban a fakészletek már főállományra és mellékállományra oszlanak és a táblák erdőnevelési modellként szolgálnak, szakadós függvények formájában. De az igazgatás több okból nem ezeket használja, s ezek közül az elvi indoklás az, hogy a gazdálkodás nem követi feltétlenül és szorosan a második generációs nomogramokban megfogalmazott erdőnevelési modelleket, főleg a magánszektor nem. (Az 1990-es években nagy hosszú szakmai viták folytak az ágazatot irányító minisztérium részvételével a szakmában az új fatermési táblák bevezetéséről. Az akkor újak számító táblák bevezetése elmaradt, az ok pedig lényegében az volt, hogy nem tartották vállalhatónak a korábbi évtizedekben megszokott fakészletektől való jelentősebb eltérést, a status quo felborítását.)

A prognózis jelenleg az alkalmazott fatermési tábla definíciói miatt nem módosítja a fakészleteket az előhasználatokkal és nincs benne erdőnevelési modell az egyes faállományok kezelésére vonatkozóan. A modell azt állítja, hogy az alkalmazott fatermési táblában foglalt átlagos mellékállományokkal számolva ennyi az erdőállomány élőfakészlete. A modell a növekménnyel számol, a faállományok átlagos élőfakészletét számítja ki a kor függvényében, azaz a növekmény mennyiségét kalkulálja a folyónövedék ill. a fahasználatok és a mortalitás vektorai helyett. A faállományok fejlődésének kor-élőfakészlet görbéje a modellben nem az ismert farkasfog-görbe mentén alakul, mert nem tartalmaz szakadásokat, hanem valamilyen közepes, átlagos szinten folytonos és monoton görbe. A fafajsorok területe sem változik az előhasználatok miatt,

a fafajsorok területét csak a véghasználat csökkenti (fokozatos felújítógátás, FFV) vagy redukálja nullára véglegesen (tarvágás, TRV).

Ez kétségtelenül a transzparencia hiánya, mert a józan szemlélő úgy gondolná, hogy az előhasználatoknak igenis csökkentenie kell az élőfakészletet. Sajnos az alkalmazott fatermési táblák tulajdonsága miatt ez nem lenne helyes és erdőállomány-szinten jelentős torzítást vinne a modellbe. Ha az előhasználatok átvezetésével eltérnénk az egészállományt leíró fatermési tábla belső arányaitól, felborulna az erdőállományra vonatkozó folyónövedék-fakészlet-összfatermés egyensúlya. Itt utalnék Fekete Zoltán közlésére (Fekete 1938), aki a fatermési táblák használatánál és fogalmainak értelmezésnél többször kiemeli, hogy „a fatermési tábla az erdőápolás (gyérítés) tényleges rendszerének valóban megfelel”, azaz hogy a fatermési táblák a rezsimhez kötöttek.

A modell az előhasználatok hozamára erdőállomány-szinten ad becslést, egyszerű megközelítésben a mindenkori élőfakészletet szorozza meg a fafaj-, rendeltetés- és korosztály-bontásban levezetett előhasználati arányokkal. Az előhasználati arányokat a véghasználati mátrixhoz hasonlóan statisztikai alapon, a referencia-időszakra jellemző előhasználati statisztikák (F-lapok) alapján állítom elő.

## 3.5 A DAS modell főbb moduljai

### 3.5.2 Poolok

Az új erdőrészek beléptetésekor meg kell oldani az új faállomány-leírások előállítását, aminek eszköze a pool. A pool minta-erdőrészek halmaza, mely erdőrészeket a modell futásidőben a belépő új erdők leírásához mintaként használja, átvéve azok erdőleírását. Tehát ha pl. be kell léptetni az erdőállományba 12,3 ha akácot (eredete mag, fatermési osztály 3), akkor a modul futás közben a poolból leválogatja a megfelelő paraméterekkel rendelkező minta-részek csoportját, majd ebből a csoportból random kiválaszt egyet, lemásolja annak fafajSOROS leírását, azt belépteti az erdőállományba, és az új erdőrészlet területét a kívánt mértékre állítja be.

A pool mondható a beléptetendő faállomány-leírások halmazának, amiben az erdőrészek területe egy hektárra van normalizálva. A pool a modell által használt erdőleírás adatainak teljes spektrumát hordozza (faállomány-típus, fafajok, eredet, elegyarányok, fatermőképességek, záródás etc.).

Elvileg az erdőszítések befejezése az első olyan mérőföldkő a faállomány pályafutásában, amikor már bizonyos, hogy erdő lesz belőle és a fafajSOROS adattári leírása sem csemetékről szól. A poolba a telepítések és felújítások a befejezési állapotukban kerülnek be, és az első kivétel évére visszszámolva lépnek be a modellezett erdőállományba az első kivétel prognosztizált évében. Ezzel próbáltam feloldani az erdőszítés ideje alatt születő felügyeleti szemléletű erdőleírások és a körzeti erdőtervezésben keletkező erdőleírások közti fogalmi ellentmondásokat, a modell koherens üzemeltetéséhez ugyanis egységes tartalmú fafajSOROS leírásokkal kell dolgozni a faállományok fiatal és idős korában is. Az erdőfelügyeleti munkában az elegyarány és a záródás szemlélete egészen más, ott ti. egyedszám-alapúan, az erdőszítések jogszabályban meghatározott elvárt csemeteszámát tekintik 100%-os sűrűségnek, ami nagyon távol áll a későbbi lomkoronasátor-záródásra és körlap-arányú elegyarányra épülő erdőtervezői szemlélettől. A megoldás (ti. az első megbízható tervezői leírás visszavetítése az első kivétel évére) kezeli a 2009 óta gazdálkodói bejelentések alapján készülő erdőszítési leírások hiányosságait is.

A poolokba az adattári erdőleírásban rögzített faállomány-típus kerül, amit az ESZIR algoritmikusan határoz meg az erdőrészlet fafaj-összetételéből.

### ***Telepítések pooljának előállítása***

A telepítések poolja (AR, mint afforestation) az országos prognózis futtatásakor a 2005-2015 évek közti (11 évjárat) készülség szerint befejezetté nyilvánított erdőtelepítések adatait tartalmazza, a szűrések után kb. 17 ezer erdőrészletet 78 ezer ha területtel.

A pool leválogatásakor figyelemmel kell lenni arra, hogy a kor az elsőkivitel évében maximum 5 év legyen az összevonással bekerülő idősebb fafajsorok kizárása érdekében.

### ***Felújítások pooljának előállítása***

A felújítások poolja (RE, mint regeneration) az országos prognózis futtatásakor a 2006-2015 évek közti (10 évjárat) készülség szerint befejezetté nyilvánított felújítások adatait tartalmazza (2005-ben még nem működött az ESZIR-ben a felújítási mátrix alap-adatait gyűjtő automatizmus), a szűrések után kb. 37 ezer erdőrészletet, 120 ezer hektárnyi területtel.

Szálalások és felújításpótló csereerdősítések nincsenek benne, csak:

- erdjell=2 (TRV) erdőfelújítás tarvágás jellegű fahasználat után;
- erdjell=3 (FFV) erdőfelújítás fokozatos felújító vágáshoz kapcsolódóan.

A felújítás fafajsorai nem feltétlenül a végvágás utáni évben 1 évesek. A végvágás és az elsőkivitel közti időtartam az, amíg üresvágásként fut a részlet. (Az egyszerűség kedvéért a felújítások vonatkozásában is az „elsőkivitel” kifejezést használom, holott az igazgatás már nem, és 2010-től a referencia-adatok is nyilván a „sikeres első erdősítés” terminussal értelmezhetők.) A késésnek nem elhanyagolható hatása van az erdőállomány-dinamikára, mert meghosszabbítja a vágásfordulót. A sikeres elsőkivitel késése lehet 0 év is. A 20 évnél hosszabb ideig üresvágásként pangó részleteket nem használtam.

Átfutásnak nevezem a részleten belüli legkorábbi elsőkivitel évének és az erdősítés befejezése évének különbségét, ami legalább 1 év.

A felújítások pooljának leválogatásakor tekintetbe kell venni, hogy a kor az elsőkivitel évében minimum 1 év és maximum 20 legyen (az elhúzódó fokozatos felújító vágásoknál az újulatra vonatkozóan általában átlagként adnak meg az adattári erdőleírásokban, mert az évenként belépő, különböző korú évjáratokat nem lehet adminisztrálni a maximum 9 fafajsorot megengedő adatszerkezetben).

### ***Talált erdők pooljának előállítás***

A talált erdők poolja (FF, mint found forest) az országos prognózis futtatásakor az ESZIR-ben 2008-tól 2014-ig rögzített, a Területmérleg modulban vagy a körzeti erdőtervezéskor megjelölt, tárgyévben belépő talált részletek és fafajSORaik halmaza. Kb. 19 ezer erdőrészlet 23 ezer ha területen.

A talált erdők az erdő-definíciónak megfelelő állományok (záródott, kellően magas, erdei fajfokból álló), tehát túl vannak a szukcesszió bizonytalan szakaszán, amikor még nem megítélhető, hogy a faállomány a területen valóban megmarad-e. A talált erdők kész és a modellbe instant beléptethető erdőrészletek, a pool leválogatásakor a kódok érvényességén túl nem kell további szűréseket alkalmazni.

### **3.5.3 A poolok korrekciója**

A talált erdők egyrészt nem felújítási korú állományok, másrészt döntő részük a körzeti erdőtervezéskor nyer leírást, így nincs szükség módosítani rajtuk. A telepítések és felújítások halmaza azonban korrekcióra szorul.

A tesztfutások során azt tapasztaltam, hogy a poolokból belépő felújított és telepített részletek a korosbítások hosszú sorozata után általában alacsonyabb fakészletet adnak, mint az eredeti adattári erdőállomány. Ennek oka, hogy az Adattárba belépő felújítások és telepítések esetén a fatermőképesség becslése elég bizonytalan (a gyakorlatban a fatermőképesség becslése a faállományok magasságán és korán keresztül ítélik meg), és az általános óvatosság miatt a kollégák a fatermőképességet inkább alábecslik. Telepítéseknél a becslés a termőhelyfeltárás alapján történik, felújításoknál pedig a helyben talált öreg állomány alapján (ha már nem áll, akkor az öreg állomány historikus adattári adataiból). Emellett mindkét esetben figyelembe veszik a környező állományok helyszínen megbecsült fatermőképességét.

A fafajSORok a modellben (mivel nem működik erdőnevelési mátrix) a korosbítások sorozatán úgy mennek végig, ahogy bekerültek, sűrűségük és fatermőképességük nem változik egészen a véghasználatig. Ezért a koherens végeredmény érdekében a poolok fatermőképesség- és fatermési osztály-eloszlásait (sorrendben FTK és FTO) a referencia-időszak véghasználatiban tapasztalt FTK- és FTO-eloszlások alapján korrigáltam, azaz a véghasználati korú állományok területben kifejezett fatermőképesség-eloszlását nagyság szerint rendezve átírtam a poolok részleteire, majd ebből a fatermési osztályokat újszámoltam.

## 3.6 Vezérlő adatok

### 3.6.1 A véghasználati mátrix levezetése

A modellben a véghasználatok vágásbesorolása 5 éves periódusokban történik, tehát a periódus elején ismert erdőállomány részletei kerülnek véghasználatra (vagy sem). A periódus kezdőéve után belépő részletek (telepítések, talált erdők, friss felújítások) csak a következő 5 éves periódusban kerülhetnek sorra.

A vágásbesorolás egysége (vagy a klasszikus terminológiával: a szabályozás egysége) a rész-erdőállomány. A rész-erdőállományokat:

- fafajcsoport (korosztálytáblai 22 elemű csoportosítás, lásd a VII. melléklet),
- rendeltetés (gazdasági/egyéb) és
- fatermési osztály (1-6)

változók mentén bontottam le. Az így adódó  $22 \times 2 \times 6 = 264$  db kategória nagyon sok kis területű rész-erdőállományt hozott létre, amit praktikusán lehetetlen volt kezelni, és még nehezebb lenne a tervezett további scenáriókat paraméterezni ilyen számú kategóriára – ezért az egyes csoportok vágáskor-eloszlásait hisztogramokon áttekintve és leíró adataik összehasonlítása után a hasonló vágáskor-eloszlású kategóriákat összevontam fafajcsoport és rendeltetés szerint. Az FTO szerinti elkülönítést mindig megtartottam, minden rész-erdőállománynak 6 db fatermési osztályra bontott véghasználati mátrixa van. Így végül 132 db kategóriával dolgoztam, ami csak véletlenül pont a fele a 264-nek, (lásd a II. és IV. mellékletet).

A két darab rendelkezésre álló öt éves referencia-időszak (2006-2010 és 2011-2015) véghasználati F-lapjait először visszakerestem az F-lapot megelőző év adattári leírásában, megállapítottam a főfafajra vonatkozó vágáskort, besoroltam a részletet a megfelelő rész-erdőállományba, majd hozami területeiket az 5 éves periódus kiinduló állapotának megfelelő rész-erdőállományi összes területéhez viszonyítottam. Így lehetett a definíció szerinti véghasználati hozami terület legnagyobb részéhez vágáskort rendelni: a 2006-2010-es periódusban az összes hozami terület 95,30%-ához, a 2011-2015-ös periódus összes hozami területének 98,73%-ához.

Az adattári részlethez nem rendelhető véghasználati F-lapok hozami területét az összerendelhető véghasználatok arányában osztottam fel a rész-erdőállományok között.



A BAU scenárióban (Business As Usual – az eddigi gyakorlat szerint) a prognózis időablakában (2015-2050) a két 5 éves referencia-időszak véghasználati mátrixainak átlagát használtam, tehát a BAU-ban a vágáskor-eloszlások statikusak – ami nem lenne szükségszerű, de kézenfekvő értelmezés a BAU esetében, miszerint a dolgok úgy történnek, ahogy eddig.

Megjegyzendő, hogy az igazgatási gyakorlatban dolgozó kollégák az előzetes egyeztetéseken (erdőtervezői igh-értekezlet, 2015. február) jelezték, hogy a 2009 óta, az akkor új Evt. bevezetésével megváltoztak a vágásérettségi normák és a vágáskorok, de a körzeti erdőtervezés 10 éves ciklusa miatt nem tudtam eltekinteni a korábbi referenciák felhasználásától. A 2009 óta fennálló rezsím ugyanis a modell futtatásakor (2016) még csak az erdőállomány felén vagy 6/10-én érvényesült a részlet-leírásokban, és az erdőtervezéskor az érintettek közti alkuban. Biztonságosabbnak láttam a teljes erdőállományra vonatkozó véghasználati referencia-adatokat használni.

Ugyanígy a 2017. évi Evt. is magával hozta a véghasználati vágáskorok megváltozást.

A véghasználati mátrix tehát 5 éves korosztályokba rendezett két számoszlopból (illetve az első két oszlop hányadosaként számítható harmadik oszlopból áll, ahol a hányados jelöli a véghasználat valószínűségét, és csak futásidőben perfektuálom):

- 1. oszlop (OTER): az 5 éves periódus kiinduló évének rész-erdőállományonkénti összes területei (fafajori területek összege, nem részlet-terület);
- 2. oszlop (HTER): a rész-erdőállományok hozami területei.

A véghasználati mátrixot az algoritmikus levezetés után kicsit korrigálni kellett azokban az esetekben, amikor egy-egy rész-erdőállománynál a hozami terület valamiért nagyobb volt, mint a rész-erdőállomány 5 éves ciklus eleji összes területe, hiszen ez elméletileg is lehetetlen. Ilyesmi nagyon kis területű rész-erdőállományoknál fordul elő, amikor az 5 éves hozam valójában egy-két erdőrészlet letermelését jelenti, és a letermelés évében az adott részlet területe valamiért nagyobb volt, mint az 5 éves periódus kiinduló évében (leginkább, mert közben körzeti erdőtervezés történt). A véghasználati mátrixon végzett korrekciókról lásd a II. és IV. mellékletet.

### **3.6.2 A felújítási mátrix levezetése**

Az ESZIR-ben működik egy automatizmus, ami a felújítások befejezés kori állapotához rendeli a megelőző állomány véghasználati adatait (faállomány-típust és a főfafaj eredetét

mindkét időpontra vonatkozóan, lásd a 10. ábrát). A 2006-2015 között befejezett felújítások 69%-ához áll rendelkezésre használható adat.

A faállomány-típus kódtáblája 101 faállomány-típust tartalmaz, az eredet lehet mag/sarj. A használatban levő igazgatási kimutatások ebből a rendkívül részletes keresztbontásból egy 14×14 osztatú táblázatot mutatnak meg (a véghasznált és befejezett állományok 14-14 csoportjának egymáshoz rendelését), a csoportok közti átmenetek esélyeit: T, B, CS, EKL, HNY-ELL, Akác mag és sarj bontásban, illetve NNY és Fenyő csak mag eredetben - így áll össze a 14 csoport.

**Erdőfelújítási mátrix a tárgyévben befejezett vagy részbejejezt erdőfelújításokra  
2014/2015. tenyészeti évben**

Adatok hektárban

Országos összesen 4 Mindösszesen

Megvalósult faállománytípus	V é g h a s z n á l a t i f a á l l o m á n y t í p u s														Összesen
	Tölgy		Bükk		Cser		EKL		Akác		HNY-ELL		NNY- FÜ	Fenyők	
	mag	sarj	mag	sarj	mag	sarj	mag	sarj	mag	sarj	mag	sarj			
Tölgy mag	1.026,49	529,40	26,76		256,61	75,71	135,55	72,50	28,01	35,89	23,61	3,71	157,11	180,74	<b>2.552,09</b>
Tölgy sarj															
Bükk mag	20,99	9,65	601,86	41,81		2,20	6,42	2,00						42,35	<b>727,28</b>
Bükk sarj															
Cser mag	68,42	20,60			513,39	448,98	27,80	3,37		9,81			21,28	29,36	<b>1.143,01</b>
Cser sarj															
EKL mag	50,55	3,22	8,49	4,72	60,79	23,29	79,06	30,16	25,17	12,71	4,26	5,28	113,71	44,90	<b>466,31</b>
EKL sarj															
Akác mag	22,58	8,05			1,32	12,68	7,76		183,40	198,28	6,47	7,73	715,15	417,87	<b>1.581,29</b>
Akác sarj	10,86	0,54		1,72	2,10	6,48	17,47	1,86	2.304,16	4.051,30	16,97	5,25	58,62	66,90	<b>6.544,23</b>
HNY-ELL mag	13,75	0,87			2,13		28,95	7,46	78,49	115,44	249,01	24,45	614,31	529,42	<b>1.664,28</b>
HNY-ELL sarj	3,00						2,61	10,82	29,20	8,80	575,87	119,48	37,24	147,35	<b>934,37</b>
NNY-FÜ	3,21						10,15		93,32	52,35	48,62	5,77	2.126,37	13,53	<b>2.353,32</b>
Fenyők	11,39				0,93			0,34	12,99	6,58	29,71	1,62	29,07	509,63	<b>602,26</b>
<b>Összesen</b>	<b>1.231,24</b>	<b>572,33</b>	<b>637,11</b>	<b>48,25</b>	<b>837,27</b>	<b>569,34</b>	<b>315,77</b>	<b>128,51</b>	<b>2.754,74</b>	<b>4.491,16</b>	<b>954,52</b>	<b>173,29</b>	<b>3.872,86</b>	<b>1.982,05</b>	<b>18.568,44</b>

Adatszolgáltató: Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal Erdészeti Igazgatóság 2016. november 20.

10. ábra. A felújítási mátrix riportja az ESZIR-ben, a 2014/15-ös tenyészeti évre

Az igazgatási interpretációban sajnos keverednek meghatározó fafajok: pl. a KST-KTT, a különböző fenyő-fajok, ezért a prognózishoz a 101 faállomány-típusból egyértelműen levezethető 23 elemű célállomány-típus bontást (lásd a VIII. mellékletet) használtam, külön gazdasági és egyéb rendeltetésben. Ez talán még nyomtatott formában is áttekinthető. A modellben működtetett felújítási mátrixokat lásd a III. mellékletben.

A működtetett felújítási mátrix a 2006-2015 között befejezett felújítások adataiból készült, a fahasználat módjára (TRV/FFV) tekintet nélkül.

### 3.7 Az üresvágások benépesítése

Az Adattárban a mindenkori üresvágás állapotában lévő erdő területe jelentős (20-30 ezer hektár). A modell kiinduló évjázatában is jelen vannak az átmenetileg faállománnyal borítatlan erdők, és ezt a területet a modell futásidejében kell faállományokkal feltölteni. A modell korosbító-növedékesítő futása előtt használt modul a prognózis kiinduló évében aktuálisan üresvágásként szereplő részletek erdősítéséhez keres megfelelő minta-részletet a poolokban (szándékoltan nem írom, hogy „erdőfelújítására”, mert léteznek sikertelen erdőtelepítések is, amik ideiglenesen üresvágások).

