

Konvergens prognózisok szerepe az erdőgazdasági stratégiák tervezésében

dr. Király László - dr. Mészáros Károly
Erdészeti és Faipari Egyetem

Role of Convergent Prognosen in Planning Forestry

Király, László and Mészáros, Károly
University of Forestry and Wood Sciences

(megjelent az Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények 1994-1995-ös számában, p137)

Bevezetésképpen hadd idézzünk **Aurelio Peccei** "One Hundred Pages for the Future" című könyvének (1981) záró gondolataiból: *"A természet megóvása és az élet egyéb formációi iránti tisztelet nélkülözhetetlen feltétele az emberi élet fenntartásának és az életminőség biztosításának." ... "Senkinek sincs kizárólagos joga a természeti erőforrásokra." ... "Minden nemzedék köteles az övéénél jobb világot hagyni örökül az utókorra." ... "A növekedést mint célt és mint logikát cseréljük föl a dinamikus egyensúly célkitűzésével és logikájával." ... "Minthogy a külső rendszerek önszabályozó képessége meggyengült, építsük be az önszabályozást az emberi rendszerekbe."*

Bár ezek a gondolatok a világmodellezéshez, a mai világproblémák feltárásához és azok megoldási lehetőségeihez kapcsolódnak, számunkra - erdészek számára - már régóta általánosan elfogadott szakmai irányelveket jelentenek.

Az **üzemterv szerinti tartamos erdőgazdálkodás** ezen a szemléleten alapszik (ha nem is neveztük "fenntartható fejlődésnek").

Divald Adolf és **Wágner Károly** (1868) meghatározása szerint *"az üzemterv előre való meghatározása azon gazdasági rendszabályoknak, melyeknek keresztülvitele által valamely erdőtest jelen célszerűnek talált állapotban fenntartatik, vagy jelen célszerűtlen állapotából a célba vett előnyösebb állapotba átvitetik"*. A célba vett állapot egy dinamikus egyensúlyban lévő, optimális szerkezetű erdőállomány, amely - amellet, hogy az erdőben élő növény- és állatfajok genetikai változatosságát megőrzi - az emberi társadalom sokirányú szükségleteit is folyamatosan kielégíti.

A tartamos erdőgazdálkodás nem csak az erdőbirtok, az üzemterv szintjén, hanem magasabb területi szinten (körzet, régió, ország, földrész, világ) is hasonló szemléletű prognózisokon alapszik.

Kétségtelen, hogy szakmánkban az **"elrettető" prognózisoknak** is van szerepe. Ezek felhívhatják a figyelmet a fenyegető veszélyekre, rámutathatnak arra, hogy a feltárt természeti, társadalmi törvények, törvényszerűségek és az alkalmazott stratégiák katasztrofális végállapothoz vezető időutakat eredményezhetnek. Ilyen veszélyes tendenciák mutatkoznak a fejlődő országokban az erdőirtás terén. A fejlett ipari országokban pedig az erdőpusztulás ölt egyre ijesztőbb méreteket.

Tanulmányunkban ezekkel a leíró jellegű prognózisokkal nem kívánunk foglalkozni. Reméljük, még idejében észre tér az emberiség.

A **normatív prognózisok** általában optimista, vagy legalábbis "mérsékelt optimista" előrejelzések. Ilyenek pl. a parlamenti választások előtti ígéretek, a biztos

megoldásokat kínáló közgazdászok jóslatai. Ezekben egyre kevésbé bíznak a jól informált emberek. Az ezredforduló közeledtével szaporodnak az ilyen jellegű tudományos előrejelzések is. Ezek azonban érzékeltetik, hogy hosszabb - pl. több évtizedes - távlatra megbízhatóságuk igen csekély.

Az erdészeti prognózisok - a termelési periódus hossza, az erdőhöz fűződő társadalmi szükségletek viszonylag lassú változása és az erdő önszabályozó képessége következtében - sokkal megbízhatóbbak. Ezért például egy egy-két évtizedes távlatú agrárprogramba, vagy környezetvédelmi előrejelzésbe meglehetősen könnyű - de egyben meglehetősen érdektelen - az erdészeti ágazat prognózisát beilleszteni.

Sokkal érdekesebb számunkra a nagyobb **erdőállományokra**, igen nagy időtávlatra kiterjedő, **kedvező célállapot felé konvergáló időutak** kidolgozása. A hosszú távú termelés-szabályozásnak az erdészetben hagyománya van. Kezdetben a kitűzött - leegyszerűsített, meszterkelt - célállapot közvetlen, gyors elérésére törekedtek (vágásosztás, térszakozás), majd kialakultak a jövőképtől - a normától - való eltérések kiegyenlítésén alapuló, a célállapotot fokozatosan - asszimptotikusan - közelítő stratégiák (pl. Hundeshagen képlete, Osztrák kamarai képlet, FM 1880-képlet, EBSA eljárás).

Ezeket többnyire csak a következő tervidőszak véghasználati hozamlehetőségének meghatározására használták.

A számítógépek fejlődése és elterjedése lehetővé tette az igen nagy távlatú prognózisok elkészítését, valamint a jövőkép nagyobb mélységű, részletesebb kimunkálását és az ennek megfelelő összetettebb stratégiák alkalmazását.

Egyes faállomány esetében ilyen dinamikus egyensúlyt tükröző jövőkép csak az őserdőkre, erdőrezervátumokra és a szálaló erdőkre dolgozható ki. Egyébként a szabályozás normája általában egy vagy több faállomány ismerv (pl. törzsszám, körlapösszeg, fatérfogat) **korfüggvénye**.

