

# **DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

**KAPOSVÁRI EGYETEM  
GAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR  
MARKETING ÉS MENEDZSMENT INTÉZET  
Agrárgazdasági- és Menedzsment Tanszék**

A doktori iskola vezetője:  
**Prof. Dr. KERÉKES SÁNDOR**  
MTA doktora, egyetemi tanár

Témavezető:  
**Dr. BORBÉLY CSABA**  
egyetemi docens

Társ-témavezető:  
**Dr. CSIMA FERENC**  
egyetemi docens

## **A HAZAI ENERGIAÜLTETVÉNYEK, MINT MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK GAZDASÁGI VIZSGÁLATA**

Készítette:  
**POSZA BARNABÁS**

**KAPOSVÁR**

**2018**

**DOI: 10.17166/KE2018.011**

## 1. A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉS

Rohanó világunkban a legfőbb cél a versenyképesség fokozása lett, miközben nem vesszük tudomásul a természettől való örök függésünket, nem számolunk Földünk eltartókéességének határaival. Gazdaságunk és a termelés alapját az energia adja, a megújuló energiaforrások gazdaságpolitikai szerepe megkérdőjelezhetetlen. A megújuló energiák használata nélkül a fenntarthatóság nem érhető el, és kulcsszerepe van az antropogén klímaváltozás elleni küzdelemben.

Magyarország adottságait figyelembe véve a megújuló energiahordozók közül a biomassza rendelkezik olyan ki nem használt potenciállal, amely kiaknázásával lehetőség nyílna a fosszilis energia részleges kiváltására. Ez elsősorban a kedvezőtlen adottságú, szántóföldi növénytermesztésre alkalmatlan területeken tervezett elsődleges biomassza-termeléssel lehetne elérni, a fenntartható mezőgazdaság keretében.

A primer biomassza-hasznosítás előtérbe kerülése nem egyértelmű sikertörténet. Paradox módon a használatukkal kapcsolatban számos környezeti aggály, bizonytalanság merült fel, elsősorban a termeléssel, szállítással és az erőművi hasznosítással kapcsolatban.

Disszertációm középpontjában a biomassza, mint megújuló energiaforrás gazdasági- környezeti fenntarthatóságának vizsgálata áll. Az elvégzett vizsgálataim célja nem egy részprobléma aprólékos feltárása, hanem az egész, egymással összefüggésben lévő, de legtöbbször külön kezelt problémakör összegzése.

Doktori munkám fő célkitűzései a következők:

1.) Az energiaültetvényekkel való eredményes gazdálkodás környezeti és gazdasági feltételrendszerének feltárása. Termesztési tapasztalatokra és az eddigi hazai kutatások eredményeire támaszkodó modell segítségével arra keresem a választ, hogy a fás szárú, sarjzattatásos

energetikai ültetvényeknél hol teljesül, és teljesül-e egyszerre a környezeti és gazdasági fenntarthatóság feltétele, ami az ilyen típusú ültetvények létesítésének elsődleges célja.

2.) A termesztési ciklusok költségeloszlásának elemzésével a költségelemek gazdálkodásban betöltött szerepének meghatározása. Ez az eltérő vágásfordulójú hasznosítási ciklusok, fafajok versenyképességének megállapításában nyújthat támpontot.

3.) Az ültetvények energetikai elemzését követően ajánlások megfogalmazása az ültetvények telepítésével és fenntartásával kapcsolatban.

4.) A megismert összefüggések alapján a figyelem felhívása az esetleges buktatókra, nehézségekre, de a kiaknázható lehetőségekre is.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kalkulációk során egy átlagos adottságú, önerőből megvalósuló fűz, nyár és akác energetikai ültetvény létesítésének, működtetésének jövedelemhelyzete kerül vizsgálatra. Átlagos adottság alatt az értendő, hogy a körülményekből adódóan az ismertetésre kerülő termesztéstechnológiai műveleteken felül további speciális munkák elvégzése nem szükséges. A modellben a megtermelt biomassza közvetlen erőművi értékesítésre kerül. A feltüntetett értékek nettó értékek.

A számításokon nyugvó gazdasági modellkísérletben a meglévő ismeretek konvertálásával, szintetizálásával a téma újszerűen kerül megközelítésre. A feldolgozott szakirodalmi adatok szolgálták alapul a termelési költség és a bevétel megállapítása szempontjából kulcsfontosságú termesztési technológia és az elérhető termésátlagok meghatározásához.

A gazdaságosságon keresztül vizsgálom a lehetséges technológiai irányelvek versenyképességét. A biomassza alacsony energiasűrűsége miatt a költségek eloszlása tekintetében elemzem, hogy eltérő hozamoknál az összes költségre mekkora hatással van a szállítás változó költsége.

A felállított pénzáram-variációk és a lehetséges termőhelyi adottságok egymáshoz történő rendelésével állítottam fel fafajonként a négy forgatókönyvet, három szállítási távolsággal, ahol tipikusan a forgatókönyvek hozam-költség viszonyai jellemzőek. A termelési érték és a termelési költség szélsőértékei segítségével intenzív és extenzív művelési módok kerültek meghatározásra.

A rövid vágásfordulójú, fás szárú energetikai ültetvényekre jellemző ültetvényszerű termelés egy évnél hosszabb termelési periódust jelent. Ezért a gazdasági vizsgálat is egy termelési ciklusra vagy egy meghatározott időintervallumra vonatkozik. A gazdasági modell pénzügyi kalkulációja során a forgatókönyvek eltérő hozam- és költségadatai felhasználásával

határozom meg a halmozott eredményt tizenöt évre, amellyel a megtérülési idő változása és a gazdálkodás eredményessége kerül bemutatásra.

A pénz időérték változásnak a beruházásra gyakorolt hatása dinamikus mutatószámok segítségével kerül kiértékelésre. A nettó jelenérték (Net Present Value, NPV) döntési formula alapján összegzésre kerül a beruházás nulladik időszakában jelentkező kezdő pénzáram és az egyes évek nettó pénzáramlásainak egyenlege jelenértéken számítva. A jövedelmezőségi index (Profitability Index, PI) kifejezi, hogy egységnyi befektetés a befektetés egész időszaka során mekkora jelenértéket eredményez. A nettó jelenértékből származtatott belső megtérülési ráta (Internal Rate of Return, IRR) a beruházás belső hozamát adja.

A kalkuláció során a tizenöt éves időtartamra évi 7%-os elvárt hozam mellett, a vizsgált időszak végén nulla maradványértékkel számoltam. Ez a 7%-os érték a várható infláció mértékéből és más, alternatív befektetések jövedelemtermelő képességéből tevődik össze.

Az energetikai megközelítéssel a forgatókönyvek pénzáram vizsgálata mellett a környezeti fenntarthatóság érvényesülésének a mértéke határozható meg. Az így kapott gazdasági modellszámítások eredménye adja az alapot a következtetéseimhez, a gazdasági és környezeti fenntarthatóság összefüggéseinek újszerű feltárásához.