A megfelelő minta-részlet kiválasztásához a részlet erdősítési nyilvántartásából (E-lapok, engedélyezett faállomány-típus) vagy erdősítési előírásából (végrehajtásra kijelölt vagy első előírás faállománytípusa) vesz adatokat, illetve, ha egyik sincs, akkor a termőhelytípus-változat alapján az országos előírás-állományból egy érvényes előírást választ ki véletlenszerűen. A kiválasztás paraméterei: erdősítés jellege és módja, illetve a véghasználat előtti állomány faállomány-típusa.

Főleg az erdősítési előírásokból sok olyan eset származik, ami a referencia-időszak elmúlt 10-11 évében (2005-2015) nem fordult elő a befejezett erdősítések között (pl. szálalóvágások, vagy a klímaváltozás jövőbeli hatásait is figyelembe vevő újszerű célállomány előírások). Ezek ismert felújítási típusokkal való helyettesítésére egy hosszú kivétel-kezelési listát használok.

A modul beállítja a beléptetendő faállomány késését (azt az időt, míg üresvágásként fut majd). Az üresvágások kb. 1/3-ánál nem állapítható meg, hogy mióta üresvágás a részlet, ezért nem lehet a minta-részlet késése alapján az adott részletre vonatkozóan specifikusan megállapítani az 1. éves korú faállomány belépésének évét sem. Ezek az üresvágások a hasonló (erdősítés jellege, módja és a faállomány-típusa alapján) üresvágások halmazának egy random belépési évét kapják meg, tehát az ismert belépési-év eloszlása szerint lépnek majd be.

### 3.8 Loader

Ez a modul állítja elő a modell korosbító-növedékesítő futásának kiinduló állapotát, felolvassa és előkészíti az Adattár erdőrészteit és azok fafajsorait, javítja, kiegészíti és átszámolja őket a modellezéshez szükséges formába.

A modul története Szabó Gábor munkásságáig vezethető vissza. 1998-ban együtt dolgoztunk abban a feladatban, amivel a Gemenc Zrt. bízta meg az erdészeti Egyetemet, a tárgya pedig a Bédai Erdészet erdőtervezése kapcsán a tervezett természetvédelmi kezelés hatásvizsgálata volt. Szabó úr HOSZA nevű programja szolgáltatta az erdészetre vonatkozó erdőállomány-prognózist különböző scenáriókban. Az én dolgom az adattári kiinduló állapot előállítás volt olyan formában, amit a HOSZA képes volt felolvasni. Az Adattár korabeli szöveges formájú, fix mezőhosszúságokkal tagolt archívumaiból kellett kivonatokat készítenem.

A modellben használt terület-kategóriák:

- 1990 óta telepített erdők (AR): a legutóbbi állapot szerinti részlet-halmaz (Dézsmá György 2016. decemberben adta át, a 2015-ös évre vonatkozóan)
- Talált erdők (FF): a talált erdőkre vonatkozóan csak az azonosított talált erdők összes területe fedhető le részletekkel, az ühg-elszámolásban szereplő FF kategória területe ennél nagyobb. Nem lehet tehát értelmes részletszintű kimutatást készíteni az induló állapot talált erdejeiről. Ezért a prognózis indulásakor a talált erdők területe 0, és csak a futás alatt talált erdőket kategorizálom FF-nek.

Ezt követően történik a részlet ellenőrzése az alábbi lépésekben:

- erdő részlet (csak az erdő részletek lépnek be a modellbe);
- van ig-kódja és gazdálkodó-kódja (gazdálkodói szektor és a rendezetlenség megállapításához);
- 0-nál nagyobb a területe;
- van a kódtábla szerinti érvényes rendeltetése;
- faállomány-típus: érvényes kód vagy a felső-alsó, vagy a felújítási szintre;
- vannak fafajсорai.

Rendeltetés: Gazdasági (200-as kódok) / Egyéb (az összes többi)

Faállomány-típus (faati): nem lévén nevelési mátrix és elegyarány-változások részleten belül, az örökölt faati-t viszi végig vh-ig

FNAWS (forest not available for wood-supply, véghasználatra nem elérhető erdők): jelenleg a véghasználatból csak a faanyagtermelést nem szolgáló üzemmódú részletek (ÜZMOD=3) és a szálaló fahasználatra előírt részletek vannak kizárva. A rendezetlen

részletek között is előfordul véghasználat, igaz, kisebb arányban. A referencia-időszakon végzett tesztfutások alkalmával pontosabb eredményeket kaptam, amikor a rendezetlen erdőket is besoroltam véghasználatra (FAWS).

Az üresvágásokat az éppen folyó erdőtelepítésekben mindenképpen az induló évben beléptetem és megtörténik az első kivétel (ezek általában károsodott telepítések, ezért üresvágás, pl. belvíz miatt). Egyéb esetben a belépés éve az adott üresvágáshoz kisorsolt (felújítási poolból) belépő minta-részlet késéséből (a minta esetében ismert véghasználat évének és első kivétel évének különbségéből) származik, tehát nem biztos, hogy az első évben lép be; így az üresvágások összterülete a véghasználatok és első kivételek dinamikájából eredően kiegyenlített marad.

A minta-részlet adatai bekerülnek egy pufferbe, ahonnan a belépés évében lépnek be a valódi erdőállományba. Addig a részlet üresvágásként fut az Adattárban megszokott módon (ffj\_kod=1).

A nem-üres faállományok fafajсорai közül a hagyásfák nem lépnek be a modellbe (definíció szerint nincs területük). A felújítási mátrix későbbi működtetéséhez az eredetet a ssz=1 fafajсорból nyerjük.

A modell minden belépő fafajсорnál külön elvégzi a következő lépéseket:

- Megállapítja a fatermési tábla számát (fafajкод és eredet alapján)
- Pótolja a hiányzó magasságot fatermési táblából kor és ftk alapján.
- Pótolja a hiányzó ftk-t magasság és kor alapján. (Legalább az egyik szokott lenni még a hibás leírásokban is.)
- Pótolja a hiányzó elegyarányokat a szint fafajсорai közt egyenletesen elosztva vagy a hibát a legnagyobb elegyarányú fafajсорra terhelve.
- Pótolja a hiányzó záródásokat a szint legnagyobb záródású fafajсорából vagy 100%-kal.

A fentiek után történik a fafajсор ellenőrzése az egyes kódok (fafaj, eredet) és változók (kor, magasság, elegyarány, záródás, fatermőképesség, fafajсор terület) számszaki érvényessége szerint.

Ezt követően a modell fatermőképesség korrekciót végez a következők szerint:

- Trimmelés: minden fafajсор fatermőképességének a fatermési táblában előforduló elvi minimális és maximális érték közé kell esnie.

- Korrekció: a kor-magasság szórásmezőben (nomogram bal felső negyed) a magasság= $0.1 * \text{kor} + 22$  határegyenes felett elhelyezkedő fafajсорoknak újraszámolja a fatermőképességét magasság és kor alapján a Gál-féle fatermési táblából.

Utóbbi korrekció kisebb eltérést okoz az Adattár működéséhez képest, de egyrészt a nomogramok eredeti adataihoz hűbb; másrészt a modell üzemeltetéséhez szükséges, mert a modellben a fafajсорok a korosbodással az ftk szerinti pályán haladnak a kor-magasság szórásmezőben a Gál-féle függvényesített fatermési táblák pályái szerint, és a korrekció nélkül a jobb fatermőképességű állományok egészen hibás pályára térnének.

A fatermési osztály korrekciója a fatermőképesség korrekcióját követően történik meg. A modell a fatermési osztályt a korrigált ftk-hoz igazítja.

Ezt követi a magasság számítása. A modell a korrigált ftk alapján és a korból újraszámolja a magasságot (a modellben a magasságnak nincs további szerepe, mert a fafajсорok a korosbodással az ftk szerinti pályán haladnak a kor-magasság szórásmezőben a Gál-féle függvényesített fatermési táblák szerint). A korosztályonkénti átlagos magasság csak statisztikai adat az eredményül kapott erdőállapotokból levezethető korosztálytáblákban.

Ezt követi a táblai fakészlet és növedék meghatározása (hektáronként). A modell fafaj, eredet, ftk és kor alapján újraszámolja az ESZIR-ben használt tábla szerint (minden korábbi műveletben a Gál-féle függvényesítést használtam, azonban itt nem, mert ez a módszer adott a tesztfutásokban az Adattárhoz legközelebbi eredményeket).

A részsűrűség (rsg) elvileg az elegyarány \* záródás \* lambda szorzata. A lambda sűrűség-szorzókat (vagy záródás-sűrűség viszonyszámokat) az Adattárban használatos módon, azzal azonos függvények szerint használom, és a cél itt újfent az Adattárral való egyezés megteremtése (habár a sűrűség-szorzók relevanciája sok tekintetben vitatható). A felső- és alsó szintekben a részsűrűséget az adattári hektáronkénti fakészlet és a fenti, táblai fakészlet hányadosaként állítom be. A felújítási szintben a részsűrűséget az elméleti számítás alapján állítja be a modell az rsg-t ( $= \text{ear} * \text{zar} * \text{lambda}$ ), mert a fiatal állományok fakészlete az Adattárban nagyon ingatag, extremitásokban gazdag. A fafajсор véghasználatig viszi magával ezt a részsűrűséget (egyelőre nem működik nevelési mátrix).

### 3.9 Roller

Az erdőrésztleteket és fafajsorokat korosbító, a faterméstani változókat ciklusról-ciklusra újraszámoló, a véghasználatokat, felújításokat, az erdőrésztletek ki- és beléptetését végző modul.

Prognózis-modellem az erdőrésztleteket (és azok fafajsorait) egyenként kezeli, az aggregált statisztikai adatok a ciklusok végén, összegzésekkel állnak elő. A résztletek és fafajsorok elvileg bármilyen tulajdonságukat és leíró adatukat magukkal vihetik, amiket az Adattár tárol, és ezek időbeli alakulása vizsgálható.

A modul a korosbítási ciklusban a következő műveleteket végzi. Az itt felsoroltak követik az algoritmusban foglalt működési sorrendet, ezért bizonyos elvi alapon összetartozó műveletek leírása sajnos szétválik:

1. A modul 5 évenként meghatározza a következő 5 éves ciklusra a rész-erdőállományonkénti hozami területeket és konkrét résztleteket sorol be véghasználatra (lásd a 2.9 Ágenda című fejezetet).
2. Kezeli az erdőállomány terület-változásait. Kilépteti a megszűnő erdőrésztleteket (D). A kivonások terület-összege egy paraméter-fájlban évenként beállítható és a BAU scenárió jelenlegi paraméterezése 2015. után évente kb. 550 ha törlését írja elő (a 2008-2015 évek rögzített kivonásainak átlaga). Az eljárás jelenleg véletlenszerű, teljesen random: válogatás nélkül töröl pl. a modell futásidejében beléptetett erdőtelepítéseket is. Jelenleg olyan csekély a kilépő erdők száma és területe, aminek nincs számottevő hatása az erdőállomány képére, és a kilépés okai is elsősorban az erdőgazdálkodáson kívüliek, számunkra a vis maior kategóriába tartoznak. (A területváltozások egyéb eseteit, úgymint erdőtelepítések és talált erdők beléptetése, lásd később.)
3. A fafajsorokat évenként korosbítja és növedékesíti.
  - a. Magassági növedékesítés: a fatermőképesség által meghatározott növekedési pályának megfelelően újraszámolja a fafajsorok magasságát. A magassági növedékesítés az elemi ellentmondásoktól mentes Gál-féle függvényesített fatermési táblákkal történik, így a faállományok magassági növekedése matematikai értelemben folytonos és monoton. (Az Adattárban a kezdetektől használt táblázatos formájú, a kor-magasság

szórásmezőben sok helyen ellentmondásos, kiegyenlítettlen fatermési táblák csak aránytalanul nagy számítási apparátussal lennének alkalmasak a magassági növedékesítésre, ezért ezt a megoldást néhány próbálkozás után elvettem.)

- b. Fakészlet- és növedék-számítás: ezt viszont már az ESZIR-ben jelenleg használatos táblázatos fatermési táblákkal végzem. (Ilyen módon sikerült az adattári élőfakészlet- és folyónövedék-adatokhoz leginkább hasonló eredményeket elérni.)
4. A 10 évesnél fiatalabb korban a táblai folyónövedéket annak bizonytalansága és extremitásai miatt a fatermőképességgel helyettesítem. Ez egyébként bevett gyakorlat az erdőtervezésben.
  5. Az ESZIR-ben használatos, táblázatos formájú fatermési táblák 60/120 éves maximális korig tartalmazzanak adatokat (a gyors növekedésű fafajokra 60 év, a lassúakra 120 év a felső korhatár). E korhatár felett a 60/120 évhez tartozó adatot használják az adattári algoritmusok is és a prognózis-modell is, a táblai élőfakészlet és növedék tehát 60/120 év felett konstans. A faállományok hektáronkénti fakészlet- és növedék-változását e korok felett csak a magassági növekedése befolyásolja, ami viszont a Gál-féle fatermési táblák természetéből eredően létezik a modellben (a magasság nem konstans 60/120 év felett, lásd az V. mellékletet).
    - a. A Gál-féle függvények alkalmazása a magasság modellezésére 60/120 éves kor felett nem teljesen korrekt, mert a függvények alapadatai csak e két felső korhatárig terjedtek, és az ezeknél idősebb állományokra nézve a Gál-féle függvény extrapolációit használom, ami egy klasszikus statisztika-interpretációs hiba. Másrészt a modell az idős állományok ismert kiritkulásával (egyedszámuk és záródásuk csökkenésével) sem kalkulál. Jelenleg azonban az ilyen idős állományok viszonylagos ritkasága miatt e hiba ugyan nem elhanyagolható, de nem is túl jelentős.
    - b. Tekintve a magyar erdőállomány általános előregedési trendjét, tehát hogy a véghasználat mátrixok nem zártak, és az öreg erdők egyre népszerűbbek, így az idősebb korosztályok egyre nagyobb területtel lesznek jelen – általában mégis szükséges lenne az idős állományok fakészletének és



magassági növekedésének behatóbb vizsgálata. Sajnos alapadatok egyelőre csak nagyon korlátozott mennyiségben, sporadikusan állnak rendelkezésre az adattári erdőrészetek között, az erdőrezervátumok listájában, az ERTI hosszútávú tartamkísérleti parcellái, vagy a szisztematikus erdőleltár (NFI) plotjai között. Külföldi adatforrásokat még nem vizsgáltam e tekintetben.

6. A fafajsorok fakészletét és növedékét az erdőrészlet területének, a táblai fajlagos értékeknek és a részsűrűségeknek a szorzataként nyerem (lásd a 3.8 „Loader” fejezetet). A részsűrűség a faállomány életciklusa alatt, a vágásforduló teljes kortartományán változatlan (nem működik erdőnevelési mátrix, illetve mindenhol 1 értékű).
7. A modul üresvágások esetén vizsgálja, hogy az első kivétel a késleltetést szem előtt tartva az épp modellezett évben van-e előirányozva, s ha igen, a poolból belépteti a a minta-részletet – így valósul meg a felújítás. A belépő fafajsorok kora megegyezik a minta-részlet fafajsorainak korával (az első kivétel évében), tehát változó (nem konstans 1 vagy 2 év). A fatermőképesség alapján a korábbiakkal megegyezően újraszámolódik a magassága, hektáronkénti fakészlete és folyónövedéke. Az eddig üres részlet területéből és a minta-részlet fafajsorainak elegyarányaiból képződnek a fafajrosori területek. Az új erdőrészlet a fafajsorok részsűrűségeit és a részlet faállomány-típusát a minta-részletből örökli.
8. A véghasználat és következményei:
  - a. A véghasználati kort elérő részleteket a modul levágja. A részlet véghasználati korát a főfafaj ( $ssz=1$ ) határozza meg. Jelenleg csak a tarvágásos fahasználatokat modellezek (egyelőre nincs se FFV, se száraló üzemmód), tehát egy erdőrészlet egy évben kerül véghasználatra.
  - b. A véghasználati mátrix előállításakor a nem tarvágásos véghasználatok is beépültek a véghasználatok időzítését vezérlő adatokba, tehát az a hozam, ami az Adattárban és a valóságban pl. több kisebb területű fokozatos felújító vágásos beavatkozásban keletkezik, a prognózis jelen állása szerint teljes területű erdőrészetek letermelésével valósul meg, de a modellezett véghasználatok statisztikai fafaj- és korosztály-eloszlásai helyesek.

c. A felújítási mátrix működése:

- Részlet-szinten dolgozik (tarvágásos modell), pl. egy fafajcserés A -> GY-KTT felújításnál több fafajsort léptet be, a minta-részlet elegyfajfajait is.
- A felújítások célállomány-típusait (23 elemű bontás) és eredetét (m/s) a felújítási mátrixban tárolt valószínűségek szabályozzák a véghasznált állomány állománytípusa (23 elemű bontás) és eredete (m/s) alapján. A felújítási mátrix tovább bomlik rendeltetés szerint (G/E).
- A vezérlő eredet és fto mindig a főfafaj (ssz=1) eredete és fatermési osztálya.
- Ha a felújítási mátrix kategóriáin belül a poolban létezik minta-részlet a vh-i állomány főfafájának vagy faállomány-típusának felújítására, akkor ezeket előnyben részesíti a kiválasztáskor. Ezzel minimalizálhatóak a célállomány-típuson belül keveredések.
- Felújítás-típusok:
  - magból sarjztatás (azonos főfafajjal) (SAR);
  - identikus mag felújítás (azonos főfafajjal) (IDM);
  - identikus sarjztatás (azonos főfafajjal) (IDS);
  - sarjból mag szerkezet-átalakítás (azonos főfafajjal) (MAG);
  - teljes szerkezet-átalakítás (SZA, fafajcsere, ahol a kiinduló- és a végállapot közt nincs szoros összefüggés azon túl, hogy a tapasztalat szerint a felújítási mátrixban valamilyen eséllyel szerepelt ilyen átalakítás).
- A felújítás-típusok szerint a véghasználati és felújított állomány fatermési osztályai függenek egymástól: identikus mag felújításnál a fatermési osztály nem változik meg, mag->sarj átalakításnál és sarjadtatásnál azonos vagy romlik, sarj-> mag

átalakításnál azonos vagy javul. Szerkezet-átalakításkor nincs ilyen összefüggés (ezt esetleg még lehetne vizsgálni és pontosítani).

- A poolból a megfelelő minta-részletek közül random kiválaszt egyet, és ennek a fafajsortait lépteti be az erdőállományba vagy egy puffer-táblába a belépés évének függvényében. Az erdőállományba lépés esetében a területeket igazítja és a faterméstani változókat a korábbiakban leírtak szerint újraszámolja.

9. A modul belépteti a talált erdőket. A talált erdők összes területe a fő paraméter-táblában (I. melléklet) éves bontásban megadható. A táblázatban 2015-ig az országos erdőállomány terület-változásának megfelelő mennyiség szerepel, tehát az ismert kivonásokkal és erdőtelepítésekkel együtt kiadja az erdőállomány összterületének valós változását. A BAU scenárióban a jövőre vonatkozóan a talált erdők mennyiségét enyhén csökkenő tendencia szerint becsültem, ami lineárisan esik a jelenlegi kb. 2500 hektárról (2016) 1500 hektárra (2050) évente.
10. A modul belépteti a telepítéseket. A felújításokhoz hasonlóan az új részletek mintái a poolból származnak, az előre meghatározott területhatárig. A kiválasztásnál a már elkészült telepítés-prognózis (lásd a 3.3 fejezetet) vezérlő terület-adatai épültek be a paraméter-táblába, T+B+EKL, ELL, Akác, NNY és Fenyő kategóriákat megkülönböztetve. A paraméterezés részleteit lásd telepítés-prognózis dokumentációjában (Szamosfalvi et al. 2017). Szamosfalvi kolléga a telepítési prognózisban becslést tett a telepítések megye szerinti eloszlására is, de ezt a bontást nem építettem be, mert az elvárt eredmények egyelőre nem indokolják (habár nem lenne nehéz).
11. A prognózis nem számol erdőrészlet-szinten az előhasználati hozamokkal, hanem az előhasználatokat statisztikai alapon, aggregált területre adja meg.

### 3.10 Ágenda

A modul a korosbítás folyamatába (roller) építve, 5 évente, az elkövetkező 5 éves ciklusra előre, rész-erdőállományonként elvégzi a hozami területek meghatározását és a

véghasználati mátrix kor-eloszlásának megfelelően konkrét részleteket sorol be véghasználatra.

### **3.10.1 Összes hozami terület**

Az összes országos hozami területek sorozata évenként előírható a prognózis fő paraméter-táblájában (I. melléklet).

A BAU scenárióban 2005-2015 között a fahasználati nyilvántartásból (F-lapok) a véghasználati mátrixot tárgyaló fejezetben leírt véghasználat-definíció szerint megállapítható hozami területek szerepelnek (átlagosan 21,5 ezer ha, minimum 19,8 ezer ha, maximum 24,2 ezer ha). A historikus hozamiterület-adatokat a tesztfutásoknál használtam.

A BAU scenárióban a jövőre nézve a hozami terület nagyon enyhe bővülésére számítok, lineáris függvény szerint, ami évente 75 hektárral emelkedik. Ez nagyon kismértékű növekedést eredményez, szinte konstans. A trendet a fahasználati statisztikákból vezettem le, a 2005-2015 évek adatai alapján, rendkívül egyszerű lineáris függvény illesztésével (lásd a 3.4.5 fejezetet).