Kor:	Fatermési osztály				Tényezők		
			<u>k</u>				
<u>t</u>	N Törzsszám				<u>q_h</u>	<u>q_d</u>	<u>q_v</u>
30 év	<u>h</u> ^T Magasság				$H = q_h \cdot h^T$		
30 év	<u>d</u> ^T Átmérő				$D = q_d \cdot d^T$		
30 év	<u>v</u> ^T Volumen				$V = q_v \cdot v^T$		

^T = transzponált

1. ábra: Greiner Lajos fatermési táblájának szerkezete (1839)

Figure 1 - The structure of Lajos Greiner's yield table (1839)

A szabályozás stratégiájának ezekhez a függvényekhez való közeledést kell biztosítania. Konkrét faállomány esetében a **fatermési táblák** számsorai alapján a függvények kidolgozhatók. (Magyarországon az első ilyen - valamennyi főbb fafajra kiterjedő - fatermési táblagyűjteményt Greiner Lajos publikálta 1839-ben és 1842-ben. Ezekből az említett faállomány-ismérvek a főállományra a kor és fatermési osztály függvényében kiolvashatók voltak. (1. ábra)

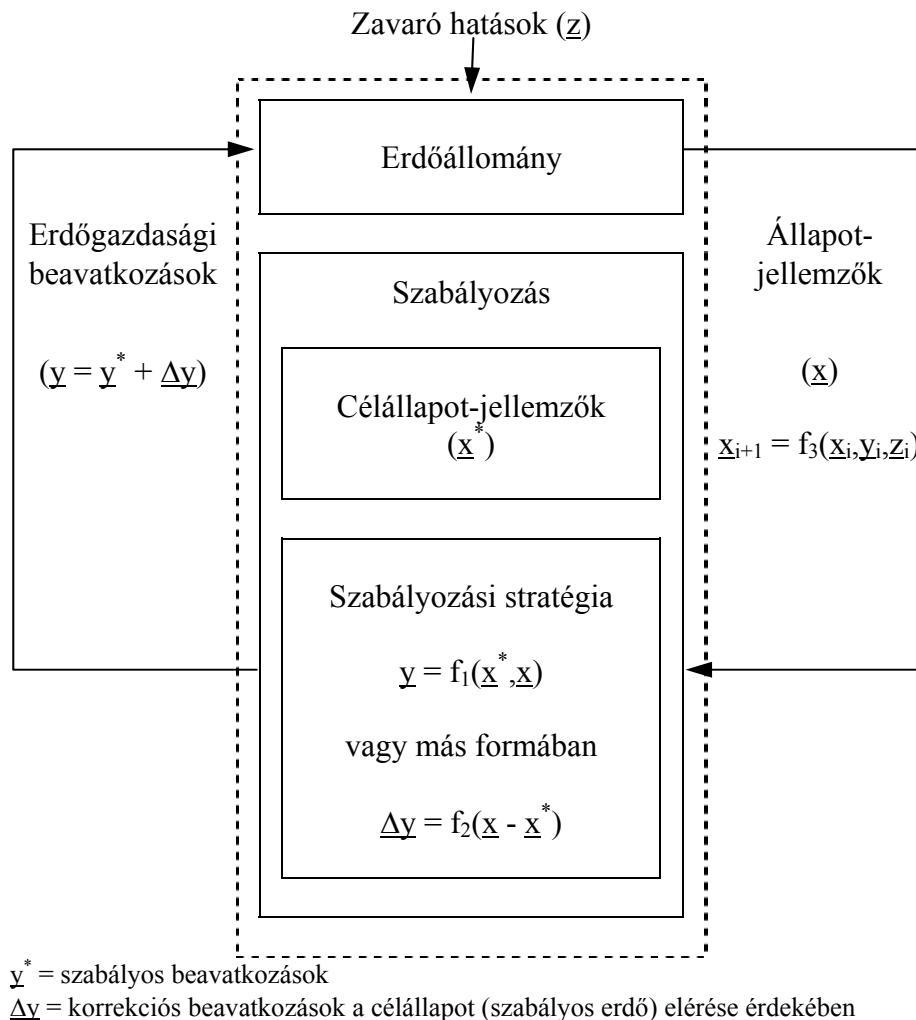
Az erdőértékszámítás lehetővé teszi, hogy az előrejelzések

naturális adatait (állapot- és folyamatjellemzőit) értékszámításokkal is kiegészítsük. Dinamikus bonitálás esetén a fatermési táblák használata nehézkesebb, valamilyen matematikai módszert igényel. (Az eljárást kidolgoztuk, de a gyakorlat még nem alkalmazza.)

A konvergens prognózisok szerepe - a vázoltak alapján - mind az egyes térségek erdőállományával való tartamos gazdálkodásban, mind az egyes erdőrészek faállomány-nevelési, erdőfejlődési folyamataiban rendkívül nagy. Ezért a Soproni Erdészeti és Faipari Egyetem Erdőrendezéstani tanszéke és Üzemtani tanszéke kutatásainak jelentékeny részét az ezzel kapcsolatos vizsgálatokra fordítja.

Tanulmányunk terjedelme nem teszi lehetővé, hogy az eddigi idevágó eredményekről beszámoljunk, és kutatási elképzeléseinket felvázoljuk, meg kell elégednünk a konvergens erdőszeti prognózisok általános szabályozásméleti bemutatásával és néhány példa megemlékezésével. Példáink egyelőre csak az erdő faállományára terjednek ki, mivel az erdei ökoszisztéma egyéb komponenseit még nem sikerült bevonnunk a modellekbe. (Tudjuk azonban, hogy az erdőben lejátszódó folyamatokat elsősorban a faállomány határozza meg.)

A konvergens prognózisok előállítására különböző számítógépes modelleket készítettünk. Ennek során mindig ügyeltünk arra, hogy működő és használható programjaink legyenek. Ezért még mindig távol vagyunk attól, hogy minden lényeges elemet egy komplex modellbe sűrítsünk.



2. ábra: A hozadékszabályozás egyszerűsített sémája
 Figure 2 - The simplified scheme of the yield regulation

azután már csak az elért állapot fenntartására törekszik. Persze az "átmenet" akár több száz évig is eltarthat. Az ábrán szereplő $\underline{x}$ **állapotleíró vektor** elemeinek számát mindig a célnak megfelelően határozzuk meg. Általában mátrixokba rendezetten szerepelnek (pl. fafajcsoportkorosztály bontásban). Pl. $\underline{x} = ,A, V, N,$ stb., ahol a vessző a területi (A), élőfakészlet (V), törzsszám (N) és más mátrixok összekapcsolását, illetve sorfolytonos vektorra alakítását jelenti. Az $\underline{y}$ vektor - amely az **erdészeti beavatkozásokat** adja meg valamely adott időszakra - többnyire ugyancsak mátrixokba rendezett adatokat tartalmaz. Például: $\underline{y} = ,\underline{a}_e, A_E, A_u, V_E, V_u, N_E, N_u,$ stb., ahol $\underline{a}_e$ az időszak alatti erdősítés területe fafajcsoportonként, a nagybetűk területi (A), élőfakészlet (V) és törzsszám (N) mátrixokat jelölnek, az indexek a fahasználat módját (E = előhasználat, u = véghasználat) jelölik.