A munkaművelet költségeinek megállapítása támpontjául a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ Mezőgazdasági Gépesítési Intézet (NAIK-MGI) gépüzemeltetés adatait vettem alapul. A felmerülő munkaművelet költségét bér munkadíjjal számoltam, a szolgáltatási díj kalkulálásánál az üzemeltetési önköltség mellett hozzávetőlegesen 20%-os haszonkulccsal számolok. A speciális gépesítést igénylő betakarítás esetében nem állt rendelkezésre ilyen adat, ezért a bér munka díjának megállapításában az ágazatban szereplő szakemberek gyakorlati tapasztalataira hagytam.

A termelési érték számításánál a szakirodalmi adatokra alapozva az elérhető hozamértékek alsó és felső értékeivel számolok mindhárom növénykultúra esetében. Az abszolút száraz faanyag számított tömegének meghatározására használt mértékegységben kifejezve (atrotonna, odt):

- Nyár 8,7-23 odt/ha/év
- Fűz 10-24 odt/ha/év
- Akác 6-20 odt/ha/év

Az átvételi ár (20.000 Ft/odt) megállapításánál a pécsi biomassza-erőmű szerződéses átvételi ára volt a mértékadó.

### 3. EREDMÉNYEK

#### 3.1. Az energetikai ültetvényeket alkotó fafajok költségeloszlása

A ritkább betakarítást az akác alacsonyabb fatermőképessége indokolja, így a költséges betakarítások számának a csökkentésével az alacsonyabb hozamból adódó alacsonyabb bevétel részben kompenzálható. Ez mindaddig gazdaságos, amíg egyrészt az évente jelentkező növekmény értéke fedezi a betakarítás költségeit, másrészt az előző évek növekményeihez viszonyítva nem esik vissza olyan mértékben, ami már elmarad a betakarítás utáni várható növekmény mennyiségétől.

Az alacsony energiasűrűség miatt a faapríték szállítási költsége jelentős, amit a magas víztartalom tovább növel. A víztartalom nyár és fűz ültetvényeknél jelent problémát, ahol betakarításkor, élőnedves állapotban 50%-os víztartalom feletti érték sem ritka. Szakaszos betakarítással, előtárolással 20%-os vízvesztés érhető el, amelynek köszönhetően mintegy 28%-kal csökken a hektárra vetített szállítási költség. Másik oldalról a betakarításra kerülő biomassa mennyisége határozza meg a szállítási költségeket, melyek értékét 30%-os víztartalomnál, három eltérő szállítási távolságnál (20/50/100 km) vizsgáltam.

Az energetikai ültetvények egy-egy vágásfordulójának a költségeloszlása a különböző költségtényezők és a munkaműveletek súlyáról ad tájékoztatást. Ebből derül ki, hogy annak ellenére, hogy a betakarítás évében a szállítás költsége meghatározó, a vágásforduló éveire vetítve főleg az alacsonyabb hozamok esetében kisebb jelentőségű.

A művelési költségek közötti különbség jól szemlélteti, hogy az extenzív művelési formával mennyivel kisebb költséggel lehet az energetikai ültetvényt fenntartani. A nyár és a fűz energetikai ültetvényeknél a két éves vágásfordulónál a betakarítás költségének az aránya a legnagyobb, 28-52% között mozog. A szállítási költség 30%-os víztartalomnál 6-33% között

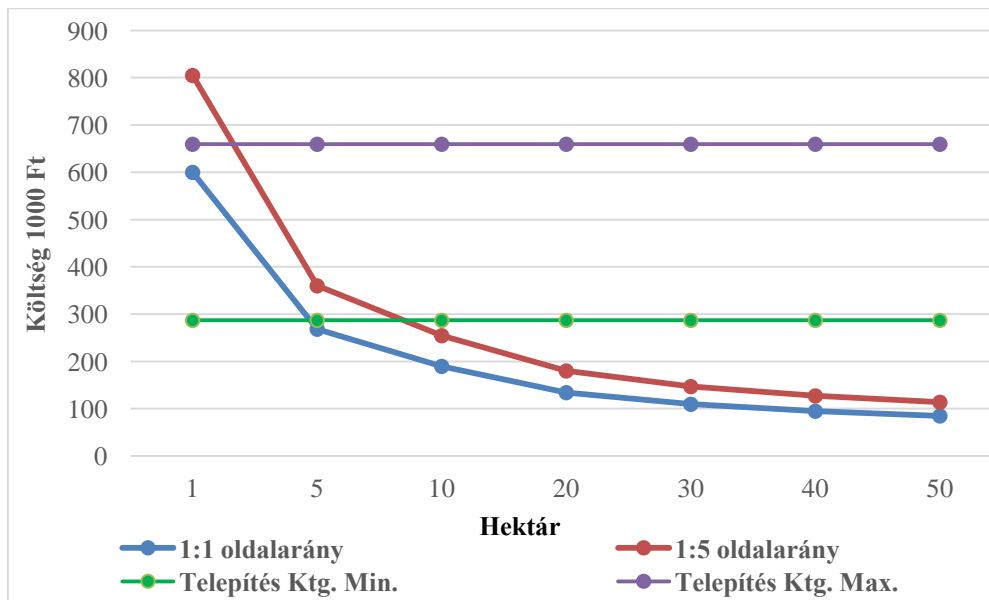
mozog. Ezért kijelenthető, hogy ennek a költségnemnek a súlya nagyobb szállítási távolságnál és hozamnál számottevő, de nem mindig meghatározó. A kétéves vágásfordulók összköltség eloszlásában a termőföld használatának díja 16-30% között alakul.

Akác esetében az ötéves vágásforduló miatt jelentősebb a földhasználat költsége, ez 25-50% között mozog. A betakarítás részaránya (17-34%) az ötéves vágásfordulónak köszönhetően kisebb. Igaz, hogy az akác energetikai ültetvényeknél kisebb az átlagos elvart hozam, de a hosszabb ciklusnak köszönhetően a betakarításra kerülő biomassa mennyisége nagyobb. A nagyobb biomassa mennyiség magasabb hektáronkénti szállítási költséget okoz, ami elérheti az összköltség 43%-át. A termésátlag alsó értékénél ez 7-21%-ot tesz ki az összköltségekből. A nyár és a fűz energetikai ültetvények 9-28%-os művelési költségének arányával szemben az akác ültetvényeknél ez a költségnem 7-20% között mozog.

### **3.2. Vadkár elleni védekezés vadvédelmi kerítéssel**

A többéves vágásforduló miatt a vad által okozott kár több év növekményét is megsemmisítheti, emiatt a megtérülési idő további évekkel tolódhat el. A leghatékonyabb védekezés az ültetvény kerítéssel történő védelme. A vadvédelmi kerítés beruházási költségének mértéke hasonló az energetikai ültetvénytelepítés költségének nagyságával. A költségeket egyrészt a kerítésépítéshez használt anyagok műszaki és minőségi jellemzői, másrészt a bekerítendő terület adottságai, főleg a mérete és az alakja befolyásolja. A vadvédelmi kerítés beruházásának fajlagos költsége csökken az ültetvény méretének növekedésével, a csökkenés mértékét az oldalárány határozza meg (1. ábra).