A trend (vagy nagyon hasonló, kismértékű növekedés) egészen 1990-ig igazolható, de a 1993-1995 közti, a privatizáció miatt bekövetkezett hozamcsökkenés elhúzná a regressziós egyenest, ami meredekebben emelkedne – ezért illesztettem végül a máshol is használt referencia-időszak adataira (2005-2015).

Az így előírt összes hozami terület csak egy keretszám, lásd alább a FAWS fejezetet.

### 3.10.2 FNAWS

A fogalom a fakitermelésre alkalmatlan vagy elérhetetlen erdőterületet jelenti (Forest *Not Available for Wood Supply*). A modell ezeket a részletek kizárja a véghasználatból.

A modellben egyelőre nincs teljes értékű definíció és működő megoldás arra nézve, hogy az egyes erdőrészletek egyedi szinten mi alapján kerülnek be a véghasználatból kizárt kategóriába, vagy mi alapján kerülnek ki onnan. Ennek oka, hogy tapasztalataim szerint az erdők jóval nagyobb hányada fut ki a szokásos véghasználati korból (vágásérettségi szakasz) és lép be gyakorlatilag a FNAWS kategóriába, mint amit a SoEF-MCPFE/FRA definíciókból meg lehet határozni; illetve, hogy az elvileg FNAWS-kategóriába sorolt erdőkben is történnek véghasználatok a valóságban (pl. az igazgatási gyakorlatban a FANE kóddal jelölt, faanyagtermelést nem szolgáló üzemmódú, általában szélsőséges termőhelyeken álló, elsősorban talajvédelmi funkciójú, jellemzően molyhos tölgyes erdőket is letermelik néha és felújítják előbb-utóbb). A FNAWS-fogalomnak tehát elvi jelentősége van, de nincs definitív összefüggésben az erdők valós vágáskorával. Erdőállomány-dinamikai szempontból a „túlélő” vagy „érinthatatlan” kategóriát a véghasználati mátrix hozza létre azzal, hogy nem zárt, és az erdők egy részét nem engedi letermelni és azok korosbodnak és növekednek a maximális vágáskorokon túl is.

Jelenleg egyedül a faanyagtermelést nem szolgáló üzemmódú, vagy szálaló fahasználati előírással rendelkező részletek számítanak definíció szerint FNAWS-nak, és ez a tulajdonság nem módosul a futásidő alatt.

### 3.10.3 FAWS

A fogalom a fakitermelésre alkalmas vagy elérhető erdőterületet jelenti. Ezeket a részleteket a modell besorolja véghasználatra.

A prognózis 5 éves ciklusokba bontva határozza meg a véghasználat hozami területeit. Az 5 éves cikluson belül az egyes évekre jutó prognosztizált hozami terület nem kiegyenlített. Egy rövid eljárás néhány százaléknyi mértékben (az országos erdőállomány esetében nagyjából +/- 5% erejéig) a vezérlő paraméter-táblában előírt (I. melléklet) és 5 évre jutó hozami területek egy éves átlagát fel- vagy lefelé eltéríti, az erdőállomány historikus hozami területének idősorában tapasztalt szórással azonos szórással torzítja, és így nyeri az egyes években érvényes hozami területeket. A cél, hogy a valóságos idősorok

változékonyságához jobban hasonlító hozami terület-idősort kapjunk. Ennek az eljárásnak nincs modellezési jelentősége vagy mélyebb szakmai tartalma. Az 5 éves ciklusra ilyen módon randomizált összes hozami terület mindig egyenlő a paraméter-táblában előírt hozami területek 5 éves összegével.

A modul a részleteknek egyenként meghatározza a korosztályát (kor alapján 5 éves korosztály-szélességgel) és fatermési osztályukat a főfafaj (ssz=1) alapján, és rész-erdőállományokba (rendeltetés + fafajcsoport + FTO) sorolja őket (pl.: KTT + gazdasági rendeltetés + 2. FTO).

A modellben alkalmazott véghasználati mátrix időperiódushoz rendelhető, tehát a modellt 5 éves ciklusonként eltérő véghasználati stratégiákkal, más-más hozami arányokkal lehet működtetni: a fahasználati rezsimek dinamikus átalakulása, pl. a vágáskorok folyamatos emelése vagy csökkentése technikailag kezelhető. A BAU scenárióban jelenleg minden 5 éves ciklusban egyféle, 2015-től 2050-ig azonos véghasználati mátrix dolgozott.

A modul meghatározza az 5 éves ciklusra (egyben) és rész-erdőállományonként a rész-erdőállomány aktuális területe és a véghasználati mátrixból kiolvasható hozami terület-arányok alapján a korlátozás nélküli hozami területet. Ez is egy keretszám, és a rész-erdőállomány összes korosztályára vonatkozik. Azt jelenti, hogy a prognózisban dinamikusan változó területű rész-erdőállománynak ekkora lenne a hozama 5 év alatt, ha a szokásos arányban kerülnének fűrész alá a korosztályai.

A korlátozás nélküli hozami területeket a paraméter-táblából kiolvasott, 5 évre előírt összes hozami terület alapján arányosan redukálja (vagy növeli). Nevezzük korlátozott hozami területnek (a BAU-szenárióban érvényesített trendhez képest lehetséges lenne nagyobb hozamokat is előírni, ki lehetne venni többet is – ehhez képest a BAU scenárióban az előírt hozami terület idősorában kisebb országos összes hozami területek vannak, a hozamok felülről vannak korlátozva).

A rész-erdőállomány korlátozott hozami területe tehát függ:

- a rész-erdőállomány aktuális területétől;
- a véghasználati mátrixban leírt hozami terület per összes terület arányoktól;
- a paraméter-táblában előírt összes országos hozami területtől;

és így alkalmazkodhat a prognózis futása alatt megváltozó, mindenkori erdőállomány-szerkezethez.

A korlátozott hozami területeket kell majd feltölteni konkrét részletekkel.

A modul a rész-erdőállományhoz tartozó vágáskor-eloszlásból random kiválaszt egy 5 éves korosztályt (minél nagyobb a korosztály hozami területe, annál nagyobb esélye van a kiválasztásra). Emiatt a random kiválasztás miatt képes közelíteni a kívánatos vágáskor-eloszlásokat függetlenül az erdőállomány aktuális szerkezetétől, pl. viszonylag kis területen is.

A rész-erdőállomány kiválasztott 5 éves vágáskor-osztályába eső részletei közül keres (ha több van, random kiválaszt) egyet, és az 5 éves ciklus azon évéhez rendeli véghasználatra, mely év eddig a legkevesbé feltöltött a saját keretszámhoz képest.

Ha talál megfelelő részletet, az adott vágáskor-osztály hátra lévő, véghasználatra váró keretszámát csökkenti a besorolt részlet területével.

Ha nincs megfelelő részlet az adott korosztályban, a hiányt elkezd a korosztályokban felfelé elosztani, és a legközelebbi idősebb korosztályból feltölteni. Tehát az a stratégia, hogy a ha véghasználati mátrix szerint kívánatos vágáskor-osztály eloszlás nem feltölthető, akkor a kicsit idősebb állományokból vesz ki, de mindenképpen megpróbálja feltölteni a rész-erdőállományhoz rendelt hozami keretszámot.

Így is gyakran futni hagy, tulajdonképpen a FNAWS-ba enged át elég sok idős állományt, de így kapunk a kívánatos vágáskor-eloszláshoz leginkább hasonlót (és ezt látni a gyakorlatban: az előregedő részletek is sorra kerülnek előbb-utóbb, ha nincs mögöttük kellően nagy mennyiségben fiatalabb, kívánatosabban vágható erdő).

Ha végkép nincs besorolható részlet, a rész-erdőállomány kevesebb hozamot is adhat, mint igény volna rá. A hiányt az algoritmus más fafajcsoportokból, más fatermési osztályból vagy más rendeltetésből nem pótolja.

### **3.11 Statisztikák**

A statisztikai modul archívumokat ment minden ciklus (5 év) záró állapotáról (de tetszőleges évről is lehet), mely adattömeg nagy részét a teljes erdőállomány részlet-fafajSOROS leíró adatai teszik ki. Így egy 35-40 éves futás kb. 1 Gb adatot eredményez, az eredmények éves archiválásának így inkább területi korlátai vannak.

Elvileg meg lehet írni minden kimutatást és riportot, amit az igazgatási statisztikák adnak, tetszőleges területi- és szektor-bontásokkal, mert a részletekhez az azonosítókon keresztül

gazdálkodók, közigazgatási egységek, vagy bármilyen más területi osztályozás hozzárendelhető.

Jelenleg alapvető területi statisztikákat, üres területet, fakészletet, növedéket, véghasználati hozamot és hozami területet, átlagos kort stb. számolja ki évenként, és az IPCC (2006) módszertan szerinti CO<sub>2</sub>-megkötéseket. A prognosztizált állapotokból pedig területre, élőfakészletre, folyónövedékre, korosztályonkénti átlagos hektáronkénti élőfakészletre és folyónövedékre, korosztályonkénti átlagos sűrűségre, magasságra és fatermőképességre vonatkozó korosztálytáblákat tudok viszonylag gyorsan készíteni.

Az összefoglaló statisztikákban erdőállomány-szintű aggregáció áll. A CO<sub>2</sub>-megkötéseket az ühg-leltárakban szokásos módszerekkel (IPCC) kalkulálom. A statisztikákban szerepelnek az erdőállomány összefoglaló historikus adatai is és összehasonlíthatóságot szolgálnak. Az összefoglaló statisztikák oszlopait lásd a X. mellékletben.

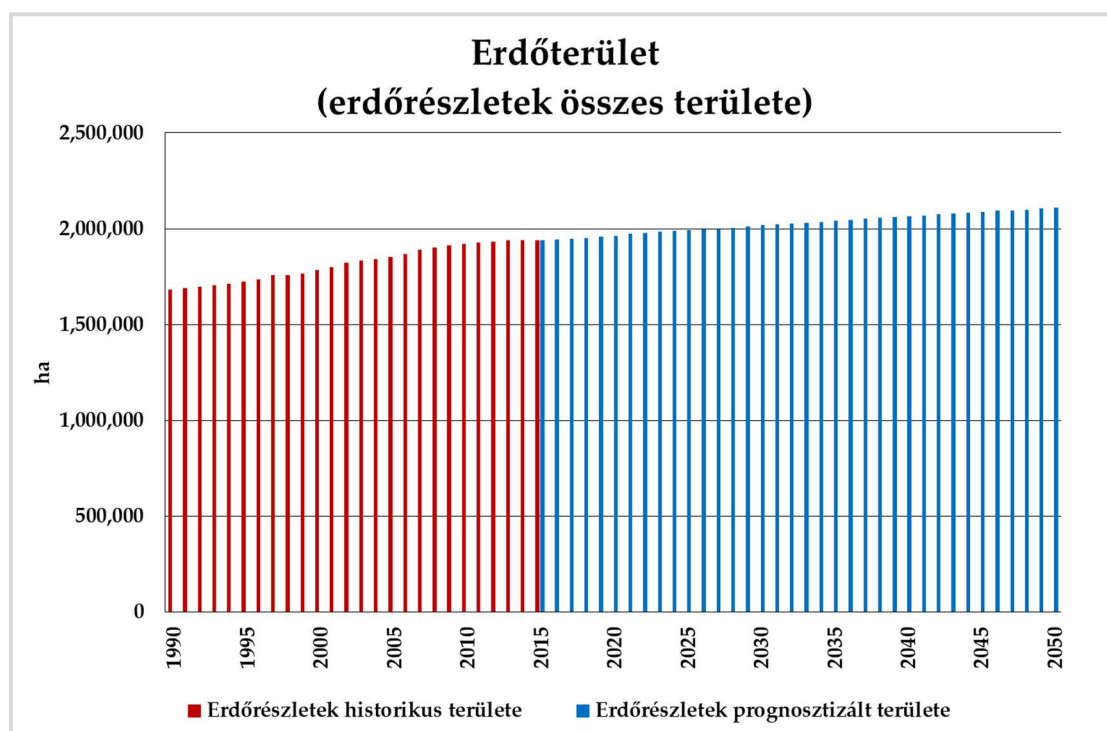


## 4 EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

### 4.1 A BAU scenárió szerinti középtávú előremetszés (2016-2050) értékelése

A prognózis középtávú előremetszéseit a Final 03 (roller v11k, 20170113223515) futás alapján mutatom be.

#### 4.1.1 Erdőterület

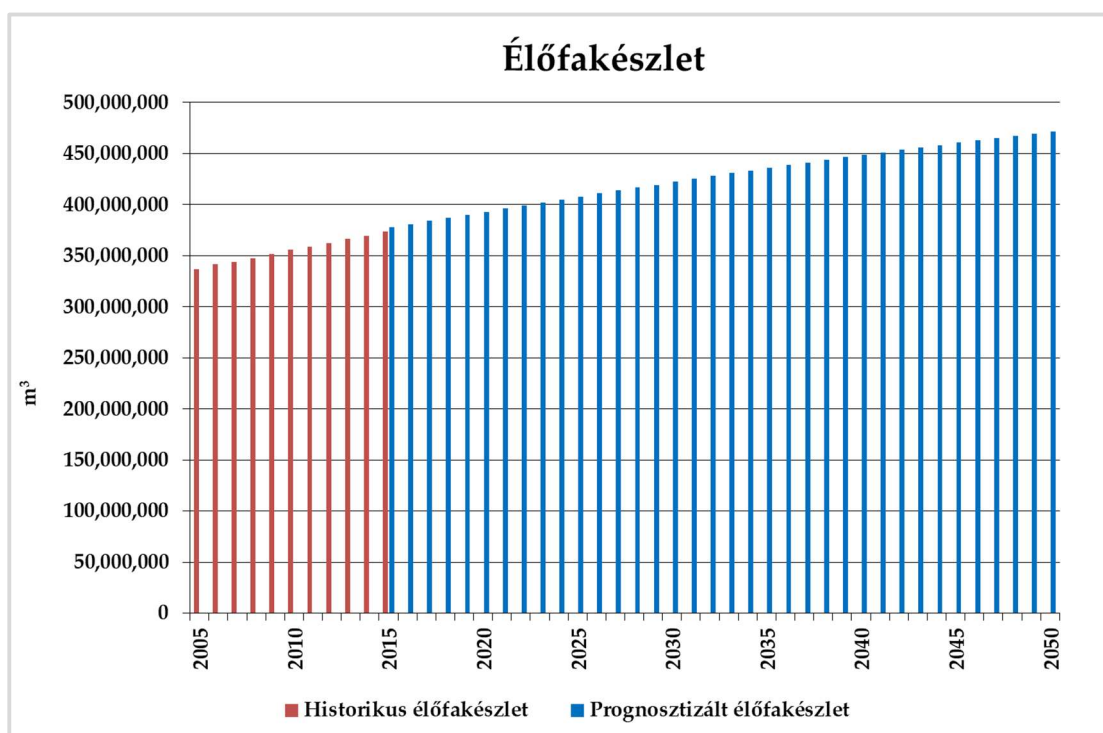


11. ábra: Erdőterület

Az erdőterület az alacsony erdőtelepítés első kivitelek és a szintén alacsony erdőmegszűnések miatt a korábbinál lassabb, de továbbra is egyenletes ütemű növekedésre van beállítva (11. ábra).

A BAU scenárióban az erdőterület-megszűnéseket a 2014-ig ismert átlagos évi 500-550 hektáros szinten határoztam meg. Az erdőtelepítés első kivitelek átlagosan 3300 hektár körüliek 2016-2050 között, az erdőfelújítási kötelezettség pedig teljes mértékben érvényesül.

#### 4.1.2 Élőfakészlet



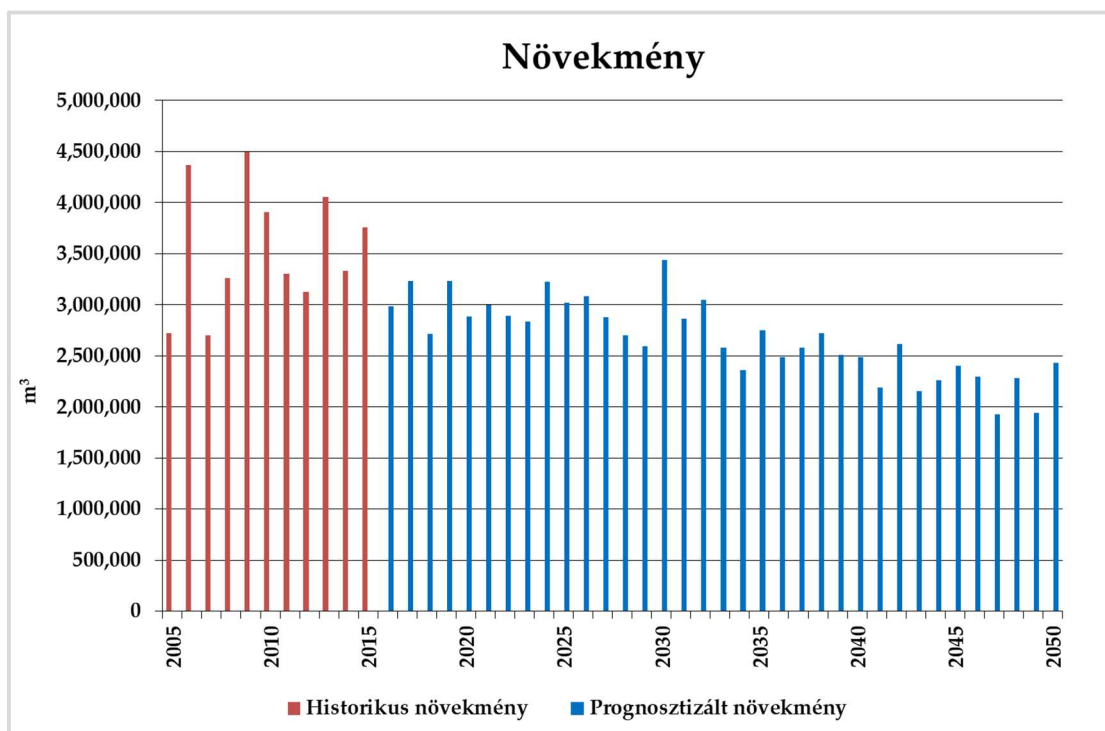
12. ábra: Élőfakészlet

Az élőfakészlet alakulása az évtizedek óta megszokott, lassú és egyenletes gyarapodást mutatja (12. ábra). Ez annak ellenére így van, hogy a telepítések szintje egyáltalán nem magas, és az idősödő állományok fakészletét a prognózis nagyon óvatosan kezeli (a Gál-féle kor-magasság görbék inkább lefelé hajlanak az eredeti 60/120 éves értelmezési tartomány felett).

Az élőfakészlet abszolút értékét a prognózis kb. 1%-kal magasabbnak mutatja, mint a 2006-2015 közötti tény-adatok; ezt a kiváló fatermőképességű állományokon alkalmazott fatermőképesség-korrekciónak hatásának és a kissé eltérő kor-magasság növekedési görbék hatásának tudom be.

Az élőfakészlet prognosztizált alakulása nem hordozza az igazgatási adatkezelés rendszerszintű változásait, pl. az erdőtervek átvezetésének nehézségeiből adódó problémákat.

### 4.1.3 Növekmény



13. ábra: Növekmény

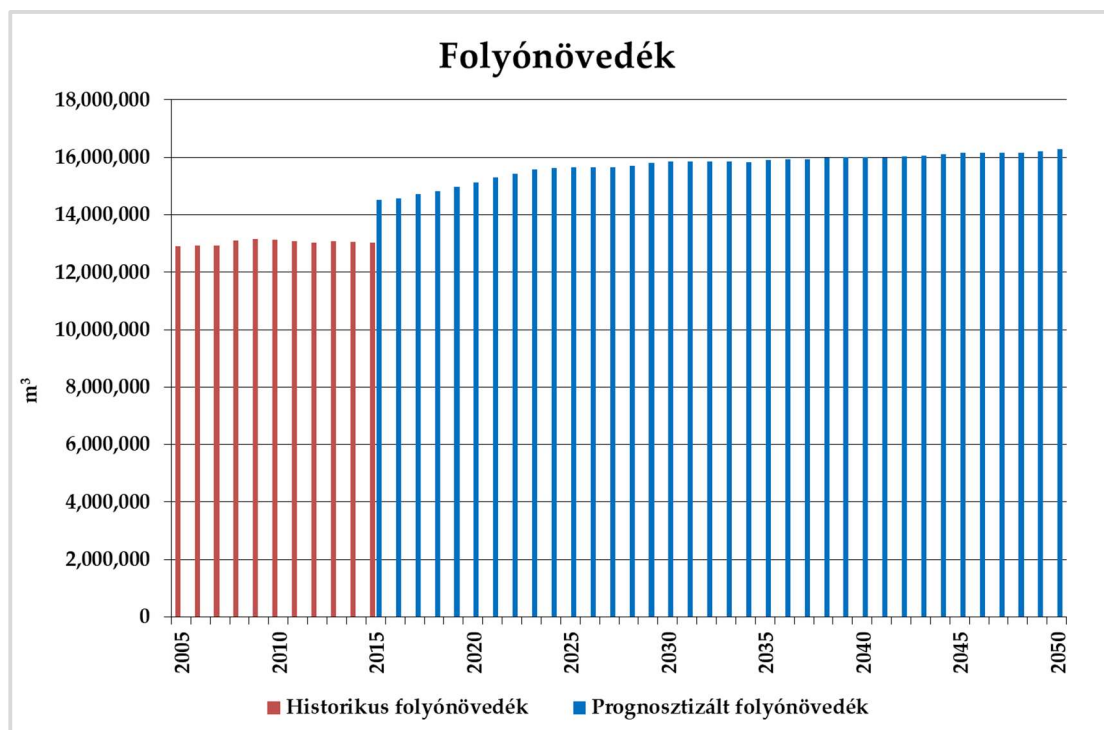
A BAU-szenárió eredményei közül talán az a legfontosabb, hogy a referencia-időszak (2005-2015) körülményeinek változatlansága, elsősorban az erdőkárak változatlan szintje mellett a gazdálkodás, a véghasználati- és felújítási rezsimek erdőállomány-szinten és középtávon előre vetítve fenntarthatónak mutatkoznak. A modell eddigi eredményei szerint a vizsgált időszakban nem várható a növekmény eltűnése, és ezzel összefüggésben az széndioxid megkötések korábban feltételezett drasztikus csökkenése és esetleges kibocsátásba fordulása sem (13. ábra).

