

**Atanazovné Dr. Hartung Katalin<sup>1</sup>**

**A KÉK GAZDASÁG FOGALMÁNAK TERMELÉSELMÉLETI  
MEGALAPOZÁSA**

DOI: 10.23715/SDA.2020.1.1

---

<sup>1</sup> Pécsi Tudományegyetem, Közgazdaságtudományi Kar, Regionális Politika és Gazdaságtan Doktori Iskola (2019)



## Tartalomjegyzék

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Szerzői bemutatkozás.....                                                                              | 11 |
| Atanazovné Dr. Hartung Katalin .....                                                                   | 11 |
| A KÉK GAZDASÁG FOGALMÁNAK TERMELÉSELMÉLETI MEGALAPOZÁSA .....                                          | 13 |
| 1. Bevezetés .....                                                                                     | 19 |
| 1.1 A téma jelentősége .....                                                                           | 19 |
| 1.2 A disszertáció induló munkahipotézisei.....                                                        | 22 |
| 1.3 A disszertáció szerkezete .....                                                                    | 23 |
| 2. Irodalmi áttekintés .....                                                                           | 25 |
| 2.1 A természeti környezetbe ágyazott vállalati irányzatok.....                                        | 25 |
| 2.2 A fenntartható termelés vizsgálatának módszerei.....                                               | 36 |
| 2.3 Összegzés .....                                                                                    | 46 |
| 3. LTM modell vs. input-output modell.....                                                             | 49 |
| 3.1 Az LTM modell általános ismertetése .....                                                          | 49 |
| 3.2 Számpélda az LTM modell illusztrálásához .....                                                     | 58 |
| 3.3 Input-output modell.....                                                                           | 60 |
| 3.4 Számpélda az input-output modell illusztrálásához.....                                             | 63 |
| 3.5 Az input-output modell hiányosságai az LTM modellel szemben.....                                   | 65 |
| 3.6 Összegzés .....                                                                                    | 66 |
| 4. A költségminimalizáló vállalat modellje .....                                                       | 67 |
| 4.1 A modell feltevései .....                                                                          | 67 |
| 4.2 A költségminimalizáló vállalat LTM modellje .....                                                  | 72 |
| 4.3 Számpélda a költségminimalizáló vállalat modelljének szemléltetéséhez .....                        | 77 |
| 4.4 A Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalat fogalma .....                                         | 81 |
| 4.5 Összegzés .....                                                                                    | 83 |
| 5. A környezetszennyezést minimalizáló vállalat lineáris modellje .....                                | 85 |
| 5.1 A környezetszennyezést minimalizáló vállalat LTM modellje.....                                     | 85 |
| 5.2 Kitérő: Környezeti határszennyezés és határvesztesség .....                                        | 86 |
| 5.3 A dualitás és a technikai haladás a Kék Gazdaságban.....                                           | 87 |
| 5.4 A modell további vizsgálata.....                                                                   | 89 |
| 5.5 Számpélda a környezetszennyezést minimalizáló vállalat lineáris modelljének szemléltetéséhez ..... | 91 |
| 5.6 Összegzés .....                                                                                    | 95 |
| 6. A környezetszennyezést minimalizáló vállalat nemlineáris modellje .....                             | 97 |
| 6.1 A környezetszennyezést minimalizáló vállalat nemlineáris modellje.....                             | 97 |

|       |                                                                                                                                               |     |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.2   | Szám példa a környezetszennyezést minimalizáló vállalat nemlineáris modelljének szemléltetésére.....                                          | 100 |
| 6.3   | Néhány érdekes eset.....                                                                                                                      | 102 |
| 6.3.1 | Első eset: Az átadásra kerülő melléktermékek optimális szerkezetének vizsgálata.....                                                          | 102 |
| 6.3.2 | Második eset: Az első eset kiegészítése: mi történik, ha az $i$ -edik szennyezőanyagot átvevő vállalat piaci erőfölénnyel rendelkezik.....    | 104 |
| 6.3.3 | Harmadik eset: Szennyezőanyag ártalmatlanításának finanszírozása egy másik szennyezőanyag átvételéből származó bevételből.....                | 105 |
| 6.3.4 | Negyedik eset: A harmadik eset kiegészítése: mi történik, ha a $j$ -edik szennyezőanyagot átvevő vállalat piaci erőfölénnyel rendelkezik..... | 108 |
| 6.4   | Összegzés.....                                                                                                                                | 109 |
| 7.    | Végső összegzés.....                                                                                                                          | 111 |
| 8.    | Függelék.....                                                                                                                                 | 115 |
| 8.1   | (7) – (10) feladathoz írt GAMS program hat alaptevékenység üzemeltetése esetén 148.....                                                       | 115 |
| 8.2   | (7) – (10) feladathoz írt GAMS program hét alaptevékenység üzemeltetése esetén 149.....                                                       | 116 |
| 8.3   | (20) – (24) feladathoz írt GAMS program hat alaptevékenység üzemeltetése esetén 150.....                                                      | 117 |
| 8.4   | (20) – (24) feladathoz írt GAMS program hét alaptevékenység üzemeltetése esetén 151.....                                                      | 118 |
| 8.5   | (33) – (36) feladathoz írt GAMS program hét alaptevékenység üzemeltetése esetén 152.....                                                      | 119 |
| 8.6   | (48) – (51) feladathoz írt GAMS program hét alaptevékenység üzemeltetése esetén 153.....                                                      | 120 |

*„Ha azt hiszed, hogy a gazdaság fontosabb, mint a környezet,  
akkor tartsd vissza addig a lélegzetedet, amíg számolod a pénzedet!”  
/Janez Potočnik EU környezetvédelmi biztos/*

## **Előszó**

### **Előzmények**

A fenntarthatóság témakörével és a Kék Gazdasággal mélységeiben a MA tanulmányaim végén ismerkedtem meg. 2011-ben avatták Gunter Paulit a Pécsi Tudományegyetem díszdoktorává, a Kék Gazdaság koncepció megalkotóját. E jeles esemény után fogalmazódott meg az egyetem vezetőiben az a gondolat, hogy a Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Karán megszervezzék – a világon egyedülállóan – a Kék Gazdaság Nyári Egyetemet angol nyelven, ahol a témában jeles külföldi és helyi oktatók tartanak előadásokat hallgatóknak, üzletembereknek, vállalkozóknak és tanácsadóknak. Az első nyári egyetemen, 2012-ben, még csak önkéntesként segítettem a program szervezésében, majd a következő években már egyik fő szervezője voltam az eseménynek. 2015-ben kaptam meg a Kék Gazdaság szakértői (Blue Economy Expert) minősítést, mely évben már előadója is voltam a nyári egyetemnek. A Közgazdaságtudományi Kar angol alapképzés előkészítőjén részt vett külföldi hallgatók részére, illetve a Janus Pannonius Közgazdasági Szakkollégium hallgatói részére tartottam egy-egy féléves kurzust a Kék Gazdaságról. A kutatási témámhoz inspirációt és lelkesedést ez idő alatt gyűjtöttem. A szakirodalomban csekély hivatkozást találunk a Kék Gazdaságról, illetve Pauli (2010) könyve holisztikus megközelítésből tárgyalja a Kék Gazdaság jelentését gyakorlati példákon keresztül, közérthető módon, ezért célul tűztem ki, hogy a témakört alaposan körbejárjam, és a mainstream közgazdaságtan fogalmi keretei közt elsőként fogalmazom meg, hogy mit értünk a Kék Gazdaság koncepció alatt. A témában eddig megírt publikációimat felhasználva készítettem el a disszertációm. Az első három cikkem a Scientific and Educational Forum of Business Information Systems<sup>2</sup>, az Energy Procedia<sup>3</sup>, illetve az Open Journal of Social Sciences<sup>4</sup> folyóiratban jelentek meg. A Szigma<sup>5</sup> c. folyóiratában került közlésre a téma első szakirodalmi áttekintése, majd a Hitelintézeti szemlében<sup>6</sup> jelent meg egy tanulmány a Kék Gazdaság modelljéről. Ezeket a gondolatokat tovább finomítva készült el egy angol nyelvű kézirat, amit egy A kategóriás nemzetközi folyóiratban kívánok publikálni. Az utóbbi kézirat tartalmazza a Ph.D. disszertáció érdemi részét. Nagy felelősséggel és izgalommal töltöttem el, hogy az első disszertációt védem meg ebben a témakörben, mely reményeim szerint nagy érdeklődésre tesz szert mind hazai, mind nemzetközi szinten.

---

<sup>2</sup> Hartung, K (2013): Carbon dynamics: Ever going to stop increasing? Scientific and Educational Forum of Business Information Systems (SEFBIS), No. VIII., Vol. I. pp.15-23.

<sup>3</sup> Hartung K. - Kiss T. (2014): Time for Change! Decentralized Energy System on the Hungarian Market. Energy Procedia, 52, pp.38-47.

<sup>4</sup> Hartung K. (2016) Linear Activity Analysis of Production for Closed-Loop Businesses—Case Study of a Hungarian Apple Juice Factory Open Journal of Social Sciences, 4. évf., 5. sz., DOI: 10.4236/jss.2016.45007

<sup>5</sup> Hartung K. (2016): Természeti környezetbe ágyazott vállalatok, és termelésük módszertani szakirodalmának áttekintése. Szigma, 1-2, 63-77.

<sup>6</sup> Hartung K. (2017): Nulla hulladék elvet követő vállalat: fókuszban a belső elszámolóár, a forgóeszközhitel és a környezetvédelmi bírság. Hitelintézeti Szemle, 16 évf. 3. szám, 98-118.

Köszönettel tartozom az alábbi személyek szakmai segítségéért:

- Dr. Bessenyei Istvánnak,
- Dr. Hajnal Klárának,
- Dr. Kiss Tibornak és
- Gunter Paulinak;

valamint elő-opponenseimnek:

- Dr. Dobos Imrének és
- Dr. Révész Tamásnak.

## 1. Bevezetés

### 1.1 A téma jelentősége

A múlt évezred második felében megjelenő és egyre mélyülő környezeti válság kezelése és okainak feltárása során nyilvánvalóvá vált, hogy komplex globális válság van kibontakozóban. A társadalmi, gazdasági és környezeti krízis elemzésének első tudományos kutatási kísérlete a Massachusetts Institute of Technology-ben lezajló „The Limits to Growth” (Meadows, 1972) volt. A Meadows csoport által ismertté vált World Dynamics (Forrester, 1971) számítógépes programjának továbbfejlesztésével elkészült világhírű modellre, amely a problémakutatás első komplex rendszerben végzett tudományos kutatása és publikációja, mai napig úttörő munkaként tekintünk.

A Meadows jelentés megfogalmazza, hogy egy anyagi szinten véges bolygón nem lehetséges végtelen fizikai növekedés. A világnépesség, a termelés és a fogyasztás exponenciális növekedése eléri a Föld eltartó képességének a határát és súlyos összeomlás várható. A modell számos további kutatást eredményezett, kimondva a modern ipari termelés fenntarthatatlanságának állapotát, és választ keresve létrejött a „fenntartható fejlődés” koncepciója. A United Nations által létrehozott Brundtland Bizottság 1987-ben fogalmazta meg, majd a Környezet és Fejlődés Világkonferencia Rio de Janeiro-ban, 1992-ben a világpolitika rangjára emelte, s így definiálta: *„olyan fejlődés, mely kielégíti a jelen generáció szükségleteit anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő generációk esélyét arra, hogy ők is kielégíthessék szükségleteiket”* (Agenda 21, 1993).

A fenntartható fejlődés az Európai Unió, illetve Magyarország fejlesztési stratégiájának elméleti alapja. Ezek a dokumentumok például az alábbiak: az Európai Unió Fenntartható Fejlődés Stratégiája 2001, Göteborg; a Nemzeti Fenntartható Fejlődési Stratégiája 2007, Budapest; és a Nemzeti Fenntartható Fejlődési Keretstratégiája 2013, Budapest (UN, 2018; NFFT, 2018).

#### **A fenntartható fejlődés fogalmának értelmezési problémái: fejlődés vagy növekedés?**

Szlávik (2013) szerint a fenntarthatóságot három dimenzióban értelmezhetjük: a gazdaság, a természet és a társadalom összefüggésében. Ennek a három dimenzióknak kell harmóniában lennie. A szerző szerint ezt úgy érhetjük el, ha takarékosan hasznosítjuk az erőforrásainkat, megőrizzük a környezet értékeit és elkerüljük a környezet degradációját. Hajnal (2006) tanulmányában olvashatjuk ugyanakkor, hogy a fejlődés fogalmát eddig olyan típusú növekedéssel azonosították, mely gyorsabban, nagyobb, többet, újabbat jelent. A szerző szerint azonban a fejlődésnek alapvetően minőségi változást kell magában hordoznia, amely egy teljesebb, összetettebb rendű, magasabb szintű minőségi állapot felé irányuló elmozdulást jelent. A fenntartható fejlődés, így a fenntartható termelés koncepciója is csak egy paradigmaváltás nyomán jöhet létre. Szlávik (2013) szerint az eredeti magyar fordítása a „sustainable” szónak „harmonikus”. Ebből következik, hogy a „harmonikus fejlődés”-nek egyensúlyt kell teremtenie a három fenntarthatósági dimenzió között. Gyulai (2012 in Szlávik 2013) is megerősíti ezt. Szerinte a fenntarthatóságra nem is lehet törekedni, hiszen a társadalom, a gazdaság és a környezet is állandó változásban van. A változásokhoz pedig folyamatosan alkalmazkodni kell. Megoldást abban lát, ha a rendszerek működési elveit felismerve azzal megegyező módon viselkedünk. Takács-Sántha (2007) a környezeti válságból való kiútra keresi a választ tanulmányában. Véleménye szerint a környezeti problémák kultúránk értékeiben, alapvető meggyőződéseinkben gyökereznek, másképp fogalmazva a probléma az uralkodó világnézetben vagy

paradigmában keresendő. Ezt szükséges megváltoztatni ahhoz, hogy az új ökológiai paradigma<sup>7</sup> teret nyerjen, s hatással legyen a gazdaság, a társadalom és a környezet egészére. Erről írt korábban Polányi (1976) is, miszerint az uralkodó világnézet hibás értékrenden és elméleteken alapul. Ahhoz hogy változtassunk ezen, tudatunk reformjára van szükség. A három dimenzió (gazdaság, társadalom és természet), illetve pillér modellek problémája, hogy egyenrangú, egymás mellé rendelt alrendszerek, amelyek egy olyan paradigmában vannak értelmezve, amelyben a gazdaságba ágyazottan létezik a társadalom, a természet pedig teljesen alárendelt szerepet kap (Hajnal, 2010). Ennek következtében a természet gyakran, mint erőforrás és hulladéklerakó funkcionál, illetve mint „eladható termék” a turizmus iparágban.

A legtöbb fenntartható fejlődés értelmezés ebben a modellben gondolkodik, tehát olyan modellben, amely létrehozta a fenntarthatatlan világot, a globális és komplex krízist. Ez súlyos ellenmondás és tudománytalan megközelítés. Azonban a jelenlegi paradigmából a valóban fenntartható fejlődés (három dimenzió együttműködését jelenti) megvalósítása felé tartó folyamatban a jelenlegi fenntarthatósági irányzatok „köztes” modellként megfelelő, ám csak a fenntarthatósághoz vezető utat jelöli ki, nem azonosítható a teljes fenntarthatósággal. A természet, a társadalom és a gazdaság egyenrangú három dimenzióként való értelmezése fejlettebb értelmezés, mint a gazdaságba ágyazott társadalom és alárendelt természet modellje. A rendszerelméletileg megalapozott fenntartható fejlődés koncepcióját csak folyamatosan, átmenetet képezve lehet megvalósítani, térben és időben egyaránt.

A természet, a társadalom és a gazdaság egymáshoz való viszonyát a természetes hierarchia határozza meg. A természet törvénye szerint az élő rendszerek csak hierarchikusak tudnak lenni (Hajnal, 2010). A természet minden élet forrása, az emberi létezés minden feltételének a biztosítója, létfenntartó rendszer, ezért csakis kizárólag főrendszer helyzetben lehet. Tehát minden döntés prioritása kell, hogy legyen. A gazdaság pedig az ösztársadalmi érdek szolgálatán keresztül kell önmaga érdekeit, azaz tisztességét, illetve méltányos profitját biztosítani (Polányi, 1976, Perman et al., 2011).

A Kék Gazdaság a „tökéletes fenntarthatóság” modellje, amelynek verifikálását nehéz a nem fenntartható gazdaságtan módszereivel elvégezni. Az értekezésben mégis kísérletet teszek arra, hogy bemutassam a Kék Gazdaság modelljét a régi paradigma fogalomkörét felhasználva, felvállalva azt a kockázatot, hogy a magyarázathoz szükséges, megkonstruált modell képtelen lesz a „tökéletes fenntarthatóság” illusztrálására. Az új paradigma módszertanának kidolgozásával még adós a szakirodalom.

Az átmenet lényege, a régi és új paradigma között, hogy minimalizálja, esetleg nullázza a termelés során keletkezett környezetszennyező hulladékok mennyiségét, mint veszteség, illetve a környezetszennyezési bírságok költségét. Ez a jelenlegi paradigmán belüli szándék, illetve törekvés. A Kék Gazdaság alapja ugyanakkor a zéró környezetszennyezés, mely ideológiának nem része a bírság. Ennek megvalósításához azonban megfelelő technológia szükséges.

A fenntartható fejlődés megvalósításának meghatározó alapja a technológiai váltás és az ahhoz igazodó gazdasági szerkezetváltás, térben és időben egyaránt. Egy teljes gazdasági szerkezet váltásról van szó. A globális termelés és a globális fogyasztás helyett lokális-regionális termelés és fogyasztás szükséges. Bárhol termelhető termékek és azoknak a világszinten történő terjesztése nem támogatja a fenntarthatóságot (Hajnal, 2010; Pauli, 2010). Ezt a váltást egyik napról a másikra kivitelezni szinte lehetetlen.

---

<sup>7</sup> Bővebben olvashatunk a témáról: Dunlap, R.E. - van Liere, K.D. – Mertig, A.G. – Jones, R.E. (2000): Measuring endorsement of the New Ecological Paradigm: A revised NEP scale. *Journal of Social Issues*, 56, pp. 425-442.



