

# Az energiaültetvények vetésszerkezetben elfoglalt helyének meghatározása és értékelése lineáris programozással

## The location of energy plantations in the sowing structure and its evaluation with linear programming

CSIPKÉS MARGIT<sup>1</sup>, NAGY LAJOS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem Gazdaságtudományi Kar, Ágazati Gazdaságtan és Módszertani Intézet  
Debrecen, Böszörményi út 138. 4032, Tel.: 52/508-444/88164 E-mail: csipkes.margit@econ.unideb.hu

<sup>2</sup>Debreceni Egyetem Gazdaságtudományi Kar, Ágazati Gazdaságtan és Módszertani Intézet  
Debrecen, Böszörményi út 138. 4032, Tel.: 52/508-444/88274 E-mail: nagy.lajos@econ.unideb.hu

*Absztrakt. Kutatásunkban a hagyományos szántóföldi növényeket, illetve a fás szárú energiaültetvényeket hasonlítjuk össze fedezeti hozzájárulásuk alapján. Az összeállított ágazati technológiák alapján készítettük el a bevétel, a költség, illetve a jövedelem kalkulációkat, melyek alapját jelentették az egyes ágazatok fedezeti hozzájárulás értékekének. Mivel a lineáris programozási modell alkalmazása elég széleskörű, így alkalmaztuk mi is a számításainkhoz ezt a módszert. Természetesen a modell összeállításához minden szükséges információt beszereztünk az Észak-alföldi régió gazdálkodóitól. A gazdálkodóknál hiányzó adatként megjelenő információkat a Központi Statisztikai Hivatal (KSH), az Agrárgazdasági Kutató és Informatikai Intézet (AKII), valamint a Statistical Office of the European Communities (EUROSTAT) adatbázisaival egészítettük ki. Esetenként figyelembe vettük a Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal (MGSZH), illetve a Vidékfejlesztési Minisztérium (FVM) közzétett adatait is. Célunk ezen modellszámítások elkészítésével, hogy egy 12 évre vonatkozó termelési szerkezetet összeállítsunk az Észak-alföldi régió adottságaira vonatkozóan egy mintagazdaság maximális fedezeti hozzájárulás elérésével.*

*Abstract. The research is examining traditional arable crops and woody plants on the basis of their marginal contribution. Calculations of income, expenditure and revenue were made on the grounds of sectoral technologies, which were the basis of the value of marginal contribution of the given sectors. As the linear programming model is quite comprehensive, we used this method for our calculations. To compile our model, we have gathered all the necessary information from farmers of the region of the Northern Great Plain. The missing data was completed from the databases of the Hungarian Central Statistical Office (KSH), Institute for Agricultural Economics Research and Information Technologies (AKII) and the Statistical Office of the European Communities (EUROSTAT). In some cases, we also used data of the Agricultural Administration Office and the Ministry of Agricultural and Rural Development. Our goal is to compile a 12-year production structure that suits for the characteristics of the region of the Northern Great Plain by achieving the maximum marginal contribution of a feature-farm.*

# 1. Az operációkutatás kialakulása és jelentősége

A lineáris programozási modell az operációkutatás egy részterületét jelenti, melynek kialakulása a második világháború korabeli Angliába nyúlik vissza, amikor kialakult egy olyan kutatócsoport, melynek feladata az volt, hogy katonai hadműveleti problémák (például: hadi utánpótlás szállítmányok elszállítása) megoldásához keressenek gyakorlati megoldásokat. Ebbel eredeztethető az operációkutatás szóképzés is, mivel az operáció szó eredetileg katonai műveletre, hadműveletre utalt (Bajalinov – Imreh, 2001). Később e területen kutatók rájöttek, hogy az addigi kutatási eredmények a háború utáni békeidőben is hasznosíthatók. Könnyen meghatározhatóvá vált például a termékek vevőkhöz való leggyorsabb elszállítása, illetve az optimális raktárbázisok helyének a kialakítása. A számítógépek fejlődésével így az operációkutatás gyors fejlődésnek indult mind tartalmát, mind alkalmazási körét illetően. Egyre elismertebb módszerré vált a nagyvállalatok kutatási részlegeiben is. A legtöbb ma alkalmazott operációkutatási módszer eme évtizedek során alakult ki és vált matematikailag precízre (Temesi – Varró, 2007).

Az operációkutatás ettől fogva egy meglehetősen, alkalmazásorientált tudománnyá vált, mely sok más tudományterületről, többek között matematikából, informatikából, műszaki tudományokból, illetve gazdaságtudományokból merít információt módszertani fejlődéséhez, így erőteljesen interdiszciplináris. Ennek eredményeként az operációkutatás az egyik legjelentősebb és legsokoldalúbb eljárás, amit a társadalmi-gazdasági életben a gyakorlati döntések elősegítéséhez használnak fel (Temesi – Varró, 2007).

Látható tehát, hogy az operációkutatás egy rendkívül sokrétű, komplex tudomány, így nehéz a tudomány egységes, teljes körű definícióját megfogalmazni. A szakterületen jártas Wayne L. Winston szerint az operációkutatás a „döntéshozatalt olyan tudományos módszerekkel megközelítő tudomány, melynek segítségével meghatározható egy rendszer legjobb felépítése és működtetése, mégpedig általában olyan körülmények között, amikor az erőforrások szűkösen állnak rendelkezésre” (Winston, 2003). Egy másik neves kutató szerint az „operációkutatás olyan tudományterület, mely az optimális döntések komplex előkészítésével és a döntési változatok legjobb realizálási módjának meghatározásával foglalkozik, főként gazdasági, szociológiai, műszaki és katonai területen, elsősorban matematikai modelleket használ fel és szoros kapcsolatban áll az elektronikus adatfeldolgozással” (Ferenczi, 2006).

Az operációkutatást az üzleti életben számos területen lehet hatékonyan alkalmazni, többek között a termelésirányításnál, a vállalati stratégia tervezésénél, a pénzügyi irányítási folyamatoknál, illetve a vállalati műszaki fejlesztéseknél (Temesi – Varró, 2007).

Az operációkutatást legtöbbször valamely szervezetben (intézmény, vállalat, gazdasági-műszaki egység, stb.) végzik. Ezekben a szervezetekben a mindennapi tevékenység során konfliktusok keletkezhetnek, melyeket meg kell oldani (vagy javítani, módosítani kell). Ebben az esetben, a szervezetben igény merül fel a tevékenység módosítására, javítására, optimalizálására vonatkozóan, s ez együtt jár a döntések meghozatalával. A döntéshez szükség van döntési javaslatokra, vagyis döntési alternatívákra. Az alternatívák kidolgozásához viszont először magát a problémát kell pontosan megfogalmazni.