A növekmény (itt: az élőfakészlet két egymást követő évben vett értékének különbsége) alakulása 5-10%-kal a referencia-időszak szintje alatt marad, és csökkenő tendenciájú. A csökkenés mértéke lassú: 35 év alatt esik 2,5-3,0 millió m<sup>3</sup>-ről 2,0 millió m<sup>3</sup> köré, és a csökkenés inkább csak 2030 után válik jellemzővé. A lineáris trend nagyjából 2200-ban érné el a nulla szintet, de ilyen hosszú idő alatt a várakozások szerint a klímaváltozás hatásai elkerülhetetlenek, és egészen biztosan megváltoznak a gazdálkodást leíró rezsimek is, így ez az extrapoláció csak elméleti érdekesség.

A prognosztizált növekmény éves változatossága a véghasználati hozami területbe többé-kevésbé mesterséges eszközökkel (+/- 5%-os random eltérések) bevitt variabilitást

tükrözi, de nem érintik pl. az erdőtervezések átvezetésének késlekedése vagy előrehozása miatti problémák.

#### 4.1.4 Folyónövedék



14. ábra: Folyónövedék

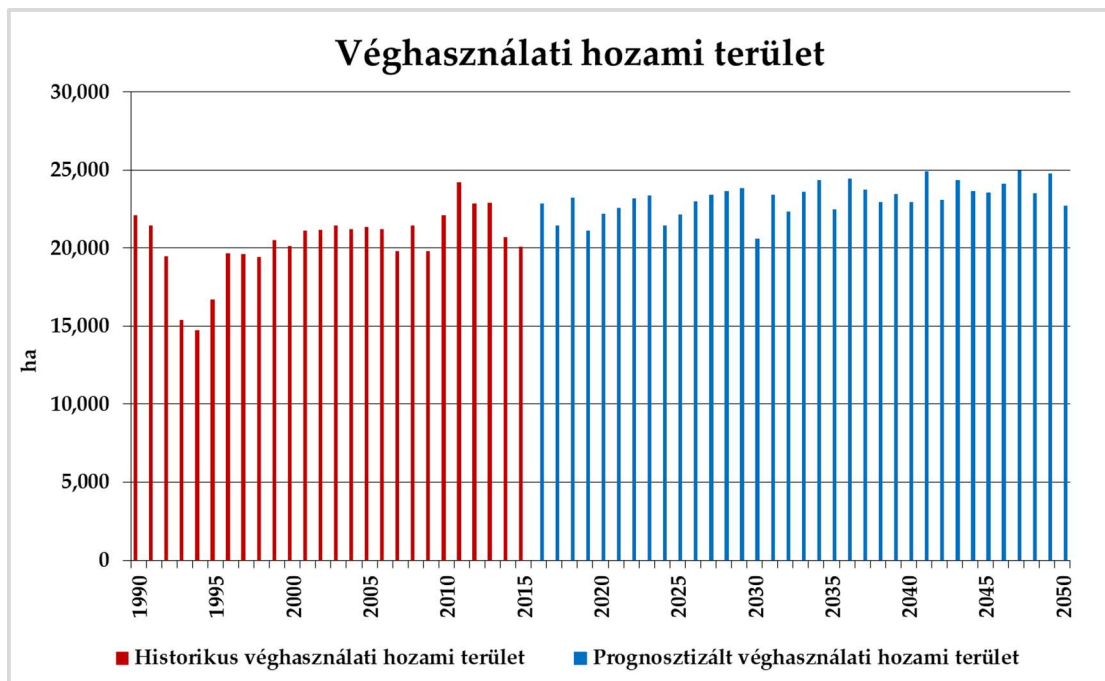
A folyónövedék a prognózis (jelen állapotban) legkevésbé illeszkedő faterméstani változója. A referencia-időszakhoz mért eltérés 10-15% közötti (14. ábra). Ez a hiba azonban nem terjed tovább a prognózis egyéb változóira, mert a növedékszámítás bizonytalanságaira tekintettel a faterméstani algoritmusokat tudatosan úgy építettem fel, hogy a folyónövedék csak egy származtatott, kimutatott adat legyen, és ne épüljön be pl. az élőkészlet-számításokba.

Érdekesség, hogy a folyónövedék nagyjából 10 évig intenzíven növekedik: ez az az időszak, amíg a prognózisban működő felújítási algoritmusok fokozatosan feltöltik az első korosztályt olyan mennyiségű fafajros leírással, amit az előregörgetés a későbbi korosztályokban majd megkövetel. Magyarul, ez alatt az idő alatt pótlódnak az Adattárból hiányzó fiatal korú állományok.

Nagyjából 10 év után pedig a folyónövedék alakulása a várt, nagyon enyhe növekedést mutatja, melyet lefelé ront a fokozatosan elöregedő erdőállomány csökkenő növekedési kapacitása és fölfelé emel az erdőállomány bővülése (erdőtelepítések).

A BAU scenárióban vázolt körülmények között kb. évi 2000 hektár tartós erdőtelepítés első kivételre van szükség ahhoz, hogy a folyónövedék ne kezdjen el esni.

#### 4.1.5 Véghasználati hozami terület



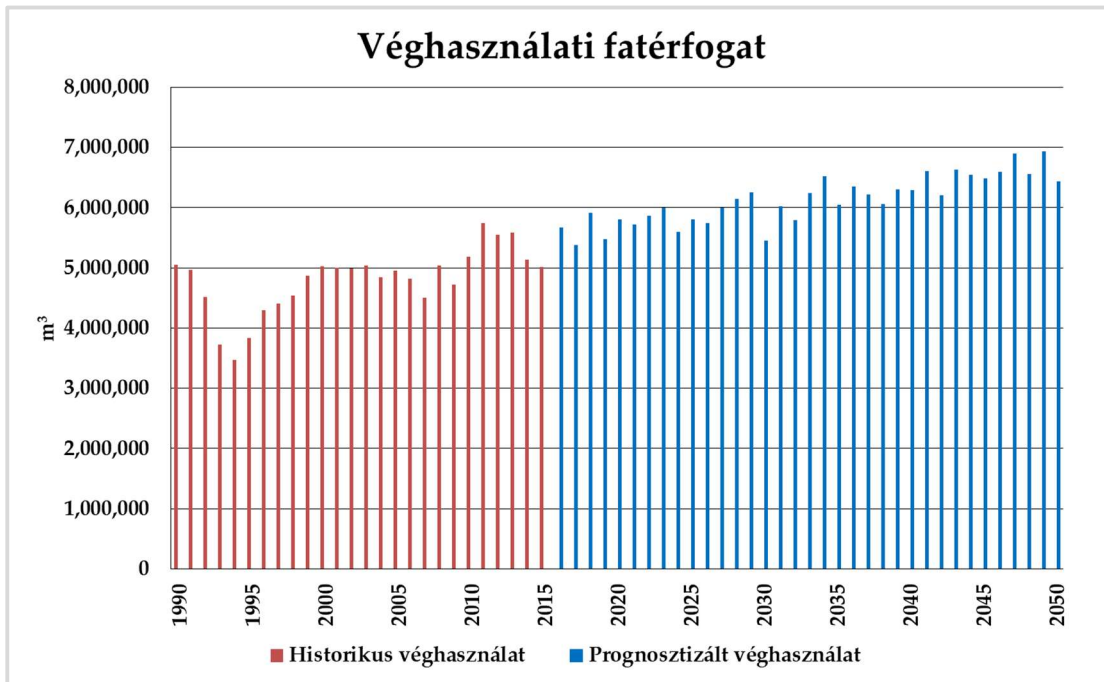
15. ábra: Véghasználati hozami terület

A véghasználati hozami terület a prognózis kulcskérdése. A BAU scenárió esetében bemutatott lefutás középvonala előre beállított érték, a referencia-időszak (2006-2015) tény-adataira illesztett lineáris függvény szerint alakul, és nagyon enyhe emelkedést vár, szinte konstans (15. ábra).

Az éves változatossága +/-5%-os random eltéréseket tartalmaz, ami nagyjából megfelel a referencia-időszak változatosságának.

A véghasználatok alakulásához hozzá kell tenni, hogy e scenárió szerint az erdőállomány általános öregedése miatt kb. 2030 után már nem állnak majd 100%-ig rendelkezésre a jelenlegi véghasználati rezsím által preferált korú állományok, és a prognosztizált hozami terület feltöltésekor kissé idősebb részletekhez is hozzá kell nyúlni. A 2050-re már 24,5 ezer hektáros véghasználati hozami területből évi 2-3 ezer hektár ilyen.

#### 4.1.6 Véghasználati fatérfogat

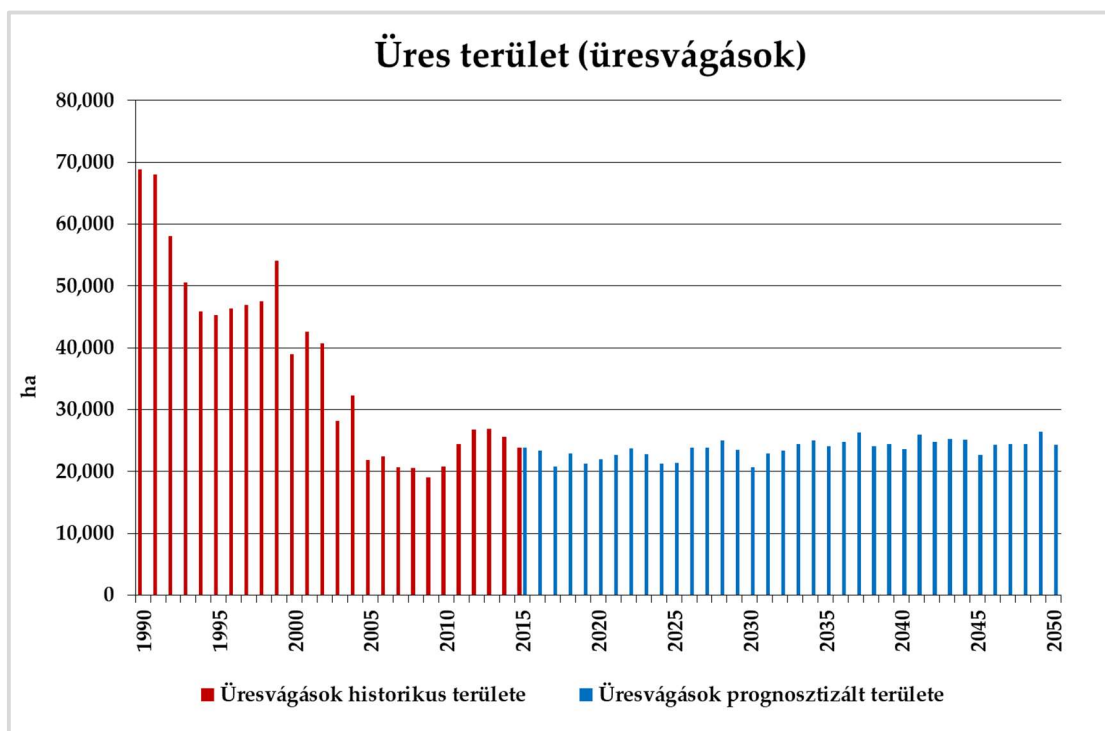


16. ábra: Véghasználati fatérfogat

A véghasználati hozam a fentieknek megfelelően enyhe, egyenletes növekedést mutat, és mindezt úgy, hogy a véghasználatok intenzitása, az erdőállomány lehetőségeinek kihasználtsága minden bizonnyal a tartamossági küszöb alatt van (16. ábra).

A növekmény mellett a tartamossági küszöb másik klasszikus mutatója, a folyónövedék és a fahasználatok mennyiségének különbsége (vagy e kettő aránya) a folyónövedék számításának problémái miatt nem összehasonlítható a rendelkezésünkre álló historikus adatokkal.

#### 4.1.7 Üres terület



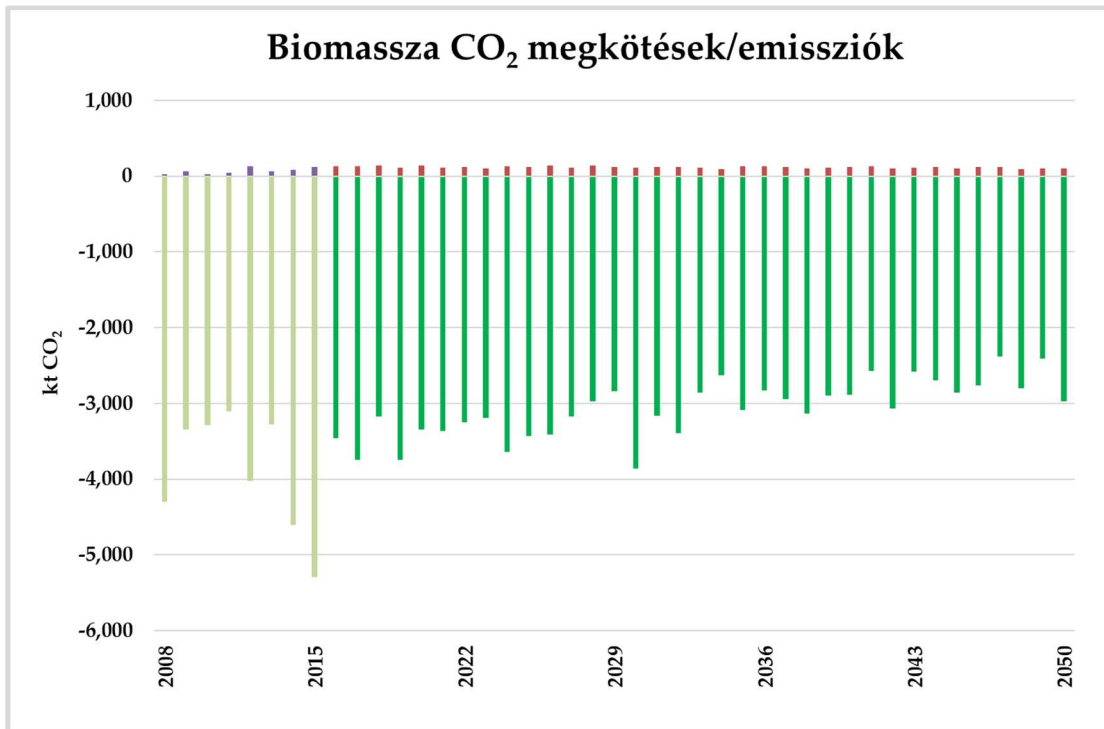
17. ábra: Üresvágások területe

Az erdősítések csak az ESZIR indulásával kaptak minden esetben fajfajros leírást az első kivitel évében. Korábban, amíg a friss erdősítésekhez oda nem ért az erdőtervezés, a részlet üresvágásként futott, ezért a kimutatott üres terület a mai szinthez képest sokkal nagyobb volt. Az erdőtervezési gyakorlatban pont ezért az üres területet csak a záródáshiánnyal együtt mutatták ki az adattári statisztikákban.

A 17. ábrán szerepeltetett üres terület az üresvágásos fajfajros leírású (efafs.fafk = 1) erdőrészek összes területe, és nem tartalmazza a faállománnyal borított erdőrészek záródáshiányát.

Az üres területek alakulását a kiinduló üres terület feltöltődése, a mindenkori véghasználatok területei, és a véghasznált állományok helyére belépő felújítások késlekedése alakítja. Elvileg, ha a véghasználatok nem lódnak meg, és a felújítások a szokott módon elkezdődnek, az üres területnek is egyenletesnek kell maradnia.

#### 4.1.8 Nettó CO<sub>2</sub>-megkötések és kibocsátások a biomasszában



18. ábra: Biomassza szénmegkötései és -kibocsátásai

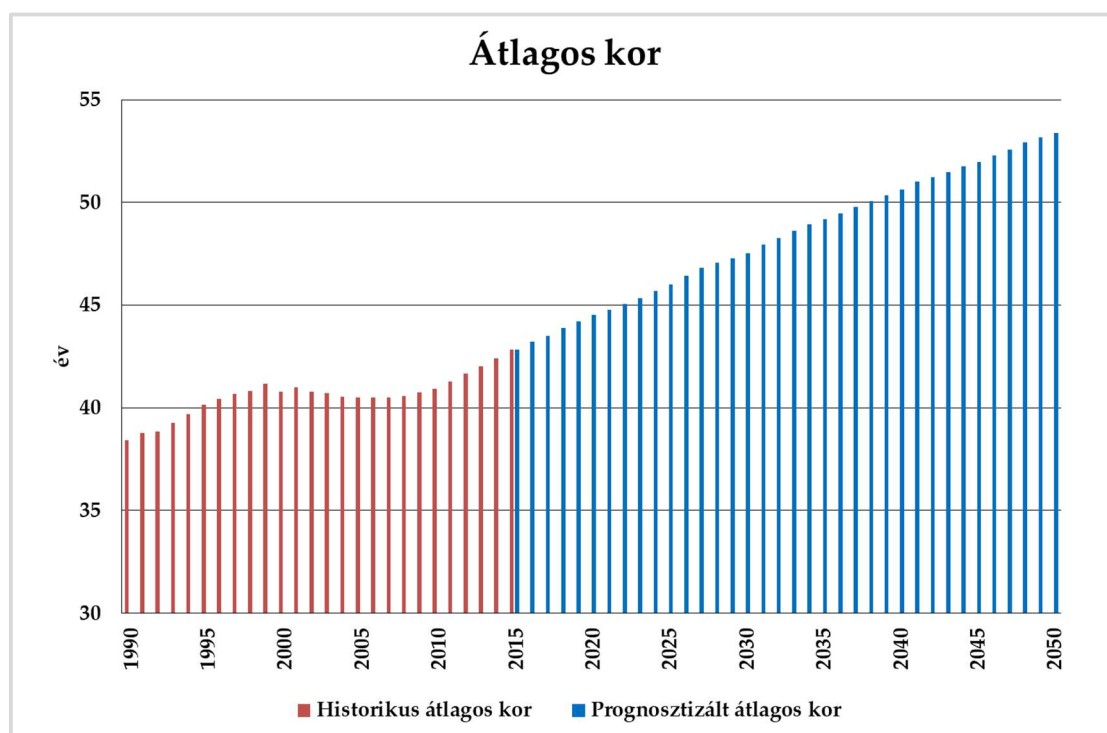
Az erdőállomány megkötései kiszámítható módon a területi változásokat (AR erdőtelepítések és D erdőterület-megszűnések), illetve a növekmény alakulását követik (18. ábra).

Átlagos szintjük a referencia-időszakban ténynek tekintett adattári értékek alatt maradnak, hasonlóan a növekményhez.

Éves változatosságuk a referencia-időszak változékonyságánál alacsonyabb, és csak a fahasználatok, illetve az erdőtelepítés dinamikáját követik, egyéb faktort nem.



#### 4.1.9 Átlagos kor



19. ábra: Átlagos kor

Az átlagos kor töretlenül emelkedik a prognosztizált időszakban, mert a véghasználati rezsim az erdőállomány egészére nézve középtávon felhalmozást eredményez (19. ábra). Egyre több állomány éri el azt a kort, ami már túl van a szokásos vágásérettségen, de még nem elég idős ahhoz, hogy a fenntarthatóságuk tömegesen megkérdőjeleződne.

Érdekesebb az Adattár tény-adataiban látható látszólagos kiemelkedés 1999 körül, mely valójában az 1980 óta nagyjából egyenletesen emelkedő trend megtörése. Valószínűleg ez is a fiatal állományok leírásának adminisztratív módszertani változásaihoz köthető: a felügyeleti és erdőtervezési szakterületek egyesülése után (1996) volt egy periódus, amikor a felújításokat az erdőfelügyelet írta le az első kivitel évében, az igazgatási eljárásrendbe építetten, ezért ekkor a fiatal állományok területaránya emelkedni kezdett. 2009 óta a felújítások leírása gazdálkodói bejelentésekre épül és az első kivitel után, csak a sikeres első erdőszítéskor valósul meg.