Az ipari forradalom óta elterjedt gazdasági technológiákra általánosan jellemző, hogy nem kompatibilisek ahhoz a természeti környezethez és társadalomhoz, amelyekben működnek, léteznek. A meglévő ipari technológiákat kiöregedésig használják, melyből jelentős környezeti problémák és társadalmi konfliktusok keletkeznek. A modern ipari gazdaság lineáris folyamatokban gondolkodik, és nem körforgásos rendszerekben, mint a természet. A gazdaságon belüli körforgásos ipari rendszerek megvalósításához szükséges gazdasági szerkezetváltást szintén nem lehet egyik napról a másikra megoldani. Ugyanakkor az értekezésben bemutatott Kék Gazdaság koncepcióval szeretném inspirálni a befektetőket arra, hogy amely befektetés most kockázatosnak tűnik, az holnap nem az, hiszen már most a társadalmi felelősségvállalás és a zöld imázs tevékenység oldalán pozitív és megtérülő előnyként elkönnyvelhető.

### **A Kék Gazdaság lényege**

A létfenntartó bioszférában alrendszerként létező gazdaságnak kompatibilisnek kell lennie az ökoszisztémák szerveződési és működési modelljével, a természet logikáját követve (Hajnal, 2006). A bioszféra evolúciója során önszervező és önszabályozó folyamatokban valósítja meg az anyag ciklikus változását, körforgását. A természetben optimális hatékonysággal hasznosul minden. Az evolúció során a fajok lét- és fajfenntartása egyre nagyobb hatékonysággal megy végbe és az erre való törekvés az evolúció egyik mozgatórugója (Borhidi, 1997).

A Kék Gazdaság, mint új paradigma modellje abban nyilvánul meg, hogy nem a piaci szabályozókhoz, hanem a létfenntartó bioszféra önszabályozó folyamataihoz igazodik. A több milliárd éves önszabályozó folyamatok hatékonyak, tökéletesek és evolúciós törvények irányítják. Az emberi rendszereknek meg kell tanulni a természetet tiszteletben tartani, le kell modellezni a működési folyamatokat és a szerint termelni. Pauli (2010) számos technológiai újítást mutat be könyvében, ezáltal potenciális üzleti lehetőségeket felkínálva a gazdasági szereplők számára. Ezek az újítások a természet törvényeit utánozzák egy termék előállításához, illetve a meglévő infrastruktúrákat használják fel kreatív módon ahhoz, hogy regionális szinten kielégítsék az emberek alapvető szükségleteit. A Kék Gazdaság fontos rendezőelve a lokalitás. Ennek a lényege, hogy az erőforrásokat helyben dolgozzák fel, helyi munkaerővel, nagyrészt helyi fogyasztásra. Ez történhet tradicionális, vagy teljesen új, Kék technológia segítségével. A lokalitás értelemszerűen vonatkozhat kisebb-nagyobb régióra is. Ennek eredményeképpen jelentősen csökken a nyersanyag és a késztermék szállításának költsége, illetve a környezetszennyezés mértéke is. Az externáliák problémájának egyik leghatékonyabb, komplex kezelése, mivel a három dimenzió érdekeit együttesen kezeli. További előny, hogy a helyi munkaerő nagyobb felelősséget érez a saját munkájával szemben, átlátja a helyi folyamatokat, kreatívabban vesz részt a munkában, valamint több időt tud tölteni a családjával és a helyi közösségekkel. Fontos már most hangsúlyozni, hogy a Kék Gazdaság szerint nem cél minél többet termelni, mind inkább a természettel összhangban, a fogyasztók alapvető szükségleteit előteremtési veszteség, azaz a természetre káros anyag kibocsátása nélkül. Ennek értelmében a zéró emisszió, illetve a minimális emisszió gazdasági előnyét kell igazolni a jelenlegi piaci működés keretei között. Hiszen ezzel a ténnyel belátják a piaci szereplők, hogy alrendszerként gondolkodva is gazdaságos a Kék Gazdaság modellje.

A Kék Gazdaságot az alábbi módon határozom meg röviden (a bővebb definícióra, és a részletes bemutatásra az második fejezet tér ki): *a Kék Gazdaság jellemzői, hogy nem termel hulladékot, nincs károsanyag kibocsátása, mégis munkahelyeket teremt, helyi erőforrásokat használ fel az alapvető szükségletek kielégítéséhez, társadalmi tőkét épít, és megvalósítása nem jár magasabb költséggel.* Az

értekezésben a Kék Gazdaság egyik jellemzőjét, a nulla-hulladék kibocsátására való törekvését elemzem. A többi jellemző vizsgálata, illetve azok modellben történő szerepeltetése a jövőbeni kutatásaim közt szerepelnek.

A paradigmaváltás lényege tehát az ökológiai rendszerszemléletben való gondolkodás, és végső soron a bioszféra valamennyi élőlénye és embere számára egészséges Föld a cél.

### **A disszertáció jelentősége**

A disszertáció célja a még kevésbé kutatott Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalatot a mainstream közgazdaságtan fogalmi keretei közt meghatározni, leszűkítve a vizsgáldás fókuszát a termeléselmélet területére. Az elemzés megkezdéséhez, először kifejtem mit értünk Kék Gazdaság alatt és ennek meghatározásához milyen módszertani keret használható. Jelenleg nincs olyan fogalmi rendszer és módszertani apparátus, ami a régi és új paradigma közti átmenet magyarázatára megfelelő lenne. Ennek tudatában vállalom fel egy felelősségteljes kutatást, és az azzal járó lehetséges hiányosságokat is egyben. A jelen értekezés módszertani újítása, hogy javasolja a Kék Gazdaság típusú vállalat problémájának vizsgálatára a lineáris tevékenységelemzési modell (LTM) használatát, mely alkalmas eszköznek bizonyul az ilyen típusú vállalatok leírására is. Célom eléréséhez először is megkonstruálok az általánosan ismert költségminimalizáló vállalat modelljét az LTM modell keretei közt. Ez azért szükséges, mivel ennek segítségével mutatom be egy hagyományos vállalat működését, ahol figyelembe veszem a termelés körforgásos jellegét és a szennyezőanyag-kibocsátásra tett korlátot. Ebben a modellben újszerű megállapításokat teszek. Ilyen például, hogy a szennyezőanyag-kibocsátást korlátozó feltételhez tartozó árnyékárra úgy tekinthetünk, mint a hatékony környezetszennyezési bírság alsó korlátjára. A következő újszerű megállapítás, miszerint 'egy vállalat csak akkor lehet nyereséges, ha legalább egy esetben szennyezőanyag-kibocsátása eléri a pozitív kibocsátási korlátot', enged arra következtetni, hogy a Kék Gazdaság típusú vállalat célja jelen piaci körülmények között a környezetszennyezés minimalizálása. Bár a Kék Gazdaság a zero emissziót támogatja, megfelelő technológia hiányában, mint az értekezésből is kiderül, a termelő vállalat nem lehet nyereséges. Ezért konstruálok meg a környezetszennyezést minimalizáló vállalat LTM modelljét, mely modell a Kék Gazdaság ideológia megvalósítására irányul. Az új modell megalkotásával lehetőségem lesz a két vállalati modell viselkedésének összehasonlítására, melyből további érdekes következtetéseket vonhatok le. Ezen következtetéseket az értekezés későbbi fejezeteiben ismertetem.

Modellem egy „köztes” modellként megfelelő, de csak a fenntarthatóság felé vezető utat jelöli ki. Ez még nem a „tökéletes fenntarthatóság” modellje, csupán átmenetet képez az uralkodó paradigmától az új paradigma felé. Egyben lehetőséget biztosít arra, hogy igazoljam a döntéshozók és vállalatvezetők számára, hogy a Kék Gazdaság modell megvalósítása egy lehetséges, megtérülő befektetés.

### **1.2 A disszertáció induló munkahipotézisei**

(H1) A lineáris tevékenységelemzéssel jobban modellezhetők a környezetgazdasági problémák, mint az input-output modellel.

(H2) Az LTM modell alkalmas a Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalat egzakt leírására.

(H3) Az LTM modell kerete megfelelő kiinduló pontként szolgál nemlineáris környezetgazdasági vizsgálatokhoz, a kvázi Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalat esetében is.

### 1.3 A disszertáció szerkezete

A disszertáció nyolc fő fejezetre tagolódik. Ezeknek a fejezeteknek a felépítése az alábbi módon alakul. Az *első fejezet* a témaválasztást indokolja, és annak jelentőségét mutatja be. A *második fejezet* az irodalmi áttekintést tartalmazza, mely arra törekszik, hogy bemutassa a Kék Gazdaság koncepciót és az ahhoz hasonló fenntartható fejlődés egyes irányzatait, valamint áttekintést adjon a fenntartható fejlődés elemzéséhez használt módszertani eszközökről. A *harmadik fejezet* a disszertációhoz felhasznált módszertant kívánja ismertetni úgy, hogy érvel amellett, miért nem a szakirodalomban elterjedt és gyakran használt input-output módszert használja. Pauli (1998) az input-output modell egy variációját javasolja a Kék Gazdaság típusú vállalatok elemzéséhez, azonban módszertani megalapozás nélkül. Ezért a fejezetben a megfelelő érvelés alátámasztásához, először is egy általános vállalaton keresztül mutatom be a lineáris tevékenységelemzési modell módszertanát, majd ismertetem az input-output modellt is. A fejezet végén amellett érvelek, hogy mikroszinten miért alkalmasabb a lineáris tevékenységelemzési modell a probléma felírásához, mint a Kék Gazdaság kidolgozója által javasolt input-output modell változata. A *negyedik fejezetben* bemutatom a költségminimalizáló vállalat modelljét, mely modell egy általánosan ismert LTM, azonban itt a díjmentes lomtalanítástól eltekintek. A modellben figyelembe veszem ugyanakkor a termelés körforgásos jellegét, valamint figyelembe veszem a vállalat káros szennyezőanyag-kibocsátására tett megkötéseket is. Felírásra kerül a vállalat primális és duális feladata, amin keresztül magyarázom a vállalat viselkedését. A fejezetben definiálom a Kék Gazdaság típusú vállalatot, és rávilágítok arra, miért szükséges áttérni a környezetszennyezést minimalizáló vállalat, azaz a kvázi Kék Gazdaság típusú vállalat vizsgálatára a továbbiakban. Így az *ötödik fejezetben* tárgyalom a környezetszennyezést minimalizálni törekvő vállalat modelljét LTM környezetben, mely modell „köztes modellként” értelmezhető a Kék Gazdaság elveihez illeszkedő tökéletes fenntarthatóság felé vezető úton. A fejezetben a primális és duális feladatpárok segítségével magyarázom a vállalat működését, és összehasonlítom a negyedik fejezetben tárgyalt költségminimalizáló vállalat viselkedésével, valamint újra definiálom a technikai haladás fogalmát a Kék Gazdaság koncepciójának megfelelően. A *hatodik fejezet* feladja az előzőekben tárgyalt környezetszennyezés minimalizálására törekvő vállalatnál feltételezett modell linearitását, hiszen feltevésem szerint a valóságnak jobban megfelel, ha nemlineáris viszonyt feltételezek az egyes szennyezőanyagok kibocsátása és környezet állapota között. Az új NLP modellt ismertetem, s ennek segítségével magyarázom a vállalat viselkedését. A fejezet későbbi részében néhány érdekes eset kerül ismertetésre, mely a nemlineáris modellhez kapcsolódik. Ilyen eset például, ahol bemutatom a társvállalatok számára átadásra kerülő melléktermékek optimális szerkezetét kétféle szennyezőanyag-kibocsátása esetén. Továbbá megvizsgálom, hogy mi történik akkor, ha a szóban forgó vállalat piaci erőfölénnyel rendelkezik. Végül arra keresem a választ, hogy vajon milyen célra használja fel vállalatunk a piaci dominanciáját. A modellalkotás során az általánosan ismert modelltől haladok a saját konstrukció felé. Az értekezésben Dinkelbach és Rosenberg (1994) tankönyvi számpéldája alapján bemutatok egy-egy példát a 4-6. fejezethez, amit a GAMS software-ben lefutott eredményekkel és ábrákkal illusztrálok. A *hetedik fejezet* a záró megjegyzéseket tartalmazza, a hipotézisek igazolását és a további kutatási irányokat jelöli ki. Az utolsó, *nyolcadik fejezetben* a függelékét találjuk, mely 4-6. fejezethez használt számpélda GAMS nyelven megírt programozási feladatait tartalmazza. Végezetül a disszertációt a felhasznált irodalom ismertetésével zárom le.



## 2. Irodalmi áttekintés

A második fejezet célja a Kék Gazdaság koncepció ismertetése néhány másik fenntartható fejlődési irányzat fogalmával együtt azért, hogy ezek fényében a disszertáció középpontjában elhelyezkedő koncepcióról pontos képet kapjon az olvasó. Ezeket az irányzatokat a közgazdaságtan és a menedzsment témaköre alá sorolom be, melyeket részletesen az 2.1 pont tárgyal. Az alfejezet továbbá törekszik egy átfogó áttekintést nyújtani a vállalatok környezetszennyező, illetve környezetvédelemre irányuló tevékenységével kapcsolatban. A fejezet másik célja, hogy bemutassa a fenntarthatóság területén leggyakrabban használt módszertani apparátusokat, a teljesség igénye nélkül, amelyről a 2.2 pontban szövegek. Ezt azért tartom fontosnak, hogy alátámasszam, hogy az értekezésben felhasznált módszert még alig használták a fenntarthatóság területén. A fejezetet végezetül egy összegzés zárja le. Az irodalmi áttekintés alapján Hartung (2016) tanulmánya adja.

### 2.1 A természeti környezetbe ágyazott vállalati irányzatok

A fenntartható fejlődés irányzatai közül, a közgazdaságtan témaköre alatt a Kék Gazdaság koncepciót /angolul: blue economy/ (Pauli, 1998; Bocken és társai, 2014) és a körforgásos (más fordításban körkörös) gazdaságot /angolul: circular economy/ tárgyalom, mely esetben eltér a klasszikus közgazdaságtan értelmezésétől (Genovese és társai, 2015). A menedzsment témaköre alatt pedig kitérek a tisztább termelésre /angolul: cleaner production/ (Rahim és Raman, 2015), a „3 R” elv<sup>8</sup>-re, amit a termelési folyamat során keletkezett hulladék kezelésénél alkalmaznak /angolul: Reuse, Reduce, Recycle/ (Su és társai, 2013), és a zárt ellátási láncra /angolul: closed-loop supply chain/ (Bocken és társai, 2014). A könnyebb hivatkozás érdekében, a továbbiakban a fenti irányzatokat követő vállalatokat gyűjtő néven „természeti környezetbe ágyazott vállalatok”-nak<sup>9</sup> nevezem, mint ahogy az már az 2.1 pont címében megjelenik, kiemelve egy közös tulajdonságukat: mindegyik irányzat törekszik a természeti erőforrásokkal való hatékonyabb és a fenntartható gazdálkodásra. A természeti erőforrások megőrzéséről olvashatunk a Nemzeti Fenntartható Fejlődési Keretstratégiában<sup>10</sup>, mely stratégia célja figyelembe venni a gazdálkodások korlátjaként a környezet eltartó képességét. A természeti erőforrásokra szinonimaként használják gazdasági környezetben a természeti tőke kifejezést. Perman és társai (2011, 86. p.) a természeti tőke alatt a világ összes természeti erőforrásait értik (ilyen a levegő, a víz, a termőföld, és az erdő például). Ennek a megőrzése nélkülözhetetlen az emberi létezéshez, hiszen minden szolgáltatás alapját ebből származtatjuk, mint például a fűtéshez használt növényeket, az építőanyagokat, az ételek és a gyógyszerek alapanyagait. A „természeti környezetbe ágyazott vállalat” gyűjtő név használata felhívja a figyelmet arra, hogy a vállalatoknak a természettel összhangban kell folytatni tevékenységeiket, mely tevékenységek nem

<sup>8</sup> „3R” elv elnevezés az alábbi három angol szó első kezdőbetűjéből tevődik össze: reduce (csökkent), reuse (újrafelhasznál), recycle (újrahasznosít).

<sup>9</sup> A fogalom saját ötlet, azonban némi hasonlóságot mutat Polányi (1976, 131. p.) „a társadalomba ágyazott gazdaság” és Kiss (2005) a természetvezérelt vállalat kifejezésével. Ugyanakkor a fogalmak tartalmi jelentése eltér, mely különbségre az értekezésben később ki is térünk.

<sup>10</sup> A Nemzeti Fenntartható Fejlődési Keretstratégia további célja a megújuló természeti erőforrások védelme, az embert érő környezeti terhelések csökkentése és a nem megújuló természeti erőforrásokkal való ésszerű gazdálkodás (Bartus, 2013).

kizsákmányolóak<sup>11</sup>, hanem tiszteletben tartják a természet regenerációs folyamatait. A gyűjtőfogalom összhangban van a bevezetőben említett szakirodalmak elképzeléseivel, melyek lényege, hogy a társadalom a természettel harmóniában levő gazdálkodást folytat, ügyelve arra, hogy a vállalatok nyereséges működésük mellett megőrizzék a természeti tőkét, és ezzel egyidejűleg a társadalom fenntartható módon szervezze életét (Polányi, 1976; Hajnal, 2006; Szlávik, 2013).

A természeti környezetbe ágyazott irányzatok a környezettudatos vállalati működés gyakorlati megvalósítására keresik a választ, állítják Bocken és társai (2014), továbbá Sauvé és társai (2016). Bocken és társai (2014) szerint a fenntarthatósággal foglalkozó irányzatok közti különbségek gyakran tisztázatlanok, ezért szükséges az ezek közötti kapcsolatok áttekintése. A következőkben tehát néhány fenntarthatósággal foglalkozó irányzatot tekintek át a Kék Gazdasággal a középpontban.