## 1.1. A lineáris programozás kialakulása és gyakorlati alkalmazása

Az összetett gyakorlati problémák megoldására hozták létre a jelenleg is ismert tudományos módszert, a lineáris programozást (Cabot - Erenguc, 1986). Az első legjelentősebb kutatási területe és problematikája azoknak a gazdasági feladatoknak a megoldása volt, melyeknél a rendelkezésre álló erőforrásokat a lehető legnagyobb haszon elérése érdekében a lehető leghatékonyabban próbálták felhasználni (elosztani) a tevékenységek között. Ezeket a problémákat lineáris függvényekkel modellezték (Hirkó et al., 2000).

A lineáris programozási feladaton olyan feltételes szélsőérték feladatot értünk, amelyben a feltételek lineáris egyenlőség és egyenlőtlenség formájában adóttak, és eme feltételek mellett keressük egy lineáris függvénynek, a célfüggvénynek a minimumát vagy maximumát (Bajalinov - Imreh, 2001).

A lineáris programozási modelleket a vállalati gazdálkodás különböző részterületein adódó döntési problémák – szállítási feladat, termékválaszték meghatározás stb. – megoldása mellett széleskörűen alkalmazható a vállalati terveket előkészítő munka során is (Mayer, 1998). A legismertebb altípusa a lineáris célfüggvényes optimalizálás (Terlaky et al, 1997), melyet nagyon sok különböző ágazatban lehet alkalmazni: termelő vállalatoknál maximális árbevétel, illetve hasznot hozó termékösszetétel meghatározása; az állattenyésztés esetén a leghatékonyabb eredményt biztosító takarmány összetétel létrehozása; az útépitésnél a célnak legjobban megfelelő minőségű aszfalt összetételének meghatározása (aszfaltreceptúra készítése); az ételreceptek készítése valamilyen cél szem előtt tartásával (pl. tápanyagtartalom); portfólió probléma megoldása (Hirkó et al., 2000).

A fent felsorolt problémák értelmében a lineáris programozás egy meglehetősen sokoldalú tudományos módszer, így méltán az operációkutatás egyik legalapvetőbb alkalmazása. A módszer természetesen pontosan kifejezi a racionális gazdálkodás elvét (a kitűzött gazdasági célt a lehető legkisebb ráfordítással kívánjuk elérni /input-orientáltság/, illetve a rendelkezésre álló erőforrásokkal a lehető legnagyobb jövedelmet kívánjuk elérni /output-orientáltság/. A két megfogalmazás azonos értékű és teljesen megfelel a lineáris programozás metodikájának. Ennek megfelelően alapvetően két csoportba sorolhatjuk a lineáris programozási feladatokat: a „Maximum feladat (legnagyobb jövedelem elve) és a „Minimum feladat (legkisebb ráfordítás elve).

A lineáris programozási feladatok megoldása egyszerűen elvégezhető a Microsoft Excel szoftver Solver bővítménye segítségével, amely a szimplex módszert (a lineáris programozási feladatok leghatékonyabb megoldó algoritmus) alkalmazza az optimalizálás elvégzéséhez. Az optimalizálási problémák célfüggvénye és korlátozó feltételei lehetnek lineárisak és nemlineárisak is. A lineáris egyenletrendszer megoldását bázistranszformációval, míg a nemlineáris problémákat a hatékony irányok módszerével oldja meg a program (Glevitzky, 2003). A Solver úgy módosítja a döntési változócellák értékeit, hogy azok megfeleljenek a korlátozócella megkötéseinek és a célérték cellához kívánt eredményt hozza létre.

## 1.2. A vizsgálat adatbázisa

A kalkulációk elkészítéséhez főleg a Központi Statisztikai Hivatal (KSH), az Agrárgazdasági Kutató és Informatikai Intézet (AKII), valamint a Statistical Office of the European Communities (EUROSTAT)

adatbázisait használtuk fel. Esetenként figyelembe vettük a Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal (MGSZH), illetve a Vidékfejlesztési Minisztérium (FVM) közzétett adatait is.

A többcélú programozás elkészítéséhez több, bioenergia alapanyag előállításában kiemelkedő szerepet játszó Észak-alföldi régiós termelőszövetkezet adatait is felhasználtuk. A szövetkezetek átlagosan 600 hektáros területen gazdálkodnak, ahol hagyományos szántóföldi növényekkel és energiaültetvényekkel foglalkoznak. A bevont területek egy része belvizes terület, amelyek mezőgazdasági élelmiszcélú termelésre csak gazdaságtalanul használhatók, de energiakinyerés szempontjából az energiafűz és a nyár fajok termesztésére kifejezetten kedvezőek. A területek másik része homokos, száraz területeken, parlagon hagyott szőlők- vagy gyümölcsösök helyén található, ahol a kevés csapadék miatt hagyományos mezőgazdasági termelésre nincs lehetőség. Erre a talajtípusra az akác szinte bármelyik fajtája telepíthető. A területek harmadik része szántóföldi növénytermesztésre és fásszárú energia ültetvények termesztésére egyaránt alkalmas, de viszonylag gyenge adottságú – maximum 18 AK/ha értékű – réti talajú szántó.

A szövetkezetek legfőbb célja, hogy a fásszárú energiaültetvények telepítését és működtetését egységes rendszerbe fogják össze, biztosítva ezzel a technológiai és pénzügyi feltételeket, a termelők, a beszállítók és a felvásárlók közötti kapcsolatot.

A kutatásomban a gyakorlatban alkalmazott növénytermesztési technológiai-, termelési-, költség- és bevétel adatokat, valamint az egyes növénytermesztési ágazatoknál meglévő támogatási összegeket használtuk fel. A lineáris programozási modellhez szükséges ágazati technológiák alapadatait teleplátogatásokkal gyűjtöttük össze. 2010-től folyamatos adatgyűjtést végeztük 20 mezőgazdasági vállalkozásnál, amelyek közepes természeti adottságú földterületekkel rendelkeztek. Ebből 11 gazdaság Hajdú-Bihar megyében, 5 gazdaság Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében, 4 gazdaság pedig Jász-Nagykun-Szolnok megyében található. A szántóföldi növénytermesztési technológiákat a kiválasztott növénytermesztő gazdaságok termelésvezetői által kitöltött kérdőívek, illetve a gazdaságok főágazat-vezetőivel folytatott mélyinterjúk alapján készítettem el.