**1. ábra: Az energetikai ültetvények bekerítésének fajlagos költsége (1000 Ft/ha)**

**Forrás: Saját kalkuláció**

Az ábrában ábrázolásra került a három fafaj legalacsonyabb (akác, 287.000 Ft/ha) és a legmagasabb (fűz, 659.500 Ft/ha) telepítési költsége is. A vadvédelmi kerítés beruházása a legmagasabb telepítési költségénél (fűz) már 5 hektárnál mindkét oldalaránynál az összköltség 50%-a alá csökken. A legalacsonyabb ültetvénylétesítési költségénél (akác) a kerítés telepítése egy hektárnál a beruházási költség legalább kétszeresét teszi ki. Az oldalaránytól függően az ültetvény létesítési költségének fele alá a 20 illetve 30 hektár táblaméret felett csökken.

A kerítés beruházás elfogadási értékének az ültetvénytelepítés összköltségének kevesebb, mint a felét feltételezve a költségek tükrében elmondható, hogy a vadvédelmi kerítés építésének létjogosultsága az ültetvénylétesítés költségszínterétől nagymértékben függ. Általános érvényű szabály nem alkotható. Ezért az általam felállított modellben ezzel a költséggel nem számolok, viszont ennek a költségtényezőnek az ismertetését is fontosnak tartottam.

### 3.3. Az energiaültetvényt alkotó fafajok halmazott eredménye

A meghatározott négy forgatókönyvhöz művelési és termőhelyi adottságok is rendelkezhetők, ahol tipikusan a forgatókönyvek hozam-költség viszonyai jellemzőek:

**1. Forgatókönyv (F1.):** Termelési költség (alsó küszöb) + Termelési érték (felső küszöb). Alacsony, extenzív művelési költség mellett magas termésátlag a jó termőképességű, kedvező adottságú területek jellemzője, ahol viszonylag alacsony ráfordítással is kiemelkedő eredmények érhetőek el.

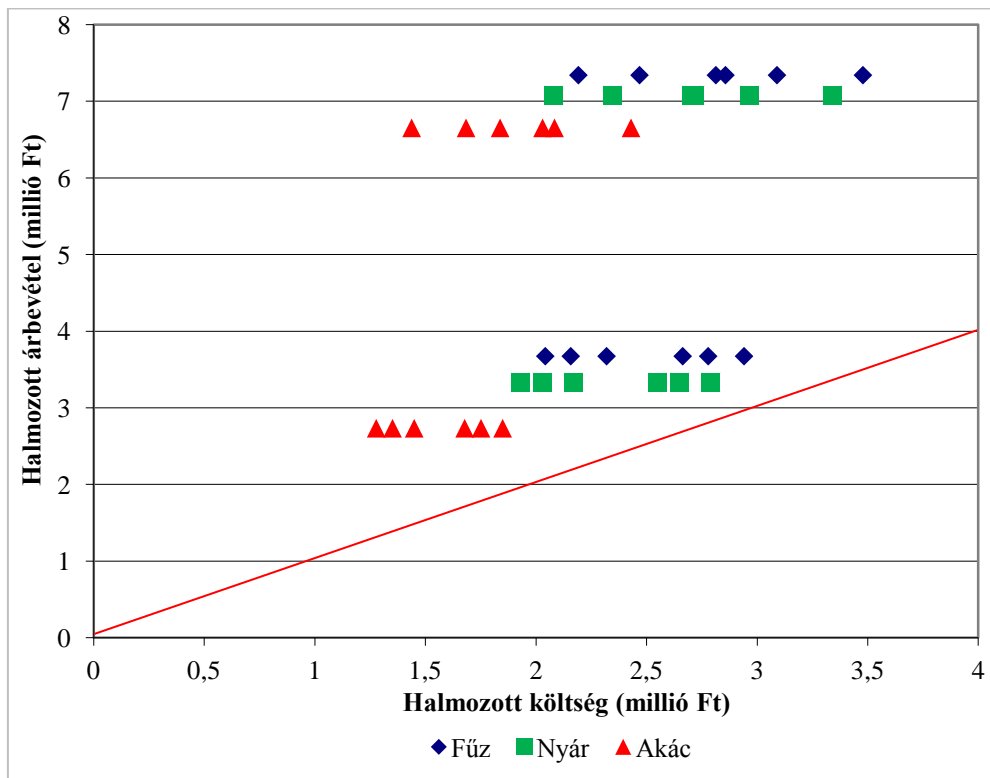
**2. Forgatókönyv (F2.):** Termelési költség (felső küszöb) + Termelési érték (alsó küszöb). Ebben az esetben magas ráfordítás mellé alacsony hozam társul. Ennek előfordulása egyrészt egy megfelelő adottságú intenzív művelésű területnél fordulhat elő, ahol az adott termelési ciklusban a kedvezőtlen körülmények (időjárás, vadkár) miatt gyengébb terméshozam tapasztalható. Másik lehetséges ok, hogy az intenzív jellegből adódó pótlólagos ráfordítások hatékonysága elmarad az elvárttól, nem hasznosul kellőképpen. Az elégtelen hasznosulásnak lehet termesztéstechnológiai oka vagy a (kedvezőtlen adottságú) területen olyan kedvezőtlen körülmény adódik (magas vízállás), amelynél a kultúra nem tudja hasznosítani kellőképpen a ráfordítást. A legkedvezőtlenebb forgatókönyv.

**3. Forgatókönyv (F3.):** Termelési költség (alsó küszöb) + Termelési érték (alsó küszöb). A harmadik esetben az extenzív művelés mellé alacsony terméseredmény jár. Ez a kedvezőtlen adottságú területek jellemzője. Ekkor a kedvezőtlen termőhelyi adottságú körülmények nincsenek pótlólagos ráfordításokkal a növénykultúra részére optimálisabbá alakítva.

**4. Forgatókönyv (F4.):** Termelési költség (felső küszöb) + Termelési érték (felső küszöb). A negyedik felvetés tipikusan az intenzív művelés ismérve, amikor is a magas költségszínvonalon viszonylag nagy biztonsággal

magas terméshozam érhető el. Ez a művelési forma a kedvező adottságú területeken a leghatékonyabb.

A három fafaj négy forgatókönyvének összehasonlítása érdekében a 2. ábrában összesítettem az energetikai ültetvények tizenöt éves halmozott eredményét mindhárom szállítási távolságnál (20/50/100 km). A pontok elhelyezkedésének koordinátáit a halmozott költség és az árbevétel értékei adják, a megtérülést a piros egyenes szemlélteti, így az eredmény költség-árbevétel viszonya is ábrázolásra került a diagramban. Annak ellenére, hogy a három fafaj közül az akác árbevétele a legalacsonyabb, ehhez a legalacsonyabb költségszint párosul.