### **Közgazdaságtan témaköre alá tartozó fenntartható fejlődési irányzatok**

A *Kék Gazdaság* gyökerei 1994-re vezethetők vissza, amikor Gunter Paulit és a United Nations University akkori rektorát, Prof. Dr. Heitor Gurgulino de Souza-t kinevezték egy kutatócsoport vezetésére Tokióban, mely kutatócsoport neve „Zero Emissions Research Initiatives (ZERI)”. A kutatócsoport célja az volt, hogy olyan tudományos eredményeket, ötleteket, víziókat fogalmazzanak meg konkrét alkalmazható projektekből, melyek a termelővállalatok CO<sub>2</sub> kibocsátását csökkentik. Ennek az intenzív munkának az eredményeként új technológiákat és új üzleti modelleket javasoltak, melyek vélhetőleg a társadalmat a fenntarthatóság irányába mozdítják. Pauli (2010) ennek az intenzív kutatásnak eredményeként fogalmazta meg a Kék Gazdaság koncepció alapjait.

A Kék Gazdaság elsődleges célja utánozni a természet újrahasznosító és értéknövelő tevékenységeit azért, hogy innovatív módon megtalálja hol és milyen módon lehet a termelési folyamataink során keletkezett hulladékokat ismét felhasználni. Ennek értelmében, a vállalatoknak „nulla hulladék” kibocsátására kell törekedni. Ezen elmélet alatt Pauli (1997, 113. p.) az alábbiakat érti: *minden kibocsátást figyelembe vesz a termelő vállalat, mindent újrahasznosít, és így nincs környezetszennyezése*. Pauli (1998) egy későbbi könyvében ugyanakkor arra hívja fel a figyelmet, hogy egy vállalat önmagában képtelen a nulla hulladék-elv megvalósítására saját termelési rendszerének keretein belül, ezért a vállalatok közti együttműködést nélkülözhetetlennek tartja. Ennek következtében a Kék Gazdaság csakis vállalati klaszterekben lehetséges, ahol az egyik hulladéka, a másik erőforrását képezi. A vállalatok így az egymás között folytatott félkész termék és melléktermék kereskedelemben – beleértve a szennyezőanyagokat is – kihasználják az ipari heterogenitásból adódó lehetőségeiket. Azon vállalatok, melyek a Kék Gazdaság elveit alkalmazzák, a hulladékra, mint lehetséges termelési inputra tekintenek, ahogy azt a természet is teszi. Itt jelenik meg a termelés körforgásos jellege, amit az értekezésben tárgyalt modellekben megjelöltük (ld. a 3.1 és a 4.1 pontban).

A Kék Gazdaság koncepció tágabb értelemben arra is kitér, hogy a termelő vállalatok elsődleges célja a társadalom alapvető szükségleteinek kielégítése. Olyan vállalatok üzemeltetését támogatja, melyek káros szennyezőanyag-mentes tevékenységeket folytatnak, helyi erőforrásokra alapozzák termelésüket, s az esetleges melléktermékeket más eljárásokban hasznosítják, ezáltal újabb munkahelyeket teremtve (ezáltal megszüntetve az elvándorlás és az elnéptelenedés problémáját). A gazdasági rendszer erőforrás igénye elsősorban a regionálisan elérhető erőforrásokra és regionálisan

<sup>11</sup> Nem a Marx-i értelemben, ahol csak az emberi munka teremt értéket. A modern közgazdaságtan szerint bármely termelési tényezővel, így akár a természeti erőforrással is előfordulhat kizsákmányolás, ha például a természeti erőforrás díjazása elmarad annak határtermék-értékétől (Kopányi, 1993).

meglévő tudásra alapoz, ezzel növelve a rendszer hatékonyságát és fenntarthatóságát. Ha egy régióban több évtizedes hagyománya van az állattenyésztésnek, akkor erre az iparágra berendezkedett régió felhalmozódott eszköz és tudástárát kell továbbra is felvirágoztatni, s nem pedig egy teljesen újszerű tevékenységet bevezetni.

A 2010-ben megjelenő Kék Gazdaság című könyv (Pauli, 2010) olyan innovációkat, üzleti modelleket és technológiákat összesít – menedzsment megközelítésből –, melyek a gazdasági életre képezik le a természetben tett megfigyeléseket betartva a fizika törvényeit. Ezen üzleti lehetőségek nem szorulnak állami támogatásra vagy adókedvezményre, hiszen anélkül is életképesek. Ez tovább erősíti azt a gondolatmenetet, miszerint a természetben sem maradnak fenn az életképtelen egyedek, így a gazdaságban is versenyhátrányt szereznek a veszteséges vállalatok, s végül kiszorulnak a piacról.

A Kék Gazdaság koncepció arra tesz kísérletet, hogy a társadalmi, a gazdasági és a környezeti komplexitást egyszerre vegye figyelembe, s a technológiajavulást ösztönözze, ami később az értekezés 5.3 pontjában bizonyításra kerül. A Kék Gazdaság olyan technológiák alkalmazását támogatja, melyek nem bocsátanak ki károsanyagot a természetbe, és nem célja olyan termelő rendszerek üzemeltetése, melyek pusztán a hulladék eltakarítás miatt jöttek létre (pl. hulladékégetők). A gazdasági rendszer fenntarthatóságát abban látja, ha a gazdasági szereplők az ökoszisztémából gyűjtenek inspirációt, s megváltoztatják jelenlegi hulladéktermelő tevékenységüket és fogyasztási mintázatukat. Túlléptünk azon a ponton, hogy a régi modell segítségével magyarázzuk a gazdasági rendszer működését, a tökéletes fenntarthatóság megvalósításához most a kreativitás segítségével kell új módszereket és üzleti modelleket létrehozni.

A 2000-es években sokat hallhattuk a zöld gazdaság fogalmát, ami egy átmenetet kívánt képezni az ipari forradalomtól domináns gazdaságból, mely nagymértékben a szennyező fosszilis energiahordozókra hagyatkozva kizsákmányolja a természeti erőforrásokat és környezetszennyezést okoz. A zöld gazdaság elterjedése elsősorban a csővégi megoldásokat vezette be a gazdaságba, radikális megújulást nem hozott (ilyen például az újrahasznosítható papírba történő csomagolás). A zöld gazdaság modellje arra ösztönözte a vállalatokat, hogy áldozzanak több pénzt környezetvédelmi tevékenységekre, de gyakorlatilag a környezet állapota változatlan maradt vagy még rosszabbra fordult. A fogyasztók pedig, a vállalatok környezetvédelmi tevékenységéért hajlandók voltak a többlet költséget megfizetni. Mivel a zöld gazdaság nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, új irányzatok léptek helyébe. A Kék Gazdaság a zölddel szemben a tökéletes fenntarthatóságra fókuszál, törekvései túlmutatnak a természeti környezet megőrzésén. Inkább annak regenerációja a célkitűzése (Pauli, 2010). A Kék és zöld gazdaság közti különbségre érdemes felhívni a figyelmet a fogalomzavar elkerülése miatt. Az összehasonlítás a 1. táblázatban látható.

• **1. táblázat** A Kék és zöld gazdaság összehasonlítása

| <b>Zöld gazdaság</b> | ←→ | <b>Kék Gazdaság</b>   |
|----------------------|----|-----------------------|
| Aggódó civilek       |    | Pro-aktív profik      |
| Megőrzés és túlélés  |    | Kreatív újjáépítés    |
| Lezárt ciklusok      |    | Körfolyamatok         |
| Ember                |    | Természet             |
| Megújuló             |    | Fenntartható          |
| Szükséglet-vezérelt  |    | Adottság-vezérelt     |
| Sziget innovációk    |    | Innovációs rendszerek |
| Támogatandó          |    | Versenyképes          |

|               |             |
|---------------|-------------|
| Múlandó divat | Stabil jövő |
| Szűkösség     | Bőség       |

Forrás: Ulbert (2010)

Többek között a Kék Gazdaság fogalmának tisztázása inspirálta az értekezést, mely először kihívásnak bizonyult, hiszen főbb nézeteit a már létező elméletek megfogalmazták. Ilyen például az ipari ökológia (magyarozatát ld. később), a nulla hulladék-elv (Pauli, 1997) és a biomimikri<sup>12</sup> (Benyus, 1997). Ugyanakkor a Kék Gazdaság túlmutat valamennyin, és egy új, komplex paradigmát fogalmaz meg. A Kék Gazdaság a tökéletesen működő természeti/ökológiai rendszereket szeretne a gazdaság rendszerében alkalmazni, ahogy a biomimikri ezt termékszínterben megvalósítja. Hiszen a természetben nincsenek károsanyagok, tehát gazdasági környezetben is meg kell találni azt a technológiát, mely alkalmas a károsanyag ártalmatlanítására, vagy képes azt egy új termék előállításához alapanyagként felhasználni. A Kék Gazdaság koncepcióját ugyan igyekeztek néhányan elhelyezni a menedzsment és technológia-orientált irányzatok között (pl. Bocken és társai, 2014; Deutsch, 2015), de még nem fogalmazták meg ez idáig a mainstream közgazdaságtan fogalmi keretei közt, mely a jelen értekezés egyik célja. Először is a Bevezetőben bemutatott rövidebb definíciót kiegészítve, az alábbiak szerint összegzem a Kék Gazdaság jelentését, majd egy későbbi fejezetben bizonyítom annak egy kiemelt jellemvonását:

*A környezeti kapcsolatrendszer felismerve a természet szimbiózisának erejét és logikáját leképezve - mely szerint a geo-bioszférában az anyag és az energia folyamatos, önszabályozó, önfenntartó ciklusokban áramlik - a Kék Gazdaság a természetes ökoszisztémák modelljéről mintázott innovációk hálózatát valósítja meg. A Kék Gazdaság jellemzői, hogy nem termel hulladékot, nincs károsanyag kibocsátása, mégis munkahelyeket teremt, helyi erőforrásokat használ fel az alapvető szükségletek kielégítéséhez, társadalmi tőkét épít, és megvalósítása nem jár magasabb költséggel.*

A Kék Gazdaság koncepció tehát egy olyan szemlélet-, azaz paradigmaváltást hordoz magában, mely a gazdaság, a társadalom és a környezet egészét vizsgálja és képes javítani annak állapotán. Ez a tulajdonsága különíti el a Kék Gazdaság koncepciót a többi fenntartható fejlődési irányzattól és teszi érdemessé, hogy további kutatásokat végezzünk a témában.

A Kék Gazdaságról kevés publikációt találtam a vezető folyóiratokban, ám ezek alapján érezhetően sok hasonlóságot mutat a körforgásos gazdaság koncepciójával. Genovese és társai (2015) és Sauvé és társai (2016) rámutattak, hogy a *körforgásos gazdaság* önmagában nem újdonság, hiszen gyökerei megtalálhatók az ipari ökológiában, a bölcsőtől bölcsőig elv<sup>13</sup> és más fenntartható fejlődéssel foglalkozó gondolatok közt. A Circular Foundation (2018) szerint a körforgásos gazdaságban az anyagcsere folyamatok tervezetten, zárt rendszerben áramlanak, így a hulladékok akár teljes egészében újrahasznosíthatók. Ami újdonság Sauvé és társai (2016) szerint, hogy teret hódított a politikában, üzletemberek, törvényhozók, és oktatók körében. Japánban 1991-ben alkalmazták először a körforgásos gazdaságot a tényleges felhasználása az újrahasznosítható anyagoknak törvény keretében. Európában először 1976-ban Németországban törvénykeztek a hulladék ártalmatlanítás

<sup>12</sup> A biomimikri arra keresi a választ, hogyan lehet a természettől tanulni. A természettől való tanulás olyan újításokhoz, innovációkhoz vezethet, mely a fenntartható fejlődés elveit támogatják. A biomimikri tulajdonképpen természetutánzó megoldások alapelveit rögzíti.

<sup>13</sup> A bölcsőtől a bölcsőig elv az integrált termékpolitika eleme, mely egyik legátfogóbb szempontjaként említi a termék teljes életút-tervezését, azaz a bölcsőtől a bölcsőig elvet. Ez a fajta tervezés lehetővé teszi a hulladék újraszületését úgy, hogy azt a természetes vagy a termelői ciklusba helyezi vissza McDonough és Baungart (2002).



törvényéről. Később az Európai Unió szintjén a 2008/98/EC hulladék direktíva szabályozta a hulladék újrahasznosítást, valamint az újrahasznosított anyagok nyersanyagként történő felhasználását. Majd 2014-ben az Európai Bizottság elfogadott egy új programcsomagot Európa körforgásos gazdasággá alakulásának ösztönzéséről. Terv szerint 70%-os újrahasznosítási és újrafelhasználási arányt kívánnak elérni 2030-ig Európában. Ezekről részletes tájékoztatást az Európai Bizottság weboldalán találhatunk (Europa, 2018).

Li és Su (2012) a körforgásos gazdaság két alapvető tulajdonságát fogalmazza meg. Elsőként a vállalatok felelősek az ember és a természet egyensúlyáért, mert gazdasági növekedés hatására sem változhatnak meg az ökológiai rendszerek (pl.: növekvő igény a természetes erőforrások kitermelése iránt). Másodsorban a körforgásos gazdaság termelési folyamatokat határoz meg, törekedve a tisztább termelésre és a környezet védelmére. Sauvé (2016) szerint a vállalatok körforgásos természetükből fakadóan zárt rendszerben gondolkodnak, ahol a hulladékot próbálják a rendszerben tartani, ezáltal helyettesítve az ásványi nyersanyagok és a természeti kincsek szükségtelen felhasználását.

A körforgásos gazdaság megértéséhez lényeges a termodinamika első és második főtételének alkalmazása, amit Andersen (2007) és Ghisellinia és társai (2016) tanulmánya alapján összegzünk. A körforgásos gazdaság véleményük szerint egy zárt rendszernek tekinthető, amilyen a föld is. Ezzel azonban sokan, mint például Martinás (1988) sem ért egyet, hiszen az energiaáramlást tekintve a földet nyílt rendszerként kezeli (pl.: napenergia). A termodinamika első főtétele kimondja az energiamegmaradás törvényét, miszerint az anyag és az energia zárt rendszerben állandó. Andersen (2007) szerint a föld is egy zárt rendszernek tekinthető, amiből az következik, hogy a keletkezett hulladék egyenlő a kitermelt természeti erőforrások mennyiségével. Így a tökejavak átmeneti megtestesítői a természeti erőforrásoknak, hiszen selejtezés után a természeti környezetben hulladékként jelennek meg. A hulladékban rejlő energia nem vész el, de átalakítható vagy szétosztható. Ezért alkalmazza a körforgásos rendszer az újrahasznosítást, ahol valamennyi hulladék ismét erőforrássá alakul. Ugyanakkor érdemes megjegyezni, hogy jelenleg a gazdaság nem tud minden hulladékot újrahasznosítani a kihasználatlan lehetőségek, a megfelelő technológia hiánya, vagy alapvető fizikai okokból fakadóan. A termodinamika második főtétele a spontán folyamatok irányát szabja meg. A tétel szerint minden valóságos folyamat irreverzibilis. Andersen (2007) a termodinamika második főtételét az entrópia fogalmának magyarázatával értelmezi, ami az anyag és az energia rendezettségét írja le. Minél rendezettebb és egységesebb az anyag vagy az energia, annál alacsonyabb annak entrópiája. Miközben a természeti erőforrások felhasználásra kerülnek a gazdaságban, entrópiájuk egyre növekszik. Andersen (2007) munkájában felidézi Georgescu-Roegen (1971) megállapítását, miszerint az entrópia arányosan növekszik a természeti erőforrások gazdasági célú kitermelésével. Martinás (1988) szerint nem csak gazdasági, hanem minden tevékenységünkkel növeljük a világegyetemet, illetve a szűkebb környezetünk entrópiáját. Véleménye szerint, hogy megtaláljuk a fenntartható társadalomhoz vezető utat, ismernünk kell létünk fizikai korlátait. Andersen (2007), valamint Ghisellinia és társai (2016) szerint az anyag és energia gazdaságban történő újrahasznosulása csökkenti az új természeti erőforrások keresletét és késlelteti a föld entrópiájának növekedését. Bihari (2012) szerint az újrahasznosítás azért lényeges, mert a világegyetemen entrópiája a maximum felé törekszik, amint azt eléri, beáll az egyensúlyi állapot, ami a világ végét, a hőhalált eredményezi.

Tulajdonképpen az anyagok áramlása lineáris és egyirányú, felvéve egy alacsony entrópiájú anyagot a környezetből, és kibocsátva egy magas entrópiájú anyagot – a hulladékot. A környezettudatos vállalati viselkedés hatása az ellátási láncra abban nyilvánul meg, hogy az alacsony entrópiájú tiszta nyersanyagok helyettesítőjeként, a magas entrópiájú hulladékot használja fel, állítja Andersen (2007)

tanulmányában. Ez adja a természeti környezetbe ágyazott vállalatok termelési rendszerének lényegét.

Az ipari ökológia is felismerte többek között, mint ahogy azt a Kék és körforgásos gazdaság is tette, hogy egy adott vállalat termelési rendszerén belül elkerülhetetlenül keletkezik hulladék, mely felszámolását a vállalatok termelési tevékenységeinek összekapcsolódásában látja. Az ipari ökológia megvalósítása csökkenti a melléktermék, illetve károsanyag környezeti rendszerbe történő kibocsátását. Ennek elérése a termelési technológiák gondos megválasztásával történik, ahol az eddig önállóan működő vállalati rendszerek most együttműködve, technológiáikat összehangolva tervezik meg a hosszú távú stabil kapcsolati rendszerüket, amelyben az egyik vállalat hulladéka most már felhasználhatóvá válik egy másik vállalatnál, mint erőforrás. Ezek az összekapcsolódások biztosítják a környezet állapotának megóvását, és a vállalatok erőforrásigényének folyamatos biztosítását (Magyar Ipari Ökológiai Társaság, 2018).

Ez idáig elsősorban vállalati szinten alkalmazták a Kék és a körforgásos gazdaság elvét, ahol a vállalat erőforrás-hatékonyágának köszönhetően gyakran vállalatközi szinergikus együttműködések jönnek létre a hatékonyabb körforgásos struktúra kialakítása érdekében (ld. 3. ábra). Li és Su (2012) szerint a körforgásos gazdaság elvét követő vállalatok a rendelkezésre álló erőforrásokat hatékonyan kihasználják, és a környezetre a lehető legkisebb hatást gyakorolják. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy mindez ellentmond a gazdaságban megfigyelt keynesi megállapításoknak. A Kék Gazdaság túlmutat a körforgásos szemléletmódon abban, hogy komplex rendszerben gondolkodik, melyben szigorúan betartja a nulla-hulladék elv érvényesítését. Ám az is elképzelhető, hogy a körforgásos rendszerek spontán módon odafigyelnek a komplex rendszerre, ami alatt a társadalom, a környezet és a gazdaság harmonikus együttműködését értem.