### 1.3. A technológiák készítésének módja

A lineáris programozási modellben a hagyományos szántóföldi növényeket és a fás szárú energiaültetvényeket vizsgáltuk meg. A hagyományos szántóföldi növények munkaműveletenkénti technológiáiban a műveletek elvégzésének idejét dekádokban határoztuk meg. A technológiákban feltüntettük a munkaműveletek pontos megnevezését, a művelet elvégzésének lehetséges időintervallumát, illetve az egyes munkaműveletekhez tartozó anyagfelhasználásokat egy hektárra vetítve. A vizsgált kultúrák mindegyikét egy éven belül betakarítják, így ezen növénytermesztési kultúráknál a 12 év időintervallumban azonos technológiákat alkalmaztuk, figyelve a vetésváltási korlátokra.

A fásszárú energiaültetvényeknél az akáccal, a nyárral és a fűzzel foglalkoztunk. Az akác és a fűz esetében hároméves, míg a nyárnál két éves vágási ciklusokkal terveztük. A tervezési időszak 12 év volt. Marosvölgyi (2001) publikációja alapján a nyár ültetvényénél körülbelül 5-6-szori letermelés lehetséges, és azután a fásszárú ültetvényt újra kell telepíteni. Ez alapján 2 évente betakarítva, 6

betakarítással számolva 12 éves időintervallummal célszerű számolni. Az akác és a fűz ültetvények maximálisan betakarítható ciklusainak a száma 4-5 alkalom. E szerint 4-szeri betakarítással, 3 éves vágási ciklussal itt is 12 éves időintervallummal célszerű számolni.

#### 1.4. Költség-, jövedelem és fedezeti hozzájárulás számítások

Az ágazati technológiák elkészítését követően fedezeti hozzájárulás értékeket számoltuk ki (támogatás figyelembevétele nélkül), amihez költség- és jövedelemkalkulációkat készítettünk el. A lineáris programozási modellemben az egyes növénytermesztési ágazatok, illetve a fás szárú energiaültetvények az egy hektárra vonatkozó fedezeti hozzájárulás értékével versenyeztek.

A műveleti költség tervezésének alapját a vizsgált gazdaságok adatbázisai adták, de az adathiányosságok miatt az FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézetének (Gockler, 2017) hivatalosan közölt adatait is felhasználtuk a pontosabb számítások érdekében.

Az anyagköltségek tervezése során a felhasznált anyagokat (a műtrágya, a vetőmag, a dugvány, a növényvédőszer, a víz, illetve a bálázsineg) vettük figyelembe.

A munkabér tervezésénél kalkuláltunk az erőgépek, a szállítójárművek vezetőinek, illetve a szállításhoz szükséges dolgozók munkabérével. Az egyes munkaműveletek mellett feltüntettük az adott munka elvégzéséhez szükséges munkások számát (a növényvédelmi szakmunkások, a szállításhoz és az egyéb kézi munkát igénylő szakképzetlen munkások), illetve a szükséges munkaórát. Figyelembe véve az alapórabért, megkapom a munkabér költségét. Szakmunkások esetében 1000 forinttal, szakképzetlenek esetében 700 forinttal számoltunk munkaóránként, melyek magukban foglalják a 36 százalékos közterhet is.

A bevételoldal tervezése során az árbevételt és az egyéb bevételeket vettük figyelembe. Az árbevétel alapadatait az ágazati technológiák elkészítésekor számoltuk ki, amelyet a rendelkezésre álló hektáronkénti hozamérték és az értékesítési ár szorzata adott meg. A hozamértékek becslésénél kalkuláltunk a hozamok évről-évre erősen változó ingadozásával, az átlagértékek számításához pedig az elmúlt 5 év termésátlagait vettünk figyelembe. A tervezés során figyeltük a minél pontosabb becslésre, mert a tervezett termelési érték kismértékű becsléshibáiból is nagy eltérések mutatkozhatnak a fedezeti hozzájárulásban.

A kalkulációknál nem vettük figyelembe az aktuális jogszabályok által meghatározott támogatási szinteket, mivel arra voltunk kíváncsiak, hogy támogatás nélkül az egyes ágazatok hogyan állják meg a helyüket egy versenyhelyzetben.

#### 1.5. Lineáris programozási modell célfüggvényének bemutatása

Az egyes növénytermesztési ágazatok a termelési érték és a változó költség különbözetével járulnak hozzá a vállalati jövedelemhez, így modellünkben az egyes ágazatokat a fedezeti hozzájárulás értékük alapján versenyeztettük. A modell futtatásával célunk a legnagyobb jövedelmet adó termelési szerkezet megállapítása, így a modell célfüggvény koefficienseinek a tevékenységek vállalati jövedelemhez való hozzájárulásának mértékét kell kifejezniük.

A termelési érték kalkulációjánál az árbevételt és az egyéb bevételeket vettük figyelembe. A változó költségeken belül az anyagjellegű költségekkel (a vetőmag, a dugvány és a növényvédőszer költség), a személyi jellegű költségekkel, a segédüzemági szolgáltatás döntő részével, illetve az egyéb közvetlen költségekkel (változó költség részarányának 20 százalékot vettem) számoltuk.

A segédüzemági költségeken belül az üzemanyagköltség teljes egészében változó költségként számolható el. Pfau – Széles (2001) számításai alapján a karbantartás és javítás költségén belül 60-70 százalékot anyagköltségként, 30-40 százalékot pedig személyi jellegű költségként határozhatunk meg. Természetesen vállalati formától, illetve üzemeltetéstől függően rezsiköltséggel is számolni kell, mely elég változónak tekinthető. A modellszámításaim során a segédüzemági költségeken belül a százalékos értékeket a gyakorlatban működő vállalkozások alapján határoztunk meg. Ez alapján a karbantartás és javítás költségén belül a változó költségek aránya 85, az állandó költségek aránya 15 százalék.

## 1.6. A növénytermesztési LP modell éves mérlegfeltételei

A növénytermesztési modell elkészítésénél egy 500 hektáros mintagazdaságot vettünk alapul, melyet a jelenlegi gazdasági szerkezet alapján határoztunk meg. Célunk egy olyan 500 hektáros gazdaság megtervezése volt (termelési szerkezet alapján), amivel 12 évet vizsgálva maximális fedezeti hozzájárulás értéket tudunk elérni a rendelkezésemre álló erőforrások felhasználása mellett.