**2. ábra: A nyár, fűz, akác energetikai ültetvények tizenöt éves halmozott eredménye**

**Forrás: Saját kalkuláció**

A két elkülönülő pontfelhővel jól azonosítható a gazdaságilag és a környezeti szempontból fenntartható forgatókönyvek. A magas termelési

értéket előállító intenzív művelésű és az extenzív, kedvező adottságú területekre jellemző F1. és F4. forgatókönyvek alkotják a magasabb halmozott árbevételű pontfelhőt. Az alacsonyabb termelési értékkel bíró F2. és F3. forgatókönyvek eredménye a környezetileg fenntartható extenzív művelésű, illetve a szántóföldi növénytermesztésre alkalmatlan területek ismérve.

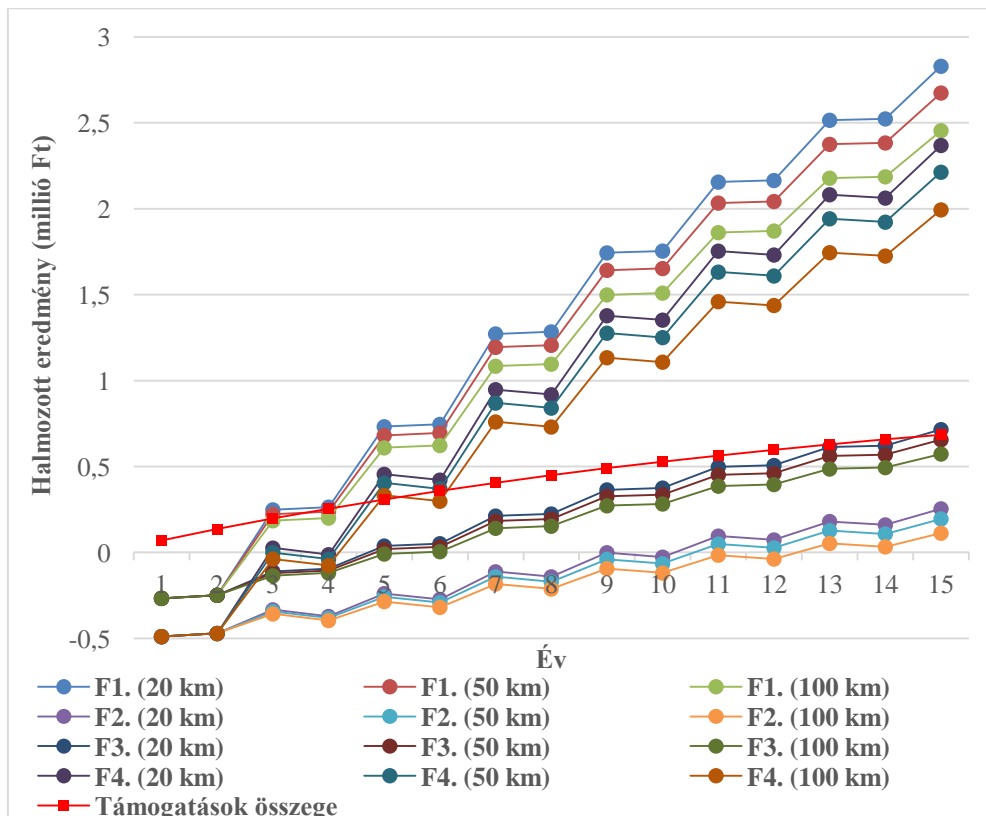
### **3.4. A megtérülési idő alakulása a pénz időértékének figyelembevételével**

A 3-4-5. ábra a vizsgált három fafaj diszkontált halmozott eredményét mutatja be a várható nettó pénzáramlások jelenértékével és a beruházott összegekkel. A kettő összege pedig a beruházás nettó jelenértékét adja. A forgatókönyvek „X” tengely metszéspontja a diszkontált megtérülési időt határozza meg 7%-os diszkontrátánál.

Általánosságban elmondható, hogy a 1. forgatókönyv 20 km-es szállítási távolsággal és a 2. forgatókönyv 100 km-es szállítási távolsággal összesített eredménye a két szélsőérték mind a három fafajnál, ezek között szóródik a többi szállítási távolság és a többi forgatókönyv nettó jelenértéke.

A magas termelési értékű 1. és 4. forgatókönyveknél a diszkontálás nem okoz számottevő változást a megtérülési időben, ami a pénzügyi kockázatot csökkenti. A diszkontálás okozta változás következtében a tizenötödik évben a reálérték a magasabb termelési értékű forgatókönyveknél mintegy fele, az alacsonyabbaknál kevesebb, mint a fele a nominális értéknek.

A dinamikus megtérülési mutatók eredményei is alátámasztják azt a felvetést, hogy a forgatókönyveken belül a szállítási távolságok döntően egyik fafajnál sem befolyásolják a megtérülést. A belső megtérülési ráta (IRR) és a jövedelmezőségi index (PI) adatai alapján gazdasági szempontból az F1. forgatókönyv a legkedvezőbb.



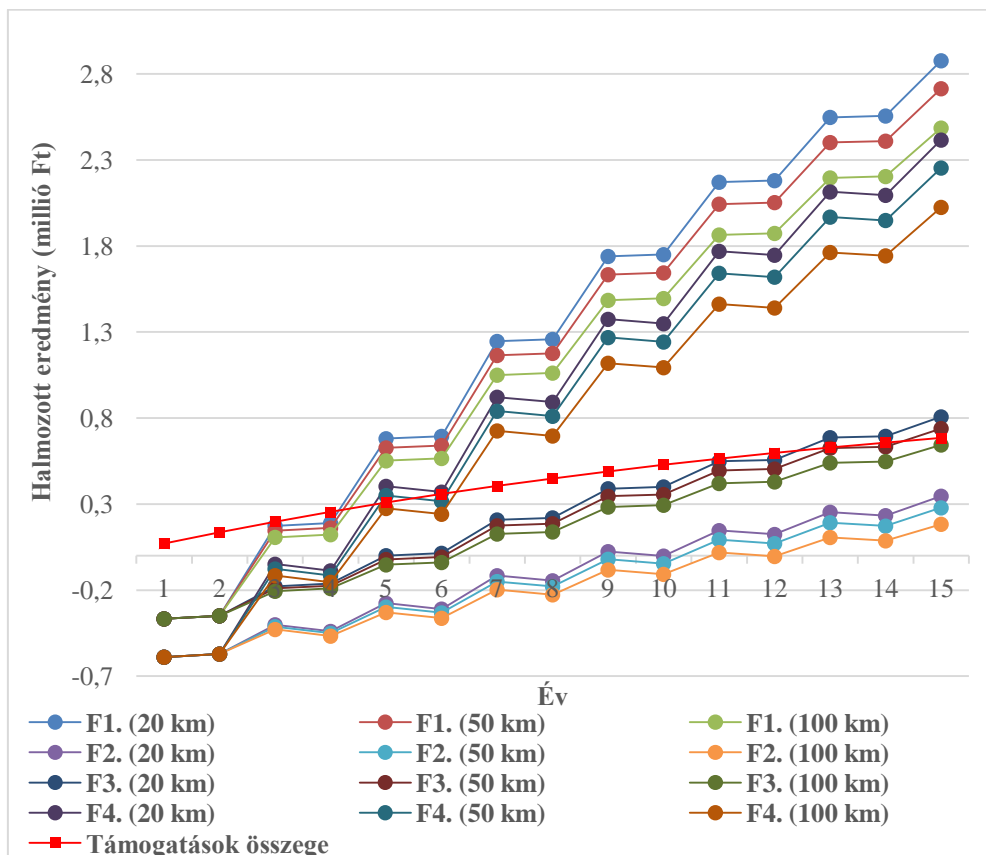
**3. ábra: Nyár energetikai ültetvény tizenöt éves halmozott eredménye diszkontált értéken**