A szabályos (szabályozott) erdőre (a jövőképre) vonatkozó adatokat csillaggal jelöltük.

A **zavaró behatásokat** ($\underline{z}$) az időszak alatt regisztrálhatjuk.

A **természeti folyamat** jellemzőit az ábrán nem tüntettük fel (ide tartoznak a növekedés és a fapusztulás jellemzői). Elképzelhető a $\underline{z}$ vektorba való bevonásuk, de talán jobb

Az **erdőfenntartás konvergens szimulációs rendszere** (2. ábra) úgy fogható fel, hogy a szabályozást végző erdőrendezők, erdőművelők - az ökológiai rendszer részeként - olyan erdőgazdasági beavatkozásokat terveznek és hajtanak végre, amelyekkel a zavaró behatások (pl. faanyageltávolítás és környezeti terhelés) ellenére is fenn tudják tartani a rendszer egyensúlyát, a rendszert alkotó populációk veszélyeztetése nélkül. Ez a modell tehát csak egy átmeneti, u.n. "üzemrendezési" időszakra tervez változást, bővített újratermelést,

megoldás, ha az $\underline{x}_{i+1} = f_3(\underline{x}_i, \underline{y}_i, \underline{z}_i)$ **mérlegegyenlőség**be építjük be. Ez az egyenlőség biztosítja a megfelelő adatok (pl. terület, fatérfogat, törzsszám) összhangját, vagyis azt, hogy az i -edik ciklus nyitókészlete, emberi beavatkozásai és a külső zavaró hatások függvényében a zárókészlet állapotadatait ($\underline{x}_{i+1}$) előállíthassuk.

A visszacsatoláson alapuló szabályozó kör ciklusa nálunk 10 év. (Ezen belül van még egy egyéves szabályozó kör is, amelyet az állami erdőfelügyelőségek működtetnek, normaként az üzemterv előírást alkalmazva.)

A következőkben az erdőállományra vonatkozó szabályozást mutatjuk be (mátrixváltozókkal felírva).

A 10 évenkénti **szabályozás fő munkaszakaszai:**

- 1) A jelenlegi erdőállapot (X_0) meghatározása, adatainak elemzése,
- 2) A változások meghatározása az elmúlt időszak (vagy idősorozatok) adatainak (X_{-1}, Y_{-1}, Z_{-1}) felhasználásával,
- 3) Jövőképek kidolgozása (X^*, Y^*),
- 4) Szabályozási stratégia választása, illetve kialakítása (az $Y = f_1(X^*, X)$ vagy a $\Delta Y = f_2(X - X^*, X^*)$ függvény megadásával),
- 5) Konvergencia prognózis elkészítése az $X_{i+1} = f_3(X_i, Y_i, Z_i)$ mérlegegyenlőség és a beleépített szabályozási stratégia ismétlődő felhasználásával, tetszőleges számú (n) ciklusra ($i = 0, 1, \dots, n-1$).
- 6) Prognózisváltozatok előállítása az üzemtervi tervadatokhoz illeszkedően.

Az első munkafázis nem igényel külön magyarázatot. Célszerű az **erdőleltározást** összekötni a **tervezési lehetőségek** feltárásával. Pl. fakitermelési lehetőség négyféle sürgősségi csoportba soroltan, vágásérettségi kor, tervezett vágáskor meghatározása, az erdősítés fajokösszetételére lehetséges változatok megadása.

A második, harmadik és az ötödik munkafázis egyaránt a mérlegegyenlőségeket használja fel, de különböző módon.

A második fázis, az **elmúlt idősorozatok változásainak vizsgálata**, rendkívül fontos. Egyrészt lehetőséget ad a korábbi statisztikák korrigálására, másrészt az f_3 függvény(-rendszer) kialakítására. Ha az elmúlt idősorozatok adatait mérlegszerűen vizsgáljuk, általában ellentmondásokba ütközünk. (Pl. Az 1990-es ENSZ-EGB/FAO erdőleltár - "Main Findings of the UN-ECE/FAO 1990 Forest Resource Assessment" - adatai is erősen ellentmondásosak). Ezeknek feloldására plauzibilitási vizsgálatok és a kiegyenlítő-számítás eljárásai alkalmazhatók, kombinálva megalapozott - de némileg önkényes - szakvéleményezéssel. Az f_3 vektor-, illetve mátrix-függvény - vagyis függvényrendszer - sokféleképpen kialakítható. Célszerű paramétereknek is mátrixokat alkalmazni. Ilyenek lehetnek pl. a felújítási fajajmátrix (F), amely a véghasználat fajajösszetételét átalakítja a felújítás fajajösszetételére. Vagy pl. az egyes állományokban korosztályonként bekövetkező elegyarányváltozásokat kifejező korosztályonkénti erdőnevelési mátrixok (N tömb). Ezekre az jellemző, hogy részben a természeti folyamatokat, részben a felújítási és erdőnevelési stratégiát tükrözik, ami nem éppen a legjobb megoldás. Tulajdonképpen jobb lenne ezeket egyértelműen szétválasztani, de erre először nincs mód.

A **jövőképek kialakításához** (harmadik fázis) ugyancsak felhasználható az f_3 függvény, kiegészítve az $X_{i+1} = X_i = X^*$ egyenlőséggel, amely a megcélzott szabályozott erdő és erdőgazdasági folyamat stacionaritását biztosítja.

A jövőképek kialakítása tehát az $X^* = f_3(X^*, Y^*, Z^*)$ sokismeretlenes egyenletrendszer optimális megoldását, megoldásait jelenti.

Példaképpen vegyünk egy elegyetlen akácos erdőtömböt, amelynél a mátrixok soraiban a fajcsoport helyett az eredetet (mag, sarj) tüntetjük fel. Tételezzük fel, hogy

minden akácállományt kétszer sarjztatunk. Akkor a felújítási mátrix $F = \begin{bmatrix} 0 & 0,5 \\ 1 & 0,5 \end{bmatrix}$, és az f_3 egyenlet az

$F X^* = X^*$ formát veszi fel. Innen X^* nem triviális (nullától különböző) megoldása az F mátrix 1-es saját értékéhez tartozó $X^* = \begin{bmatrix} 1/3 \\ 2/3 \end{bmatrix}$ sajátvektor lesz, vagyis a jövőképpen a terület $1/3$ -a lesz mageredetű, $2/3$ -a sarjeredetű.