Az elkészített növénytermesztési modell egy évre vonatkozó elvi felépítését az 1. táblázatban mutatjuk be:

Mérlegfeltételek	Változók				Felhasználás	Reláció	Kapacitás
	Szántóföldi növények	Munkaerő	Beruházás	Pénzügyi			
Területi					SZORZAT- ÖSSZEG (tömb1;tömb2)	$\leq; =$	F
Vetésváltási						$\leq$	F
Munkaerő						$\leq$	0
Gépi						$\leq$	$d_i^h$
Forgóeszköz szükséglet						$\leq$	0
Munkaerő korlát						$\leq$	Rendelkezésre álló kapacitás
Beruházási						$\leq$	
Pénzügyi						$\leq$	
Egyéb korlát	Modelltechnikai paraméterek					$\leq; =; \geq$	Egyéb korlát
Célfüggvény	versenyeztetés alapértéke					<b>MAX/MIN!</b>	
Megoldás	optimális szerepéhez szükséges változók						

1. táblázat: A szántóföldi növénytermesztés tervezése az erőforrások és a vetésszerkezet egyidejű optimalizálásával egy évre

Forrás: Saját összeállítás

A növénytermesztési lineáris programozási modellben a következő változókat alakítottuk ki:

$x_j$ : a j-edik növény tervezett vetésterülete;

$y_j$ : a j-edik erőforrás;

$\beta_i$ : az i-edik időszakban tervezett időszakos munkaerő mennyisége, általában műszakórában;

$\delta_b^h$ : a h-adik géptípusból vásárolni kívánt darabszám, beruházás esetében;

$\delta_i^h$ : az i-edik időszakban jelentkező bérelt műszakórák száma;

$H_i$ : az i-edik időszakban felvett hitel mennyisége.

Az indexekben elhelyezett értékek  $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $h = 1, 2, \dots, u$  értékeket vehetik fel.

A növénytermesztési modell összeállításánál a következő mérlegfeltételeket alakítottuk ki:

- A nemnegativitási feltételek, melyek azért fontosak, mivel sem a megoldás, sem a felhasználás nem tartalmazhat negatív előjelű értékeket. Mérlegfeltétele:
 
$$\begin{aligned} x_1, x_2, \dots, x_j &\geq 0, \\ y_1, y_2, \dots, y_j &\geq 0, \end{aligned}$$
- A földterület-felhasználással kapcsolatos mérlegfeltételek a megfelelő terület kihasználás miatt fontosak. A területet maradéktalan felhasználása esetén a mérlegfeltételünk egyenlőség volt. A mérlegfeltétel a  $\sum_{j=1}^n f_j x_j = F$ , ahol  $f_j$  a j-edik növénytermesztési változó fajlagos területigénye, míg az  $F$  a rendelkezésre álló termőterület. Bizonyos esetekben felső korlátot is alkalmaztunk, erre akkor volt szükség, ha nem akartuk kikötni a teljes terület kihasználást. Mérlegfeltétel ekkor:
 
$$\sum_{j=1}^n f_j x_j \leq F.$$
- A modellünkben a területi mérlegfeltétel segítségével megfogalmaztuk, hogy 500 hektárt szeretnék megművelni, illetve figyelembe vettük az elővetemény hatásokat is. A kukorica 2 évente, a napraforgó és az őszi káposztarepce 5 évente és az őszi búza 3 évente kerülhet vissza ugyanarra a területre. Mivel a fűz nedves területet igényel, ezért az összterület 20%-án engedélyeztük a maximális telepítés nagyságát.
- A munkaerőre vonatkozó mérlegfeltételeket dekádonkénti bontásban építettük be a modellbe. Mérlegfeltétele a  $\sum_{j=1}^n m_{ij} x_j \leq M_i$ , ahol  $m_{ij}$  a j-edik növény fajlagos munkaerőigénye az i-edik időszakban (munkaórában kifejezve), míg  $M_i$  a rendelkezésre álló kapacitás munkaórában kifejezve.
- A tervezés során figyeltünk arra is, hogy a csúcsidőszakokban az állandó alkalmazottak mellett szükség van időszakos dolgozókra is, akik általában meghatározott időre szóló szerződéssel dolgoznak. Ekkor a munkaerőt nem rögzített kapacitásként, hanem rugalmas korlátként kezeltük, és a munkaerő létszámot együttesen optimalizáltuk a termelési szerkezettel:  $\sum_{j=1}^n m_{ij} x_j \leq M_i + M_i' \beta$ , ahol  $M_i'$ : az adott i-edik időszakban az egy dolgozó által ledolgozott munkanapok száma, míg  $\beta$  a dolgozó létszámát jelenti.
- A modell végső megoldásakor tehát arra kaptuk meg a választ, hogy az adott termelési szerkezet munkaerő igényét a csúcsidőszakban hány fővel lehet kielégíteni.

- A forgóeszköz szükséglet mérlegfeltétele a  $\sum_{j=1}^n e_{ij}x_j \leq E_i$ , ahol  $e_{ij}$ : j-edik tevékenység fajlagos forgóeszköz szükséglete az i-edik időszakban, míg az  $E_i$  az i-edik időszakban rendelkezésre álló forgóeszköz kapacitás.
- A rendelkezésre álló kapacitás nem lehet kevesebb, mint az összes forgóeszköz szükséglet. A mértékegység mindkét oldalon ezer forint.
- A gépmérlegeket géptípusonként és gépkategóriánként, dekádonkénti felosztásban dolgoztuk ki. Mérlegfeltétele a  $\sum_{j=1}^n g_{ij}^h x_j \leq d_i^h$ , ahol  $d_i^h$ : a h-adik géptípus által az i-edik időszakban teljesíthető műszaknapok száma (vagyis a rendelkezésre álló kapacitás),  $g_{ij}^h$  a j-edik tevékenység fajlagos gépmunka-igénye műszaknapokban a h-adik géptípusra az i-edik időszakban.

### 1.7. A többperiódusos vetésszerkezeti modell

A többperiódusos lineáris programozási modell több évre vonatkozik. Összeállításához először mindig egy évre vonatkozóan kell elkészíteni a technológiai mátrixot, majd ezt követően kell az úgynevezett transzferváltozók segítségével összefűzni az egyes technológiákat (diagonális hipermatrix). A mátrix átlójában az éves növénytermesztési modelleket helyeztük el, a mátrix többi eleménél pedig nullás értéket szerepeltettünk (2 táblázat). A modell összeállítása során arra törekedtünk, hogy a modell a valóságot minél jobban tükrözze, illetve matematikai és informatikai szempontból minél könnyebben kezelhető legyen. A LP modellt Microsoft Excelben futtattuk le és elemeztük ki.

Az elkészített lineáris programozási modell 120 változót és megközelítőleg 1.000 mérlegfeltételt (mérlegfeltételek a vetésterületre, a vetésváltási korlátokra, a maximális ültetvéynagyságra, a szakképzett és szakképzetlen munkaerőre, az alkalmazott gépekre vonatkoznak) tartalmaz, így jelen cikkünkben csak az alapsémáját mutatok be (2. táblázat).