**Forrás: Saját kalkuláció**

A nyár ültetvény azonos adataival összehasonlítva megállapítható, hogy a fűz értékei alacsonyabbak, ami a magasabb telepítési költséggel magyarázható. Az akác energetikai ültetvényénél az alacsony beruházási költség miatt itt a legmagasabb a jövedelmezőségi index annak ellenére, hogy ennél a fafajnál a legalacsonyabb a nettó jelenérték.

A hétéves diszkontált megtérülési idő elfogadása mellett a feltételnek a három fafajnál a négy forgatókönyvből három felel meg. Ezek a kedvező adottságú extenzív és intenzív művelésű forgatókönyv, és az F3. (Termelési költség alsó küszöb + Termelési érték alsó küszöb) forgatókönyvek. Ennél az utóbbi forgatókönyvnél a viszonylagos gyors megtérülés ellenére a három

fafajnál a tizenötödik évben a nettó jelenérték nem éri el a 800.000 Ft-ot (nyár – 656.528 Ft, fűz – 739.673 Ft, akác – 684.777 Ft).

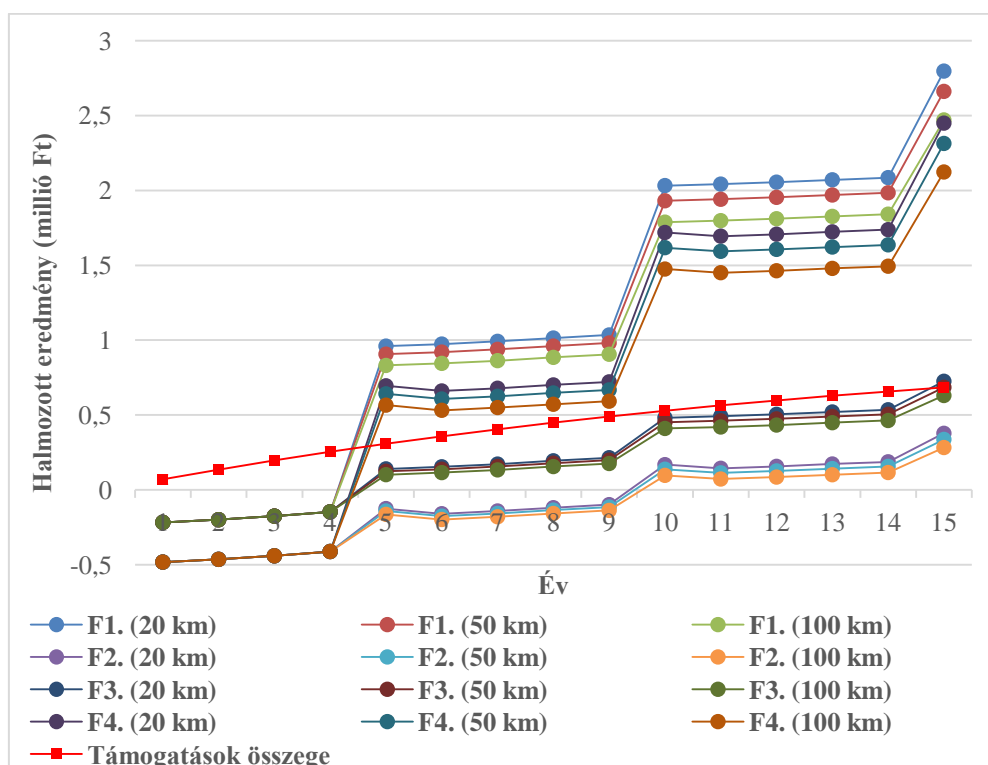


**4. ábra: Fűz energetikai ültetvény tizenöt éves halmozott eredménye diszkontált értéken**

**Forrás: Saját kalkuláció**

Mindhárom ábrában piros egyenessel került a támogatások nettó jelenértéke ábrázolásra, amely a tizenötödik évben 685.106 Ft. Ez a támogatás energetikai ültetvény létesítése nélkül is lehívható. Ebből kiindulva azok a forgatókönyvek fogadhatóak el hosszú távon gazdaságilag fenntarthatónak, amelyek meghaladják a támogatás összegét. Ezek alapján, a négy forgatókönyvből a kettő, kedvező adottságú extenzív és az intenzív forgatókönyv fogadható el (F1 és F4.).

Akác esetében (5. ábra) az ötéves vágásforduló és az eltérő termesztéstechnológia ellensúlyozni tudja a kisebb növekedési erélyből származó hátrányt, kijelenthető, hogy ugyan más termőterületeken, de ugyanolyan eredményesen hasznosítható, mint a másik kettő fafaj. Akácnál a hosszabb vágásforduló a termés nagyobb kiszámíthatatlansága mellett pénzügyi kockázatot is jelent. A pénzeszközök lekötöttsége hosszabb, a telepítési költségek megtérülésére ötévente van lehetőség.



**5. ábra: Akác energetikai tizenöt éves halmozott eredménye diszkontált értéken**

**Forrás: Saját kalkuláció**

A minél korábbi megtérülés és a kockázat minimalizálása érdekében a gazdáknak az intenzív művelési forma alkalmazása a leginkább célravezető. Annak ellenére, hogy a kedvezőtlen adottságú területeken a fás szárú energetikai ültetvények biomassa produktuma nagyobb, mint a hagyományos erdőké, ez nem feltételezi azt, hogy bármely adottságú

termőterületen fenntartható módon üzemeltethető. Az ökológiai igények is bizonyítják, hogy nem minden szántóföldi növénytermesztésre alkalmatlan terület megfelelő fás szárú energetikai ültetvény létesítésére.