## 4.2 Országos erdőállomány-prognózis BAU scenárió összehasonlítás a referencia-időszakkal (2006-2015)

Futások:

- 20170113082245 (Validalo 24, 10 év: 2006-2015, roller v11k)
- 20170113112128 (Validalo 25, 5 év: 2011-2015, roller v11k)
- 20170116173550 (Validalo 26, 5 év: 2006-2010, roller v11k)

A tesztek során szerzett tapasztalatokat foglalja össze az alábbi lista. A tesztfutások eredményei fokozatosan javultak, az utolsó 5-10 változat (pl. a fentiek), amikben már csak a statisztikai (az eredményeket összefoglaló, leválogató rutinokat) írtam meg és a véghasználati mátrix apró korrekciót végeztem el, megbízhatóan hozták az alábbi értékeket.

A 10 éves referencia-időszak két 5 éves fele között is van némi eltérés az alábbi határokon belül.

Az 5-10 éves futásoknál a véghasználati hozamkiegyenlítés 5 éves ciklusokban működik, az 5 éves ciklus hozami területe egyenlő az adattári 5 éves hozamával, de az 5 éves ciklusokon belül az egyes éves eredményei eltérnek az adattári idősoroktól. Ezért a kumulálódó mennyiségeknél csak 5-10 éves összegek összehasonlítása korrekt.

### 4.2.1 Fakészlet (sum\_ufakr)

A prognosztizált fakészlet átlagosan (5-10 évre) 0,5-1,1%-kal több, mint az adattári referencia-adat.

### 4.2.2 Növekmény (novekmeny)

5-10%-os eltéréssel kevesebb. Ez végül is megfelel annak, hogy az éves változás (a növekmény) általában egy nagyságrenddel pontatlanabb, mint a kiinduló mennyiség (a fakészlet).

A hipotézisem az, hogy a beépítendő erdőnevelési mátrix javítani fog az erdőállomány szerkezén (kor- és fafaj-eloszlásán, megoldva pl. az elegyes állományok korosbodását kísérő elegyarány-változásokat, pl. B, CS és GY térhódítása), ezen keresztül segíteni fog a növekmény pontosságán és az éves élőfakészlet-mérlegen (Növedék = Növekmény + Fahasználat + Mortalitás) általában.

#### **4.2.3 Növedék (sum\_ufnov)**

13-15%-kal több. A többlet döntő része az első két korosztályban halmozódik fel, mert a prognózis az elvárt módon lépteti be azokat az erdőleírásokat, amik az Adattárból sajnos hiányoznak. A 21+ éves tartományban a növedék csak 1-2%-kal haladja meg az adattári referencia-adatot.

#### **4.2.4 Véghasználati hozami terület (sum\_vh\_ha)**

0,5%-kal több, mert a kis területű rész-erdőállományok mindig egy kicsit túlhasználtak. Ezeknél a tervezett hozami terület évenként pár hektáros, egy-két részlet méretű, és a létező erdőrészletek általában nagyobbak, mint a tervezett hozami terület. A valóságban ezekben az esetekben a véghasználat előtt a részletek megosztásával élnek.

#### **4.2.5 Véghasználati fatérfogat (sum\_vh\_m3)**

2-10%-kal több, mint a referencia-időszakban. Mivel az összes hozami terület nagyon pontos, a vh-i fakészlet eltérését egyrészt a két rendszer faterméstani módszerei közti eltérésekkel (enyhén eltérő kor-magasság növekedés-menetek és a jó fatermőképességű állományok korrigált ftk-i), másrészt a rész-erdőállományok változó területeivel magyarázom (a nevelési mátrix megváltoztatja a rész-erdőállományok összes területét, ezen keresztül a hozami területeiket).

## **5 ESETTANULMÁNY – ERDŐÁLLOMÁNY PROGNÓZIS A SZOMBATHELYI ERDÉSZETI ZRT. TERÜLETÉRE**

A Szombathelyi Erdészeti Zrt. az ország nyugati végében, változatos termőhelyeken gazdálkodik: a spektrum az Őrség szubalpin hatású fenyeveitől a Kisalföld peremén álló száraz cseresekig terjed.

A mintegy 44 ezer hektáros erdőterület (erdőrészletek) elegendően nagy ahhoz, hogy a modell eloszlásokra épülő módszerei jól érvényesüljenek.

Az erdőterület 12%-a nem-vágásos üzemmódban van (2020-ban: örökerdő 750 ha, faanyagtermelést nem szolgáló 850 ha, átmeneti 3700 ha).

A Zrt. területének közel 1/3-án fenyőkkel (főleg erdeifenyővel) gazdálkodnak, a véghasználati hozamok durván 2/3-a fenyő. A lucfenyő érintettsége a klímaváltozás kedvezőtlen hatásai által ismert, ezért érdekes kérdés az erdőgazdálkodás alkalmazkodási stratégiája.

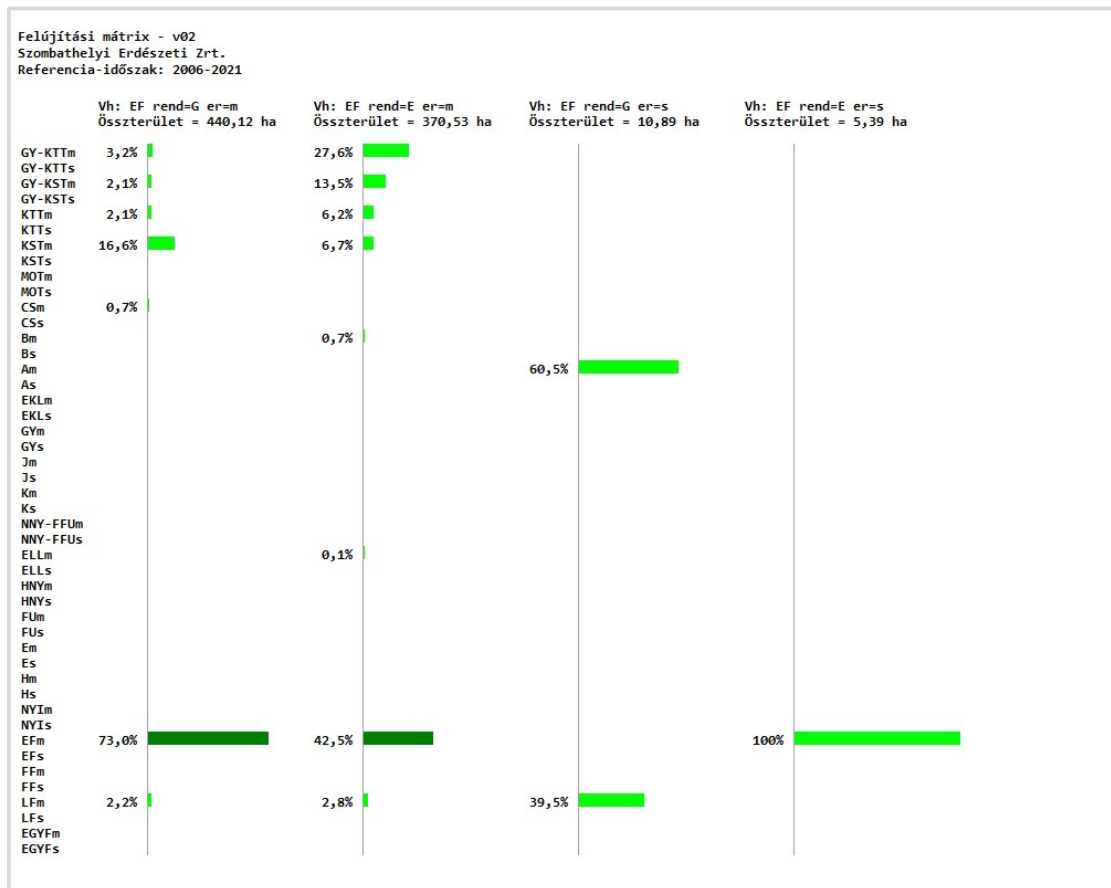
### **5.1 A scenáriók specifikációja**

Kiinduló állapot: 2020 (2021.01.01). A modellfutások 2050-ig tartottak.

Az elő- és véghasználati mátrix referencia időszaka 2017-2021. A viszonylag szűk referencia-időszakot az utóbbi évtized kissé rapszodikus szabályzó környezete, amiből szerettem volna a várhatóan folytatódó legutolsó szakaszt tovább vinni.

A felújítási mátrix referencia időszaka hosszú (2006-2021), mert a felújítási stratégia, hosszabb előrelátást feltételező tevékenység. A felújítási mátrixszal párhuzamosan keletkezik a felújításkor beléptetendő erdőrészek példatára (a felújítási pool), és szerettem volna, hogy a futási időszakban előálló összes felújítási szituációra keletkezzék a Zrt. gazdálkodási gyakorlatából származó minta.

Öt scenáriót futtattam: a BAU, ahol a hozami terület predikciója a historikus adatoknak megfelelő 2021-es kiinduló értéktől (521 ha) évente 1 hektárral nőtt; és a BAU-hoz képest +10, +20, +30 és +40 százalékkal növelt véghasználati hozami területtel dolgozó scenáriók. Ezzel a tartamossági korlátokat és a hozami lehetőségeket kívántam tesztelni.

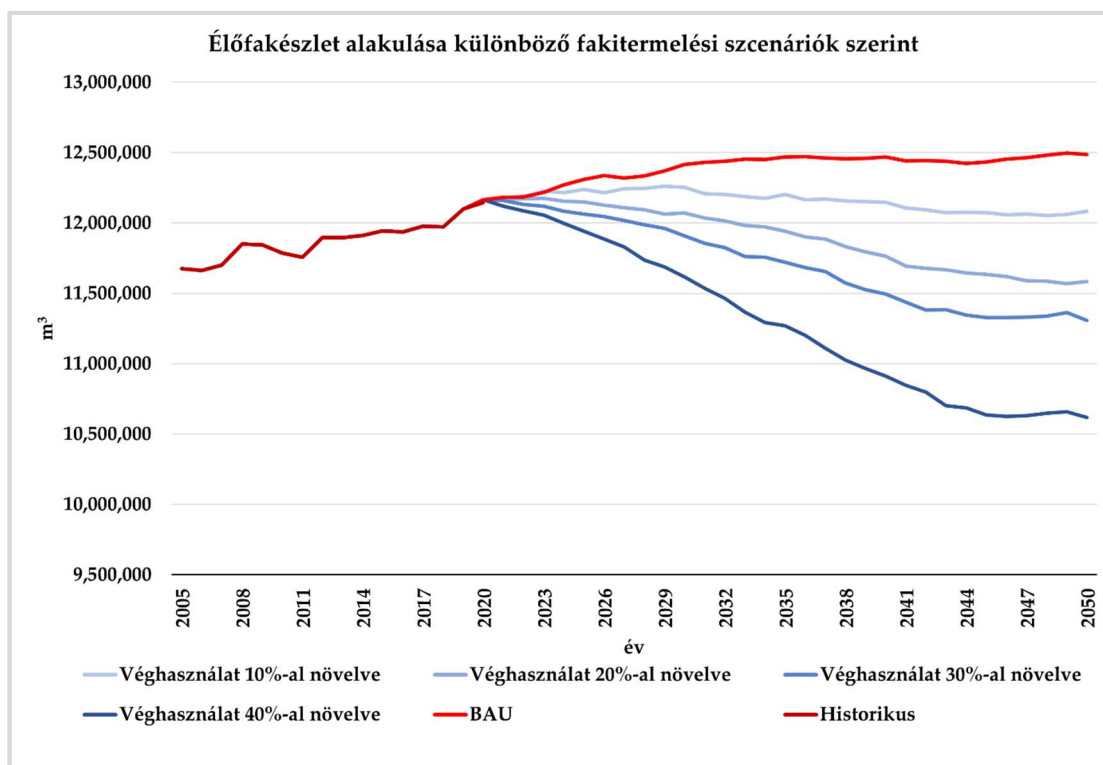


20. ábra: Az erdeifenyő részerdőállomány felújítási mátrixa a BAU-szenárióban a 2006-2021-es referencia-periódus alapján.

Az erdeifenyő felújítása mag eredetű állományok esetén tendenciózus fafajcseréket jelez: gazdasági rendeltetésben az erdeifenyő területének 25%-át, egyéb (döntően természetvédelmi) rendeltetésben 55%-át lombos állományokkal újítják fel, tölgyes és gyertyános-tölgyes célállományokkal (20. ábra).

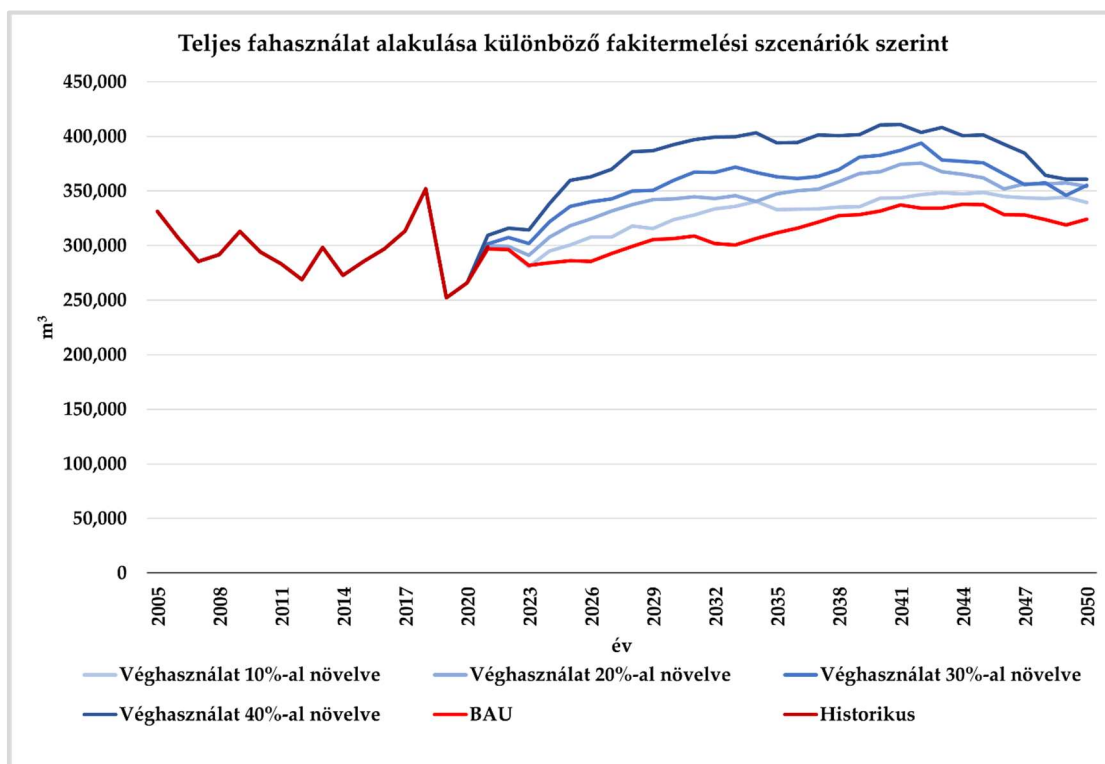
A sarj eredetű erdeifenyvesek területe elenyésző, az ábrán látható akácos felújítások összesen 6 hektárt, egy-két erdőrészt jelenthetnek a 15 éves referencia-időszakban.

## 5.2 Eredmények



21. ábra: Élőfakészlet alakulása különböző fakitermelési scenáriók szerint.

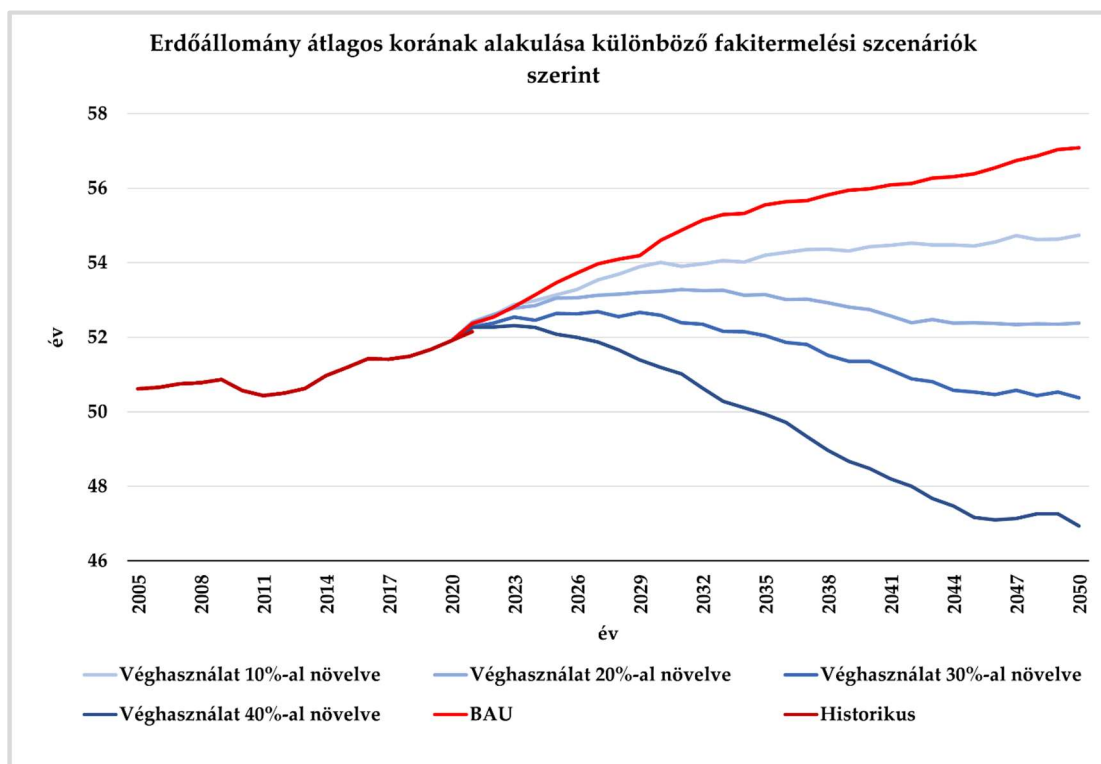
Az élőfakészlet alakulása az egyre nagyobb fahasználati intenzitású scenáriókban megmutatja, hogy a jelenlegi gazdálkodás gyakorlata (optimistán változatlan termőhelyi körülmények közt, nem növekvő erdőkárok mellett) a fakészlet gyarapodását hozza; 10%-kal nagyobb véghasználati intenzitás nagyjából szinten tartja; ennél erősebb véghasználatok viszont a fakészlet csökkenését eredményezik (21. ábra). A gazdálkodó mozgástere tehát jelenleg ez a 10%-os sáv, amin belül a reá bízott erdővagyon nem csökken. Ha ennél nagyobb mértékű lesz pl. a klímaváltozás okozta erdőkárok következtében fellépő kitermelési kényszer, a véghasználati stratégián is változtatni szükséges.



22. ábra: A teljes fahasználat (előhasználat és véghasználat) alakulása különböző fakitermelési scenáriók szerint.

A fahasználatok várható alakulása azt mutatja, hogy a BAU scenárióban is egyenletesen és enyhén növekedő hozami lehetőségek biztosítottak (22. ábra).

Érdekes, hogy a sokkal intenzívebb véghasználatok lehetősége 2050 körül eltűnik (a +40%-os scenárió hozamai is 350 ezer m<sup>3</sup>-re esnek vissza, ami alig van a BAU szintje felett), mert kifutnak a nagyobb hozamokat lehetővé tevő nagyobb területű korosztályok, és ezután csak a vágáskor-eloszlás újrafogalmazásával lehetne a volument feljebb tornászni.