### **Menedzsment témaköre alá tartozó fenntartható fejlődési irányzatok**

A Kék Gazdaság hasonlóságot mutat néhány menedzsment irányzat elveivel is, melyek a tisztább termelés, a zárt ellátási lánc és a „3 R” elv. Ezek rövid áttekintése következik.

A Kék Gazdaság megvalósítása esetén a vállalati stratégia a tisztább termelés és az ökológiai szemléletű tervezés elvét alkalmazza. A *tisztább termelés* stratégiája eszközként jelenik meg a fenntartható fejlődés irányzatai közt. Khalili és társai (2015) és Ghisellina és társai (2016) rámutattak, hogy a tisztább termelés alapvetően erőforrás-hatékonyással bír. A stratégia célja a hulladék és a károsanyag-kibocsátásának csökkentése a termék és folyamattervezés vállalati szintű alkalmazása során. Magába foglalja az integrált és preventív környezeti stratégiákat, hogy egyensúlyt teremtsen a vállalat és a környezet között. Klemes (2012) cikke alátámasztja, hogy a tisztább termelés egyre fontosabb eszköz lesz valamennyi ipari szereplő számára.

Genovese és társai (2015) tapasztalatai szerint a vállalatok egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a csővégi megoldásokon (pl. füstgáztisztítás, szennyvíztisztítás, hulladékégetés, stb.) túl arra, hogy a teljes termék vagy szolgáltatás életciklusa során figyelemmel kísérjék és javítsák annak a gazdaságra, a környezetre és a társadalomra gyakorolt hatását. Itt említhető meg a *zárt ellátási lánc* elmélete. Bocken és társai (2014) szerint ez azt jelenti, hogy a vállalat törekszik az ellátási lánc működése során keletkező hulladék minimalizálására úgy, hogy a képződő anyagot újrahasználja, megjavítja vagy feldolgozza, ezzel is újabb hozzáadott értéket teremtve a vállalat vagy a fogyasztó számára. A zárt ellátási lánc a termék teljes élettartamára fókuszál, beleértve a termelés és a fogyasztás utáni részleges vagy teljes újrahasznosítást. Dobos (2008) különös figyelmet fordít a visszautas logisztika tanulmányozására. Igyekszik választ adni arra, hogy egyes fogyasztók miért küldik vissza, és egyes

gyártók miért fogadják el a használt termékeket. Közvetlen előnyként a profitnövelés lehetőségét említi meg, valamint közvetett előnyként a zöld image kialakítását, amivel egyre több fogyasztót nyerhet meg a vállalat. Kitér a visszaküldés három csoportjára:

- a) a gyártási jellegű visszaküldésre, ami alatt a gyártás során megmaradt nyersanyag-többletet, hibás terméket és melléktermékeket érti;
- b) míg az elosztási visszaküldéshez az értékesítetlen termékek, készletfeleslegek, hibás szállításokat sorolja;
- c) végül a fogyasztói visszaküldések alatt a garancia, a jótállás, vagy az életvégi termékeket érti.

A szerző kitér arra is tanulmányában, hogy a visszautas termékeket miként kezeli a vállalat, mely lehetőségeket három csoportba rendez:

- a hulladékkezelés,
- a alapanyag visszanyerése
- és a közvetlen újrafelhasználás.

Végül megmutatja a tanulmányban a visszautas logisztika termelésstervezésbe történő beépíthetőségét. A Kék Gazdaság túlmutat a zárt ellátási rendszer elméletén, hiszen nem csak a termékek életciklusát vizsgálja, hanem kitér a gyártás során keletkezett félkész és melléktermékek, illetve szennyezőanyagok kezelésére is, amit a piaci nyitottságnak köszönhetően társvállalatai révén hasznosítani tud, valamint olyan technológiák meglétét kutatja, melyek segítségével a hulladék termelési erőforrásként használható fel.

Su és társai (2013) szerint az utóbbi évtizedekben gyakorivá vált a „3 R” elv vállalati szintű alkalmazása a termelési és fogyasztói rendszerekben. A „3 R” elv jelentése a következőket tartalmazza:

- csökkentés – a vállalat minimalizálja a primer inputokat;
- újrafelhasználás – saját és más vállalatok melléktermékét és hulladékát nyersanyagként felhasználja;
- valamint újrahasznosítás – a vállalat az újrahasznosítható anyagokat visszaforgatja a termelési rendszerbe csökkentve a primer nyersanyagigényt.

A „3 R” elvet az ajánlott hulladékgazdálkodási piramisként is szokták emlegetni, ahol a csökkentés preferáltabb tevékenység az újrahasznosításnál. Ebből következik, hogy a vállalatoknak a hulladék mennyiségének csökkentését kell elsődleges célként kitűzni, és azt követően törekedni kell a fennmaradó hulladék hatékonyabb újrafelhasználására vagy újrahasznosítására. A „3 R” elv nem változtat a vállalat meglévő termelési technológiáján, arra tesz javaslatot, hogyan kezeljék a vállalatok a rendszerben maradt hulladékot. A Kék Gazdaság összhangban van a „3 R” elvvel, mialatt fontosnak tartja és újraértelmezi a technikai haladás fogalmát (ld. később a 5.3 pontban).

A fenntartható fejlődés imént említett irányzataira a „természeti környezetbe ágyazott” jelző használata indokolt, hiszen jól illusztrálja, hogy a vállalat a természeti környezetre tekintettel, azt tiszteletben tartva végzi munkáját. Kiss (2005) cikkében a természeti környezetbe ágyazott vállalatokat természetvezérelt vállalatoknak nevezi. Ezzel az elnevezéssel azonban nem értek egyet, mert a vállalati működés célja az emberi társadalom jólétének biztosítása és a természeti környezet megőrzése/rekreációja.

## **Szakirodalmi áttekintés a vállalatok környezetszennyező, illetve környezetvédelmére irányuló tevékenységéről**

A természet az anyagot tekintve egy zárt ökológiai rendszer, ami példát mutat a vállalat anyagáramlásának zárt módon történő működtetésére, ezért érdemes megvizsgálni a vállalatok természeti erőforrás alapú szemléletmódját. Fontos tisztázni, hogy a környezetgazdaság a környezetre forrásként és nyelőként tekinthet. Forrásként energiát és nyersanyagot biztosít a gazdaság és a társadalom számára. Az OECD (2014) kimutatása szerint jelenleg az OECD országok nyersanyag kitermelése és fogyasztása lassabban növekszik a globális értékhez képest és talán megállapodni látszik a jelenlegi szinten. Ezzel egyidejűleg az 1980-as szinthez képes 50%-kal növekedett a kibocsátás mennyisége egy tonna nyersanyag felhasználásából. Ebből az következik, hogy növekszik az anyaghatékonyság. Nyelőként megjelenik a hulladék problematikája függetlenül attól, hogy az energia- vagy a nyersanyagáramlást vesszük figyelembe. Az OECD (2014) becslése szerint a kitermelt nyersanyag hozzávetőleg egy ötöde végzi hulladékként. Ráműtettek a tanulmányban a szilárd hulladék és a gazdasági növekedés lineáris kapcsolatára. Ahogy a gazdaság növekszik, úgy a szilárd hulladék mennyisége is azzal arányosan nő. Ez potenciális nyersanyagforrásként jelentkezik, mivel további felhasználásra alkalmas. A gazdaságban ragadt nyersanyagok mennyisége nagy jelentőséggel bír. Például 2011-ben az antropogén (ember által felhasznált) vaskészlet, 15-20%-a a világon elérhető vaskészletnek, dacára annak, hogy a kitermelt nyersanyag egy ötöde végzi hulladékként, Ghisellinia és társai (2016) rámutattak, hogy a másodlagos anyagierőforrások piaca és az újrahasznosítás mértéke lassan ugyan, mégis növekvő tendenciát mutat.

Az elmúlt évtizedekben a természeti erőforrások keresletében folyamatos növekedés volt tapasztalható, ami a fejlődő országok gyors iparosodásának és a fejlett országok változatlan nyersanyagfogyasztásának köszönhető az OECD (2014) és az Eurostat (2016) tanulmánya szerint. Ezeknek a folyamatoknak a fenyegető következményeit számos szerző/tanulmány felismerte. Például a korábbi szerzőkön túl, Ghisellinia és társai (2016), Munck (2016) és Scheel (2016) is arra hivatkoznak, hogy törekedni kell a jövőben arra, hogy a gazdasági növekedést alacsonyabb környezetterhelés kísérje. Ebből következően olyan gazdasági tevékenységeknek kell előtérbe kerülniük, melyek elsősorban nem, vagy minimális káros következménnyel járnak a környezetre és az emberi egészségre, miközben lehetőség szerint a teljes kibocsátás hasznosul a vállalat nyereséges működése során. Valamint Hartung (2013) is arra hívja fel a figyelmet tanulmányában, hogy ha tovább folytatjuk jelen gazdasági tevékenységeinket változtatás nélkül, akkor a légkör széndioxid szintje meghaladja a 450 ppm szintet, mellyel visszafordíthatatlan pusztulás veszi kezdetét a földön. A szerző különböző eseteket vizsgál meg (pl. erdőtelepítés, elektromos autók használata), mely csökkentő hatást gyakorol a légköri széndioxid szintjére. Jaehn (2016) tanulmányában megfogalmazta, hogy a növekedéssel járó negatív környezeti kihívások kezelésére megjelent a fenntartható termelés fogalma, a figyelmet a megfelelő erőforrás-hatékonyságot támogató irányzatokra és azon keresztül a termelővállalatokra irányítva. Hiszen a vállalatoknak – a gazdaság motorjaiként döntéseik következményei révén – meghatározó szerepük és felelősségük van a környezeti problémákra. A gazdasági tevékenységek globalizáltságának domináns jellege például rongálja a környezet állapotát. A vállalatok a komparatív előnyöket kihasználva választják meg telephelyüket, melynek következménye az erőforrások és a végtermékek gyakori szállítása, mely nagymértékben szennyezi a természeti környezetet.

A paradigmaváltás jelei megfigyelhetők a gazdaságban. Dobos (2008) munkájában kiemeli, hogy a vállalatok közvetlen gazdasági előnyre, azaz akár profitnövekedésre is szert tehetnek, ha figyelembe veszik, hogy a kisebb mértékű nyersanyag-felhasználás csökkenti a költségeket, a hulladék-elhelyezési költségek egyre kedvezőbbek, illetve az újrafeldolgozás hozzáadott értéket és további költségcsökkenést jelenthet. A közvetett gazdasági előnyök között szerepet játszik a „zöld image” kialakítása, amivel napjainkban egyre több támogatót nyerhet egy vállalat. Megfigyelhető az is, hogy a környezeti kihívásokra válaszul a vállalatok lehetőséget látnak az újrahasznosításban. További példát látunk a fenntartható termelés témakörében arra, hogy a vállalatok igyekeznek új irányzatokat alkalmazni, mint például a Kék Gazdaság, a körforgásos gazdaság és a lean termelés (Hartini és Ciptomulyono, 2015).

Dobos (2008) szerint a vállalatok önkéntes felelősségvállalása sem hagyható figyelmen kívül, ami a szervezeteken belül alakul ki, és onnan fejti ki hatását. Benlemlih (2017) szerint a társadalmi felelősségvállalás (angolul: Corporate Social Responsibility) igyekszik a vállalat működésében és az érdekcsoportokkal folytatott interakcióban önkéntes alapon figyelembe venni környezeti és társadalmi szempontokat. Ezek a szempontok meghaladhatják a vállalatok számára kötelezően betartandó jogi előírásokat. A társadalmi felelősségvállalás egyik hiányossága, hogy a meglévő termelési eljárásokat nem módosítja, inkább a vállalat pozitív megítélését növeli. Williams (2017) szerint holisztikus szemlélet szükséges a rendszerek tervezéséhez, mely különös fontossággal bír a fenntartható fejlődés eléréséhez, és segít kiküszöbölni olyan átfedéseket a rendszerben, melyek váratlan következményekkel járhatnak.

Genovese és társai (2015) szerint tapasztalatok igazolják, hogy a környezettudatos vállalati működés hosszú távon is stabil fogyasztói kapcsolatokat eredményez. Így ezek által versenyelőnyre tehet szert a vállalat, melyek további profitszerzésre adnak lehetőséget. Jaehn (2016) imént említett fenntartható termelés fogalmához kapcsolódva, szükség van arra, hogy a vállalatok megváltoztassák a termelésről alkotott klasszikus véleményüket, és új alapokra helyezték azt.

George és társai (2015) felidéznek, hogy a kapitalista piacgazdaság termelőfolyamatainak eredménye nem csak a végtermék, de a nem kívánatos hulladék is. Véleményük szerint a hulladékra gazdasági készletként kell tekinteni. Ezen hulladékok két fő kategóriába sorolhatók: szennyező hulladékok és újrahasznosítható hulladékok. Park és Chertow (2014) tanulmányában szintén erőforrásként tekint a hulladékra, amíg az ellenkezőjét be nem bizonyítják. Az okfejtést az erőforrás paradigma fogalmi használatából eredeztetik. Ezzel szemben Sauvé és társai (2016) arra az álláspontra helyezkednek, hogy a vállalat lineáris termelési rendszerében értelmezett újrahasznosított hulladéknak nincs piaca és gyakran marad értékesítés nélkül, hiszen a vállalat változatlanul a könnyen elérhető és gyakran olcsóbb tiszta nyersanyagokat részesíti előnyben. A disszertáció későbbi részében ennek ellenkezőjét fogom bebizonyítani, miszerint a hulladékoknak és melléktermékeknek is lehet piaca. Ennek köszönhetően valósulhat meg az anyag termelési rendszerben történő újrafelhasználása. A természeti környezetbe ágyazott vállalatok figyelmét semmilyen anyag nem kerüli el. Ezen vállalatok arra törekednek, hogy minden inputot és outputot számításba vegyenek a termelési folyamat során, különös figyelmet fordítva az előforduló anyagok vállalaton belüli vagy kívüli kezelésére, hasznosítására.

A természeti környezetbe ágyazott vállalatok nyereségessége vitatott. Sauvé és társai (2016) arra hivatkoznak, hogy az anyagok rendszerben tartásával járó többletköltség, ha elér egy bizonyos határt, akkor nem éri meg a vállalatnak újrahasznosítani. Andersen (2007) is megerősíti, hogy a természeti erőforrás szinte a kitermelés költségét tartalmazza eltekintve a kiaknázás és a környezeti károk költségétől, ezzel megkérdőjelezve az újrahasznosítás nyereségességét. Például Genovese és társai

(2015) kutatásából kiderül, hogy a biodízel előállítás költségesebb, mint a hagyományos dízelé, ami miatt az állami támogatás bizonytalansága és a helyettesítő termék árának ingadozása kockáztathatja a biodízelt gyártó vállalat életképességét. Geldermann és társai (2007) tapasztalatai szerint a kis és középvállalkozások (kkv) megtakarítási lehetőségei szerényebbek. A termelésükhöz szükséges anyagok nem érik el azt a kritikus mennyiséget, ahol megérné újrahasznosítani vagy újrafelhasználni a melléktermékeket. Ezért a vállalatközi kapcsolatok (pl. öko-park) nyújthatnak alternatív megoldást, melyekben közös tiszta termelési technológiákat alkalmaznak a kkv-k. Ennek pozitív hatásaként megnövekedhet a technológia fluktuációja, melynek értelmében a vállalatok átvehetik egymástól a meglévő technológiákat.

Sauvé és társai (2016) szerint a környezetvédelmet nem érdemes a végtelenségig fokozni, mivel egy adott ponton meghaladja a körforgásban tartott anyagok társadalmi hasznát a vele járó feldolgozásból és javításból eredő többletköltség. Ezt igaznak vélik minden környezetvédelmi kérdésre. Úgy gondolják, hogy a körforgásos gazdaságnak addig érdemes zárt ellátási rendszerben gondolkodni, ameddig a társadalom igényt tart rá, és az hatékonyan működik. Például az alábbi kérdésnél - *”beruházzunk egy új technológiába, hogy újrahasznosítható anyagokból építsünk iskolát gyermekeinknek, ezzel csökkentve a hulladékot és megőrizve természetes erőforrásainkat; vagy inkább rövidtávon gondolkozva, válasszuk az olcsó nyersanyagokat, ezzel kihasználva a környezetet”* - el kell dönteni, hogy melyik lehetőség nyújt nagyobb vagy közel hasonló társadalmi hasznot a költségekkel szemben, és azt az alternatívát választani. Magistris és Gracia (2016) empirikus tanulmányában megmutatta, hogy a fogyasztók hajlandók prémium árat fizetni a helyben termelt termékekért. Ezen termékeken megkülönböztető címke látható, mely tartalmazza az alábbi információkat: a termék származási helyétől való távolságot km-ben kifejezve, és az Európai Unió által elfogadott egyezményes „ökológiai logó”<sup>14</sup>-t. Dobos (2008) szerint ugyanakkor a jogszabályi kötelezettség önmagában az üzleti szféra számára nem feltétlenül jelent kényszerítő erőt, hiszen – megfelelő rövid távú gazdasági haszon hiányában – sok esetben a vállalatok inkább a könnyebben megfizethető bírságot választják. Ezzel a megállapítással egyetértve, a disszertációban bemutatott költségminimalizáló vállalat modelljében szerepeltetem a környezetvédelmi bírságot. Ez a modell hozzájárul Dobos (2008) munkásságához abban, hogy optimális megoldás esetén a környezetvédelmi bírság minimális nagyságát megadja, mely hatékonyan visszatartja a vállalatot a szennyezéstől. Ugyanakkor a körforgásos gazdálkodás alkalmazása hosszútávon jelentős költségmegtakarítást eredményezhet, annak ellenére, hogy a pillanatnyi beruházási költségek magasabbak. Későbbiekben a költségmegtakarítással járó lehetőségeknek, vagy újabb pénzáramoknak köszönhetően a vállalkozás nyereségesé válhat. Ebből az a következtetés adódik, hogy a vállalatok rövidtávra terveznek, hiszen a pillanatnyi haszon többet jelent a hosszú távú megtérülésnél.