Egy gyertyános tölgyes faállományokból álló erdő esetén már bonyolultabb a helyzet, mert az erdőnevelést, illetve a fajok közötti versengést kifejező erdőnevelési mátrixot is figyelembe kell venni. (Ennek hatását a felújítási mátrix-szal kell ellensúlyozni.)

A jövőkép előállítására - az egyszerűbb megoldások mellett - öt különböző típusú vektor- illetve, mátrixegyenletet dolgoztunk ki. Ezeket általában iterációs eljárással lehet megoldani. (3. ábra)

Negyedik munkaszakasz a **stratégia** - az f_1 függvény - **megválasztása**. A véghasználatra adható pl. egy egyszerű lineáris összefüggés: $Y = \sum_{j=1}^n q_j Y_j^* \frac{X_j}{X_j^*}$, ahol $\sum_{j=1}^n q_j = 1$.

Vegyük néhány példát a klasszikus szabályos erdő lineáris szabályozására:

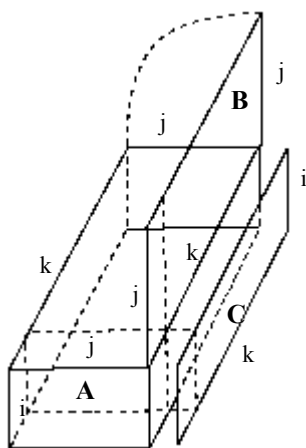
Ha $n=1$, $Y_1 = V_u$ véghasználati fatérfogat, $Y_1^* = V_u^* =$ szabályos véghasználati fatérfogat, $X_1 = K =$ élőfakészlet, $X_1^* = K^* =$ szabályos készlet, akkor $V_u = V_u^* \cdot \frac{K}{K^*}$ (Hundeshagen) Ha továbbá $X_2 = Z =$ előhasználatl csökkenített növedék, $X_3 = T =$ átlagkor, $u =$ a klasszikus - egy vágáskorú - szabályos erdő vágásfordulója, akkor $T^* = \frac{u}{2}$ és $Z^* = V_u^*$, s innen $V_u = q_v \cdot V_u^* \cdot \frac{K}{K^*} + q_z \cdot Z + q_T \cdot V_u^* \cdot \frac{2T}{u}$, ahol $q_v + q_z + q_T = 1$.

Például az FM 1880. hozadékszabályozási képletre $q_v = \frac{1}{2}$, $q_z = \frac{1}{2}$, $q_T = 0$ és $K^* = \frac{u \cdot V_u^*}{2}$, s innen $V_u = \frac{K}{u} + \frac{Z}{2}$.

Ha $Y = A_u =$ véghasználati terület (tíz évre), $X_i = a_i =$ az i -edik tízéves korosztály területe és $n = \frac{u}{10}$, akkor $A_u = A_u^* \cdot \sum_{i=1}^n q_i \cdot \frac{a_i}{a_i^*}$, ahol $\sum_{i=1}^n q_i = 1$.

A klasszikus szabályos erdőre $A_u^* = a_i^* = a_j^* = a^*$, s innen $A_u = \sum_{i=1}^n q_i \cdot a_i$, ahol $\sum_{i=1}^n q_i = 1$.

Az ismert német EBSA eljárás esetén $q_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=n-i+1}^n \frac{1}{k}$.



Speciális mátrix műveletek

$C = A \cdot B$ — a megfelelő elemek összeszorozása: $c_{ijk...} = a_{ijk...} \cdot b_{ijk...}$

$b_{ijk...}$

$C = A \times B$ — mátrix szorzás: $c_{ik} = \sum_j a_{ij} \cdot b_{jk}$

$$\begin{array}{c} \begin{array}{cc} & k \\ & \begin{array}{|c|} \hline B \\ \hline \end{array} \\ j & \begin{array}{|c|} \hline A \\ \hline \end{array} \end{array} \begin{array}{c} j \\ i \end{array} \end{array}$$

$C = A \otimes B$ — az A tömb lapjainak szorzása a B mátrix oszlopai-val: $c_{ik} = \sum_j a_{ijk} \times b_{jk}$

$C = {}^{-1}\downarrow A$ — az utolsó elem, oszlop, illetve lap elhagyása

Az egyenletrendszerek

$$1) \left\{ \begin{array}{l} \underline{1}^T \times \underline{a} = a > 0 \\ \underline{a} = F \times \underline{a} \\ \underline{1}^T \times F = \underline{1}^T \end{array} \right\} \quad \underline{a} = ?$$

$$2) \left\{ \begin{array}{l} \underline{1}^T \times \underline{a} = a > 0 \\ \underline{a} = N \times (E + (F - E) \times D) \times \underline{a} \\ \underline{1}^T \times F = \underline{1}^T \text{ és } s \underline{1}^T \times N = \underline{1}^T \\ D = < \underline{d} > \text{ ahol } d_i \leq 1 \end{array} \right\} \quad \underline{a} = ?$$

$$3) \left\{ \begin{array}{l} \underline{a}^T \times \underline{1} = a > 0 \\ \underline{a}^T = (\underline{a}^T \times \underline{d}), ({}^{-1}\downarrow \underline{a}^T \cdot (\underline{1} - \underline{d}^T)) \\ \text{ahol } d_i \leq 1; d_n = 1 \end{array} \right\} \quad \underline{a}^T = ?$$

$$4) \left\{ \begin{array}{l} A \times \underline{1} = a > 0 \\ A = (A \cdot D \times \underline{1}), ({}^{-1}\downarrow A \cdot (1 - D)) \\ \text{ahol } d_i \leq 1; d_n = 1 \end{array} \right\} \quad A = ?$$

$$5) \left\{ \begin{array}{l} \underline{1}^T \times A \times \underline{1} = a > 0 \\ A = N \otimes (F \times (A \cdot D) \times \underline{1}), ({}^{-1}\downarrow A \cdot (1 - D)) \\ \underline{1}^T \times N_k = \underline{1}^T \\ \underline{1}^T \times F = \underline{1}^T \\ \text{ahol } d_{ij} \leq 1; d_{in} = 1 \end{array} \right\} \quad A = ?$$

ahol A , $\underline{a}$ és a = erdőterület (mátrix, vektor vagy skalár)