### **3.5. Az energetikai ültetvények energiamérlege, és az eredményekkel kapcsolatos kételyek**

A fás szárú, sarjzatot tartalmazó ültetvénylétesítés, az elsődleges biomassza termelése elsősorban a megújuló energiaforrások minél szélesebb körű használatára tett erőfeszítések egyik eredménye. Ezért szükséges a fenntarthatóságát befolyásoló tényezők, elsősorban az energiaegyenleg vizsgálata. Az egyik ilyen mutatószám a megtermelt, és a termeléshez és a hasznosításhoz felhasznált energia különbsége, a másik az energia output és input hányadosa.

A befektetett energia pontos meghatározása kérdéses, főleg intenzív művelésnél, a műtrágya és a növényvédő szerek előállításához, szállításához felhasznált energiamennyiség nehéz meghatározhatósága miatt.

A megtermelt energia mennyisége a természetben is ingadozó, a természetben is széles sávban mozog. A bizonytalanságot tovább növeli, hogy a betakarított faapríték víztartalma igen változó, ami a fűtőértéket befolyásolja. A szakirodalomban fellelhető, az energetikai kalkulációk alapjául szolgáló, egzaktnak tekinthető energetikai (fűtőérték) adatok között is jelentős különbség tapasztalható. Az általam ismert két fűtőérték közötti jelentős (18 és 47%-os) differencia és a hozamok szélsőértékei közötti eltérés a megtermelhető energia mennyiségi értékében összeadódik, felnagyítva a különbségeket. Az 1. táblázat a fajlagos fűtőértékek közötti különbséget szemlélteti 30-50%-os víztartalomnál. Mivel a kalkuláció során használt összes tényező széles értékhatár között szóródik, véleményem szerint az energiamérleggel kapcsolatban nem lehet egyértelmű arányszámokat megállapítani, csak az összefüggéseket vizsgálni. A hozam



ingadozása és a fűtőértékek közti különbség döntő az energiahányados értékének a környezeti fenntarthatóság szempontjából történő megítélésében.

**1. táblázat: Energetikai ültetvények fajlagos fűtőértéke 30-50%-os víztartalomnál**

Fafaj	Fűtőérték GJ/ha/év vízt.: 30%		Fűtőérték GJ/ha/év vízt.: 50%	
	Fajlagos értékek		Fajlagos értékek	
	Min.	Max.	Min.	Max.
	12,2 MJ/kg	14,44 MJ/kg	7,1 MJ/kg	10,44 MJ/kg
Nyár	151,3	473,6	123,5	480,2
Fűz	173,2	493,9	142,0	501,1
Akác	103,7	411,5	85,2	417,6

**Forrás: Saját kalkuláció**

Ez a biomassza termelés és hasznosítás hosszabb távú környezeti fenntarthatóságát kérdőjelezi meg. A számadatok tükrében elmondható, hogy az energiahányados inkább a vizsgált ültetvényen történő gazdálkodás hatékonyságát mutatja be az egységnyi befektetett energiára jutó megtermelt energia mennyiségével.

A használatos energetikai mutatószámok, az energiahányados és a befektetett és a megtermelt energia különbsége ugyan konkrét esetekben megbecsülhető, de az egész rövid vágásfordulójú, fás szárú sarjzattal primer biomassza energiatermelésére nem lehet a környezeti fenntarthatósággal kapcsolatos általános érvényű következtetéseket levonni.

A faapríték víztartalma nem csak a fűtőértékre, hanem a szállítás fajlagos költségére és a szén-dioxid kibocsátására is hatással van. Ezért nem elegendő a termelés energiaegyenlegét, energiahányadosát megállapítani, hanem az egész termékpálya energetikai és technológiai vizsgálata szükséges. A termelés során jelentkező esetleges kedvező energiamérleg a magas víztartalommal történő hasznosítás, szállítás következtében romolhat, illetve a végfelhasználás módja is alapvetően meghatározza a hasznosulás mértékét.

A modell során kalkulált erőművi, kizárólag villamosenergia termelés céljából történő hasznosítás esetén a konverziós hatékonyság 22-35% között

van. A megtermelt villamos energia tekintetében ez a hatásfok azt jelenti, hogy a beszállított biomassza energiatartalmának harmada-negyede hasznosul. Ez az energetikai ültetvény energiahányadosának szempontjából azt jelenti, hogy legalább négyszeres energiakihozatal szükséges ahhoz, hogy ugyanannyi hasznos (villamos) energiamennyiség keletkezzen, mint amennyi befektetett fosszilis energiamennyiség került felhasználásra az alapanyag előállítására, manipulálására.

Ez azt jelenti, hogy épp a környezeti szempontból fenntarthatóbb, alacsonyabb energiahányadossal bíró extenzív művelés megkérdőjelezhető azokon a kedvezőtlenebb termőterületeken, ahol az energetikai ültetvények telepítését sokan szorgalmazzák.

Ezzel kapcsolatos ellenérv lehet, hogy a hazai erőművi rendszer a fosszilis energiából – az energiaforrástól, teljesítménytől és a technológiától függően – 20-75%-os hatásfokkal képes villamos energiát előállítani. Így jogos az a felvetés is, hogy a biomasszatermelés fosszilis energiamennyiségéből is csak az energiatartam ötöde-3/4 része alakulhatna villamos energiává. De új biomassza erőmű építésével szembe lehet állítani a fosszilis erőművek modernizációja során jelentkező hatékonyságnövekedést is.

Általánosságban ki kell jelenteni, hogy a villamosenergia termelés céljából előállított biomassza energiaegyensúlyának a vizsgálata során nem csak a megtermelt és az előállított biomassza energiamennyiségét kell vizsgálni, hanem a konverzió közben keletkező villamos energia mennyiségét kell az előállításához, manipuláláshoz felhasznált összes input energia mennyiségéhez viszonyítani.

Környezeti fenntarthatóság szempontjából ki kell emelni, hogy az erőmű átvételi kritériumai között a környezeti fenntarthatósággal és a károsanyag kibocsátással összefüggésben semmilyen rendelkezés nincsen. Így a szállítás

nem az erőmű felelőssége, a szállításból adódó energiaegyenleg csökkenés és többlet szén-dioxid kibocsátás nehezen ellenőrizhető.

#### 4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A termesztéstechnológiát illetően elmondható, hogy a rövid vágásfordulójú, sarjaztatásos energetikai ültetvények egy alapvetően extenzívnek mondható „erdő” művelési ág intenzív termesztési rendszerben történő működtetésére tett kísérlet, amely a gazdasági és a környezeti fenntarthatóság követelményrendszerének egyidejűleg próbál megfelelni. A folyamatosan növekvő, szinte korlátlanak mondható (villamos) energiaigényt egy termőhelyi és biológiai korláttal rendelkező rendszerrel igyekeznek részben kiszolgálni. A kiszámíthatatlanságot tovább növeli, hogy a fizikai igénynek tekinthető villamosenergia-igény biológiai alapú kiszolgálását az abiotikus és a biotikus tényezőknek való kitettség is kockáztatja.