Geldermann és társai (2007) munkájukban megemlítik, hogy a fenntartható termelési stratégiák vállalaton belüli alkalmazásához elengedhetetlen az innováció és a technológia menedzsment, mivel a technológia fejlődése új lehetőségeket kínál a készletek hatékonyabb termelésben való felhasználására. Munck (2016) szerint így a megfelelő technológia kiválasztása reagálni tud a környezetben végbemenő változásokra. Például a biofinomító alkalmas a haszonnövényekből kinyerhető összes anyagot termékként vagy energiaként hasznosítani, ezáltal nem keletkezik a rendszerben hulladék. A biofinomító termékei így minden formában hasznosulnak. Az ilyen típusú integrált fejlesztés biztosítja a társadalom alapvető szükségleteit, jelen esetben a tiszta vizet, az

---

<sup>14</sup> Az EU ökológiai logóját a 2010. március 24-i 271/2010/EU bizottsági rendelet vezette be. Használatáról a 889/2008/EK bizottsági rendelet 57. cikke rendelkezik. Ezen rendelkezések közül egyet kiragadva például az ökológiai logóval ellátott terméknél szükséges, hogy nyomon követhető legyen a termelés, a feldolgozás és a forgalmazás szakaszában.

energiát, és a termékeny talajt (bio-hulladékot visszaforgatják a mezőgazdaságba). Az elérhető termelési technológiák gyors változásai szükségessé teszik a továbbiakban működtetésre kerülő termelési folyamatok rendszeres újratervezését. Munck (2016) megállapítása összhangban van a Kék Gazdaság koncepciójával. Ennek értelmében a disszertációban bemutatott költség és környezetszennyezést minimalizáló vállalat alkalmas arra, hogy a vállalat rendelkezésére álló technológiák közül kiválassza azokat, amelyek a környezetre a legkisebb negatív hatást gyakorolják. A környezet-gazdaságtan legújabb szakirodalmá arra világít rá, hogy a környezetszennyező anyagok kibocsátásának csökkentésére irányuló törekvéseknek kulcsfontosságú szerepet kell betölteniük a fenntartható termelésben. Erről ír például: Jaehn (2016), Hong és társai (2016), és Zhang és Xu, (2013). Az imént említett és további szerzők két lehetőséget javasolnak a szennyezőanyagok csökkentésére. Az egyik a szennyezőanyagok kibocsátásának korlátozása és a kvótakereskedelmi rendszer, míg a másik az ipari szimbiózis.

A legegyszerűbb módja a szennyezőanyag-kibocsátás szabályozásának Zhang és Xu szerint (2013), ha az állami szervek törvényi szabályozás útján felső határt szabnak a kibocsátásnak. Ilyen például a kibocsátási korlát. A törvényi szabályozás célja a korlátozás hatékony betartása azért, hogy a kibocsátás a felső határ alatt maradjon. Zhang és Xu (2013), valamint Hong és társai (2016) szerint bizonyítottan eredményesebb a szennyezőanyag-kibocsátás visszaszorítása, ha lehetővé teszik a vállalatok számára a kibocsátási engedéllyel történő kereskedelmet. Ezt hívjuk szennyezőanyagok kibocsátását korlátozó, kvótakereskedelmi rendszernek. Megjegyzendő, hogy állami szabályozás hiányában, a vállalatok még ma is dönthetnek úgy, hogy környezetkímélő stratégiát folytatnak, és ennek következtében a vállalat saját magának meghatározhat kibocsátási korlátokat a szennyezőanyagok csökkentése érdekében, ily módon is növelve a cég image-át. Manikas és Kroes (2016), Carattini és társai (2017), és Hintermann (2017) szennyezőanyagok kibocsátását korlátozó és a kvótakereskedelmi rendszer alatt az alábbiakat érti: a kibocsátási korlát felső határt szab minden fajta szennyezőanyag-kibocsátásnak, míg a kvótakereskedelmi rendszere arra kötelezi a szennyező vállalatokat, hogy kibocsátási engedélyt szerezzenek be (egy egység feljogosítja a céget egy egységnyi szennyezőanyag-kibocsátására). Ezen szennyezési jogokkal a vállalatok kereskedhetnek, például eladhatják a kihasználatlan kibocsátási egységüket egy olyan vállalat számára, mely többet szennyez. Zhang és Xu (2013) modelljükben kimutatták, hogy a szennyezőanyagok kibocsátást korlátozó és kvótakereskedelmi rendszere alkalmas a szennyezőanyag-kibocsátás mérséklésére. Ilyen kibocsátás lehet például az ipari hulladék és a szennyvíz. További példaként említhetjük meg a timföldgyártás káros melléktermékeként keletkezett vörösiszapot, amit szennyezőanyagként kezel a vállalat. Ugyanakkor Liu és társai (2017) úgy tekint a vörösiszapra, mint a kerámiából készült téglalapanyagra. Kutatásuk eredménye, hogy a kerámiából készült téglalapanyaga nem jár CO<sub>2</sub> kibocsátással, valamint a vörösiszap feldolgozása gazdasági értéket teremt. A szennyezőanyagok kibocsátást korlátozó és kvótakereskedelmi rendszere ösztönzi a vállalatokat, hogy csökkentsék a szennyezőanyag-kibocsátásukat és környezetvédelmi szempontokat vegyenek figyelembe termelési stratégiájuk kialakítása során.

Letmathe és Balakrishnan (2005) és Hong és Xu (2013) szerint a vállalatok rendelkezésére állnak egyéb alternatív megoldások is a termelés során keletkezett negatív környezeti hatások csökkentésére. A vállalatok nem csak végtermékeket állítanak elő, hanem félkész termékeket, melléktermékeket, hulladékokat és szennyezőanyagokat is. Többnyire ezek termelés során történő felhalmozódása – kivéve a végtermékeket – problémát jelent egy vállalat számára, ugyanakkor mint láttuk, az ipari heterogenitásnak köszönhetően, ezen melléktermékek értéket jelenthetnek más termelési folyamatban. Az ipari szimbiózis lehetőséget nyújt a vállalatok számára, hogy kihasználják az

együttműködés adta előnyöket, melynek során hulladékokat és melléktermékeket adnak át egymásnak. Ennek következtében a vállalatok félkész termékekkel, hulladékokkal és melléktermékekkel kereskednek. Egy vállalat számára előnyt jelent a hulladékok, és melléktermékek piaca iránt nyitottnak lenni, hiszen költséget csökkenthet ezen anyagok felhasználásának segítségével, és betarthatja a szennyezőanyag-kibocsátás csökkentésére meghatározott állami vagy vállalati célszámokat (Daddi és társai, 2017; Fraccascia és társai, 2017; Song és társai, 2017). Ezeket az előnyöket láthatjuk a vállalatok heterogenitása esetén, amit később a 4.1 pontban részletesen tárgyalok majd. A disszertáció 4. fejezetében az imént említett két szennyezőanyag-csökkentő stratégia szintézisét mutatom be (Hintermann, 2017; Letmathe és Balakrishnan, 2005).

Genovese és társai (2015) és Scheel (2016) szerint a természeti környezetbe ágyazott vállalatok az innovációnak köszönhetően fejlődtek ki, újszerű megoldásokat hozva az üzleti szférába. Ezek bevezetéséhez a vállalatnak meg kell vizsgálnia termelési lehetőségeit, melyek függenek az input anyagoktól, azok minőségétől, és a termelésben történő felhasználás lehetőségeitől. Mérlegelni kell, hogy új technológiát alkalmaz-e, vagy módosít a meglévő termelési rendszeren, átgondolva, hogy milyen anyagok kerülnek kibocsátásra. Sokan megkérdőjelezik a környezettudatos vállalatok jövedelmezőségét és működőképességét, ezért számos tanulmány irányul ezek kimutatására (pl.: Li és Su, 2012; Li, 2012; Ameli és társai, 2016). Ez indokolja annak áttekintését – ahogy azt a továbbiakban tenni fogom –, hogy milyen módszertani megközelítéssel vizsgálható vállalati szinten az anyagi erőforrások zárt láncú termelésben történő hasznosítása, és annak a jövedelmezőségre való hatása. A következő 2.2-es pont összefoglalja azon módszereket, melyek figyelembe veszik mind a gazdasági, mind pedig a környezeti szempontokat a természeti környezetbe ágyazott vállalatok esetében, különös figyelmet fordítva az anyagok áramlására és a melléktermékek kezelésére.

## 2.2 A fenntartható termelés vizsgálatának módszerei

Klasszikus értelemben a vállalatok költségminimalizáló és profitmaximalizáló szempontokat vesznek figyelembe mindennapi működésük során. A környezeti problémák megjelenésével, azonban elengedhetlenné vált a környezeti szempontok integrálása, és a termelés hatékonyságának növelése úgy, hogy a vállalat környezetre gyakorolt hatását minimalizálja. Számos kérdés még megválaszolásra vár a fenntartható termelés témakörében. Többek között a természeti környezetbe ágyazott vállalatok esetében a szennyező melléktermékek fenntartható módon történő kezelése, és termelési erőforrásként történő hasznosításuk lehetőségeinek feltárása. A jelen pontban arra keresem a választ, milyen módszertani megoldások találhatók a melléktermék imént említett kezelésére. Látni fogjuk, hogy a fenntartható fejlődés területén használt módszertani apparátusok igen eltérőek, ám egyik sem alkalmas önállóan egy olyan összetett probléma vizsgálatára, mint a Kék Gazdaság. Egy új típusú módszertan létrehozásával még adós a szakirodalom.

Inghels és társai (2016) a parkok karbantartása során keletkezett zöld hulladék (mint input) újrahasznosítási lehetőségeit vizsgálták egy zöld hulladék feldolgozón keresztül, ahol a matematikai modelljük a profitot, a környezeti és társadalmi hatásokat optimalizálja. Négy zöld hulladék eljárást hasonlítottak össze: a komposztálást, a komposztálás előtt végzett részleges fanyesedék kiválogatását, a komposztálás után a darabolt fák részleges kiválogatását, végül az utolsó két lehetőség kombinációját. Tanulmányukban azonban eltekintettek a feldolgozás során keletkező további melléktermékek vizsgálatától. Kutatásukban egy *többcélű lineáris modellt* alkalmaztak a gazdasági, a társadalmi és a környezeti hatások optimalizálására, hogy megválaszolják, mi történik, ha a zöldhulladék kezelés nélkül a lerakóba kerül, vagy ha az imént említett további kezelésekkal



hasznosítják. Ezek a szempontok megjelennek a modell célfüggvényében, figyelembe véve a fenntarthatóság három pillérét: az első célfüggvény a nyereséget maximalizálja, ahol az eltérő alternatívákból származó pénzáramokat rögzítik; a második célfüggvényben a környezetre gyakorolt negatív hatásokat minimalizálja, míg a harmadik célfüggvényben a társadalmi szempontok jelennek meg, melyben az egyes alternatívákhoz kapcsolódó munkaerő változást veszik figyelembe. A környezeti hatásokat minimalizáló célfüggvényben, a modell 1 tonna zöld hulladék környezeti hatását fejezi ki az életciklus (life cycle analysis) elemzés segítségével. Az életciklus elemzés a következő szempontokat vizsgálja: a zöld hulladék összetételét, a kezelés során szükséges teljes energiaszükségletet, és a levegő-talaj-talajvíz szennyezés csökkenésének mértékét. A SimaPRO 6.02 software segítségével számolták ki a környezeti hatás értékét a teljes kibocsátáshoz viszonyítva. A kapott értéket normalizálták úgy, hogy összehasonlítták Hollandia teljes környezetre gyakorolt hatásával. Minél nagyobb az érték, annál nagyobb a környezetre gyakorolt negatív hatás. A környezeti célfüggvényben figyelembe veszik a komposztálás környezetre gyakorolt hatását és az eltérő aprítású energianövények visszanyerésének hatásait. A modellt GAMS-ben és Matlab-ban oldották meg a többcélú vegyes egészértékű lineáris program segítségével. A megoldás során minden célfüggvény kapott egy súlyt, ami a célfüggvény fontosságát jelöli (a gazdasági szempont 80%-os, a környezeti szempont 10%-os és a társadalmi szempont 10%-os súllyal szerepel). Megoldásként egy Pareto optimális halmaz mutatja meg a 4 alternatív megoldás egymáshoz való viszonyát. A modell meglehetősen bonyolult és eltekint a feldolgozás során keletkezett egyéb melléktermékektől, illetve azok környezeti hatásától, ami ellent mond a Kék Gazdaság logikájának, miszerint minden anyag rögzítésre kerül, azok további hasznosíthatósága érdekében. Valamint a többcélú lineáris modell egy kényelmetlen formája, a fenntarthatóság pillérének kifejezésére, hiszen a 3 cél közti súly meghatározása eltérő lehet különböző célcsoportok érdekeit figyelembe véve.

Penkuhn és társai (1997) kutatásukban arra keresték a választ, hogyan lehet a feldolgozóipar meglévő termelőegységeit hatékonyabbá tenni, hogy a csövégi kibocsátások mérése helyett már a termelés során figyelemmel kísérjék a környezet megóvásához elengedhetetlen szempontokat. Az elemzéshez szükséges a termelőfolyamatok, illetve az anyagok kémiai összetétel pontos ismeretének is, hogy a minőségi szempontok figyelembe vehetőek legyenek. A szerzők termodinamikus egyensúlyi számításokat alkalmaznak, ami a *modell nem-linearitását* eredményezi. A modell *döntési változói*: a termék, a légszennyező anyagok kibocsátása, a felhasznált javak, a termelés során keletkezett hulladék, az inputok, valamint az egyéb javak áramlása egységnyi működés esetén (kg/óra mértékegységben kifejezve). A modell *paramétere*i között megjelenik: az anyagmozgatás költségigénye; a karbon-adó; az újrahasznosítás vagy lerakás egységnyi költsége, az inputnak, egyéb javaknak; a hőmérséklet; a kémiai komponensek tömege; a sztöchiometriai<sup>15</sup> egyűttható az *i*-dik folyamatban; a *j* egységben zajló kémiai reakció mértéke; az egységek közötti energiaáramlás; a kémiai összetevők hőkapacitása; és egységnyi reakció entalpiája<sup>16</sup>. Az imént említett döntési változók és paraméterek segítségével egy általános termeléstervezési modellt alkottak meg a szerzők. A célfüggvényben a profit maximalizálása jelenik meg számba véve a közvetlen bevételeket és a változó költségeket, ugyanakkor figyelmen kívül hagyva a fix költségeket, mivel azok a rövidtávú döntéseknél nem relevánsak. A célfüggvény tartalmazza továbbá az újrahasznosítás és a lerakás költségét is, ügyelve ezáltal a környezeti szempontokra. Ezt követően 12 feltétel határozza meg a vállalat és egyben a modell működését, melyek közül az utolsó három a kibocsátásra és a lerakásra

<sup>15</sup> A sztöchiometria a kémiai reakciók során tapasztalható tömeg- és térfogatviszonyok törvényszerűségeivel foglalkozik

<sup>16</sup> A szerzők entalpia alatt a termelőfolyamat különböző egységeinek összes energiáját fejezi ki (pl. a be és kimenő hőáramlást, energia felszabadulás kémiai reakciók miatt, hővezetés, stb.)

vonatkozó piaci korlátokat tartalmazza. A döntési változóknál alsó és felső korlátokat határoztak meg a szerzők, a termelő rendszerek műszaki kapacitás korlátaiból adódóan. A modellt az ASPEN PLUS software segítségével tesztelték az ammónia szintézis folyamatának gyakorlati példáján keresztül. Megjegyzendő, hogy a disszertáció későbbi részében tárgyalt költségminimalizáló vállalat modellje számos hasonlóságot mutat Penkuhn és társai (1997) modelljével. A modell a termelőfolyamatok pontos ismeretét teszi szükségessé, ahogy az a későbbi modellekben is fontos szempont lesz. Ugyanakkor az értekezésben tárgyalt költségminimalizáló vállalat célfüggvényében a profit maximalizálás nem a bevétel mínusz a változó költségek kiszámításával történik (a modellem is eltekint a fix költségek szerepeltetésétől), hanem adott árak mellett a profit maximalizálást a változó költségek minimalizálása révén érjük el. További hasonlóság, hogy a szerzők a vállalat működésének leírásához a termelés műszaki lehetőségeit korlátozó feltételek révén veszik figyelembe, ahogy azt én is teszem. Továbbá a modell hasonlóképpen egységnyi működés esetén természetes mértékegységben fejezi ki a kibocsátást. Modellem túlmutat Penkuhn és társai (1997) tanulmányán azzal, hogy a piaci nyitottságból fakadóan lehetővé teszi a vállalatok számára a félkész-, és melléktermékek, illetve hulladékok adás-vételét társvállalataik számára, amennyiben hatékonyabban felhasználják vagy ártalmatlanítják azokat.