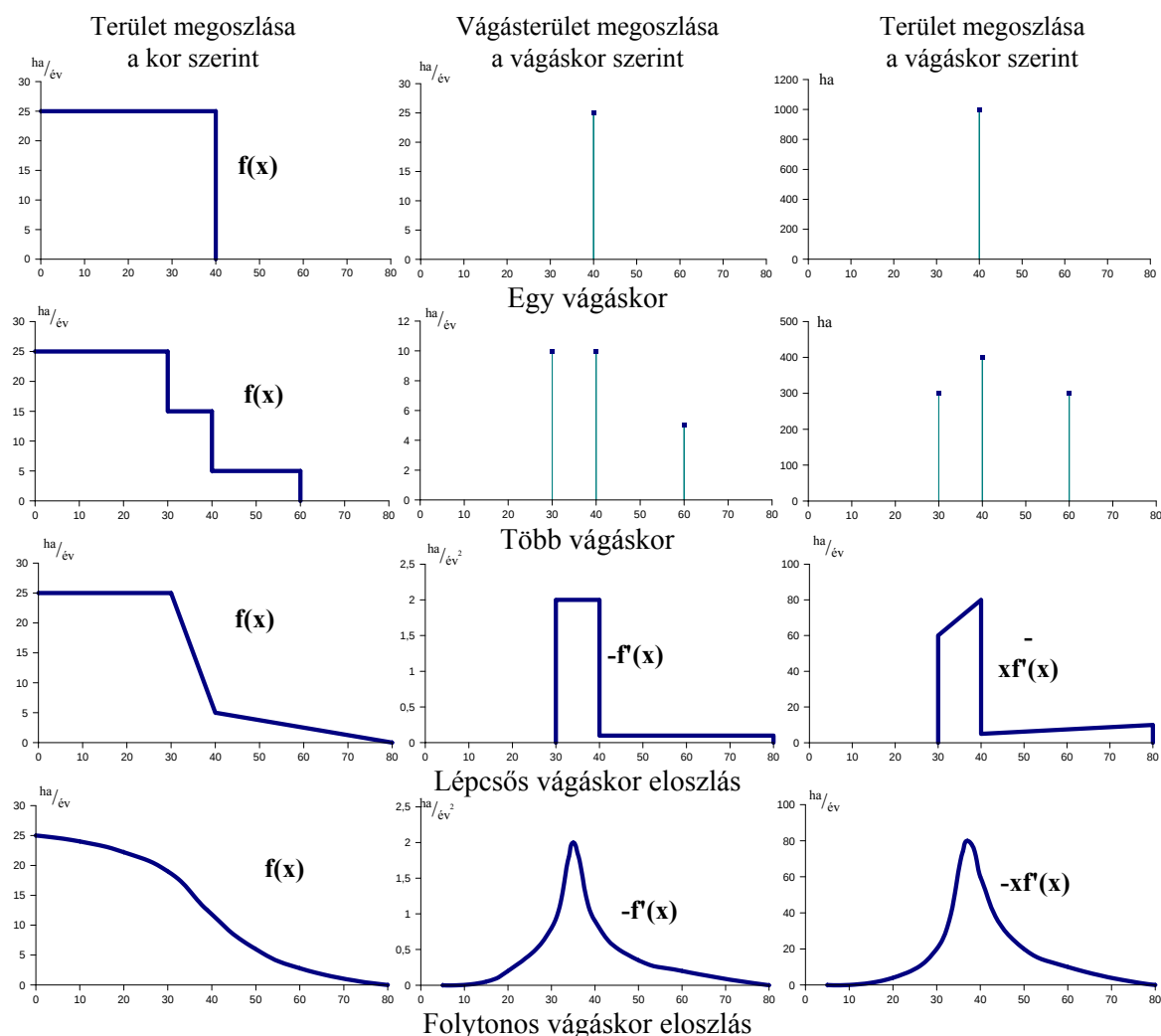
F = felújítási mátrix (négyzetes mátrix)

N = erdőnevelési mátrix, vagy - az 5)-ben - négyzetes oszloptömb

$\underline{D}$ és $\underline{d}$ = véghasználati arány (mátrix vagy vektor)

3. ábra: Egyenletrendszerek erdőállomány jövőképének előállítására
Figure 3 - Systems of equations for producing future images of forest stands

Hazánkban 1950-ben lemondunk a klasszikus - egy vágáskorú - üzemosztály alkalmazásáról, bevezetve a vágásérettségi kor erdőreszletenkénti meghatározását. Az így (impliciten) bevezetett monoton csökkenő koreloszlású - több vágáskorú - (nem klasszikus) szabályos erdő (4. ábra) esetén valamivel bonyolultabb véghasználati stratégiára van szükség (pl. százalékos eljárás, kvadratikusan programozás (5. ábra), vagy vektorinterpolációs módszer (6-7. ábra)).

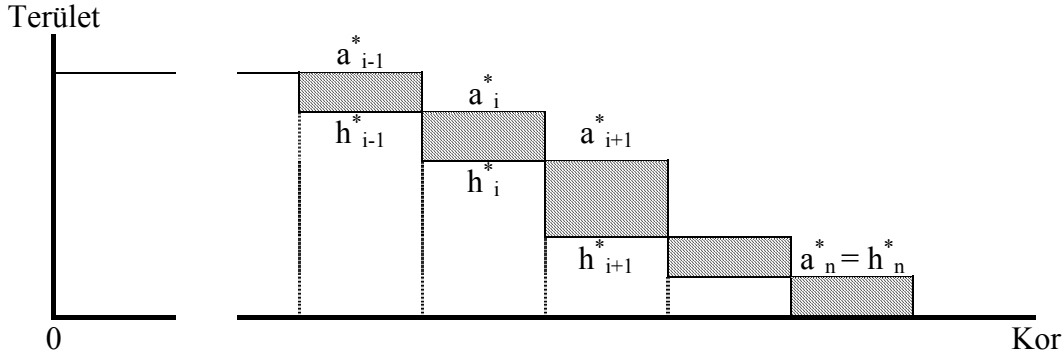


4. ábra: Szabályos erdő-modellek összehasonlítása
Figure 4 - Comparison of regular forest models

Az első néhány évtizedre célszerű a stratégiát fajtacsoportonként és korosztályonként megállapított szorzótényezőkkel megszorozni - ha az erdőleltározás során feltárt véghasználati lehetőségek ezt szükségessé teszik -, hogy a prognózis az üzemtervi előírásokhoz - korlátokhoz, ajánlásokhoz - jobban illeszkedjen.