Tekintettel arra, hogy a témában született publikációk többsége vagy csak az egészről egy-egy részfeladatra, részproblémára fókuszál, illetve a kalkulációk alapjául szolgáló általános érvényű alapadatok sem mindig megegyezők, javaslom egy egységes összehasonlítási rendszer, és az ahhoz kapcsolódó szempontok kidolgozását a kutatási eredmények könnyebb értelmezése céljából.

A relatíve magas beruházási költségek és az intenzív termesztéstechnológia miatt teljesítménykényszer áll fenn a beruházás minél előbbi megtérülése és a kockázati tényezők alacsony szinten tartása érdekében. A két termesztéstechnológiai irányzat közül az egyik, amelynél rövidebb vágásforduló alkalmazásával a növekedési erély minél nagyobb kihasználása, és ezáltal a magasabb hozamok elérése a cél. Ebben az esetben az éves növekmény és a folyó átlagnövekmény viszonya adja meg a vágásforduló hosszát. A másik felfogás a költséges betakarítás miatt a hosszabb vágásfordulót részesíti előnyben. A két felfogás közti különbség a gazdasági modellek elemzésének eredményeiben is nyomon követhető a

rövid vágásfordulójú fűz és a nyár energetikai ültetvények és az alacsonyabb termőképességű, öt éves rotációs ciklusú akác között. A hosszabb vágásforduló képes kompenzálni a növénykultúra biomassa-növekményének évenkénti csökkenését.

Az intenzív és az extenzív művelési formák közti különbség mind gazdasági, mind környezeti szempontból meghatározó. Termesztési oldalról a gazdálkodók érdeke az intenzív művelés a magas, kiegyensúlyozott hozamok elérése céljából, a magas biológiai potenciál minél jobb kihasználása mellett. Az energetikai ültetvény a mezőgazdasági növénytermesztésre alkalmatlan területekre ajánlott, de az intenzív művelésből következő többletráfordítás, a nemesített szaporítóanyag biológiai potenciálja a termőhelyi adottságok, körülmények miatt nem feltétlenül hasznosul kellő hatékonysággal. Ezért a termőhelyi adottságtól függően inkább az extenzív művelés az indokolt, erre a célra szelektált szaporítóanyaggal. A szakirodalomban közölt széles sávban mozgó termésátlagok felső értékeinél lehet eredményes gazdálkodást folytatni. Ez a költségek optimalizálásával egy ideig ellensúlyozható, de ahogy a kumulált eredmények is mutatják, csak magas hozam mellett érhető el eredmény, tehát a hozam maximalizálása a cél. Magas hozam pedig vagy intenzív művelésnél vagy jó termőképességű területen akár extenzív műveléssel is elérhető. A környezeti fenntarthatóság szempontjából a minél nagyobb energiahányados az optimális, ami a kedvező adottságú és az extenzív művelésű területek jellemzője. A környezeti fenntarthatóság szempontjából kedvező forgatókönyvek közül a kedvező adottságú területek kizárhatóak, hiszen az ültetvények telepítését a szántóföldi növénytermesztésre való alkalmatlanság indokolja. Ahogy a fentiekben bemutatásra került, az intenzív művelésű technológia kedvezőtlen adottságú területeken gazdasági szempontból nem mindig fenntartható, és a pótlólagos ráfordítások miatt az energiahányadosa sem éri el a környezeti fenntarthatóság szempontjából indokolt szintet. Az intenzív művelés

többletráfordításával elérhető hozamnövekedés az energiahányadost rontja, a bizonytalan megtérülésű pótlólagos ráfordítás energetikai szempontból nem kifizetődő. Az extenzív művelés ugyan környezeti szempontból fenntartható a kedvezőtlen területeken, de a várható alacsony hozamok miatt gazdasági szempontból nem fenntartható. Összegezve tehát a rövid vágásfordulójú, sarjzattas energetikai ültetvények külön-külön megfelelhetnek a gazdasági és a környezeti fenntarthatóság kritériumainak, de mindkettőnek egyszerre nem. A többletráfordítás ugyan magas hozamot hoz(hat), de az energiahányados a hozam (output) növekedése ellenére romlik.

Az analízist és a modellezést megnehezítik a termelési ciklusok közötti különbségek, bizonytalanságok, elsősorban az időjárási viszonyoknak való kitettség. Az ültetvények várható 15-25 éves időtartama miatt további kockázati tényező a klímaváltozás hatása, különösen a magas vízigényű nyár és fűz esetében. Ez a bizonytalanság az ültetvénytelepítésbe történő beruházási kedvet is visszaveti. A termésátlagok értékeitől és a kalkulációkhoz felhasznált adatoktól függően gyakorlatilag bármilyen elmélet igazolható és meg is cáfolható az ültetvényekkel kapcsolatban.

A kiszámítható termelés érdekében a vadvédelmi kerítés létesítése indokolt, azonban a telepítésre szánt tábla mérete, alakja, kitettsége határozza meg a költséget. Vizsgálataim alapján elmondható, hogy a kerítés létesítés fajlagos költségében a táblaméret növekedésével jelentős csökkenés tapasztalható. Az általam vizsgált pénzügyi feltételeknél legalább 5 hektáros, de akár 20-30 hektáros táblaméret megléte teszi indokolttá az építését. Általános érvényű következtetés véleményem szerint nem vonható le.

Az energiaültetvények termékei versenyhátrányban vannak a biomassza melléktermékekkel szemben. Az energetikai céllal előállított biomassza főtermék egy több éves beruházás eredménye, így jobban ki van szolgáltatva a felvásárlási és hasznosítási trendek változásainak és a helyettesítő (mellék)termékek helyzetének. A megtermelt primer biomasszából előállított

villamos energia értékesítése az átvételi rendszernek köszönhetően jelenleg támogatva, a piaci árnál magasabban árszínvonalon történik. A támogatási rendszer, az átvételi ár változása az alapanyag átvételi árakra is hatással van.

A szakirodalomban gyakori elemzés tárgya a primer biomasszatermelés gazdasági-környezeti eredményességének összehasonlítása más szántóföldi növénykultúrákkal. Abból a feltételezésből kiindulva, hogy a biomasszatermelés a szántóföldi növénytermesztésre alkalmatlan területeken indokolt, nem versenytársai egymásnak a földhasználatban, ezért véleményem szerint a viszonyításnak csak elméleti haszna van. A hagyományos erdészeti művelés, illetve az ipari célú hengeresfa előállítása lehet a rövid vágásfordulójú, fás szárú sarjzattatásos energetikai ültetvények konkurensa.

Az elérhető pályázati források és az energetikai ültetvények rendelkezésre álló terméseredményeinek tükrében megfontolandó az ültetvények jövedelmezőségi viszonyainak a felülvizsgálata. Ezek után amennyiben indokolt, a rövid vágásfordulójú, sarjzattatásos ültetvények közepes vágásfordulójú, ipari célú hengeresfa előállítással vagy a hagyományos erdőművelésre való átállással, az erdőgazdálkodásra vonatkozó jogszabályok szerinti újratelepítés lehetőségével, ezek várható ráfordításigényével szükséges kalkulálni.