Dobos (2002) kutatásában egy egy-termékes vállalat termelésének környezetre gyakorolt hatását vizsgálta, ahol egy használat után visszaszolgáltatót terméket, illetve egy nem-felhalmozódó emissziót vett figyelembe. Feltételezése szerint a visszautas terméket háromféle módon kezelheti a vállalat: újrahasznosítja, szétszerelt állapotában termelési tényezőként használja, vagy hulladékként kezeli. A modell feltételezi továbbá, hogy a vállalat nyereségmaximalizáló tevékenységet folytat. A megoldáshoz a *Pontrjagin-féle maximumelvet* alkalmazza a szerző. A modellalkotás során három állapotváltozót (termelési tényező, végtermék és a visszaérkező használt-termék készlet állomány) és tíz irányítási változót vett figyelembe, hogy megvizsgálja, mely változók hogyan hatnak a készletszintek változására. A nyereséget modelljében a bevétel és a lineáris költségek diszkontált különbségeként értelmezi, melyben a költségek tartalmazzák a beszerzési költséget, a szennyezési adót, a hulladékkezelési költséget és a raktárak készletezési költségeit. A szerző a vállalat készletszintjére helyezi a hangsúlyt, és az újrafelhasznált termékek készletszintre gyakorolt hatását vizsgálja, illetve pontosan tisztázza az újrafelhasználás technológiai feltételeit leíró implicit termelési függvények viselkedését. Meghatározza továbbá a belső árakkal definiált maximalizálási problémával, hogy a vállalatnak kedvezőbb-e a visszaérkező terméket újra feldolgozni és termelési tényezőként felhasználni, vagy inkább újra feldolgozott végtermékként értékesíteni. A modellben a természeti erőforrás felhasználásának mennyiségét a nyereségeség szabályozza, míg a környezetbe történő szennyezőanyagok kibocsátásának mértékét a szennyezési adó korlátozza. Arra, hogy az újrafeldolgozott végterméket és a vállalathoz visszakertült szétszerelt, javított termékeket vagy a nyersanyagot használja fel a vállalat, a későbbiekben a „belső árak” meghatározása ad választ. Érdemes megjegyezni, hogy a visszautas termékek a későbbi modellemben is bevezethető, ha felvesszük a terméklistára a Kék Gazdaság típusú vállalat modelljénél a visszahozott termékeket. Ebben az esetben azonban a célfüggvényben figyelembe kell majd venni a vissza nem hozott termékek környezetszennyező hatását.

Dobos (2008) későbbi munkájában az *anyagszükséglet tervezési rendszert* (material requirements planning) kívánja kibővíteni az újrahasznosítással, újszerű ismereteket adva a vállalati termelés-tervezés keretei között. Tanulmányában egyrészt a már korábban említett visszautas logisztika optimális tétel nagyságát határozza meg, másrészt kiter a visszautas logisztika termelés-tervezésben betöltött fontos szerepére is. A szerző megjegyzi, hogy a végtermék előállítás

során különböző melléktermékek is keletkeznek, amik a termelésből nem zárhatók ki. Ezeket a javakat azonban nem tüntetik fel a termelési tervben. A szerző véleménye szerint a keletkező melléktermékek csökkentését a tervezés melléktermékekre történő kiterjesztésével lehet elkerülni. Dobos (2008) ezen felismerése a jelen szakirodalmi áttekintés szempontjából jelentős, hiszen ha a gyártás során keletkezett melléktermékeket a termelési terv figyelmen kívül hagyja, azok hasznosíthatósági lehetőségeinek feltárása lehetetlenné válik, mivel a vállalatok nem is tudnak azok létezéséről. Ezzel összhangban a disszertációban bemutatott modellek külön-külön szerepeltetnek minden félkész-, mellékterméket és hulladékot a terméklistán, ugyanúgy, mint ahogy a végtermékeket is.

Ameli és társai (2016) munkája a fenntarthatósági szempontok figyelembe vételével tervezett termékek fontosságát vizsgálja, ahol már a tervezés során figyelembe veszi az életút végi újrahasznosítás lehetőségeit. A szigorodó környezetvédelmi törvények szükségessé teszik a termék környezetre gyakorolt negatív hatásának csökkentését. A visszautas termék és alkatrészeinek karbon lábnyoma az ennek meghatározására alkalmas GaBi LCA software<sup>17</sup> segítségével állapítják meg a szerzők, a környezetre gyakorolt hatás számszerűsítése érdekében, mivel a gyakorlati példában használt mobiltelefon egyes alkatrészeinek karbon lábnyomáról nem rendelkeztek előzetes információval. A tanulmányban a szerzők egy fenntartható termék tervezési döntéseit segítő szimulációs modellt hoztak létre a kiterjesztett gyártói felelősség tudatában, mely segít a termék életvégi hasznosításával kapcsolatos döntéseket figyelembe venni a termék tervezési fázisában. A szerzők négy életvégi megoldást javasolnak minden termékalkatrészre – az újrafelhasználást, a feldolgozást, a hasznosítást, és a lerakást – attól függően, hogy milyen a termék minősége, mikor szolgáltatott vissza. De függ attól is, hogy mekkora a visszazállított termékalkatrészek raktáron levő mennyisége. A negyedik lehetőség a legkevésbé preferált (lerakás), mivel ennek a legmagasabb a környezetszennyező hatása, míg az első lehetőségnek (újrafelhasználás) a legkedvezőbb a környezeti hatása. A modell az időt is figyelembe veszi, a visszaküldött termék esetében. Ha a használati idő lejárt után küldik vissza a terméket, akkor rögtön lerakásra kerül, azonban ha jóval később, nem fogadják be azokat, mivel újrahasznosításuk nem termel elég hasznot. A termék jövőbeli hatásának értékeléséhez a paraméterek négy tényező meghatározásával írhatók le: a használat időtartamával, a visszazolgáltatás időpontjával, a visszautas termék minőségével és az újrahasznosításból származó bevétellel. A modell pénzben fejezi ki a szétszerelt termék részeinek árát, a viszonteladásból származó bevételt, a termék feldolgozásából, illetve az újrahasznosításból származó bevételt, valamint a lerakás költségét. A paraméterek valószínűségi eloszlásának meghatározásához méréseket kell végezni, ami beépítésre kerül a modellbe. Két célfüggvényt alkalmaz a modell. Az első célfüggvény maximalizálja a profitot, mely tartalmazza az új termék eladásából származó bevételt és a visszahozott termékek, újrahasznosításából származó bevételeket. Ez utóbbi alatt értendő a viszonteladás, az újrafelhasználás, és bizonyos részek hasznosítása. A második célfüggvény a termékek környezetterhelését minimalizálja. A szerzők meghatározták a további feltételek között egy újrahasznosítási alsókorlátot, mely az újrahasznosítási minimumot szabja meg termékenként. Ez az érték az adott jogi szabályozás hatására változik. A modell futásához egyéb feltételeket is felírtak, például ha a vállalat *j-edik* elemet újrahasznosításra jelöli, akkor a modell automatikusan további termelési erőforrásokat biztosít a termék előállításához. A szerzők által javasolt modell egy *két*

---

<sup>17</sup> A GaBi software életciklus elemzésekre használt termékcsalád. Egyszerűbb elemzésektől egészen összetett vizsgálatokig képes problémákat elemezni. A software adatbázisokat bocsát a felhasználó részére, mely az ipari folyamatok környezeti mérlegét tartalmazza 15 iparágban és ezekhez biztosít hatásvizsgálati módszereket (kb. 100 ilyen módszert). Az egyik legelterjedtebb software.

*kritériumú sztochasztikus egészértékű optimalizációs* modell, ahol célként szerepel a nyereség maximalizálása, és a termék környezeti hatásának csökkentése, figyelembe véve az aktuális jogi szabályozásokat. A modell futását követően kapott eredmény értelmezésében, egy szimulációs modell segíti a továbbiakban a döntéshozót, ahol figyelembe veszik a termékkel kapcsolatos élet-végi döntéseket már a tervezés fázisában. A modell működését egy nem létező vállalat mobiltelefon visszaszolgáltató esettanulmányán keresztül szemléltetik a szerzők. A tanulmány egyik fontos eredménye, hogy felhívja a figyelmet a gyártói felelősségvállalásra a termék életút végén, ugyanakkor figyelmen kívül hagyja a modell a gyártás során képződött melléktermékek és hulladékok környezetre gyakorolt negatív hatásának mértékét. Ezzel szemben az értekezésben bemutatott modellek a gyártás során keletkezett félkész- és melléktermékekre, illetve a hulladékok környezetszennyező mivoltára helyezi a hangsúlyt és azok minimalizálására fókuszál.

Li és Su (2012) kidolgozott egy értékelési mutatót annak megítélésére mennyire követi a vállalat a körforgásos gazdálkodás elveit. Tanulmányuk célja számszerűsíteni a készletcsökkentés, az újrahasznosítás, az újrafelhasználás, a kibocsátás és a hatékonyság mértékét a vállalaton belül, miután a körforgásos gazdálkodás elvét bevezették. A szerzők egy *összevont (aggregált) mutató* segítségével kívánják meghatározni a körforgásos gazdálkodás vállalaton belüli hatását. A mutató az alábbi két vizsgálati szint összevonásából tevődik össze: az „első szinten” tizennyolc mutatót mérnek, mely a „második szinten” öt kritérium értékét határozza meg. Végül az öt kritérium összege adja meg az összevont mutató értékét. A mutató átfogó célja: meghatározni a körforgásos gazdaság vállalaton belüli fejlettségi szintjét. A tanulmányban az öt kritérium alatt az alábbi szempontokat értik: a gazdasági fejlettséget, az erőforrás igényt, a szennyezés csökkenését, az ökológiai hatékonyságot, és a fejlődési potenciált. Ezeket bontják az előbb említett 18 mutatóra a szerzők. A tanulmányban használt mutatók tetszőlegesen tovább bővíthetők. Az erőforrás igény kritériuma alatt értendő például az egységnyi ipar kibocsátására vetített víz-, és energiafelhasználás, az ipari szilárd hulladék hasznosítása, az ipari vízfelhasználás újrahasznosítási mértéke. Míg a fejlődési potenciál kritériuma tartalmazza például a teljes ipar kibocsátásához mért technológiai befektetések mértékét, a tőke akkumulációs rátáját és az értékesítés növekedésének rátáját. Utolsó lépésként a szerzőpáros az összevont (aggregált) mutató meghatározásához standardizálja a mutatókat, elosztva a kapott értéket az átlagértékkel, majd ezt követően a mutatókat súlyozza 0-1 érték között fontosságuktól függően (becsült érték). Ezután a standardizált mutató és a súly értéke összeszorzásra kerül, ami kiadja az összevont mutató 0-1 közötti értékét. A kapott érték alapján besorolható a vállalat egy négy pontos skálán, mely megmutatja, hogy alig vagy kiválóan alkalmazza a körforgásos gazdaság stratégiáját. A modell segít a vállalat vezetőinek eldönteni, hogy vajon szükség van-e további fejlesztésre ahhoz, hogy a körforgásos gazdaság megvalósuljon vállalati szinten. Azonban súlyos hiányossága az összevont mutatónak, hogy a vállalat technológiáját nem veszi figyelembe, illetve nem tesz javaslatot a termelőfolyamatban feltérképezett esetleges gyenge pontok javítására.

Park és Chertow (2014) kidolgozta az *újrahasznosítás lehetőségének indikátorát*, ami megkísérli objektíven meghatározni a technikailag maximálisan felhasználható anyagok (ez esetben a hulladék) mennyiségét. A hulladék gyakran lerakókba kerül, mert nincs használható tudásunk azok hasznosítási lehetőségeiről. Ezen hulladékok hasznosítási lehetőségeinek a pillanatnyilag elérhető technológiák szabnak határt. A szerzők az újrahasznosítás lehetőségének indikátorát egy 0-1 közötti skálán fejezik ki, megmutatva az anyagban rejlő további lehetőségeket. A nulla azt jelenti, hogy a jelenlegi technológiai fejlettség szintjén az anyag nem hasznosítható újra; míg az 1-es érték esetén az anyag 100%-a újrahasznosítható. A szerzők a jelenleg elérhető technológiákat hasonlítják össze egymással, melyet egy diagramon ábrázolnak. A vertikális tengelyen jelenik meg a felhasználásból keletkezett

jövedelem és a hulladékkezelés költségének különbsége, míg a horizontális tengelyen az újrahasznosítható anyag kerül ábrázolásra tonnában kifejezve. A kapott eredmények diagramon történő megjelenítéséből kiderül, hogy vajon nyereséges-e az adott technológia esetében a vállalatnak újrahasznosítani vagy sem. Az indikátor egyszerűen arányosítja az adott technológiával a felhasznált hulladék mennyiségét, a teljes rendelkezésre álló hulladék mennyiségéhez. Ez adja meg a 0-1 közötti értéket. A tanulmány tartalmaz gazdasági számításokat, azonban eltekint a helyettesítő termékek beszerzési árának ingadozásától és a szállítás költségétől. Ezek azonban jelentősen befolyásolják az újrahasznosítás nyereségességét. Az indikátor hiányossága továbbá, hogy figyelmen kívül hagyja a hulladék összetételét és a technológia változását, illetve a regionális különbségekből adódó eltéréseket sem kezeli. Ennek ellenére, az indikátor alkalmas a vállalaton belüli újrahasznosításban tapasztalt javulás mértékének nyomon követésére.

Li (2012) munkájában a körforgásos gazdaság szemléletmódjában tevékenykedő vállalatok hatékonyságát kívánja számszerűsíteni egy *hulladék alapú input-output modell* segítségével, vállalati szinten. Kidolgozott egy olyan módszertant, ahol az egyik részlegből kiáramló melléktermék, egy másik részlegbe inputként történő felhasználását számszerűsíti a vizsgált vállalaton belül. Feltételezése szerint vállalati szinten két termék létezik: a végtermék és a hulladék. A hulladék-alapú input-output táblában az egységnyi végtermék előállításához felhasznált hulladék mennyiségét rögzíti a szerző. A hulladék lehet légnemű szennyező vagy szilárd hulladék. Az előbbit mennyiségben, míg az utóbbit költségben fejezi ki a modell, ami ez esetben az eltakarítással járó költséget, vagy Zalai (2012) kifejezésével élve a lomtalanítás költségét jelenti. A modellben nincs technológiai választék, azért lehetséges az input-output modell használata. A hulladék alapú input-output tábla minden részlegnél megmutatja, mi történik a vállalaton belül keletkezett szennyezőanyaggal vagy szilárd hulladékkal, illetve ha egy tevékenységnél nem a szilárd hulladék került felhasználásra, akkor megmutatja a szükséges elsődleges erőforrások értékét. Mindemellett a modell részlegenként meghatározza a szennyezőanyag és hulladék mennyiségében beállt változást (az újrafelhasználás következtében). A modell jól megragadja a hulladék áramlását a rendszerben, és annak mennyiségi változását, továbbá rámutat a hulladék vállalaton belüli felhasználási helyére. Ezzel szemben a disszertációban használt modell egyidejűleg tudja kezelni a végtermék és melléktermék/hulladék kibocsátást, valamint a termeléshez szükséges elsődleges erőforrásigényt, illetve a köztes termék felhasználást. A 3. fejezetben bebizonyítom, hogy a disszertációban használt módszer teljesebb és kényelmesebb modellezési lehetőségeket kínál az input-output modellel szemben.

Pauli (1998, 116. p.) az 2.1 pontban említett ZERI kutatócsoporttal közösen megalkotta az „*output-input*” modellt, mely inkább gondolatébresztőként szolgál vállalatvezetők számára, s nem ad konkrét, használható módszertant. A modell célja a termelés során keletkezett hulladékok továbbfelhasználási lehetőségeinek azonosítása. A modell rövid ismertetése azért szükséges, mert a disszertáció középpontjában álló Kék Gazdaság logikáját tükrözi. Az „output-input” modell három lépésből áll. Az első lépésben az input-output tábla sémáját felhasználva, a termeléshez szükséges elsődleges erőforrás-felhasználás kerül rögzítésre vállalati szinten. A sorokban az elsődleges erőforrások, míg az oszlopokban a kibocsátások szerepelnek, ahol nem csak a végtermékeket, de a melléktermékeket, a hulladékokat és a szennyezőanyagokat is fel kell tüntetni. A táblázatban szereplő egyes értékek megmutatják, hogy az adott elsődleges erőforrásból mennyit használtak fel a termék, melléktermék, hulladék vagy szennyezőanyag előállításához, százalékos arányban kifejezve. A sorösszegek 100%-ot adnak ki. Az adatokat a vállalat termelési osztályán dolgozó szakemberek szolgáltatják. A Kék Gazdaság logikája szerint fontos, hogy a termelés során keletkezett összes hulladék és szennyezőanyag-kibocsátás rögzítésre kerüljön! Többek között azért, mivel a második lépésben ezek

az adatok kerülnek továbbfelhasználásra. A második lépésben Pauli (1998) egy gyökeresen más eljárást javasol az eddigiektől. Itt ismerteti az „output-input” modellt. Az új értelmezés szerint, a sorokban a vizsgált vállalat termelési rendszerében keletkezett hulladékok szerepelnek, míg az oszlopokban olyan tevékenységeket neveznek meg, amelyeket a termelési rendszerben keletkezett hulladékok felhasználása érdekében hoznak létre. A módszertan fókuszában a nulla hulladék-elv áll, hiszen a vállalkozás működése során keletkezett teljes hulladék és szennyezőanyag-kibocsátás mennyisége azonosításra kerül, majd azok felhasználására új tevékenységek létrehozását javasolják a szakemberek. Az új tevékenységek listáját mindaddig célszerű bővíteni, míg minden hulladék el nem tűnik a termelési rendszerből. Az új lehetőségek feltáráshoz nem csak mérnökök, de más kreatív ipari szakemberek véleményét is figyelembe kell venni azért, hogy a vállalatnál még nem létező, ám olyan potenciális tevékenységeket is képesek legyenek megnevezni, melyek alkalmasak a termelőtevékenységek során kibocsátott hulladékok és szennyezőanyagok hasznosítására. Az „output-input” tábla egy elméleti keretet biztosít, mely elkészítése után, a harmadik lépésben, egy további 5 pontos elemzés segíti a vállalat vezetőit abban, hogy kiválasszák, mely tevékenységek működtetése illeszkedik leginkább a vállalat stratégiai céljaihoz. Ez az 5 pont a következő: az új termékek piacának felmérése és értékelése, az új tevékenységek energiaszükségletének feltérképezése, az új tevékenységek beruházási költségeinek meghatározása, az új tevékenységek területi igényeinek felmérése, végül az új tevékenységek munkahelyteremtő képességének számítása. Az összesített eredmény alapján a vállalat vezetősége dönt arról, mely tevékenységekbe kíván beruházni. Ha a döntés végeredményeképpen a vállalat csak néhány új tevékenységgel bővíti az alaptevékenységeinek listáját, akkor elképzelhető, hogy a vállalat önállóan nem tudja megvalósítani a nulla hulladék-elvet. Ennek feloldására ipari klaszterek létrehozását javasolja a szerző, ahol az egyik vállalatnál keletkezett hulladék majd egy másik gyártás alapanyagát képezheti. A szerző által javasolt „output-input” modell feltevései meghaladják a klasszikus értelemben vett input-output modell adta lehetőségeket: például nincsenek mérlegfeltételek, több lépésben oldja meg a problémát, a fogyasztói igényeket figyelmen kívül hagyja. A modell meglehetősen bonyolult és nehezen követhető, valamint a módszertan sincs megfelelően kidolgozva. Ezzel a modell javaslattal összhangban, az értekezésben számba veszem a termelés során keletkezett teljes kibocsátást, ideértve a végtermékeket, a köztes és félkész termékeket, a hulladékokat és a szennyezőanyagokat is; illetve az ipari heterogenitásnak köszönhetően megengedem, hogy a vállalatok egymás között kereskedjenek. Míg azonban az output-input modell 3 lépésben kínál megoldást, addig a disszertáció középpontjában elhelyezkedő módszertan mindezt egy lépésben kezeli.