Az **erdőtelepítésre**, **erdőfelújításra**, **erdőnevelésre** ugyancsak adhatók külön stratégiák.

Százalékos eljárás



a_i^* = az i -dik korosztály területe (a vonal alatti terület)

h_i^* = véghasználati terület az i -dik korosztályban (vonalkázott)

H^* = véghasználati terület az egész erdőterületen (vonal alatti terület)

p_i^* = véghasználati területszázalék

$$h_i^* = a_i^* - a_{i+1}^* \quad p_i^* = \frac{h_i^*}{a_i^*} \quad H^* = \sum_{i=1}^n h_i^*$$

Legyen $q_i = \frac{a_i^* - a_{i+1}^*}{H^*}$, ahol $a_{n+1}^* = 0$. Ebből következik, hogy az összes hozami terület $H =$

$= H^* \cdot \sum_{i=1}^n q_i \cdot \frac{a_i^*}{a_i^*} = \sum_{i=1}^n \frac{a_i^* - a_{i+1}^*}{a_i^*} \cdot a_i^* = \sum_{i=1}^n p_i^* \cdot a_i^*$, és a korosztályonkénti hozamra egy kézenfekvő megoldás a $h_i = p_i^* \cdot a_i^*$. (Ez az eljárás konvergens, da túl nagy hozamingadozásokkal jár.)

Kvadrátikus programozás (Király-Rács-Kalmár 1987)

A célfüggvény (f_c) a következő - Q_1 , Q_2 és Q_3 -mal súlyozott - célokat egyesíti:

- minél kisebb hozamingadozás (H_{j-1} -hez közeli összhozam);

- lehetőleg optimális vágáskoreloszlás ($\frac{h_i^*}{a_i^*} \cdot a_i^*$ -hez közeli h_i);

- mennél gyorsabb konvergencia ($\max(0, a_i - a_{i+1}^*)$ -hoz közeli h_i).

$$f_c = Q_1 \cdot (H_{j-1} - \sum_{i=1}^n h_i)^2 + Q_2 \cdot \sum_{i=1}^n (h_i - \frac{h_i^*}{a_i^*} \cdot a_i^*)^2 + Q_3 \cdot \sum_{i=1}^n (h_i - \max(0, a_i - a_{i+1}^*))^2 \rightarrow \min$$

5. ábra: Hozamszabályozási eljárások

Figure 5 - Methods of output regulation

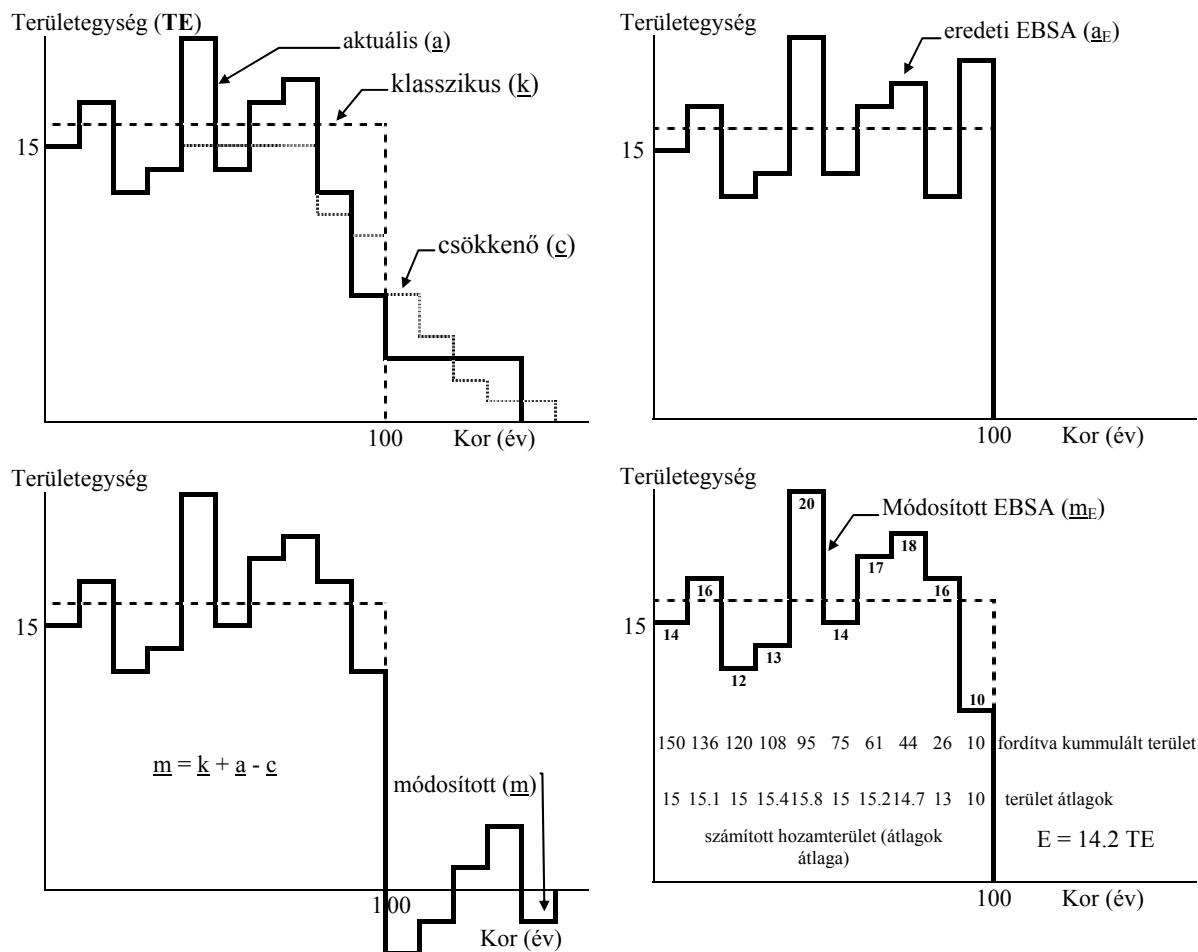
Ezeket azonban az ötödik - **ismétlődő - munkafázis f_3 -függvényébe** is be lehet építeni (mint már említettük). A **konvergens prognózis** egy változata lényegében az f_3 és f_1 függvények időszakról időszakra előrehaladó, ismétlődő alkalmazásával áll elő. (Itt kell megjegyezni, hogy a kétszer sarjztatott akácok erdőbirtokra az eredet szerinti összetétel

bármilyen induló állapot esetén az adott jövőképhez konvergál, mivel $\lim_{n \rightarrow \infty} F^n = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 \\ 2/3 & 2/3 \end{bmatrix}$.)