Gyakran hangoztatott érv a biomassza hasznosítása mellett, hogy a biomassza szén-dioxid semlegesén ég el, mert égése során csak annyi szén-dioxid keletkezik, mint amennyit felvett. Ez véleményem szerint részgazság, mivel a biomassza megtermelése és manipulálása fosszilis energiahordozók felhasználásával történik. A biológiai produktivitásnak köszönhetően a biomassza termelése során a befektetett energia többszöröse térül meg, amiből a hasznosítás során valamennyi hasznosításra kerül. A pontos fogalmazás szerintem: a biomassza égése során keletkező, a későbbiekben hasznosítható energia mennyisége több kell, hogy legyen, mint az alapanyag

előállításához, manipuláláshoz felhasznált fosszilis energia mennyisége. Mivel a biomassza feltételesen megújuló energiaforrás, minden évben újabb fosszilis energia felhasználására van szükség a biomassza előállítására. Feltételesen megújuló energiaforrásként az évenként jelentkező ráfordítás megtérülése a termelés kiszámíthatatlansága miatt mind pénzügyi, mind energetikai kockázatot jelent. Ez versenyhátrányt okoz a hagyományosan megújuló energiaforrások használatával szemben.

A biomasszára alapuló villamosenergia-termelés konverziós hatásfokának javulása a közeljövőben nem várható, szemben a nap- és a szélenergián alapuló villamosenergia-termelés hatékonyságával, ahol a termelés fizikai és nem biológiai alapon történik, termőterület igényük sincsen. Ez hosszú távon a feltételesen megújuló energiaforrások, így a primer biomasszatermelés háttérbe szorulását eredményezheti. Ellentétben a jelentős alapanyagköltséggel üzemelő biomasszára alapozott villamosenergia-termeléssel, a nap- és a szélenergiára alapozott termelés kezdeti beruházási igénye magas, de az éves fenntartási költsége alacsony. A biomassza-termelésnél a változó, elért hozamtól függ az önköltség, továbbá a termelés költsége függ a fosszilis energiahordozók árától (üzemanyag), ami gazdasági-környezeti fenntarthatóság szempontjából is nehezen tervezhetővé teszi az ágazatot.

Megújuló energetikai pályázatoknál, beruházásoknál nem csak a gazdasági, hanem a környezeti fenntarthatóság kritériumának a bevezetése, a termékpályára vonatkoztatott folyamatos nyomonkövetés is indokolt. Jelenleg csak az erőművek emissziós adatait ellenőrzik, beszállítás és az alapanyag előállítás viszonyait nem.

Az Európai Unió eddig is nagy erőfeszítéseket tett a belső energiapiacának egységesítése és liberalizálása érdekében. Az egységesítéssel és az európai hálózatok összekapcsolásával lehetőség nyílik a termelőkapacitások a legoptimálisabb tagországba történő telepítésére, amely



kiválasztásában komparatív és kompetitív tényezők játszanak majd szerepet. A magas költséggel termelő erőművek helyét átvehetik a más tagországok versenyképesebb üzemei. A versenyképesség adódhat az olcsóbb energiaforrás elérhetőségéből, fejlettebb technológia alkalmazásából vagy a kedvezőbb beruházási környezetből. Ez egyaránt vonatkozik a fosszilis és a megújuló energiaforrásokra alapozott energiatermelésre. Ebből kiindulva véleményem szerint engedni, sőt ösztönözni kell azokat a tagországokat, amelyek nagyobb mértékben és fenntarthatóan képesek és hajlandóak ebbe az energetikai iparágba, azon belül is a megújuló energiaforrások használatába fektetni. Megfontolásra javasolnám a szén-dioxid kvótakereskedelem mintájára a megújuló energetikai vállalatokkal való kereskedelem, átvállalás lehetőségét. Ezzel elkerülhető lenne a tagországok kötelező vállalásainak teljesítése érdekében tett kényszerű és esetenként környezeti szempontból kevésbé átgondolt beruházások megvalósulása.

## 5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Az új kutatási eredmények cáfolják azt a szakmai álláspontot, miszerint a rövid vágásfordulójú, fás szárú, sarjzattatásos energetikai ültetvények minden kedvezőtlen adottságú területen eredményesen termesztethető.
2. Számításaim egyértelműen bizonyítják, hogy hosszútávon gazdaságosan csak intenzív termesztési módszerrel és/vagy jó minőségű területeken működhetnek a fűz, nyár és akác energiaültetvény beruházások.
3. Az energiamérleggel kapcsolatos vizsgálatok eredményei alapján kijelenthető, hogy ugyan a fás szárú, sarjzattatásos energetikai ültetvények megfelelnek a gazdasági és a környezeti fenntarthatóság szempontrendszerének, de a két kritérium nem teljesül egyszerre.
4. A vizsgálat eredményei tükrében megállapítható, hogy a feltételesen megújuló primer energetikai ültetvényeken termelt biomasszára alapozott hazai villamosenergia-előállítás a konverziós hatékonyság és a termesztés kiszámíthatatlansága miatt hosszú távon nem versenyképes a hagyományos megújuló energiákkal szemben.

## 6. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

### *Magyar nyelvű tudományos közlemények*

1. Posza B., Borbély Cs. (2015): Trendek és a megújuló energiaforrások felhasználásában. Acta Scientiarum Socialium 44 sz. pp. 81-92.
2. Posza B., Borbély Cs. (2017): Fás szárú, sarjaztatásos energetikai ültetvények gazdasági-környezeti modellje. Gazdálkodás 61. évf. 4. sz. pp. 310-321.
3. Borbély Cs., Posza B. (2018): Az energiatermelés és -felhasználás jövőképe, különös tekintettel az elektromos autók elterjedésére. Követ Egyesület a Fenntartható Gazdálkodásért 23. évf. 1. sz. pp. 11-12.
4. Posza B., Borbély Cs. (2018): A fás szárú energetikai ültetvények szerepének vizsgálata az energiaellátásban. Tér – Gazdaság – Ember 6. évf. 2. sz. (megjelenés alatt)

### *Idegen nyelvű tudományos közlemények*

1. Posza B., Borbély Cs. (2016): Conceptions on sustainable energy. Regional and Business Studies 8. évf. 1. sz. pp. 1-14.
2. Posza B., Borbély Cs. (2018): Sustainability examination of the short rotation coppices. Acta Agronomica Óváriensis 59. évf. 1. sz. (megjelenés alatt)

### *Konferencia kiadványban teljes terjedelemben megjelent közlemények*

1. Borbély Cs., Posza B. (2016): Fenntartható élelmiszer fogyasztás egy pazarló világban. XV. Nemzetközi Tudományos Napok „Innovációs kihívások és lehetőségek 2014-2020 között”, Károly Róbert Főiskola, Gyöngyös, 2016. március 30-31.