A többperiódusos lineáris programozási modell egymást követő éveit egyedi mérlegfeltételekkel kötöttük össze:

- A hagyományos szántóföldi növények esetében azért van szükség erre, mivel figyelemmel kell lenni az egyes növények esetében az elővetemény hatásokra is.
- Az energetikai faültetvények esetében több szempontot kellett figyelembe venni:
  - Ha az első évben bekerült a termelési szerkezetbe az ültetvény, akkor a következő évtől kezdve minden évben minimum ugyanannyi vetésterület nagysággal kell számolni.
  - Ha nem került be az első évben az ültetvény a termelési szerkezetbe, akkor a második évben ismét az ültetvények bekerülési lehetőségével is számolni kell. Ebben az esetben elcsúsztatott betakarítási időszakokat kell figyelembe venni.

A modellezés megkönnyítésére létrehoztunk egy speciális mérlegfeltételt, mivel fajtól függően 15-20 évig ugyanazon a területen fog maradni az ültetvény, azaz leköti a területet és nem kell vetésváltási korlátokkal számolni.



		1. év						i. év						n. év						R	K							
		Növ.term.			E.ült.			M <sub>i</sub>	M <sub>g</sub>	...	Növ.term.			E.ült.			M <sub>i</sub>	M <sub>g</sub>	...	Növ.term.			E.ült.			M <sub>i</sub>	M <sub>g</sub>	
		N <sub>1</sub>	...	N <sub>n</sub>	Ü <sub>1</sub>	...	Ü <sub>n</sub>			...	N <sub>1</sub>	...	N <sub>n</sub>	Ü <sub>1</sub>	...	Ü <sub>n</sub>			...	N <sub>1</sub>	...	N <sub>n</sub>	Ü <sub>1</sub>	...	Ü <sub>n</sub>			
1. év	E	T <sub>m</sub>																									<=	F <sub>i</sub>
		V <sub>m</sub>																									<=	F <sub>i</sub>
		M <sub>m</sub>																									<=	M <sub>i</sub>
		SGM <sub>m</sub>																									<=	d <sub>i</sub> <sup>h</sup>
		GM <sub>m</sub>																									<=	d <sub>iv</sub> <sup>h</sup>
	Ü	T <sub>ü1</sub> 2.év						-1							1												=	0
...							-1								1											=	0	
T <sub>ün</sub> 2.év							-1									1										=	0	
...																									:	:		
i. év	E	T <sub>m</sub>																									<=	F <sub>i</sub>
		V <sub>m</sub>																									<=	F <sub>i</sub>
		M <sub>m</sub>																									<=	M <sub>i</sub>
		SGM <sub>m</sub>																									<=	d <sub>i</sub> <sup>h</sup>
		GM <sub>m</sub>																									<=	d <sub>iv</sub> <sup>h</sup>
	Ü	T <sub>ü1</sub> i+1.év						-1									1										=	0
...							-1									1										=	0	
T <sub>ün</sub> i+1.év							-1									1										=	0	
...																									:	:		
n. év	E	T <sub>m</sub>																									<=	F <sub>i</sub>
		V <sub>m</sub>																									<=	F <sub>i</sub>
		M <sub>m</sub>																									<=	M <sub>i</sub>
		SGM <sub>m</sub>																									<=	d <sub>i</sub> <sup>h</sup>
		GM <sub>m</sub>																									<=	d <sub>iv</sub> <sup>h</sup>
CF		FH			BF			...	FH			BF			...	FH			0			MAX FH!						
M		TSZ			BM			...	TSZ			BM			...	TSZ			BM									

ahol:

- |  |  |
|--|--|
| N <sub>n</sub> : Növénytermesztési változó n=1,2,...,k | SGM <sub>m</sub> : Saját gépi munkára vonatkozó mérlegfeltétel             |
| Ü <sub>n</sub> : Energiaültetvény változó n=1,2,...,k  | GM <sub>m</sub> : Gépi munka mérlegfeltétel                                |
| M <sub>i</sub> : Időszaki munka (munkaóra)             | T <sub>ü</sub> n.év : Ültetvényre vonatkozó transzfer feltétel n=1,2,...,k |
| M <sub>g</sub> : Gépi munka (munkaóra)                 | CF : Célfüggvény   |
| T : Transzfer változó                                  | M : Megoldás   |
| BF : Bértmunka fajlagos költsége                       | TSZ : Termelési szerkezet (100ha)  |
| BM : Bértmunka mennyisége (munkaóra)                   | R : Reláció (=;<=>=>=)   |
| E : Erőforrások  | K : Kapacitásvektor  |
| Ü : Ültetvények  | F <sub>i</sub> : Rendelkezésre álló földterület (100ha)                    |
| T <sub>m</sub> : Területre vonatkozó mérlegfeltétel    | M <sub>i</sub> : Rendelkezésre munkaerő (munkaóra)                         |
| V <sub>m</sub> : Vetésváltási mérlegfeltétel           | d <sub>i</sub> <sup>h</sup> : Rendelkezésre álló saját munka (munkaóra)    |
| M <sub>m</sub> : Munkaerőre vonatkozó mérlegfeltétel   | d <sub>iv</sub> <sup>h</sup> : Rendelkezésre gépi munka (munkaóra)         |
|  | FH : Fedezeti hozzájárulás (eFt/100 ha)                                    |

2. táblázat: Többperiódusos lineáris programozási modell alapsémája

Forrás: Saját modell

A modell alapsémájában az egyes paraméterek előjeleit a következő jelölésekkel láttam el:

- negatív előjelű
- negatív és pozitív előjelű
- pozitív előjelű

## 2. Eredmények

A többcélú lineáris programozási modell összeállítását követően került sor a modell futtatására. A 12 évre vonatkozó eredményeket a 3. táblázatban tüntettük fel. Látható, hogy az 500 hektárból 232 hektáron a faültetvények telepítésével célszerű foglalkozni (160 hektáron energianyár, 42 hektár energiaakác és 30 hektár energiafűz). Területi fix lekötést jelent a közel 141 hektáros kukorica, illetve a 100 hektár repce területe (vetésváltási korlátokat figyelembe véve). Ezen két hagyományos szántóföldi kultúra minden vizsgált évben majdnem 46%-os területi részarányt jelentett. Az őszi búza csak az 1. 4. és 7. évben került be a termelésbe. A napraforgó ezzel szemben 24-27 hektáros területi részvételt jelent a termelésben. E két növény kisebb részarányú jelenlétét az magyarázza, hogy mindkét növényi kultúrának a többi ágazathoz képest alacsony a fedezeti hozzájárulás értékük (búza megközelítőleg 172 ezer forint, a napraforgó 190 ezer forint). Az alacsony fedezeti hozzájárulás értékükkel ezen hagyományos szántóföldi növénytermesztési kultúrák nem tekinthetők versenyképesnek a meglévő körülmények között.