Hasonló konvergencia adódik a nagyobb felújítási mátrixokra is (8. ábra).

Bármilyen változtatás az induló adatokon vagy a szorzótényezőkön újabb X^* -konvergens változatot generál. Az f_1 és f_3 függvények megváltoztatása viszont új jövőképet és azt közelítő időutakat eredményez.

Mivel néhány évtized múltán biztosan módosul a jövőkép, de módosulhat a stratégia és a mérlegfüggvény is, célunkat általában sosem érjük el.



6. ábra: Korszerkezet módosítás a vektorinterpolációs EBSA módszerhez
Figure 6 - Modification of age structure using the EBSA vector interpolation method

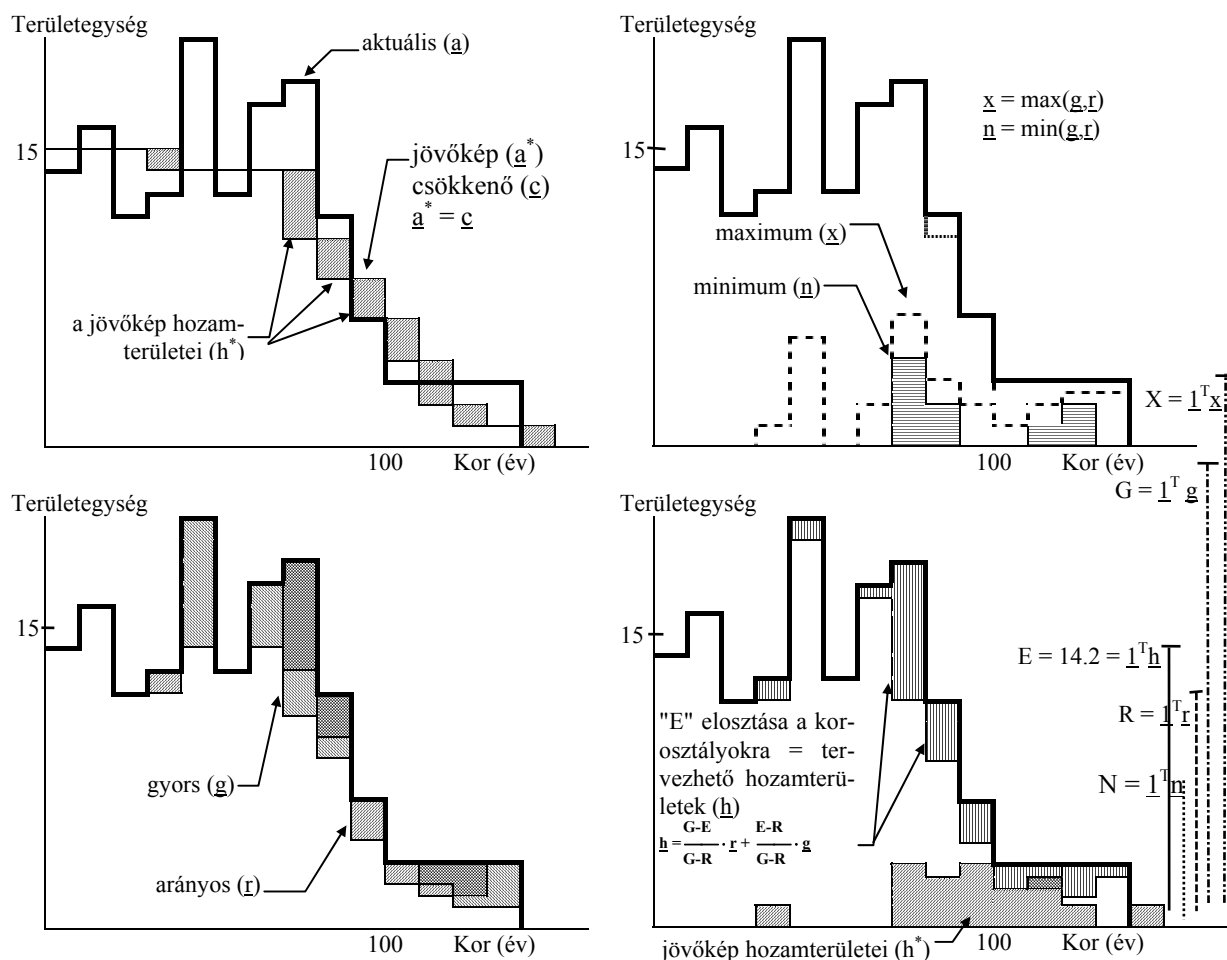
A fenntartható fejlődés, a tartamosság azt jelenti, hogy egyre közeledünk a kitűzött célhoz, s egyre tökéletesedik, finomodik, egyre összetettebbé válik a jövőképünk.

Ha egy ipari üzemet akarunk létesíteni, elsősorban a működő üzem - a stacionárius termelési folyamat - megtervezésére koncentrálnunk, és - sajnos - nem foglalkozunk részletesen a beüzemelés viszonylag rövid időszakával.

Az erdőgazdálkodás folyamatára viszont mindig a **beüzemelési szakasz** - a dinamikus egyensúlyban lévő erdészeti üzemhez való közeledés - a jellemző. A szakemberek azonban sajnos nem foglalkoznak az elérendő állandósult (stacionárius) termelési folyamattal (illetve a jövőképpel), pedig bízhatunk abban, hogy a jövőképre vonatkozó elképzeléseink nem fognak gyökeresen megváltozni, azok is konvergálnak egy - egyelőre számunkra ismeretlen - optimális jövőképhez.

A közeljövőben azt tervezzük, hogy a társadalmi elvárásokat figyelembe vevő körzeti erdőterveket elkülönítjük az erdő használójának üzemtervétől (amelyet csak akkor készítet el az erdő használója - mintegy az erdőterv módosításaként -, ha az erdőterv nem elégíti ki az igényeit.) A vázolt konvergens prognózisokat elsősorban a körzeti erdőtervezés és a nagyobb erdőbirtokok üzemtervezése során fogjuk alkalmazni.