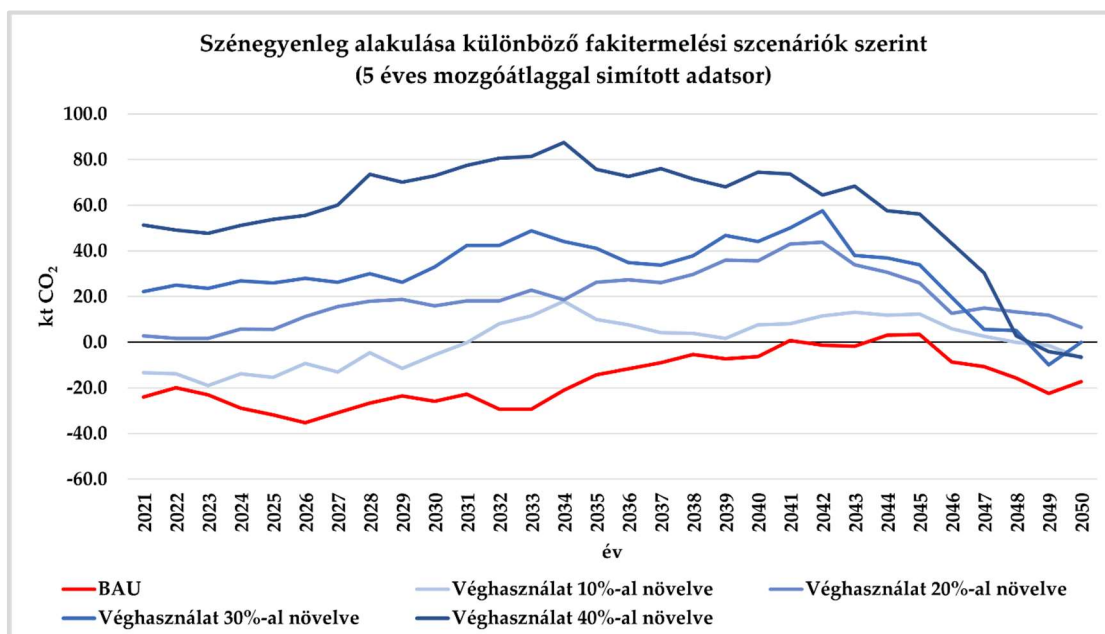


23. ábra: Az erdőállomány átlagos korának alakulása különböző fakitermelési scenáriók szerint.

Az átlagos kor a BAU scenárióban a historikus pályát folytatva enyhén emelkedik (23. ábra). A +10%-os pályán az átlagkor nagyjából konstans, és az ennél nagyobb fahasználati intenzitások mellett kezd az erdőállomány megfiatalodni, a fiatal korosztályok aránya növekedni.

Attól függetlenül, hogy a jelenlegi általános gazdálkodási trend a vágáskorok emelkedése, az öreg erdők fenntartása felé mutat, a nagyobb volumenű felújítások arra is lehetőséget adnak, hogy a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodást tudatosan elősegítsük.

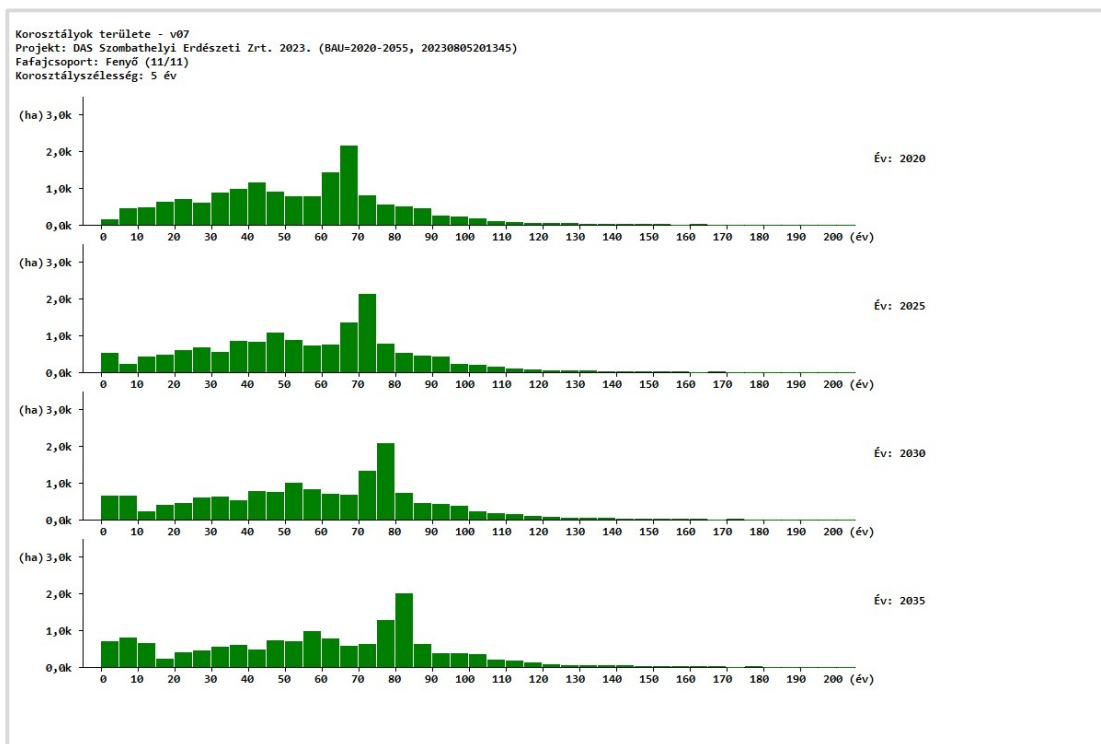




24. ábra: Az erdőállomány biomassza széntárolója szénegyenlegének alakulása különböző fakitermelési scenáriók szerint (a negatív értékek széndioxid megkötéseket, a pozitív értékek kibocsátásokat jelölnek).

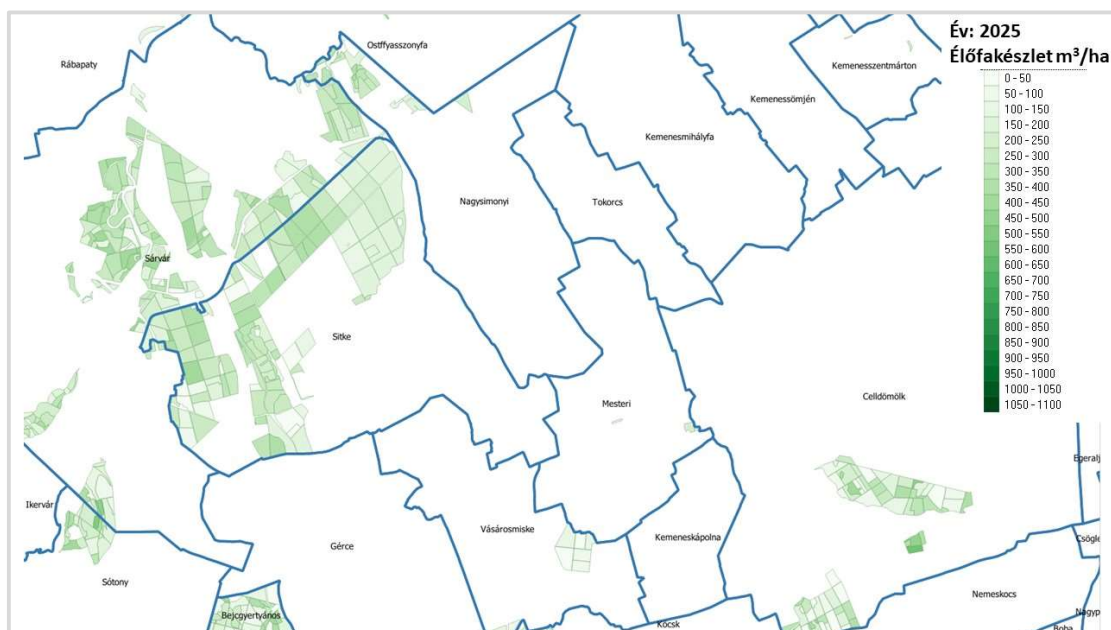
A szénegyenleg (24. ábra) a BAU scenárióban általában megkötő, és csak egy rövid szakaszon billeg a megkötés-kibocsátás egyensúlya körül (ami nem rendkívüli, hasonló a historikus idősorban is előfordul).

A +10%-os véghasználati intenzitású scenárióban 2030-2045 közt várható enyhe kibocsátás. Az ennél nagyobb fahasználatok viszont egyértelműen CO<sub>2</sub>-kibocsátók, ami a biomasszában tárolt szenet illeti.



25. ábra: A fenyő állományok prognosztizált korosztályszerkezetének alakulása 2020-2035 között.

A fenyő részerdőállomány korosztályszerkezetének előre tolódásán látszik a Zrt. gazdálkodásának egy nagyon érdekes aspektusa: a korosztályok kiegyenlítetlensége, a normál erdőtől való eltérés állapota (25. ábra). A 2020-ban 65-70 éves fenyő korosztály kiemelkedően nagy területű, és az utána következő is az (nagy területű erdőtelepítések miatt), és ez a referencia-időszakban szokásos véghasználati stratégiát alkalmazva nem egyenlítőik ki, hanem végigvonul a prognosztizált időállapotokon. Nagyon érdekes felvetés, hogy a gazdálkodó hogyan alkalmazkodik majd és mit tart célszerűnek az egyszerre jelentkező megugró véghasználati lehetőség, illetve jelentős felújítási feladat kezelésére, és ez hogyan építhető be a modellbe.



26. ábra: Az élőfakészlet térképi megjelenítése a prognózis 2025-ös évében.

Az élőfakészlet térképi megjelenítésén (26. ábra), annak idősorán demonstrálható a növedékesítés és a véghasználatok hatása. A modell jelenleg nem kezel fokozatos felújítógátásokat, hanem minden véghasználatot egy időpontban, tarvágásként valósít meg. Ezzel együtt az erdőállomány szintű hozamok realiztikusak. A véghasználatból kizárt részletek (FNAWS) halmaza a specifikáció szerint a faanyagtermelést nem szolgáló üzemmód (FANE) és az olyan részletek, ahol készletgondozó használat van előírva. A véghasználatok emiatt néha az erdőgazdálkodási gyakorlatban értelmezhetetlen részletekre is estek (pl. örökerdő-üzemmódban kezelt területekre), ami a FNAWS-definíció újragondolása után kiküszöbölendő. Ezzel párhuzamosan ki kell dolgozni az örökerdő-gazdálkodás modulját, mert ha túl nagy terület lesz érinthetetlen, az aránytalan és torz eredményekre vezet a modell véghasználatokkal érintett erdeire is.

## 6 ÖSSZEFOGLALÁS

### 6.1 Tézisek

1. Összefoglaltam és kritikailag értelmeztem Király László professzor munkásságát. Az életmű szintézisét kéziratok és kutatási jelentések felkutatásával és feldolgozásával sikerült megvalósítani, mivel Király professzornak kevés nyilvános forrásban megjelent publikációja áll rendelkezésre.
2. Megállapítottam, hogy a ténylegesen véghasznált hozami területek vágáskorok szerinti eloszlása sokkal kiegyenlítettebb és haranggörbéhez jobban hasonlító, mint az ugyanezen területek tervezett vágásérettségi korai szerinti eloszlás. A fapiac egyenletes hozamokat kíván, az erdei munkák elvégzéséhez rendelkezésre álló munkaerő szintűgy, tehát az erdőgazdálkodók kiegyenlítik az erdőtervekben szereplő vágásérettségi korok eloszlását.
3. Megállapítottam, hogy az országos erdőállomány historikus véghasználati hozami területe meglehetősen stabil, és nincs szoros összefüggésben az erdőtervekben meghatározott vágáskorokból levezethető hozami területtel. Vizsgálataim szerint az erdőtervezésben szokásos kimutatásban szereplő 30 éven belül vágásérett állományok összes területének kb. kétharmada került valóban véghasználatra a vizsgálható periódusban (1990 óta). Ebből azt a következtetést vontam le, hogy a valós véghasználati rezsimet középtávon elsősorban nem az erdőállomány korosztály-szerkezete és az erdőtervek előírásai határozzák meg (ez csak a potenciál), hanem valószínűleg külső tényezők (fakitermelési kapacitások, fapiaci igény stb.).
4. Sikerült jellemezni az országos erdőállományban érvényesülő erdőgazdálkodási gyakorlat valós vágáskor-eloszlásait (1990-től 2021-ig). A korábbi hozamprognózisok szabályozó algoritmusai erdőtervi vágásérettségi korokkal, a vágáskorokra vonatkozó szakértői becslésekkel vagy normatív szabályokkal (pl. erdőnevelési modellek véghasználati koraival) dolgoztak. A valós vágáskor-eloszlásoknak köszönhetően jelentősen javult a prognózis valóságossága.

5. Sikertült erdőállomány-szinten tény-adatokból megbecsülnöm a felújítások fafaj-arányainak valószínűségeit. Létrehoztam az Országos Erdőállomány Adattár adatain alapuló felújítási mátrixot a 2006-2015 referenciaidőszakra vonatkozóan, s ezzel a fafajcserék hatását realiztikusan tudtam beépíteni a prognózisba.
6. Létrehoztam a DAS erdőállomány prognózis modellt, mely az aggregált (pl. korosztályokat kezelő) modellekkel szemben az erdőrészteteket egyenként, egyedileg korosbítja, növedékesíti, véghasználja és újítja fel. A modell folyamatai az erdőrésztetek vezérlő attribútumai és térbeli elhelyezkedése alapján egyedi paramétereket kapnak, így az eredmények részlet szinten és tetszőleges aggregáltsági fokon is vizsgálhatók. A DAS modell rugalmasabb az aggregált modelleknél, miből következően a környezeti hatások (pl. a klímaváltozás okozta következmények) figyelembevétele a scénárió-tervezés során kis léptékben, térben explicit módon kivitelezhető lehet.
7. Modelleztem az országos erdőállomány fejlődését a 2005-2015-ös referencia-időszak alapján (BAU scénárió) 2016-tól 2050-ig. Az eredmények alapján azt a következtetést vontam le, hogy ha a referencia-időszak körülményei, gazdálkodása, véghasználati- és felújítási rezsímjei stabilak maradnak, és főleg az erdőkárok mértéke nem változik meg radikálisan, akkor az országos erdőállomány fejlődése középtávon fenntarthatónak mutatkozik. A modellezés eddigi eredményei szerint a fent vázolt stabilitás mellett 2050-ig nem várható a növekmény eltűnése, és ezzel összefüggésben a széndioxid megkötések korábban feltételezett drasztikus csökkenése és esetleges kibocsátásba fordulásba sem prognosztizálható.
8. Megállapítottam, hogy az általam létrehozott DAS modell, mely egy erdőrésztet alapú erdőállomány prognózis modell, alkalmas az élőfakészlet, a növedék, a kitermelt elő- és véghasználati fatérfogat és a szénmegkötés előrejelzésére regionális és országos szinten, és a modell sztochasztikus természetéből adódó korlátokat szem előtt tartva viszonylag alacsony aggregáltsági fokon is.

## 6.2 A modell legfontosabb tulajdonságai és lehetőségei

1. Egyesíti az erdőállomány-szintű szabályozás eszközeit (a Király-féle fogalomrendszert) a faállomány-szintű (erdőrészlet) faterméstani és területváltozási folyamatokkal. Egyszerre működik az erdő- és a faállomány-szintű dinamika.
2. Követhetővé teszi a faállományok fatermőképesség-, záródás- és elegyarány-eloszlásainak változását. A modellben működő faterméstani megoldások nem statikusak, nem feltétlenül az erdőállomány faterméstani független változóinak egy kijelölt (múltbéli) állapotát vetítik előre. Az alkalmazott fatermési táblák érvényességi határain belül (kor-magasság szórásmezők és növekedés-menetek) a fenti változók paraméterezhetők és ezáltal vizsgálhatók a klímaváltozás hatásai.
3. Az erdőállomány, s benne az erdőrésztetek évenkénti állapotait állítja elő.
4. Erdőrészlet-szintű területi tagoltságot és felbontást ad. A növekedési folyamatok paraméterezése téradatok alapján is kivitelezhető. Az eredmények az erdőrésztetek adatainak összegzésével és térinformatikai feldolgozásával korlátozás nélkül csoportosíthatók és ábrázolhatók, elvileg bármilyen numerikus és térbeli halmazképzés megoldható (pl. gazdálkodók, közigazgatási egységek, erdészeti tájak szerint).
5. A szabályzó paramétersorok a referencia-időszak (2005-2015) ténylegesen tapasztalt folyamatain alapulnak: valós vágáskor-eloszlások és valós felújítási viszonyok működnek (BAU szcenárió).
6. Valós időbeli dinamika alapján kezeli a kiinduló állapot üresvágásait és a véghasználatok után, menet közben keletkező üres területeket.
7. A modell faterméstani eljárásai terület-alapon dolgoznak: a részletek területe van megszorozva a sűrűséggel és a fatermési tábla hektáronkénti fajlagos értékeivel (élőfakészlet, növedék és hozamok számítása). A jelenleg alkalmazott fatermési táblák lecserélése korszerűbbekre elvileg lehetséges és lényegében nem befolyásolja a modell működését.
8. A területek kezelése és a faterméstani módszertan teljesen tiszta, az erdőállomány képének alakításában csak a szabályzó táblák és a fatermési táblák működnek. Nincsenek kényszerből bevezetett korrekciók, illesztő konstansok, redukciós

tényezők. A prognózis az erdőállomány fejlődését az Országos Erdőállomány Adattár faterméstani rendszeréhez nagyon hasonló faterméstani módszerek szerint, de annak adatkezelési problémái nélkül mutatja.

### 6.3 A modell gyakorlati felhasználása

A prognózis (a modell) jelentősége nem csak abban áll, hogy előre lehet jelezni az erdőállomány fejlődését, ti., hogy van egy eljárás-csomag, ami az Adattárhoz nagyon hasonlóan működik, és tetszőleges területű, tetszőleges fafaj-összetételű stb. erdőállománnyal, rövidtávon már viszonylag alacsony aggregálási szinten is az Adattár statisztikáihoz nagyon hasonló eredményeket ad.

Mire lehet használni még a modellt?

- a. Adattárból kikerülő erdőállomány valószínű állapotának leírására. Amíg nincs róluk adatgyűjtés, vagy csak a véghasználatuk időpontja ismert. Kiinduló állapot: a még ismert adattári leírás.
- b. Adattáron kívüli erdők állapotának becslésére tetszőleges időpontban. Kiinduló állapot: távérzékelés, szisztematikus leltár.
- c. Hivatalos statisztikák torzítatlan levezetésére. Lehetőség van a jelenlegi lezárt statisztikai állapotra épülő éves adatszolgáltatásokat prognózison alapuló aggregált statisztikákkal helyettesíteni, ha az éves zárás késik. Az adattár fatermési rendszerének egyensúlya a fatermési táblák fakészlet- és növedék-viszonyainak, a véghasználatokra vonatkozó korrekt adatgyűjtésnek, a tervezési fakészlet-alábecslésnek és a növedékesítés felülbecslésnek az egyensúlya. Mindnek van ismert hibája. Ebből adódik az, amit a szakmai közvélemény megszokott: évi 13 millió m<sup>3</sup> folyónövedék, 3-4 millió m<sup>3</sup> növekmény. De ez nem a valóság, ez csak a rendszer elfogadott egyensúlya. Minél több az Adattárban a 7-es és 8-as becslés (együtt >95%), annál inkább hasonlít az Adattár a modellre.

### 6.4 A modell tervezett fejlesztései

1. **Részterületes véghasználatok.** Az erdőállomány kiinduló állapotának felolvasásakor szét kellene szedni a részterületes tarvágásokra tervezett erdőrésztleteket. Ezek olyan faállományok, amiket kényelmi vagy praktikus okokból

tartanak egyben (egy részletben), de valójában területileg elkülönülő, különböző típusok, pl. A-HNY. Mivel a faállomány-típus és a főfafaj vezérlő adat a felújításoknál és a véghasználatokban, ennek van jelentősége és pontosítaná a prognózist.

2. **Rendezetlen erdők.** A rendezetlen tulajdonviszonyok közti gazdálkodás eltér a szokásostól. Nem mondható, hogy itt nincsenek fahasználatok, de nyilvánvalóan alacsonyabb intenzitásúak. Általában a szétaprózódott tulajdonosi szerkezet a fakitermelés lehetőségének elérkeztekor képes döntésre jutni és rendezetté válni, de ez gyakran csak ideiglenes állapot. Valószínűleg külön "rendeltetésben" kellene megfogni, külön részerdőállományként kezelni, így a gazdasági/egyéb felosztás egy harmadik elemmel bővülne. Kezelésükre, területük dinamikájának előre jelzésére a telepítésekhez hasonlóan külön rész-prognózist kellene alkotni. Jelenleg (2021) közel 330 ezer hektár (16,8%) a rendezetlen gazdálkodású erdőrészletek területe, s öt éve még csak 190 ezer ha volt – a változás elég dinamikus, a jelentősége nagy, és valószínűleg ebben a kategóriában van a magyar erdőállomány hozami tartaléka is.
3. Levezetni az **erdőnevelési mátrixot**. A prognózis szabályozó mechanizmusai közül (véghasználati-, felújítási- és erdőnevelési mátrix) ez a legbonyolultabb, és ezt a legnehezebb adatokkal alátámasztani. Több hatás egyszerre és egymásba fonódva befolyásolja az erdőállomány képét: az elegyes állományok természetes elegyarány-változási folyamatai, a klímaváltozás okozta produkció-csökkenés, az erdőkárok okozta záródás-csökkenés, a mortalitás, az előhasználatok – viszont minden megfigyelésénél csak egy összehasonlítható kiinduló- és végállapot-pár vizsgálható. Itt sokkal nehezebb megkülönböztetni az egyes faktorokat. (A véghasználat levezetése azért könnyebb, mert csak egy hatás eredményét kellett megragadni.)
4. **Erdőkárok.** Habár a Király-féle terminológiában az erdőnevelési mátrix a gyéritések hatásain túl magában foglalja az elegyarányokat, a záródást és a fatermőképességet érintő természeti folyamatok eredményeit is, külön figyelmet érdemel az erdőkárok kérdése. A szakmai konszenzus szerint középtávon növekvőnek várt erdőkárok hatásának modellezését a DAS modell általános módszertanát alkalmazva tudom elképzelni: az Erdővédelmi Prognózisok (pl. Hirka et al 2021) adatai alapján lehetne jövőbeli előfordulási valószínűségeket számolni a meghatározó kártípusokra, fafajokra és azok korosztályaira nézve, melyeket a véghasználati vágáskorokhoz



hasonlóan lehetne az egyes erdőrészekre terhelni. A modellezési feladat nehezebb részének tűnik annak meghatározása, hogy az egyes generált káresemények milyen mértékű változásokat okoznak a záródásban, az egyes fafajsorok elegyarányában és magassági növekedésében (a fatermőképességben). A megvalósítás lépésenként, több scenárión keresztül vezethet el a komplex megoldásig:

- a. a gyérítések hatását beépítő;
- b. a klímaváltozás hatására növekedő erdőkárokat figyelembe vevő;
- c. a klímaváltozás hatására a fatermőképesség eltolódását figyelembe vevő;
- d. a klímaváltozás hatására megváltozó felújítási rezsimet alkalmazó (alkalmazkodási)

scenáriókat tudok jelenleg elképzelni.