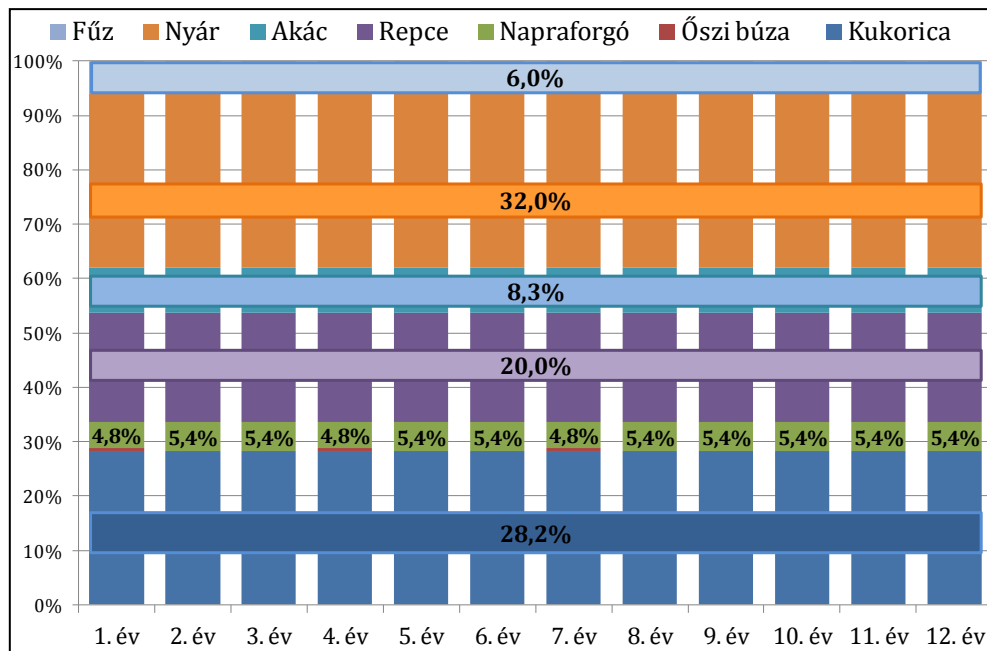
	Me.: hektár											
Ágazat	1. év	2. év	3. év	4. év	5. év	6. év	7. év	8. év	9. év	10. év	11. év	12. év
<b>Kukorica</b>	141,2	141,2	141,2	141,2	141,2	141,2	141,2	141,2	141,2	141,2	141,2	141,2
<b>Őszi búza</b>	3,2	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Napraforgó</b>	23,9	27,1	27,1	23,9	27,1	27,1	23,9	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1
<b>Repce</b>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
<b>Akác</b>	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7
<b>Nyár</b>	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0
<b>Fűz</b>	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
<b>Összesen</b>	<b>500,0</b>	<b>500,0</b>	<b>500,0</b>	<b>500,0</b>	<b>500,0</b>	<b>500,0</b>	<b>500,0</b>	<b>500,0</b>	<b>500,0</b>	<b>500,0</b>	<b>500,0</b>	<b>500,0</b>

3. táblázat: Többperiódusos lineáris programozási modell megoldása 12 évre

Forrás: Saját kalkuláció

Az arányokat tekintve látható, hogy a fűz 6%, a nyár 32%, az akác 8%, a repce 20%, a napraforgó 5%, míg a kukorica 28%-os területi lekötést jelent minden évben (1. ábra). Ezen százalékos arányokból is látható, hogy fedezeti hozzájárulás alapján célszerű ezen faültetvényekkel foglalkozni. Természetesen a faültetvények termelési szerkezetbe való bevonását nem a nagyon jó vagy jó adottságokkal rendelkező területekre terveznénk, hanem a rosszabb területi adottságú területekre. Mivel a kisebb termőadottságú területeken a hagyományos szántóföldi növények csak kisebb termésmennyiséget tudnak produkálni, azonban a faültetvényeknek ez jó területi adottságot jelent, így ajánljuk a telepítésüket.

De leszögezzük azonban azt, hogy tisztában vagyunk azzal, hogy az élelmiszer alapanyagok, illetve a takarmányok alapanyagának az előállításához közepes, jó vagy nagyon jó minőségű talajadottságok szükségesek, s ezen területekre csak nagyon indokolt esetekben terveznénk telepítéseket.



1. ábra: A 12 évre szóló termelési szerkezet nem támogatott környezetben

Forrás: Saját kalkuláció

Abban az esetben, ha az általunk elvárt termelési szerkezetbe nem került be valamelyik tevékenység (esetünkbe a búza), akkor lehetőségünk van a küszöbárak meghatározására. Ennek segítségével pontosan meghatározhatjuk, hogy a rendelkezésre álló erőforrások felhasználásával a vizsgált tevékenység, milyen célfüggvény-koefficiens értékkel kerülhet be a termelési szerkezetbe.

Az érzékenységjelentés alapján megállapítható, hogy az őszi búza akkor kerülhetne be a termelési szerkezetbe (illetve versenyképes lehetne a többi ágazattal szemben), ha a fedezeti hozzájárulás értéke a 2., 3., 5., 6., és 8. évben megnövekedne a 4. táblázatban bemutatott értékekkel.

Melyik évben kellene növelni a FH értéket?	Jelenlegi célfüggvény együttható érték (FH)	Mennyivel kellene a FH értéket növelni (Ft-ban) a versenyképességhez?
2. év	127925	18015
3. év	133085	18561
5. év	143963	19670
6. év	149689	20232
8. év	161741	21361