Egy erdőszimuláló programot már átadtunk az FM Erdőrendezési Szolgálatának. (Király László és Szabó Gábor programja.) Továbbfejlesztése folyamatban van.



7. ábra: Hozamterület-megállapítás vektorinterpolációs módszerrel
Figure 7 - Yield area determination by means of the vector interpolation method

$$F = \begin{bmatrix} 49 & 9 & 20 \\ 2 & 14 & 0 \\ 49 & 77 & 80 \end{bmatrix} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} F^n = \begin{bmatrix} 28 & 28 & 28 \\ 1 & 1 & 1 \\ 71 & 71 & 71 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \leftarrow \text{tölgyek és bükk} \\ \leftarrow \text{gyertyán és egyéb lombos fafajok} \\ \leftarrow \text{fenyők} \end{array}$$

8. ábra: Felújítási mátrix (Tóth Lajos 25 évet átfogó adatai alapján) és annak hatványértéke a soproni Tanulmányi Erdőgazdaság Hegyvidéki Erdészetére
Figure 8 - Reforestation matrix (based on 25 years, data by Tóth, Lajos) and its power value in the Mountain Forest Estate of the Sopron University Forestry and Wood Sciences

Az **erdőértékszámítással támogatott** újabb **programcsomag** fejlesztése során azt vizsgáljuk, hogy a kiegyenlített természetes hozamok milyen tényleges értékviszonyokat takarnak, hiszen a gazdálkodás egyik igen fontos célja a tőke és hozama minél kedvezőbb arányának elérése. Ezt az elvárást szűkebb, és az összes hasznos hatást és szolgáltatást felölelő tágabb értelemben is megfogalmazhatjuk.

Az erdőérték-számítás módszereinek segítségével alapvetően két lehetőségünk van a hozamingadozások értékben történő kifejezésére:

- valamely eljárás szerint végrehajtott hozadékszabályozás eredményeit felhasználva számítjuk időszakonként az **értékhozamokat** és az **erdővagyon-értéket** (Mészáros Károly 1995),

- a hozadékszabályozás során alkalmazott **eljárásokba ökonómiai mutatókat építünk be**, amelyek változását valamilyen algoritmus szerint szabályozzuk.

A hozadék-szabályozási eljárások segítségével időszakonként megkapjuk a kitermelhető fatérfogat, illetve a fakészlet mennyiségét. Amennyiben további információk is rendelkezésre állnak (minőségi állapot, átmérő stb.) kalkulálható az elő- és véghasználatok kitermelési értéke és korértékfaktoros eljárással meghatározható az élőfakészlet-érték. A különböző tervvariánsoknál az értékhozadék elemezhető. E témakörbe tartozó vizsgálatot végeztünk az országos szintű erdőállomány-prognózisok tervvariánsainak véghasználati hozamérték alakulásának jellemzésekor.

A másik megoldás az értékre vonatkozó algoritmusok alkalmazása. A szabályozó algoritmusok közé preferencia-mutatókat építünk be. Ekkor a hozami fatérfogat meghatározásánál az értékesebb állományok prioritást nyernek. Lehetséges olyan korlátozó feltételek megadása, amelyek a hozamok és a készletek értékének meghatározásán alapulnak. Ekkor időszakonként számítjuk a hozam és készletérték mutatókat. Olyan prognózisvariánsok előállítása a célunk, amelyek a vagyonértékre vonatkozó elvárásainknak is megfelelnek. Az értékmutatók célfüggvénybe való beépítését az erdőállomány egészére nem tartjuk célravezetőnek, mivel az erdővel szemben támasztott komplex követelményrendszer egyik elemének, a faanyagtermelésnek a túlzott hangsúlyozása a valós viszonyoktól eltávolodó megoldásokhoz vezethetne.

A **vágáskorok**, illetve a **vágásszakasz kialakítása** folyamán **ökonómiai szempontokat** is figyelembe vehetünk. Ezt a célt szolgálják a vágásérettségi szakasz optimalizálására irányuló vizsgálataink. Az ajánlott vágásérettségi szakaszok felhasználásával a vizsgált erdőállomány értékteljesítménye növelhető.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az erdészeti prognózisok közül kiemelkedő jelentőségűek a jövőképhez konvergáló prognózisok. Erdőrészlet szinten a szabályozás normájának a fatermési modellek, nagyobb térségek erdeinek szabályozásához normaként a szabályos erdő modellek szolgálnak.

A szabályozás fázisai:

- erdőleltározás, a tervezési lehetőségek feltárásával;
- az elmúlt időszakok változásainak vizsgálata;
- a jövőkép kialakítása;
- stratégia megvalósítása;
- konvergens prognózisok készítése.

A tanulmány elsősorban a harmadik és a negyedik munkaszakasz néhány lehetséges eljárásával foglalkozik. A jövőképre vektor- és mátrix-egyenletrendszerek mutatunk be, a stratégia a lineáris szabályozást, a kvadratikus programozást és a vektor-interpolációs EBSA módszert ismertetjük.

Befejezésül az erdőértékszámítás beépítésének lehetőségeivel foglalkozunk.

IRODALOMJEGYZÉK

- Greiner, Ludwig (1839 és 1842): Beiträge zur Kenntnis und Verbesserung des ungarischen Forstwesens und des Forstwesens im Allgemeinen (Adalékok a magyar erdészeti és általában az erdészeti ismertetéséhez és javításához). Pesth, Lauder és Heckenast
- Divald Adolf, Wágner Károly (1868): Magyar-német és német-magyar erdészeti műszótár. Pest, Kocsis Sándor

- Peccei, Aurelio (1981): One Hundred Pages for the Future. Pergamon Press (Magyar kiadás: Kezünkben a jövő. Gondolat Könyvkiadó, Budapest, 1984)
- Király László, Rács Ágnes, Kalmár János (1987): Prognóziskészítés kvadratikus optimumszámítással. Az Erdő. 270-276. o.
- Mészáros Károly (1995): Az élőfakészlet-vagyon értékelésének lehetőségei. Erdészeti lapok. 43-45. o.

A kutatások finanszírozását jórészt az OTKA 1875. és 992. sz. szerződésai biztosították.