5. **Fiatal korosztályok területhiánya.** Elvi alapon is rendbe kellene tenni a fiatal korosztályok (1-10 és 11-20) területhiányát, ami az Adattárban állandó jelenség. A juvenilis fázisban sem az elegyarány, sem a lomkoronasátor-záródás nem értelmezhető úgy, ahogy a záródott állományokban, e két mutatónak más a szakmai definíciója az erdősítés befejezése előtt és után. Az Adattárban tulajdonképpen két erdőleírási szisztéma találkozik az erdősítések befejezésekor, illetve vált az egyik a másikba. Szervezetileg a juvenilis fázisban az erdőfelügyelet, később az erdőtervezés írja le az erdőt. Milyen mechanikát kell kialakítani, hogy a kezdeti területhiány ne vonuljon végig, mint egy horpadás, a prognosztizált korosztály-szerkezeten? Meg lehet-e oldani az erdőnevelési mátrixot úgy, hogy ebből a hiányos területből is produkálja az idősebb korosztályok területeit? Lehet, hogy -10 vagy -20 évről kell indítani a futást (spin up period), és időt adni, hogy az első korosztályok maguktól feltöltődjenek?
6. A **Király-féle jövőkép** modellezése. Készíteni kellene egy scenáriót a tervezői vágáskorokkal és a távlati faállomány-típus felé mutató felújítási rezsimmal. Ez lenne a Király-féle jövőkép felé vezető út mérnöki megfogalmazása. A tervezői vágáskor-eloszlások levezethetők a belépő erdőtervekből, a konkrét véghasználati előírások alapján.
7. **Idős állományok növekedési viszonyai.** A Gál-féle függvényesített fatermési tábla kor-magasság görbéi 60/120 év felett is folytatódhatnak (nem konstansok), de ezen a tartományon már csak a zárt képlet tehetetlensége viszi őket, mert kiinduló adatok

ezen a tartományon már nem voltak az illesztésükkor, azaz extrapolációk. A görbék 60/120 év felett változó módon pozitív vagy negatív meredekségűek, többször széttartóak, vagy gyakrabban enyhén lefelé hajlók. Ki kellene próbálni egy 60/120 év felett konstans magasságokkal, tehát gyakorlatilag konstans élőfakészletekkel dolgozó verziót is, vagy nagyobb feladatot vállalva megpróbálni modellezni az idős állományok dinamikáját pl. az erdőrezervátumokban szerzett tapasztalatok alapján. A BAU scenárió szerint 2050-re közel 150 ezer hektár 120 évnél idősebb állomány jön létre (a 2015-ös kiinduló 30 ezer hektár), tehát a jelenség nem csekély erdőterületet érint.

8. **Az új Erdőtörvény hatása.** Modellezni, új paraméter-sorokkal jellemezni és külön scenárióban megfogalmazni a 2017-es erdőtörvény hatásait. Az új Evt. korábban szokatlan változásokat vetít előre: ezek közül a legjelentősebb, hogy 700-800 ezer hektáron (kultúrerdők és faültetvények) szűnt meg az erdőtervezés által előírt vágásérettségi korok kötelező mivolta.

## 6 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom:

- Dr. Borovics Attilának a modellezési munka koncepciójának kialakításában nyújtott értékes iránymutatásaiért, és az eredmények értelmezésében és nemzetközi publikálásában vállalt szerepéért.
- Dr. Czimber Kornélnak az oktatási célra fejlesztett erdőállomány-modellező programjába nyújtott betekintésért.
- Czirok Istvánnak a készséges és folyamatos támogatásért és segítségért erdőtervezési kérdésekben.
- Dr. Gál Jánosnak faterméstani munkásságáért, az elméleti háttér tekintetében kulcsfontosságú konzultációkért és a magyar erdészeti tudományt eleven létezőként bemutató anekdotakincsért.
- Dr. Illés Gábornak együttműködéséért a döntéstámogatási rendszer scenárió kialakításában, valamint a termőhelyi- és klimatikus adatokkal kapcsolatos értékes ismeretei és tapasztalatai megosztásáért.
- Király Éva Ilonának a telepítési modul kidolgozásában tanúsított állhatatosságáért és a nagyszerű akaratért, amivel végigkísért a doktori cselekmények kálváriáján.
- Dr. Mátyás Csabának a briliáns publikációkért, és mert látott fantáziát a modellben.
- Mertl Tamásnak a közreműködésért az angol nyelvű publikációkban és a magánerdő-gazdálkodással kapcsolatos értékes ismereteiért.
- Nagy-Bozsoky Péternek a józan megvilágosító tapasztalatokért, amit az igazgatási és gazdálkodói viselkedéssel kapcsolatban többször átadott.

- Nagy Frigyes Vincének és Szabó Péternek  
a 2015. februári tervezői igazgatóhelyettesi értekezleten adott tanácsaikért, Fricinek külön az ötleteiért és a leveleiért.
- Nagy Józsefnek  
a támogatásért és főleg a telepítési modulban kifejtett tevékenységéért.
- Dr. Rédei Károlynak  
a magyar faterméstani kutatás történetének hangsúlyarányait érintő megfigyeléseiért, és köszönöm, hogy rámutatott Magyar János munkásságának nagyszerűségére.
- Rónai András  
matematikus-filozófusnak, akivel 2006-ban a Bán-Solti-féle modellt és a prognózisok nemzetközi szakirodalmát néztük át.
- Szabó Gábornak (alias Ideg)  
az általa fejlesztett HOSZA nevű hozamszabályozási programcsomag dokumentációjának átadásáért és a konzultációkért.
- Szamosfalvi Károlynak  
a telepítési modul kidolgozásáért és szakmai tartalommal való megtöltéséért.
- A Szombathelyi Erdészeti Zrt.-nek  
az adataik felhasználására vonatkozó engedélyért és az együttműködésért.
- Dr. Tobisch Tamásnak  
a saját fejlesztésű hozamprognózisa által gyűjtött tapasztalatokért, és mert ő volt az első, aki alaposan átolvasta és véleményezte a DAS dokumentációját.
- Varga Ádámnak  
a NextComp Kft. munkatársának, aki a végülis a prognózis miatt 2016-ban megvásárolt számítógépem árát a legális lehetőségeken belül a legalacsonyabbra nyomta, később pedig 2Gb RAM-ot tulajdonképpen ingyen kaptam meg általa.

Dr. Veperdi Gábornak

szívjóságáért, és a fatermési táblák területén felhalmozott ismereteiért.

## 7 HIVATKOZÁSOK

- Adorján J. (1974): Mag- és sarjeredetű égeresek fatermési táblája. In.: Sopp L. (1974): Fatömegszámítási táblázatok – fatermési táblákkal. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Ajtay V. (1937a): A vágásérettséget és vágássorrendet meghatározó szám (vágássorrend-szám). Erdészeti Lapok 76. évfolyam, 1. szám (január), 33-55.
- Ajtay V. (1937b): A természetes vágássorrendszámra alapított hozamszabályozás. Erdészeti Lapok 76. évfolyam, 4. szám (április), 321-345.
- Béky A. (1908): Tölgy sarjerdő fatermési táblája. Erdészeti Lapok 15 (8): 499–502.
- Béky A. (1981): Mag eredetű kocsánytalantölgyesek fatermése. Erdészeti Kutatások 74: 309–320.
- Béky A. (1983): Országos fatermési tábla gyertyánállományokra. Erdészeti Kutatások 75: 199–207.
- Béky A. (1993): Sarj kocsánytalan tölgyek fatermése. Erdészeti Kutatások 82–83 (2): 181–197.
- Béky A., Somogyi Z. (1996): Fatermési tábla optimális szerkezetű gyertyános-kocsánytalan tölgyesekre. Erdészeti Kutatások 85:49-78.
- Birck O., Kiss R., Márkus L., Solymos R., Tallós P. 1962: A hosszúlejárátú erdőnevelési és fatermési kísérleti területek kitűzésének, felvételezésének és fenntartásának irányelvei. Erdészeti kutatások, 58. évfolyam 1-3. szám. 217-259
- Birck O., Kiss R., Márkus L., Solymos R., Tallós P. (1962): A hosszúlejárátú erdőnevelési és faterméstani kísérleti területek kitűzésének, felvételének és fenntartásának irányelvei. Erdészeti kutatások, 58. évfolyam 1-3. szám, 217-259. oldal.
- Birck O., Sopp L. (1974): Mageredetű vörös tölgyesek fatermési táblája. In.: Sopp L.: Fatömegszámítási táblázatok – fatermési táblákkal. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Bonan, G.B., Levis, S., Sitch, S., Vertenstein, M., Oleson, K.W. (2003): A dynamic global vegetation model for use with climate models: concepts and description of simulated vegetation dynamics. *Global Change Biol.* 9, 1544–1566. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00681.x>.
- Bondor A. (1985): A szelídgesztenye fatermése. Erdészeti Kutatások 76–77: 133–149.
- Bondor A. (1988): 25 éves a magyar szervezett, hosszú lejárátú fatermési kutatás. Erdészeti Lapok 37 (10): 446–453.
- Borovics A., Mertl T., Király É., Kottek P. (2023): Estimation of the Overmature Wood Stock and the Projection of the Maximum Wood Mobilization Potential up to 2100 in Hungary. *Forests*; 14(8):1516. <https://doi.org/10.3390/f14081516>.
- Botkin, D. B., Janak, J. F., Wallis, J. R., (1972): Some ecological consequences of a computer model of forest growth. *Journal of Ecology*, 60:849–872.
- Böttcher H., Kurz W.A., Freibauer A. (2008): Accounting of forest carbon sinks and sources under future climate protocol, factoring out past disturbance and management effects on age-class structure, *Env. Sci. & Pol.* 11, 669, 686.

- Bruce, D., Mars, de, D. J., Reukema, D. C., (1977): Douglas-fir managed yield simulator: DFIT User's Guide, USDA, Forest Serv. Gen. Techn. Report PNW-57, PNW Forest and Range Experimental Station, Portland, OR., 2 p.
- Buongiorno, J., (2001): Generalization of Faustmanns formula for stochastic forest growth and prices with Markov decision process models. *Forest Science*, 47:466–474.
- Canadell, J.G., Pataki, D.E., Gifford, R., Houghton, R.A., Luo, Y., Raupach, M.R., Smith, P., Steffen, W., (2007): Saturation of the terrestrial carbon sink1. In: Canadell, J., Pataki, D., Pitelka, L. (Eds.), *Terrestrial Ecosystems in a Changing World. The IGBP Series*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 59–78.
- Csontos Gy. (1985): Erdőállomány gazdálkodásunk az erdőrendezés tükrében. *Erdészeti Lapok* 34. (120.) évfolyam, 3. szám (március), 93-100.
- Czímber K., Mátyás Cs., Bidló A., Gálos B. (2018): A „Járó-tábla” (avagy az egyes termőhelytípusokon alkalmazható célállományok és azok növekedésének) közelítése gépi tanulási módszerrel. *Erdészettudományi Közlemények*, 8(1): 93-103. <https://doi.org/10.17164/EK.2018.006>.
- Desai, A.R., Bolstad, P.V., Cook, B.D., Davis, K.J., Carey, E.V. (2005): Comparing net ecosystem exchange of carbon dioxide between an old-growth and mature forest in the upper Midwest, USA. *Agricultural and Forest Meteorology* 128 (1–2), 33–55.
- Dobay G. (2009): Legvégső korok. In Varga B. (szerk.): *A folyamatos erdőborítás fenntartása melletti erdőgazdálkodás alapjai*. Tankönyv, Pro Silva Hungaria, 132. oldal, 11.2 ábra.
- Duncker, P.S., Barreiro, S.M., Hengeveld, G.M., Lind, T., Mason, W.L., Ambrozy, S., Spiecker, H. (2012): Classification of Forest Management Approaches: A New Conceptual Framework and Its Applicability to European Forestry, *Ecology and Society* 17 (4), 51.
- EFISCEN (2023): Modell-leírás. <https://efi.int/knowledge/models/efiscen> (hozzáférés 2023.02.26)
- Ek, A. R., Monserud, R. A. (1974): Trials with program FOREST: Growth and reproduction simulation for mixed species even- or uneven-aged forest stands. In: Fries, J. (Hrsg.): *Growth models for tree and stand simulation*. Royal College of Forestry, Stockholm, Sweden, Research Notes, 30:56–73.
- Fabrika, M., Valent, P., Merganicova, K. (2019): Forest modelling and visualisation – state of the art and perspectives. *Central European Forestry Journal*. 66. 147-165. 10.2478/forj-2019-0018.
- Fadgyas K. (1980): Szögszámláló mintavétel alkalmazása az erdőrendezésben. *Erdészeti Lapok* 29. (115.) évfolyam, 6. szám (június), 261-265.
- Fadgyas K. (1990): A hozamszabályozásról. *Erdészeti Lapok* 39. (125.) évfolyam, 4. szám (április-június), 164-167.
- Fekete Z. (1923): A vég- és előhasználati fatömegek arányának megállapítása a helyi fatermési táblákban. *Erdészeti Lapok*, 62. évfolyam, 4. szám, 109-117.
- Fekete Z. (1938): A sűrűségi és záródási viszonyszám helyes értelmezése. *Erdészeti Lapok*, 77. évfolyam, 10. szám, 841-850.
- Földművelésügyi Minisztérium (2016): *Nemzeti Erdőstratégia, FM Erdészeti és Vadgazdálkodási Főosztály*, Budapest

- Forest Stewardship Council (2004): National Boreal Standard. Forest Stewardship Council Canada, Accredited Standard, August 6.
- Franz, F. (1968): das EDV-Programm STAOET – zur Herleitung mehrgliedriger Standort-Leistungstafeln. Manuskriptdruck, München unveröff.
- Gál J. (1977): Matematikai statisztikai módszer fatermési függvények paramétereinek meghatározására. TDK dolgozat.
- Gál J. (1978): A Backman-függvény alkalmazása hazai fatermési tábláinkra. Erdészeti Lapok 27. (113.) évfolyam, 12. szám (december), 564-567.
- Gál J. (1980): Fatermési függvények alkalmazása az üzemtervek számítógépes adatfeldolgozásában (diplomaterv). – Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőrendezéstani Tanszék, Sopron.
- Gál J. (1986): Új módszerek az erdők fatermésének meghatározására és előrejelzésére. Kandidátusi értekezés. Budapest.
- Gál J. (1988): Fatermési függvények bevezetése az üzemtervek számítógépes adatfeldolgozásába. Kutatási jelentés. – Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőrendezéstani Tanszék, Sopron.
- Gál J. (2011): Magyar János (1911-2006) élete és munkássága. Erdésznagyjaink arcképcsarnoka 26. Nyugat-Magyarországi Egyetemi Kiadó, Sopron.
- Goulden, M.L., Wofsy, S.C., Harden, J.W., Trumbore, S.E., Crill, P.M., Gower, S.T., Fries, T., Daube, B.C., Fan, S.M., Sutton, D.J., Bazzaz, A., Munger, J.W. (1998): Sensitivity of boreal forest carbon balance to soil thaw. *Science* 279 (5348), 214–217.
- Grassi, G; Pilli, R. (2017): Method applied by the JRC for projecting forest GHG emissions and removals based on the “continuation of current forest management”. EUR 28623 EN. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; doi:10.2760/844243
- Grote, R., Pretzsch, H. (2002): A Model for Individual Tree Development Based on Physiological Processes. *Plant Biology*, 4:167–180.
- Hajdu G. (1995): Ezüsthárs (*Tilia tomentosa* Mönch.) fatermési táblázatok. Erdészeti Kútatások 85: 113–124.
- Hauhs, M., Kastner-Maersch, A., Rost-Siebert, K. (1995): A model relating forest growth to ecosystem-scale budgets of energy and nutrients. *Ecological Modelling*, 83:229–243.
- Hidy, D., Barcza Z., Fodor N. (2018): Biome-BGCMuSo v5.0 source code. [https://www.researchgate.net/publication/324950232\\_Biome-BGCMuSo\\_v50\\_source\\_code](https://www.researchgate.net/publication/324950232_Biome-BGCMuSo_v50_source_code)
- Hidy, D., Barcza, Z., Marjanović, H., Ostrogović Sever, M.Z., Dobor, L., Gelybó, G. et al. (2016): Terrestrial Ecosystem Process Model Biome-BGCMuSo: Summary of improvements and new modeling possibilities. *Geoscientific Model Development Discussions*, p. 1–60.
- Hirka A. (szerk.) (2021): Évi biotikus és abiotikus erdőgazdasági károk, valamint a 2022-ben várható károsítások. A SOE Erdészeti Tudományos Intézet és a NFK Erdészeti Főosztály kiadványa (aka „Prognózis Füzetek“). <https://www.nfk.gov.hu/>
- Hundeshagen, J.C. (1848): Die Forstabschätzung auf neuen wissenschaftlichen Grundlagen. H. Laupp'schen.



- IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- Járó Z. (1972): Az erdészeti termőhelyértékelés rendszere. In. Danszky I. (szerk.): Erdőművelés I. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest, 47-256.
- Király L. (1964): A fatermési kutatások kérdése erdőrendezési szempontból. Erdészeti Lapok 13. (99.) évfolyam, 6. szám (június), 249-255.
- Király L. (1966): A maximális növedék elérésének problémája, hozzászólás Kállay Árpád azonos című cikkéhez. Erdészeti Lapok 15. (101.) évfolyam, 2. szám (február), 73-81.
- Király L. (1978): Új eljárások a hosszúlejáratú erdőgazdasági üzemtervek készítésében. Kandidátusi értekezés, Budapest.
- Király L. (1994): Erdeink jövőképe (kézirat). Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőrendezéstani Tanszék, Sopron.
- Király L. (1999): Új eljárások a hazai erdőrendezésben. Erdészettörténeti Közlemények, 1999. 45. szám, 121-159.
- Király L., Kolozs A., Gál J., Facskó F., Légler Á., Magas L., Szentkúti F., Szélesy M., Szodfrid Istvánné, Drávainé Bertl D., Vajda Ákosné, Vladárné Pataki E. (1988): Fatermési táblák és erdőnevelési modellek erdőrendezési alkalmazásának lehetőségei (zárójelentés kutatás-fejlesztési munkáról, 1985-88)., Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőrendezéstani Tanszék, Sopron.
- Király L., Mészáros K. (1995): Konvergens prognózisok szerepe az erdőgazdasági stratégiák tervezésében (Role of Convergent Prognosen in Planning Forestry); Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények 1994-1995. p137
- Király L., Mészáros K., Szentkúti F. (1995): A tervezett célállapotra vonatkozó hozadék- és fafajszabályozási eljárások kiegészítése a vagyoneértékelés eredményeivel. Erdészeti Lapok 130. évf. 4. szám (1995. április), 121-122.
- Király L., Rács Á., Kalmár J. (1987): A jövőképkialakítás matematikai modellje. Erdészeti Lapok 36. (122.) évfolyam, 2. szám (február), 78-84.
- Király L., Szentkúti F., Gál J., Magas L., Mészáros K., Szélesy M., Facskó F., Rács Á., Koller E., Szabó P., Fejes L., Steiner T., Vesztergom V. (1992): Zárójelentés az 1875. nyt. sz. OTKA kutatásról (1986-1991). Az erdőállománnyal való gazdálkodás optimális szabályozási stratégiájának megalapozása. Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőrendezéstani Tanszék, Sopron.
- Király L., Szentkúti F., Gál J., Magas L., Mészáros K., Szélesy M., Facskó F., Rács A., Koller E., Szabó P., Fejes L., Steiner T., Vesztergom V. (1992): Zárójelentés az 1875. nyt. sz. OTKA kutatásról (1986-1991). Az erdőállománnyal való gazdálkodás optimális szabályozási stratégiájának megalapozása. Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőrendezéstani Tanszék, Sopron.
- Kiss R., Somogyi Z., Juhász GY. (1986): Kocsányos tölgy fatermési tábla. Erdészeti Kutatások 78: 265–282.
- Kniemeyer, O. (2008): Design and Implementation of a Graph Grammar Based Language for Functional-Structural Plant Modelling. Dissertation. Fakultät für Mathematik,

- Naturwissenschaften und Informatik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, 432 p.
- Kollár T. (2022a): Új adatok a magyarországi cseresek (*Quercus cerris*) faterméséről. In: Czimber, Kornél (szerk.) ERDÉSZETI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA, SOPRON – 2022 Sopron, Magyarország : Soproni Egyetem Kiadó (2022) 316 p. pp. 117-122., 6 p.
- Kollár T. (2022b): Új adatok a magyarországi kocsányos tölgyesek (*Quercus robur*) faterméséről. In: Czimber, Kornél (szerk.) ERDÉSZETI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA, SOPRON – 2022 Sopron, Magyarország : Soproni Egyetem Kiadó (2022) 316 p. pp. 129-134., 6 p.
- Kollár T. (2022c): Új adatok a magyarországi kocsánytalan tölgyesek (*Quercus petraea*) faterméséről. In: Czimber, Kornél (szerk.) ERDÉSZETI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA, SOPRON – 2022 Sopron, Magyarország: Soproni Egyetem Kiadó (2022) 316 p. pp. 123-128., 6 p.
- Kollár T. (2022d): Új adatok a magyarországi kőrisek (*Fraxinus ssp.*) faterméséről. In: Czimber, Kornél (szerk.) ERDÉSZETI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA, SOPRON – 2022 Sopron, Magyarország : Soproni Egyetem Kiadó (2022) 316 p. pp. 135-140., 6 p.
- Kollár T. (2022e): Új adatok a magyarországi gyertyánosok (*Carpinus betulus*) faterméséről. In: Czimber, Kornél (szerk.) ERDÉSZETI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA, SOPRON – 2022 Sopron, Magyarország : Soproni Egyetem Kiadó (2022) 316 p. pp. 109-116., 8 p.
- Kottek P. (2017): Országos Erdőállomány Prognózis, 2050 in Bidló A., Facskó F. (szerk.) (2017): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VI. Kari Tudományos Konferencia Absztraktkötet. Soproni Egyetem Kiadó Sopron. 59 p.
- Kovács F. (1986): A mag eredetű kőrisek fatermése. Erdészeti Kutatások 78: 225–240.
- Kovács F., Veperdi G. (1993): A feketefenyő fatermése és erdőnevelési modellje. Erdészeti Kutatások 82–83 (2): 328–344.
- Kurth, W. (1999): Die Simulation der Baumarchitektur mit Wachstumsgrammatiken. Wissenschaftlicher Verlag Berlin, 327 p.
- Kurz, W.A., Apps, M.J. (1999): A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian forest sector. *Ecol Appl.*; 9:526–47.
- Kurz, W.A., Dymond, C.C., White, T.M., Stinson, G., Shaw, C.H., Rampley, G.J., Smyth, C., Simpson, B.N., Neilson, E.T., Trofymow, J.A., Metsaranta, J., Apps, M.J. (2009): CBM-CFS3: a model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards. *Ecol. Model.* 220, 480–504.
- Landsberg, J. J., Waring, R. H. (1997): A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology and Management*, 95:209–228.
- Law, B.E., Sun, O.J., Campbell, J., Van Tuyl, S., Thornton, P.E. (2003): Changes in carbon storage and fluxes in a chronosequence of ponderosa pine. *Global Change Biology* 9 (4), 510–524.
- Leslie, A.J. (1966): A Review of the Concept of the Normal Forest, *Australian Forestry*, 30:2, 139-147, DOI: 10.1080/00049158.1966.10675407

- Lexer, M. J., Hönniger, K. (2001): A modified 3D-patch model for spatially explicit simulation of vegetation composition in heterogeneous landscapes. *Forest Ecology and Management*, 144:43–65.
- Magyar J. (1940): A fatermési táblák szerkesztésének alapkérdései. *Erdészeti Kísérletek* 1940. 42. 1:1-89.
- Magyar J. (1975). Az Országos Erdőrendezési Napok alkalmával tartott felszólalásából. *Erdészeti Lapok* 1975. augusztus, 362. oldal.
- Magyar J. (1989): Erdőgazdálkodásunk közérdekű továbbfejlesztésének elvi-eszmei feltételei. Akadémiai székfoglaló. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- MALLERD (1948): Erdőrendezési utasítás az ideiglenes erdőgazdasági üzemtervek készítéséhez. I., II. rész. MALLERD Központi Igazgatósága. Bp. 1948. (Szokták hivatkozni „Ajtay-Marti 1948” formában is.)
- MCPFE (2003): Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, Liaison Unit Vienna and UNECE/FAO (MCPFE). Improved pan-European indicators for sustainable forest management as adopted by the MCPFE Expert Level Meeting 7–8 October 2002, Vienna, Austria. [online] URL: [http://www.mcpfe.org/files/u1/publications/pdf/improved\\_indicators.pdf](http://www.mcpfe.org/files/u1/publications/pdf/improved_indicators.pdf)
- Mendlik G. (1983): Bükk fatermési tábla. *Erdészeti Kutatások* 75: 189–198.
- Mertl T. (2017): A 2000 utáni erdőtelepítések változásainak okai és következményei. Doktori szigorlat, Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola, Erdőmérnöki Kar, Soproni Egyetem.
- Moser, J. W. (1974): A system of equations for the components of forest growth. In: Fries, J. (Hrsg.): *Growth models for tree and stand simulation*. Royal College of Forestry, Stockholm, Sweden, Research Notes, No. 30, 397 p.
- Mund, M., Kummetz, E., Hein, M., Bauer, G.A., Schulze, E.D. (2002): Growth and carbon stocks of a spruce forest chronosequence in central Europe. *Forest Ecology and Management* 171 (3), 275–296.
- Nagel, J. (1996): Anwendungsprogramm zur Bestandesbewertung und zur Prognose der Bestandesentwicklung. *Forst und Holz*, 3:76–78.
- Országos Erdészeti Főigazgatóság (1955): Erdőrendezési Utasítás, Bp. 1955.
- Palotás F. (1969): A faalakú fűzek termőhelye és fatermése. *Erdészeti Kutatások* 65 (2–3): 139–151.
- Palotás F. (1973): Feketedió-állományok fatermése. *Erdészeti Kutatások* 69 (1): 191–199.
- Perttunen, J., Sievänen, R., Nikinmaa, E. (1998): LIGNUM: a model combining the structure and the functioning of trees. *Ecological Modelling*, 108:189–198.
- Peszlen R.J. (2011): Fatermési tábláink története. Kézirat. Hegykő, 2011. november 15. (A kéziratot Veperdi Gábor közvetítésével kaptam meg.)
- Peszlen R.J. (2015): Statikus fatermési modellek kialakulása és fejlődése [Emergence and Evolution of the Static Forest Crop Models]. In: *Tanulmánykötet Mészáros Károly tiszteletére 2015*. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, pp. 5-14. ISBN 978-963-334-242-8

- Pfreundt, J. (1988): Modellierung der räumlichen Verteilung von Strahlung, Photosynthesekapazität und Produktion in einem Fichtebestand und ihre Beziehung zur Bestandesstruktur. Dissertation, Universität Göttingen, 163 p.
- Pilli R., Grassi G., Kurz W.A., Abad Viñas R., Guerrero N. (2016a): Modelling forest carbon stock changes as affected by harvest and natural disturbances. I. Comparison with countries' estimates for forest management, *Carbon Balance and Management* 11:5,
- Pilli R., Grassi G., Kurz W.A., Fiorese G., Cescatti A. (2017): The European forest sector: past and future carbon budget and fluxes under different management scenarios, *Biogeosciences* 14: 2387-2405.
- Pilli R., Grassi G., Kurz W.A., Moris J.V., Abad Viñas R. (2016b): Modelling forest carbon stock changes as affected by harvest and natural disturbances. II. EU-level analysis, *Carbon Balance Management* 11:20.
- Pilli R., Grassi G., Kurz W.A., Smyth C.E., Blujdea V. (2013): Application of the CBM-CFS model to estimate Italy's forest carbon budget, 1995 to 2020, *Ecol. Model.* 266, 144-171.
- Pilli, R., Grassi, G., Cescatti, A. (2014a): Historical analysis and modeling of the forest carbon dynamics using the Carbon Budget Model: an example for the Trento Province (NE, Italy). *Forest*; 11:20–35.
- Pilli, R., Grassi, G., Moris, J.V., Kurz, W.A. (2014b): Assessing the carbon sink of afforestation with the Carbon Budget Model at the country level: an example for Italy. *Forest*; 8:410–21.
- Pregitzer, K.S., Euskirchen, E.S. (2004): Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Global Change Biology* 10 (12), 2052–2077.
- Prentice, I. C., Cramer, W., Harrison, S. P., Leemans, R., Monserud, R. A., Solomon, A. M. (1992): A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *Journal of Biogeography*, 19:117–143.
- Pretzsch, H. (2009): *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. Springer, 664 p.
- Pretzsch, H., Biber, P., Ďurský, J. (2002): The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation, *Forest Ecology and Management*, 162:3–21.
- Rédei K. (1991): Vöröstölgy fatermési tábla a nyírségi erdőgazdasági tájra. *Erdészeti Lapok* 126 (11): 330–333.
- Rédei K. (1993): Duna-Tisza közti fehér és szürke nyárasok fatermési táblája. *Erdészeti Kutatások* 82–83 (2): 345–352.
- Rédei K. és mtsai. (2011): Nyírségi akácok táji fatermési táblája. *Erdészettudományi Közlemények* 1 (1): 115–124.
- Rédei K., Ábri, T. (2023): A simplified growing model for mixed black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) and poplar (*Populus* spp.) plantations in the Danube-Tisza Interfluve. *Acta Agraria Debreceniensis*, (1), 97–100. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/12385>
- Rédei K., Gál J. (1984): Akácok fatermése. *Erdészeti Kutatások* 76–77: 195–204.
- Rötzer, T., Seifert, T., Pretzsch, H. (2009): Modelling above and below ground carbon dynamics in a mixed beech and spruce stand influenced by climate. *European Journal of Forest Research*, 128:171–182.
- Rumszauer J. (1985): A nyír termesztése a somogyi homokon. Doktori dolgozat. Sopron.

- Sathaye, J.; Makundi, W.; Andrasko, K. (1995): A comprehensive mitigation assessment process (COMAP) for the evaluation of forestry mitigation options, *Biomass and Bioenergy*, Volume 8, Issue 5, Pages 345-356, ISSN 0961-9534, [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(95\)00027-5](https://doi.org/10.1016/0961-9534(95)00027-5).
- Schulze, E.D., Lloyd, J., Kelliher, F.M., Wirth, C., Rebmann, C., Luhker, B., Mund, M., Knohl, A., Milyukova, I.M., Schulze, W., Ziegler, W., Varlagin, A.B., Sogachev, A.F., Valentini, R., Dore, S., Grigoriev, S., Kolle, O., Panfyorov, M.I., Tchebakova, N., Vygodskaya, N.N. (1999): Productivity of forests in the Eurosiberian boreal region and their potential to act as a carbon sink—a synthesis. *Global Change Biology* 5 (6), 703–722.
- Shugart, H. H., West, D. C. (1977): Development of an Appalachian deciduous forest succession model and its application to assessment of the impact of the chestnut blight. *Journal of Environmental Management*, 5:161–179.
- Sloboda, B. (1976): Mathematische und stochastische Modelle zur Beschreibung der Statik und Dynamik von Bäumen und Beständen – insbesondere das bestandesspezifische Wachstum als stochastischer Prozeß. *Habil.-Schrift, Univ. Freiburg*, 310 p.
- SoEF-MCPFE (2007): State of Europe's Forests. The MCPFE report on sustainable forest management in Europe. Published by the Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe Liaison Unit Warsaw. ISBN-10: 83-922396-8-7 <http://foresteurope.org>
- Solymos R. (1973): A lucfenyő-állományok szerkezetének és fatermésének vizsgálata. *Erdészeti Kutatások* 69 (1): 125–143.
- Solymos R. (1993): Erdeifenyő országos fatermési tábla. *Erdészeti Kutatások* 82–83 (2): 357–382.
- Somogyi Z. (1997): Mitigation Analysis in the Forestry Sector. In: Hungarian Country Studies Team: Hungarian Climate Change Country Study. Systemexpert Consulting Ltd., Budapest, pp. 85-112.
- Somogyi Z. (2019): CASMOFOR version 6.1. NARIC Forest Research Institute, Budapest. Website: <http://www.scientia.hu/casmofoor>
- Somogyi Z. (2020): Az erdők szénlekötésének új referenciaszintje. *Erdészeti Lapok* CLV:38-41.
- Somogyi Z., Tobisch T., Szepesi A. (2019): National Forest Accounting Plan, Hungary, Budapest. Gödöllő, Magyarország : Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ (NAIK), (2019) pp. 118. URL: <http://cdr.eionet.europa.eu/hu/eu/mmr/lulucf/envxgc1ma>
- Sterba, H. (1995): PROGNAUS – ein absandsunabhängiger Wachstumssimulator für ungleichaltrige Mischbestände. *DVFF – Sektion Ertragskunde, Joachimstahl*, p. 173–183.
- Stinson, G., Kurz, W.A., Smyth, C.E., Neilson, E.T., Dymond, C.C., Metsaranta, J.M., Boisvenue, C., Rampley, G.J., Li, Q., White, T.M., Blain, D. (2011): An inventory-based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics, 1990–2008. *Glob Chang Biol.*; 17:2227–44.
- Suzuki, T. (1971): Forest transition as a stochastic process. *Mitt. der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien*, 91:137–150.
- Suzuki, T. (2003): Gentan Probability and the Concept of the Normal Wood, in the Wide Sense; *FBMIS Volume 1*, 65-74 ISSN 1740-5955
- Szabó G. (1988): Hozamszabályozás (HOSZA). Diplomaterv. Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron

- Szamosfalvi K., Nagy J., Király É., Debreceni P., Holl K., Kottek P. (2017): Telepítési Modul. Agrárklíma 2 VKSZ\_12-1-2013-0034 projekt keretében a NAIK ERTI és a NÉBIH Erdészeti Igazgatóság közt létrejött szerződés alapján készülő erdőállomány-prognózis részanyaga. Budapest.
- Szodfridt I. (1969): Óriásnyár-állományaink fatermése. Erdészeti Kutatások 5 (2–3): 115–128.
- TBFRA (2000): Forest Resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand. UN-ECE/FAO Contribution to the Global Forest Resources Assessment 2000. Temperate and Boreal Forests Resource Assessment. ISBN 92-1-116735-3 <https://unece.org/forests/temperate-and-boreal-forests-resource-assessment-tbfra-2000>
- Thornton, P., Running, S. W., Hunt, E. R. (2005): Biome-BGC: Terrestrial Ecosystem Process Model, Version 4.1.1.
- Tobisch T., Kottek P. (2013): Forestry-related Databases of the Hungarian Forestry Directorate. Version 1.1. October 8, 2013. Budapest.
- Tuskó L. (1974): Vörösfenyvesek (*Larix decidua* Mill.) In.: Sopp L. (szerk.): Fatömegszámítási táblázatok – fatermési táblázatokkal. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- UNFCCC (2011): Report of the technical assessment of the forest management reference level submission of Hungary submitted in 2011. <https://unfccc.int/topics/land-use/workstreams/land-use--land-use-change-and-forestry-lulucf/forest-management-reference-levels>
- Veperdi G. (2012): Fatermési tábláink története. Előadás az ÁESz központjában, 2012.12.13, vázlat.
- Vidékfejlesztési Minisztérium (2010): Nemzeti Erdőtelepítési Program (NEtP). VM Erdészeti Osztály, Budapest
- Woodward, F. I., Smith, T. M. (1994): Predictions and Measurements of the Maximum Photosynthetic Rate at the Global Scale, In: Schulze, E. D., Caldwell, M. M. (eds.): Ecological Studies 100, Springer-Verlag, New York, p. 491–509.
- Wykoff, W. R., Crookston, N. L., Stage, A. R. (1982): User's Guide to the stand prognosis model. U. S. For. Serv., Gen. Techn. Rep. INT-133, Ogden, Utah, 112 p.
- Yoshimoto, A. (1996a): A new stochastic model for harvesting behaviour with application to nonstationary forest growth and supply. Can. J. For. Res. 26: 1967-1972.
- Yoshimoto, A. (1996b): Economic analysis of harvesting behaviour using the modified Gentan probability theory. J. For. Res. 1: 67-72.
- Zaehle, S., Sitch, S., Prentice, I.C., Liski, J., Cramer, W., Erhard, M., Hickler, T., Smith, B. (2006): The importance of age-related decline in forest NPP for modeling regional carbon balances. Ecological Applications 16 (4), 1555–1574.
- Zaman, T., Alakuş, K. (2021): Integrating Jackknife into the Theil-Sen Estimator in Multiple Linear Regression Model. Revstat - Statistical Journal.
- Zamolodchikov, D.G., Grabovsky, V.I., Korovin, G.N., Kurz, W.A. (2008): Assessment and projection of carbon budget in forests of Vologda Region using the Canadian model CBM-CFS (in Russian, with summary in English). Lesovedenie. 6:3–14.

## 7 ÁBRA- ÉS TÁBLÁZATJEGYZÉK

### Ábrajegyzék

1. ábra. Az erdőállomány lehetséges időútjai (Király 1944). .....	14
2. ábra. Az erdőmodellek lehetséges típusai Fabrika (2019) szerint. ....	46
3. ábra: A DAS modell folyamatábrája.....	61
4. ábra: Erdőtelepítések célállománytípusonként a BAU scenárióban .....	63
5. ábra: Erdőtelepítések célállománytípusok és megyék szerint a BAU scenárióban .....	64
6. ábra: A fakitermelési nyilvántartásból (F-lapok) levezethető hozami terület.....	69
7. ábra: F-lapokból levezethető hozami terület predikciója .....	70
8. ábra: A szabályos és a sztochasztikus üzemosztály koreloszlása $[f(x)]$ és vágáskor eloszlása $[g(x)]$ (forrás: Király 1978, 59. ábra, 272. oldal).....	77
9. ábra: Tervezett vágásérettségi kor és tényleges vágáskor a lucfenyő példáján.....	79
10. ábra. A felújítási mátrix riportja az ESZIR-ben, a 2014/15-ös tenyészeti évre.....	88
11. ábra: Erdőterület .....	103
12. ábra: Élőfakészlet .....	104
13. ábra: Növekmény .....	105
14. ábra: Folyónövedék .....	106
15. ábra: Véghasználati hozami terület .....	107
16. ábra: Véghasználati fatérfogat .....	108
17. ábra: Üresvágások területe.....	109
18. ábra: Biomassza szénmegkötései .....	110
19. ábra: Átlagos kor .....	111
20. ábra: Az erdőfenyő részerdőállomány felújítási mátrixa a BAU-scenárióban a 2006-2021-es referencia-periódus alapján. ....	115
21. ábra: Élőfakészlet alakulása különböző fakitermelési scenáriók szerint. ....	116
22. ábra: A teljes fahasználat (előhasználat és véghasználat) alakulása különböző fakitermelési scenáriók szerint .....	117
23. ábra: Az erdőállomány átlagos korának alakulása különböző fakitermelési scenáriók szerint. ....	118
24. ábra: Az erdőállomány biomassza széntárolója szénegyenlegének alakulása különböző fakitermelési scenáriók szerint (a negatív értékek széndioxid megkötéseket, a pozitív értékek kibocsátásokat jelölnek). ....	119
25. ábra: A fenyő állományok prognosztizált korosztályszerkezetének alakulása 2020-2035 között. ....	120
26. ábra: Az élőfakészlet térképi megjelenítése a prognózis 2025-ös évében. ....	121

### Táblázatjegyzék

1. táblázat: A kötelezettség területe és a hozami terület fahasználati módonként.....	68
---	----

## **8 MELLÉKLETEK JEGYZÉKE**

- I. melléklet: a BAU szcenárió futási paraméter-táblája
- II. melléklet: véghasználati mátrix korrekcióinak listája
- III. melléklet: felújítási mátrixok gazdasági és egyéb rendeltetésben, célállomány-típus és mag/sarj bontásban
- IV. melléklet: véghasználati mátrixok hozami arányai és korrekciói
- V. melléklet: a Gál-féle függvényesített fatermési táblák kor-magasság növekedés-menetei
- VI. melléklet: vágásérettségi korok és vágáskorok összehasonlító hisztogramjai a 2006-2015-ös referencia-időszakban
- VII. melléklet: 22 elemű korosztálytáblai fafajcsoportok
- VIII. melléklet: 23 elemű célállomány típus csoportosítás
- IX. melléklet: Az Országos Erdőállomány Adattár bemutatása
- X. melléklet: Az összefoglaló statisztikák tartalma
- XI. melléklet: Országos Erdőállomány Prognózis -> 2050. Poszter, a DAS-modell első publikációja. Bemutattam a Soproni Egyetem Erdőmérnöki Karának VI. Kari Tudományos Konferenciáján (2016. október).