Az irodalmi áttekintést tovább folytatva, Révész és Zalai (2014) kutatásukban a számított *általános egyensúlyi modellt* (CGE) alkalmazzák, kibővítve egy energetikai és egy környezeti modullal (GEM-E3). Ez a modell elsősorban makro-, de mikro-szintű folyamatok vizsgálatára is alkalmas, figyelembe véve a stacionárius végállapot kiszámítását, illetve az odáig elvezető dinamikus folyamatokat. Ezt a modellt széles körben használják energetikai-, környezeti-, és gazdaságpolitikai intézkedések hatásainak elemzésére. A modell feltételezi a költségek minimalizálását és a hasznok maximalizálását. Abban tér el a CGE modelltől, hogy egyes ágazati bontások a szokásosnál részletesebbek. Például az energiaszektor alatt megjelenik a szénbányászat, a gázszolgáltatás, és az olajipar stb.. A modell figyelembe veszi a levegőszennyezést, az energiafelhasználást és más erőforrásokat, illetve az egyes energiahordozók egymás közötti helyettesíthetőségeit, a kibocsátást csökkentő technológiákat, valamint kibocsátásra előírt adókat és hatósági korlátokat. A szerzők részletes műszaki adatok alapján és a lineáris tevékenységelemzési modellen (LTM) nyugvó optimalizálást alkalmazó részmodellel bővítik ki és kapcsolják össze a CGE modellt. Ez azért

indokolt, mert így a modell feltételezi a termelési tényezők folytonos helyettesíthetőségét, míg aggregált ágazati termelési és költségfüggvényeket alkalmaz. A tanulmányban ismertetett modellt a paksi erőmű makrogazdasági, energetikai és környezeti vizsgálatán keresztül mutatta be a szerzőpáros, vizsgálva azt, hogy mi lenne a gazdasági és környezeti hatása a paksi atomerőmű egy vagy több blokkja kiesésének. A tanulmány fontos eredménye az értekezés szempontjából, hogy felhívja a figyelmet az LTM modell használatára gazdasági és környezeti szempontok egyidejű figyelembe vétele.

A lineáris tevékenységelemzési modell (LTM) megalkotása Koopmans (1951) nevéhez fűződik, amit másképpen az állandó ráfordítási/kibocsátási együtthatókkal jellemzett termelési lehetőségek általános modelljének is neveznek. A modell alapvető feltételezése, hogy egy és ugyanazon termék előállítására alternatív eljárások állhatnak rendelkezésre (ezt hívja technológiai választéknak), és egy-egy eljárás egyidejűleg több terméket is előállíthat (mely az ikertermelést jelenti). A modellt elsősorban mikroszintű elemzésekre használják, hiszen kiválóan alkalmas egy vállalat termelési technológiájának leírásához. Ebből adódóan az LTM-mel folytatott elemzések a választási kritérium (célfüggvény meghatározás), és az optimális választás kérdésére is kitérnek. Ily módon az LTM összekapcsolódott a lineáris programozás módszerével. A célfüggvény meghatározza a vállalat törekvéseit (pl. profit maximalizálás), a korlátozó feltételek pedig leírják a vállalat lehetőségeit. Mivel az LTM modell alkalmas a technológiai választék megjelenítésére, a feladat optimális megoldása megadja többek között, hogy melyik technológiákat érdemes üzemeltetni, s milyen szinten, illetve más egyéb kérdésekre is választ kapunk, mint például a gyártáshoz mennyi elsődleges erőforrás szükséges. Az LTM modell kiválóan alkalmas tevékenység-optimalizálásra, mivel több eljárást egyidejűen tud kezelni a modellen belül, s egy tevékenységhez több kibocsátást is tud hozzárendelni. Bessenyei (2016) tanulmányában bemutatja, hogy különböző vállalati stratégiák, mint például a piaci nyitottság, a lean menedzsment vagy a környezetvédelmi stratégia, jól beépíthetők a lineáris tevékenységelemzési modell feltételrendszerébe. A tanulmány bebizonyítja, hogy az LTM modell alkalmas tevékenységoptimalizálásra, és kitér a túlspecializáció jelenségére is. A szerző bemutat továbbá egy olyan költségminimalizáló vállalatot, melyben megjelenik a környezetszennyezés korlátozása a feltételek között. A jelen értekezésben bemutatott költségminimalizáló modellel szemben, míg a társvállalatokkal folytatott kereskedés egyenlege célfüggvényben szerepel, addig az idézett tanulmányban a feltételek között. A jelen értekezésben szereplő modellek fókuszán kívül esik a termék-optimalizálás és a túlspecializálás kérdésköre, amire Bessenyei (2016) tanulmányában részletesen kitér. Az értekezés hozzájárul a tanulmányhoz a szennyezőanyag kibocsátási korláthoz tartozó árnyékár újraértelmezésében, valamint a környezetszennyezést minimalizáló vállalat LTM modell felírásával. Az értekezés tovább fűzi Bessenyei (2016) cikkében leírtakat, és értékes következtetésekkel járul hozzá a szakirodalomhoz.

A jelen értekezés módszertani újítása, hogy javasolja a Kék Gazdaság típusú vállalat problémájának vizsgálatára a lineáris tevékenységelemzési modell használatát, mivel a Kék Gazdaság szakirodalmában ezt a módszert még nem alkalmazták. Az előbb említett LTM tulajdonságai nagy jelentőséggel bírnak majd a Kék Gazdaság típusú vállalat elemzéséhez.

A fenntartható termelés vizsgálatának módszereihez kapcsolódó szakirodalmak áttekintését úgy érdemes tovább folytatni, hogy kiegészítem a vizsgálatot a módszertan áttekintésén túl azzal, hogy az egyes modellekben hányféle termék/szennyezőanyag/technológia jelenik meg, hogyan értelmezik a szerzők a folyamatokat a modellen, valamint hány periódusban végeznek vizsgálatot.

Letmathe és Balakrishnan (2005) tanulmányukban egy olyan matematikai modellt alkotnak meg, melyben a vállalatok meghatározhatják optimális termékösszetételüket és a hozzátartozó egyes

termékek optimális mennyiségét, különböző környezeti és termelési korlátokat figyelembe véve. A modell segítségével különböző scenáriókat lehet megvizsgálni, melyből kiderül a vállalatra gyakorolt hatása annak, ha a kibocsátási küszöb, környezetszennyezési adó, kibocsátási kvóta tranzakciós költsége változik. A szerzők egy determinisztikus, egy periódusos modellt alkottak meg, mely feltételezi, hogy többféle technológia létezik, és ezek a technológiák többféle terméket és szennyezőanyagot bocsátanak ki. A modell elég bonyolult. A ráfordítási és szennyezési együttthatókat egy-egy három dimenziós mátrixba rendezik a szerzők, és ennek következtében mélyebb következtetésekre nem is jutnak. Ugyanakkor ez a tanulmány hozza összefüggésbe először az optimális erőforrásallokációt a szennyezőanyag-kibocsátás optimalizálásával, ami a disszertáció szempontjából jelentős. Főbb eltérés a disszertációban bemutatott modellekhez képest, hogy itt a kereslet döntési változó, míg esetünkben exogén paraméter. Hasonlóság, hogy a célfüggvényben a profit maximalizálás szerepel, ahol az input költségek és melléktermékek kereskedéséből származó bevétel és kiadás is megjelenik. Mivel modellünkben a kereslet adott szintű kielégítése a cél, a célfüggvényben nem szerepel az abból származó bevétel, és elhagytam a környezetszennyezési büntetés számszerűsítését is, hiszen arra az egyik korlátozó feltétel árnyékára ad majd választ. A további korlátozó feltételek között modellünkben is szerepel az elsődleges erőforrások mérlegfeltétele, illetve a szennyezőanyagok-kibocsátására tett korlátok. Az értekezésben szereplő környezetszennyezést minimalizáló modell célfüggvényében szereplő kibocsátások továbbá hasonlóképpen kerülnek aggregálásra, ám fő eltérés, hogy esetemben a kibocsátott szennyezőanyag környezetre gyakorolt hatását veszem figyelembe, míg Letmathe és Balakrishnan (2005) a termékhez kapcsolódó szennyezőanyag-kibocsátást számszerűsíti. Modellemben csakis a természeti környezetbe kibocsátott szennyezőanyagok hatását vizsgálom, mely értékeket exogén paraméterként kezelek. Letmathe és Balakrishnan (2005) tanulmányához értekezésem abban járul hozzá, hogy a modellben a vállalaton belüli, és vállalatok közti anyagáramlás is megjelenik.

Zhang és Xu (2013) érdekesebb következtetésekre jutnak. Egy profit maximalizáló vállalat viselkedését vizsgálják lineáris programozás segítségével, ahol szerepet játszik a kibocsátási kvóta ára, a szennyezőanyag korlátokhoz tartozó árnyékarak, termelési döntések, karbon kibocsátás és a profit is. A szerzőpáros egy több-termékes termeléstervezési problémát vizsgál, kiterjesztve modelljüket a szennyezőanyag-kibocsátás korlátozására és a kvótakereskedelmi rendszerre. A szerzők ugyanakkor csupán egyetlen termelési technológia meglétét feltételezik. Modelljük determinisztikus és egy periódusos (időtlen), mely feltételezi, hogy a vállalatok több terméket állítanak elő és többféle szennyezőanyagot bocsátanak ki. Ahogy a 4. fejezetben részletesen bemutatom, az értekezésben szereplő költség és környezetszennyezést minimalizáló modelljeim is viselik Zhang és Xu (2013) modelljének főbb tulajdonságait. Ezek később ismertetésre kerülnek az értekezés 3.2-es pontjában.

Fullerton és Karney (2018) úgy vélekedik, hogy többféle szennyezőanyag esetén célszerű lenne, ha minden szennyezőanyagot az adó és kvótakereskedelem rendszerén keresztül szabályoznának. Kiindulásuk alapja, hogy a legtöbb szennyezőanyagra érvényes valamiféle szabályozás, ám ezek nem működnek megfelelően. Feltételezik, hogy az egyes szennyezőkre kivetett adó hatással van a másik szennyezőanyag mennyiségének alakulására. Statikus általános egyensúlyi modelljükben 3 inputot vezetnek be: egy elsődleges erőforrást (pl.: munka, humán tőke, fizikai tőke) és két fajta szennyezőanyagot: a CO<sub>2</sub> és a SO<sub>2</sub>. A modelljükben két ágazat szerepel: az egyik a szabályozott áramtermelő ágazat, míg a másik az összes többi ágazatot vonja magába. Lineáris modelljükben két esetet vizsgálnak meg részletesen: az egyik, amikor mindkét szennyezőre adót vetnek ki. Míg a másik esetben azt vizsgálják, mi történik akkor, ha az egyik szennyezőre adót vetnek ki, és a másikat a



kvótakereskedelem rendszere szabályozza. Feltételezik, hogy az eltérő szabályozások nem optimálisak, így az egységnyi szennyezőanyag ára nem egyenlő annak határvesztésével. A disszertációban szereplő környezetszennyezést minimalizáló modellben szintén használom a környezeti határszennyezést, ám eltérően, mint ahogy azt Fullerton és Karney (2018) tette, erről részletesen a 5.2 pontban írok. A szerzők tanulmányukban arra helyezik a hangsúlyt, hogy bemutassák a környezetvédelmi adó és kvótakereskedelem közti különbséget, ezzel szemben az értekezésben szereplő költségminimalizáló vállalat modellje a kvótakereskedelmi rendszert, mint eszköz használja fel a vállalatok környezetszennyezésének csökkentésére, s nem az adó és kvótakereskedelmi rendszer szabályozása közti különbséget vizsgálja. A szerzők szerint az egyik szennyezőre kivetett magasabb adó hatása a másik szennyező mennyiségére attól függ, hogy a másik szennyezőanyagot megadóztatják, vagy a kvótakereskedelem része lesz. Pozitív hatást akkor tapasztaltak, ha a másik szennyezőanyagot is megadóztatták. Az hogy pozitív vagy negatív a hatás, attól függ, milyen a szennyezőanyagok közti árrugalmasság előjele. Kiderül, hogy nem minden ágazatnál szabályozott a szennyezőanyag-kibocsátás mennyisége, ezért a szennyezőanyag-kibocsátás mennyiségének szintjére más ágazatok is hatással vannak. Az értekezésben szereplő költségminimalizáló vállalati modellnél egyidejűleg használom a két szabályozási rendszert. A környezetszennyezést minimalizáló vállalat esetében is kereskedhet a vállalat a szennyezőanyagokkal, ám mivel a vállalat stratégiai célja a környezetszennyezés csökkentése, így a kivetett adó már nem releváns.

A további kutatások két irányban általánosítják a korábbi tanulmányokat. Az első irányzat a modellek dinamizálása, ahogy azt Hong és társai (2016) cikkükben tették. Kutatásuk központi kérdése volt megvizsgálni egy két-módozatú termelésstervezési rendszer működését a kibocsátási korlátokat figyelembe véve. Ezt egy polinom, dinamikus programozási algoritmus segítségével oldották meg. A szerzők egy determinisztikus több periódusos modellt alkottak, feltételezve, hogy a vállalatok egy terméket állítanak elő, melyhez két technológia áll rendelkezésükre: a hagyományos és a zöld technológia. Az egyszerűség kedvéért, a modell csak egy féle szennyezőanyag-kibocsátását veszi figyelembe. A másik irányzat bevezeti a dinamikus modellekbe a bizonytalanságot, ahogy azt Gong és Zhou (2013) tanulmányában is láthatjuk. Egy sztochasztikus több periódusos modellt alkottak, ahol feltételezik, hogy a vállalat egy terméket állít elő két technológia üzemeltetésével: az egyik a hagyományos, míg a másik a zöld technológia. A termelés során egyféle szennyezőanyag-kibocsátása korlátozott. Kutatásukban miután meghatározták a modell szerkezeti tulajdonságait, azok segítségével jellemzik az optimális szennyezőanyag kereskedelem- és termelési rendszereket, amelyek csökkenthetik a vállalat várható teljes diszkontált költségét. Az értekezés eltekint a modell dinamizálásától.

Christiansen és Smith (2015) az optimális termelési stratégia helyett az optimális környezetvédelmi szabályozásra helyezik a hangsúlyt. A modelljük egy sztochasztikus két periódusos modell, ahol folytonos technológiát feltételeznek, melyben a technológia fejleszhető az első periódusban. A modell egy terméket és egy szennyezőanyagot vesz figyelembe. A szerzők a környezetvédelmi szabályozásokat vizsgálják információaszimmetriát feltételezve: miszerint a vállalatok környezetszennyezést csökkentő technológiákba ruházhatnak be, anélkül, hogy ismernék az eltakarítással járó költségeket. Idővel megismerik az okozott környezetszennyezés eltakarításának határköltségét, s ekkor a vállalatoknak lehetőségük van az előállított végtermék mennyiségét megváltoztatni. Meglátásuk szerint a környezetszennyezési adó akkor hatékony, ha kiegészül egy direkt vagy indirekt környezetszennyezést csökkentő technológiába történő beruházás ösztönzésének szabályozásával. A szerzők ezeket a lehetőségeket hasonlítják össze.

A Ph.D. értekezés más megközelítésből általánosít egy determinisztikus, egy periódusos modellt az imént összegzett szakirodalmaktól. Az értekezés célja összehasonlítani egy költségminimalizáló vállalat és egy környezetszennyezés minimalizálására törekvő vállalat viselkedését (mely a Kék Gazdaság elveinek megfelel) azért, hogy megmutassam a két vállalat termelésében megjelenő különbségeket és hasonlóságokat a melléktermék és szennyezőanyag piacán, ide értve a szennyezőanyag kvóta piacát is. Azt feltételezem, hogy egy vállalat több terméket is előállíthat, és ennek következtében többféle szennyezőanyagot is kibocsáthat a környezetbe. Ugyanakkor a modellben nem különítem el szigorúan egymástól a végtermékeket a melléktermékektől, a félkész termékektől, a hulladékoktól és a károsanyagoktól, hisz egy esetleges technológiai váltás eredményeként a szennyezőanyag hasznos alapanyaggá válhat.

### 2.3 Összegzés

A bemutatott cikkek alapján úgy tűnik, hogy egyre jelentősebb támogatást kap a környezettudatos, erőforrás alapú vállalati szemléletmód, amely lehetőséget lát a hulladék újrahasznosításában. Ugyanakkor a vállalati termelési tervekben alig kerülnek feltüntetésre a hulladékok, és ez megnehezíti azok hasznosítását. Nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a hulladék újrahasznosítási lehetőségeit jelentősen befolyásolja az elérhető technológia. Elmondható továbbá, hogy minden vállalati tevékenység mögött racionális gazdasági érvek szerepelnek. Ezt igazolja az is, hogy az egyre szigorodó környezetvédelmi szabályok betartása tette szükségessé a környezeti szempontok integrálását a termelésstervezésbe.

A szakirodalmi áttekintő lehetőséget adott egy új vállalati szemléletmód bemutatására, ahol az anyag-, illetve a természeti erőforrások hatékony felhasználása a cél, a környezet állapotának hosszú távú megóvása érdekében. A Kék Gazdaságról kevés publikációt, illetve hivatkozást találtam vezető folyóiratokban. Ennek egyik oka lehet, hogy annak elméleti háttére átfedésben van a körforgásos gazdasággal, mely üzleti, illetve politikai támogatottságának köszönhetően széles körben elterjedté vált. A Ph.D. értekezés újítása, hogy elsőként fogalmazza meg a Kék Gazdaság típusú vállalat működését a mainstream közgazdaságtan keretei közt.