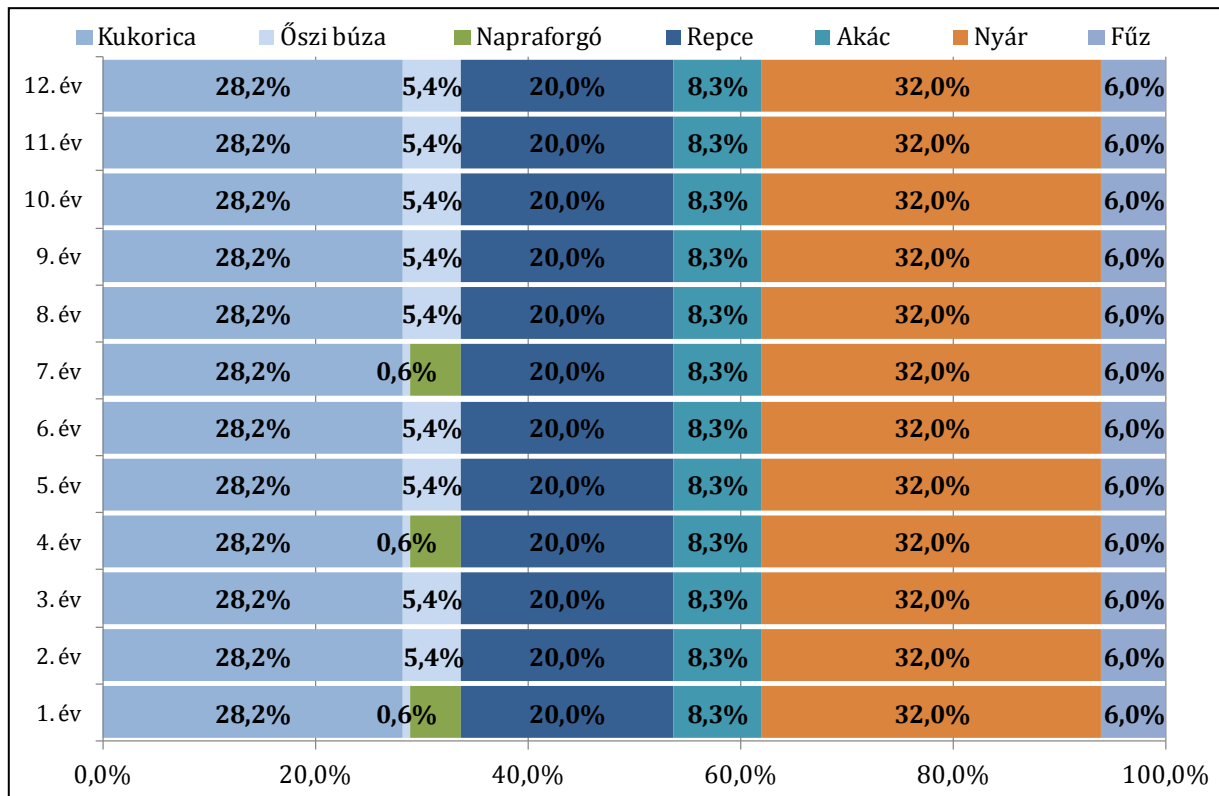
4. táblázat: Az őszi búza versenyképességének növelése az érzékenységi jelentés alapján

Forrás: Saját kalkuláció

Az „Érzékenység jelentés” alapján tehát a 2. évben a jelenlegi 127 925 Ft-os FH értéket 18 015 Ft-tal kellene növelni, hogy az bekerüljön a termelésbe. Kalkulációink alapján így a 2. évben 145 940 Ft-tal, a 3. évben 151 646 Ft-tal, az 5. évben 163 633 Ft-tal, a 6. évben 169 921 Ft-tal, míg a 8. évben 183 102 Ft-tal lehetne a búza versenyképes a többi ágazattal szemben.

Az „Érzékenység jelentés” alapján kapott eredmények ismeretében lefuttattuk a modellt az új búza FH értékekkel. Ebben az esetben a termelési szerkezet kismértékben megváltozott (2. ábra). A búza ágazat termelési szerkezetbe való bekerülése mellett kisebb szerep jutott a napraforgónak. A többi ágazat

részaránya az változatlan maradt, illetve ezen termelési szerkezettel azonos nagyságú maximális fedezeti hozzájárulás értéket tudtunk elérni.



2. ábra: A 12 évre szóló termelési szerkezet támogatott és nem támogatott környezetben

Forrás: Saját kalkuláció

A napraforgó így már szinte minden évbe bekerült a termelésbe 27 hektáros nagysággal. Az alapmodellhez képest ezzel párhuzamosan a napraforgó területi nagysága még jobban lecsökkent.

A 12 évre elkészített modellfuttatás alapján egy átlagos fedezeti hozzájárulás értéket is meghatároztunk. Az egyes kultúráknál figyelembe vettük a vetésterületet, illetve a fedezeti hozzájárulás értéket és így alakítottunk ki az átlagos FH értékeket egy évre vonatkozóan (5. táblázat).

Sorrend	Ágazat	Támogatás nélküli FH (Ft/ha/év)
1.	Repce	342 185
2.	Fűz	288 179
3.	Akác	260 704
4.	Nyár	246 300
5.	Kukorica	212 989
6.	Napraforgó	174 835
7.	Őszi búza	138 996

5. táblázat: A 12 éves időszak alapján az átlagos fedezeti hozzájárulás értéke egy hektárra, egy évre vonatkozóan támogatás nélkül és támogatással az egyes növénytermesztési kultúrákra

Forrás: Saját kalkuláció

Látható, hogy a fedezeti hozzájárulás alapján az első 4 helyből a vizsgált kultúrák közül 3 az faültetvény. Támogatás nélkül 240-280 ezer forintos intervallumban változtak a FH értékük ezen ültetvényeknek. Természetesen a fás szárú energiaültetvényeknél nagy krízis időszakot jelent a kezdő 2-4 év, mivel támogatás nélküli időszakban ezen évek csak a kiadásokat jelentik. Az első bevételi időszak az első betakarítás utáni értékesítés, mely sok esetben a 2 éves vágási ciklusnál a 3. évre, míg a 3 éves vágási ciklusnál 4. évre tolódik el.

A napraforgó és az őszi búza az átlag számítás esetén is természetesen az utolsó helyen vannak a vizsgált kultúrák esetén.

A modell futtatását követően az árnyékárak vizsgálatára került sor. Az érzékenységmentés egyes paraméterei alapján meghatározhatjuk a célfüggvény-koefficiens alsó és felső határértékét, ami arra ad választ, hogy determinisztikus körülmények között a célfüggvény-érték milyen mértékű ingadozása esetén marad változatlan az optimalizált termelési szerkezet. Ezen elemzéssel információt kapunk a modell költség- és hozamváltozásokkal kapcsolatos érzékenységről is. Mivel ezen modell esetében nincs prioritása ezt vizsgálni, így a cikkben sem helyezük el az elemzést.

Az Érzékenységmentés másik elemzése az erőforrásokra vonatkozik. Az erőforrások esetében kialakult szűk keresztmetszeteket tekintve megállapítható, hogy a meghatározott 500 hektáros adott területi nagyságnál, illetve a repce vetésterületére megadott paramétereknél alakult ki árnyékár. Az erőforrásoknál esetünkben akkor alakult ki árnyékár, amikor a mérlegfeltételünk felső korlát formájában volt meghatározva és a célfüggvényünk maximumát kerestük, s a rendelkezésre álló erőforrást teljes egészében felhasználtuk.

	Me.: Ft/év											
Árnyékár	1. év	2. év	3. év	4. év	5. év	6. év	7. év	8. év	9. év	10. év	11. év	12. év
<b>Területi korlát</b>	113 064	145 940	151 646	127 624	163 633	169 921	143 857	183 102	190 001	197 110	204 431	211 966
<b>Repce korlát</b>	149 860	129 304	136 484	173 983	152 070	160 523	202 003	178 878	188 835	199 350	210 455	222 184

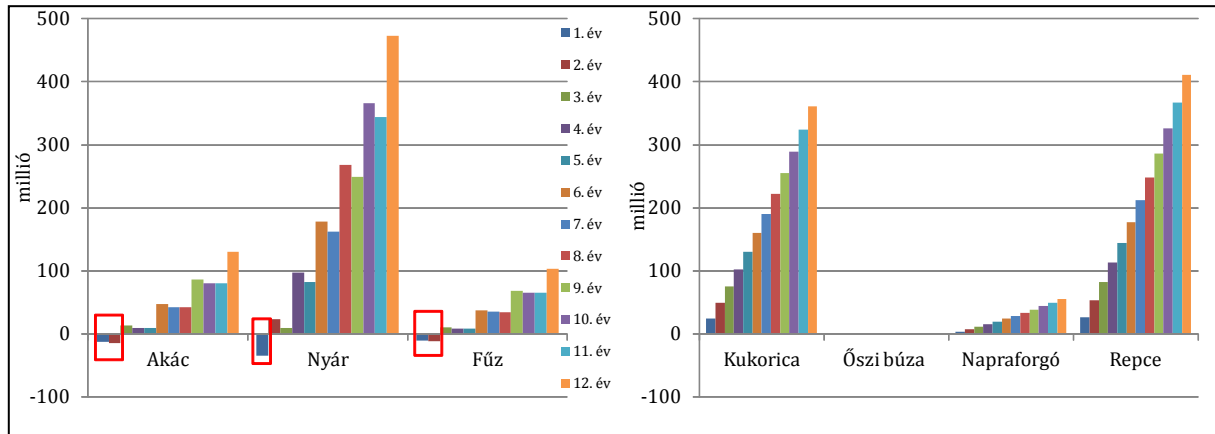
6. táblázat: A 12 év alatt a modellezésben kialakult szűk keresztmetszetek az erőforrások esetén  
Forrás: Saját kalkuláció

Kalkulációink alapján az első évet vizsgálva, ha a repce területét egy hektárral megnövelnénk, akkor 149 860 Ft-tal nőne meg a jelenlegi maximális fedezeti hozzájárulás értékünk. Mivel az első évben a repce után kapható fedezeti hozzájárulás értékünk megközelítőleg 260 ezer Ft, így célszerű a változtatást megvalósítani. Természetesen ezen erőforrás nagyságát csak addig lehet növelni, míg a rendelkezésre álló erőforrásoknál nem alakul ki egy újabb teljes kihasználás.

A maximálisan kihasználható terület nagyságát is célszerű növelni. Egy hektárral való növelés esetén megközelítőleg 113 ezer forinttal nőne a maximális fedezeti hozzájárulás értékünk.

Végül kalkulációt készítettünk az összes vizsgált növénytermesztési kultúrával elérhető maximális fedezeti hozzájárulás értékére vonatkozóan az egyes években. A vizsgált évek mindegyikében az előző éveket figyelembe véve határoztuk meg kumulált érték kalkulációjával. Látható (3. ábra), hogy a hagyományos szántóföldi növények esetében a 12. év végére magasabb fedezeti hozzájárulást lehet elérni, mint a fás szárú energiaültetvényekkel. Mivel a hagyományos szántóföldi növények esetében

nincsen csak költséggel kalkulálható év, így természetük kisebb kockázattal jár együtt. Igaz, hogy a nyár ültetvényel érjük el a 12. év végére a legmagasabb maximális fedezeti hozzájárulás értéket, azonban az első betakarítási időszakig elég nehéz a gazdáknak kigazdálkodni a költségek finanszírozását. Tehát megállapítható, hogy a kezdeti időszakban a fás szárú energiaültetvények mellett szükséges más hagyományos szántóföldi növényekkel is foglalkozni a fennmaradás érdekében.



3. ábra: A többperiódusos lineáris programozási modell megoldásai alapján a kumulált bevétel nagysága a vizsgált kultúráknál a 12 év alatt  
Forrás: Saját kalkuláció

## Összefoglalás

A hagyományos szántóföldi növények és az energiaültetvények termelési szerkezetben betöltött szerepének elemzése alapján elmondható, hogy a kedvezőtlen, vagy gyenge adottságú területek egyik kihasználási formája lehet a faültetvények. Az egyes ágazatok fedezeti hozzájárulását kiszámolva megállapítható, hogy támogatás igénybevétele nélkül is hosszútávon versenytársak lehetnek az energiaültetvények. Természetesen szem előtt kell tartani azt, hogy az energia alapanyag előállítására először a szántóföldi növényeket az élelmiszer, illetve takarmány alapanyag előállítására kell felhasználni, s csak utána következhet az energia előállítás.

Mivel Magyarország is csatlakozott a 2020-as időszakra bevállalt megújuló energia részarány teljesítéséhez, így célszerű átgondolni az energiaültetvények energiagazdálkodásba való bevonását.

## Hivatkozások

- [1] E. Bajalinov – B. Imreh (2001) *Operációkutatás*. Polygon jegyzettár. 300 p. Szeged
- [2] J. Temesi – Z. Varró (2007) *Operációkutatás*. Aula Kiadó, Budapest. ISBN 978-963-059-4752
- [3] Z. Ferenczi (2006) *Operációkutatás*. Készült a HEFOP 3.3.1-P.-2004-09-0102/1.0 pályázat támogatásával.
- [4] A. V. Cabot – S. S. Erenguc (1986) *A branch and bound algorithm for solving a class of nonlinear integer programming problems*. Naval Res. Logist. Quart., pp. 559-567
- [5] J. Mayer (1998) *Stochastic Linear Programming Algorithms*. Gordon and Breach Science Publishers / OPA, Amsterdam.

- [6] T. Terlaky – C. Roos – J. P. Vial (1997) *Theory and algorithms for linear optimization. An interior point approach*. John Wiley and Sons.
- [7] B. Glevitzky (2003) *Operációkutatás I*. MobiDiák könyvtár.
- [8] B. Marosvölgyi (2001) *Energetikai faültetvények mezőgazdasági művelésből kivont területeken*. Agrárinfo mezőgazdasági információs havilap. Hungária-Infó Nyomdaipar
- [9] L. Gockler (2017) *Mezőgazdasági gépi munkák költsége 2017-ben. Mezőgazdasági Gépüzemeltetés*. FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet. Agroinform Kiadó és Nyomda Kft. ISSN 1219-0926. Gödöllő
- [10] E. Pfau – Gy. Széles (2001) *Mezőgazdasági Üzemtan II*. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. ISBN 9633563259.