A Kék Gazdaság koncepció legfontosabb ismérvei összefoglalva az alábbiak:

- a nulla hulladék-elv (Pauli, 1997),
- a vállalatok közti együttműködés (Pauli, 1998),
- a melléktermékek, szennyezőanyagok, hulladékok felhasználása egy új termelési folyamatban, mellyel elsődleges erőforrást helyettesítünk (Pauli, 1998),
- a vevők apavető szükségleteinek kielégítése (Pauli, 2010)
- és a termelés körforgásos jellege (Pauli, 2010; Sauvé és társai, 2016).

Érdemes megjegyezni, hogy a fejezetben áttekintett fenntarthatósági irányzatok közül egyedül a Kék Gazdaság koncepció vizionál egy olyan társadalmi, gazdasági és környezeti egységet, mely nem csak a termelővállalatokra koncentrál, hanem a korábban említett 3 dimenzió egészére terjed ki.

A szakirodalmi kutatásból kiderül továbbá, hogy többféle módszertannal igyekeztek vizsgálni a hulladék termelésben történő hasznosítását. A 2. táblázat összegzi a fejezetben áttekintett módszereket azok szakirodalmi hivatkozásával.

- **2. táblázat:** A melléktermékek hasznosítását alkalmazó módszereket összefoglaló tábla, szakirodalmi hivatkozással

| Módszer                                    | Termékhez kapcsolódó környezeti hatás vizsgálata | Vállalat termeléséhez kapcsolódó környezeti hatás vizsgálata                             |                                 |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
|                                            |                                                  | termelés egészére terjed ki                                                              | visszatérő termékekre terjed ki |
| <b>Többcélú lineáris modell</b>            | <i>Inghels és társai (2016)</i>                  | <i>Letmathe és Balakrishnan (2005); Zhang és Xu (2013); Christiansen és Smith (2015)</i> |                                 |
| <b>Nemlineáris modell</b>                  |                                                  | <i>Penkuhn és társai (1997); Hong és társai (2016); Gong és Zhou (2013)</i>              | <i>Ameli és társai (2016)</i>   |
| <b>Pontrjagin-féle maximumelv</b>          |                                                  |                                                                                          | <i>Dobos (2002)</i>             |
| <b>Hulladék alapú input-output modell</b>  |                                                  | <i>Li (2012); Pauli (1998)</i>                                                           |                                 |
| <b>Általános egyensúlyi modell</b>         |                                                  | <i>Révész és Zalai (2014); Fullerton és Karney (2018)</i>                                |                                 |
| <b>Lineáris tevékenységelemzési modell</b> |                                                  | <i>Bessenyei (2016)</i>                                                                  |                                 |
| <b>Összevont mutató</b>                    |                                                  | <i>Li és Su (2012); Park és Chertow (2014)</i>                                           |                                 |

*Forrás: saját szerkesztés*

A módszertani áttekintésből azt a következtetést vonom le, hogy míg Pauli (1998) az input-output alapú módszertant javasolja, addig a lineáris tevékenységelemzési modellt tartom a Kék Gazdaság jellemvonásainak igazolásához a legalkalmasabbnak. Ezt a megállapítást bizonyítja a következő módszertani fejezet.

Ugyanakkor azt is tapasztaljuk, hogy az egyes modellezési tartományok igencsak eltérőek. Vannak modellek, melyek csak egy terméket vizsgálnak, egy szennyezőanyag-kibocsátása esetén, egy technológia üzemeltetésével, azonban be kell látnunk ez nem életszerű, csupán a modell felírását és értelmezését könnyítik meg. A 3. táblázat összefoglalja az egyes szakirodalmakban találtakat. Ezek ismerete nagy jelentőséggel bír majd az értekezésben bemutatott modellek szempontjából.

**3. táblázat:** Az egyes modelleket adott szempontok alapján összefoglaló tábla, szakirodalmi hivatkozással

| Hivatkozás                            | Termékek száma | Technológia                              | Folyamat-szemlélet szerint | Időszemlélet szerint   | Szennyező-anyagok száma |
|---------------------------------------|----------------|------------------------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|
| <b>Letmate és Balakrishnan (2005)</b> | több           | több                                     | Determinisztikus           | 1 periódusos           | többféle                |
| <b>Zhang és Xu (2013)</b>             | több           | 1                                        | Determinisztikus           | 1 periódusos (időtlen) | 1 (karbon)              |
| <b>Hong és társai (2016)</b>          | 1              | 2 (zöld/hagyományos)                     | Determinisztikus           | több periódusos        | 1                       |
| <b>Gong és Zhou (2013)</b>            | 1              | 2 (zöld/hagyományos)                     | Sztocasztikus              | több periódusos        | 1                       |
| <b>Christiansen és Smith (2015)</b>   | 1              | 1 folytonos (1. periódusban fejleszhető) | Sztocasztikus              | 2 periódusos           | 1 (aggregált)           |
| <b>Fullerton és Karney (2018)</b>     | 2              | 1                                        | Determinisztikus           | 1 periódusos           | 2                       |
| <b>Dobos (2002)</b>                   | 1              | -                                        | Sztocasztikus              | folytonos              | 1                       |

*Forrás: saját szerkesztés*

A gyártók és a kereskedők kénytelenek ráébredni arra, hogy a melléktermékek kezelésének szabályozása veszélyezteti jövedelmezőségüket és versenyképességüket. Ezért egy jól kidolgozott modell stratégiai jelentőségűvé válhat jövőbeli üzletpolitikájuk szempontjából. Az értekezés további részében összehasonlítom a költségminimalizáló vállalat és a szakirodalomban alig kutatott kvázi Kék Gazdaság típusú, azaz környezetszennyezést minimalizáló vállalat viselkedését, melyhez az imént áttekintett eddigi szakirodalmak biztos alapot teremtenek. Ám előtte az értekezés módszertanának részletes bemutatása következik.

### 3. LTM modell vs. input-output modell

A fejezet első részében a lineáris tevékenységelemzési modellt, a továbbiakban LTM-et mutatom be, majd annak könnyebb szemléltetéséhez egy tankönyvi számpéldára fogok támaszkodni. Azt követően az LTM egy sajátos eseteként tárgyalom az input-output modellt, amit ismét egy számpéldával illusztrálok. Ezek alapján indokolom, miért javaslom a lineáris tevékenységelemzés modelljét a Kék Gazdaság elveit követő vállalatípus viselkedésének elemzésére az input-output modellel szemben.

#### 3.1 Az LTM modell általános ismertetése

Az LTM-et a lean vállalatirányítási rendszeren keresztül mutatom be Bessenyei (2016) tanulmányait követve. A lean menedzsment ugyanis nagy hasonlóságot mutat az értekezés középpontjában álló Kék Gazdaság koncepcióval, mivel mindkettő elmélet a vevői igényt adottságként kezeli. Ennek értelmében a vállalatnak nem célja többet termelni, mint amire megrendelést kap. A Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalat a társadalom igényeit adott szinten elégíti ki annyi terméket és szolgáltatást előállítva, mint amennyire vevői igény van. A lean alapelveit a disszertáció további részében tárgyalt költség- és környezetszennyezést minimalizáló vállalat modellezése során is alkalmazom. Kosztolányi és Schwahoffer (2016) a lean menedzsment alapját a Toyota termelési rendszerből (TPS) eredeztetik, míg Vörös (2010) szerint gyakran szinonimaként használják a lean és a TPS fogalmát. A TPS célja csökkenteni a költségeket oly módon, hogy a gyártófolyamatban fellelhető veszteségeket feltárja és megszünteti, ami megegyezik a lean menedzsment céljával is. Kosztolányi és Schwahoffer (2016) szerint a lean két alapelv köré csoportosít: az egyik az ember tisztelete, a másik a veszteségek csökkentése. Az első alapelv következménye, hogy a folyamat-optimalizálás révén felszabaduló munkaerőt és egyéb termelési erőforrásokat más területeken vagy új termékek gyártásánál hasznosítják. Ebből következik, hogy egy folyamat megszüntetése nem feltétlen jár elbocsátással. A második alapelv érvényesülése során a rendszerben keletkezett veszteségek felszámolására irányul a figyelem. A lean egyik fontos jellegzetessége, hogy a teljes termelési folyamatot szem előtt tartja.

Womack és Jones (2003) szerint a lean stratégia a vállalat által nyújtott érték meghatározása mellett az értékteremtő tevékenységek sorrendjét is optimalizálja, az azok közti fölösleges szüneteket minimalizálja, a folyamatokhoz kapcsolódó tevékenységeket (mint pl. szállítás, anyagmozgatás) és a készleteket is optimalizálja, továbbá meghatározónak tekinti a vevői igényeket. A disszertációban alkalmazott lineáris tevékenységelemzési modellje a termelőfolyamatok időbeliségét figyelmen kívül hagyja, az optimális sorrend és a fölösleges szünetek problémájával nem foglalkozik. Vizsgálódásaim egyrészt a vevői igények által vezérelt cselekvés stratégiai követelményen, másrészt a folyamat-optimalizálás célkitűzésén alapulnak. Losonci (2010) és Kosztolányi-Schwahoffer (2016) szerint a lean stratégia úgy szünteti meg a vállalati pazarlást, hogy az értéket nem teremtő tevékenységeket felszámolja. E tevékenységek alkalmazási szintje zérus. Látni fogjuk, hogy az ilyen tevékenységek kiválasztására a lineáris tevékenységelemzési modellje kiválóan alkalmas.

A szóban forgó vállalatnál egy alaptevékenység termékeket és/vagy szolgáltatásokat állít elő. A termelés körkörös jellegéből adódóan, ennek során felhasznál a vállalat által előállított termékeket és szolgáltatásokat is. A tömörebb megfogalmazás érdekében, a továbbiakban a vállalat által előállított szolgáltatásokat is termékeknek fogom nevezni. Annak ellenére, hogy a vállalatok elég sokféle köztes és félkész terméket, mellékterméket, termelői szolgáltatást, és terméket használnak fel a gyártási

folyamataiknál, feltételezem, hogy azok száma véges, és így ezeket egy terméklistán felsorolhatjuk. Jelölje  $n$  a terméklistán szereplő elemek számát. Ez a lista tehát rögzíti a vállalat által előállítható termékeket és azok sorrendjét, beleértve a környezetre káros hulladékokat is. A mainstream szakirodalommal ellentétben a terméklistán mindenfajta kibocsátást, ide értve a szennyezőanyagokat is eltérő termékként kezeltek. Annak meghatározásától azonban egyelőre eltekintek, hogy a terméklistán szereplő egyes elemek köztes termékek, vevői igényel rendelkező termékek vagy szennyezőanyagok. Ezt azért teszem, mert alkalmas termelőfolyamat szennyező melléktermékekből is előállíthat olyan végterméket, mely iránt vevői igény mutatkozik.

A vállalat a termékek és szolgáltatások előállításánál során többnyire felhasznál további, a piacon vásárolt termékeket és szolgáltatásokat. Olyan termékeket és szolgáltatásokat, melyeket nem képes, előállítani, és ilyen irányú készségek kialakítása nem is stratégiai célja. Ezeket a piacon vásárolt termékeket és szolgáltatásokat a továbbiakban elsődleges erőforrásoknak nevezem. Ilyen lehet például a villamos energia, a víz, a munka, vagy részletesebb elemzés esetén a különféle szakképzettséget igénylő munkafajták. (Itt jelenik meg a lean menedzsment első alapelve, s annak emberi oldala, ami szükségessé teszi a különféle szakképzettséget igénylő munkafajták részletes megkülönböztetését.). Felteszem azonban, hogy a termeléshez szükséges elsődleges erőforrás fajták száma is véges, ezért az elsődleges erőforrások listáján szerepeltethetjük őket. Jelölje  $l$  a listán szereplő elemek számát.

Jelölje továbbá  $R_+$  a nemnegatív valós számok halmazát, ekkor egy, a vállalat által működtethető alaptevékenység, vagy alaptermék egységnyi szinten történő üzemeltetése esetén a következő három vektor segítségével írható le:

- 1) a kibocsátási együtthatók vektorával.  $\mathbf{k} \in R_+^n$  elemei megmutatják az alaptevékenység egységnyi szinten történő üzemeltetése során előállított termékek, köztes és félkész termékek, melléktermékek, hulladékok és szennyezőanyagok mennyiségét.
- 2) a ráfordítási együtthatók vektorával.  $\mathbf{r} \in R_+^n$  elemei megmutatják az alaptevékenység egységnyi szintű üzemeltetéséhez szükséges, köztes és félkész termékek, melléktermékek, hulladékok és szennyezőanyagok mennyiségét, amiket a vállalat meg kell vagy kénytelen megtermelni.
- 3) az elsődleges erőforrásfelhasználási együtthatók vektorával.  $\mathbf{d} \in R_+^l$  elemei megmutatják az alaptevékenység egységnyi szintű üzemeltetéséhez szükséges elsődleges erőforrások mennyiségét.

A szóban forgó alaptevékenység működtetésének szintje, vagy intenzitása bármilyen természetes fizikai mértékegységben kifejezhető. Ez lehet például munkaóra, gépóra, valamely kibocsátott termék mértékegysége vagy az alaptevékenység folytatásához felhasznált valamelyik elsődleges erőforrás (például villamosenergia) mennyisége. Természetesen alaptevékenységenként más és más mértékegységek szerepeltethetők.

Mivel a Kék Gazdaság egyetlen melléktermék, vagy szennyezőanyag-kibocsátását sem hagyja figyelmen kívül, a  $\mathbf{k}$  vektornak biztosan egynél több pozitív eleme van, mert a legtöbb folyamat működése során további feldolgozásra, vagy értékesítésre alkalmas termék mellett melléktermékek, hulladékok, illetve szennyezőanyagok is képződnek. Ezek szerint tehát a Kék Gazdaság elveinek megfelelően minden alaptevékenység ikertermelést valósít meg. Ha a  $\mathbf{k}$  vektor minden eleme nulla, akkor a szóban forgó tevékenység lehet, hogy a szennyezőanyag-mentesítést végez. Ez azonban

ritkán sikerül tökéletesen, ezért szinte mindig van néhány pozitív elem. A szennyezőanyag-mentesítés erőforrásigényét ebben az esetben is az  $r$  (ráfordítási igények) és  $d$  (elsődleges erőforrás igények) vektorai számszerűsítik.

Ha az  $r$  vektor valamennyi eleme zérus, akkor a szóban forgó tevékenység kizárólag elsődleges erőforrásokat használ fel, működtetéséhez a vállalat által előállított félkész termékekre, segédanyagokra, vagy szolgáltatásokra nincs szükség. Ritkábban fordul elő, hogy a  $d$  vektor áll csupa nullából, mert a legtöbb tevékenység felhasznál valamilyen elsődleges erőforrást.

A legtöbb vállalat természetesen egynél több alaptevékenységet képes folytatni. A neoklasszikus termelési függvény szerint végtelen sok alaptevékenység áll a vállalat rendelkezésére, ezzel szemben az LTM modell véges számú alaptevékenységet feltételez. Legyen a műszaki és szervezési szempontból rendelkezésre álló alaptevékenységek száma  $m$ . Ekkor a rendelkezésre álló alaptechnológiák üzemeltetési szintjét az  $\mathbf{x} \in \mathfrak{R}_+^m$  vektor írja le, ahol  $x_j$  a  $j$ -edik alaptechnológia üzemeltetési, vagy működtetési szintjét adja meg. Az alaptevékenységek mindegyike leírható az imént bevezetett három vektorral, és így az alábbi mátrixok állíthatók elő:

- 1) Ha  $m$ -féle alaptechnológia áll rendelkezésre, akkor az elsődleges erőforrásfelhasználási együtthatókat a  $\mathbf{D} \in \mathfrak{R}_+^{l \times m}$  mátrixba rendezhetjük, melyben az egyes oszlopok elemei megadják a  $j$ -edik alaptechnológia egységnyi szinten történő üzemeltetéséhez szükséges elsődleges erőforrásigényeket. Ennek értelmében  $d_{kj}$  a  $j$ -edik alaptechnológia egységnyi szintű üzemeltetéséhez szükséges  $k$ -adik elsődleges erőforrás mennyiségét adja meg.
- 2) A ráfordítás együtthatók mátrixát  $\mathbf{R} \in \mathfrak{R}_+^{m \times m}$  jelöli, ahol  $r_{ij}$  megmutatja, hogy a  $j$ -edik alaptechnológia egységnyi szintű üzemeltetéséhez mennyi  $i$ -edik termékre van szükség. Ha a vevői igény pozitív ( $y_i^c > 0$ ) és az  $R$  mátrix  $i$ -edik sorában nincs pozitív elem, akkor az  $i$ -edik termék tovább már nem feldolgozható, tehát egy végtermék. Ezzel szemben, ha  $y_i^c = 0$ , és az  $R$  mátrix  $i$ -edik sorában van pozitív elem, akkor az  $i$ -edik termék egy olyan félkész termék, vagy melléktermék, melyre nincs vevői igény. Ha  $y_i^c > 0$ , és az  $R$  mátrix  $i$ -edik sorában nincs pozitív elem, akkor az  $i$ -edik termék szennyezőanyag.
- 3) Végül a kibocsátási együtthatókat a  $\mathbf{K} \in \mathfrak{R}_+^{n \times m}$  mátrix adja meg.  $k_{ij}$  megmutatja, hogy a  $j$ -edik alaptechnológia egységnyi szinten történő üzemeltetése esetén mennyi  $i$ -edik terméket állít elő a vállalat. Ha a  $K$  mátrix az egységmátrix, ez azt jelenti, hogy minden alaptevékenység egységnyi kibocsátást állít elő egy termékből. Ebből adódik, hogy az input-output modellt az LTM egy speciális eseteként tárgyaljuk a következő alfejezetben. Azonban amíg nem létezik olyan alaptechnológia, mely csak egyetlen terméket állít elő, addig a  $K$  mátrix minden oszlopa több mint egy pozitív elemet tartalmaz. Ha a  $K$  mátrix  $i$ -edik sora több mint egy pozitív elemet tartalmaz, akkor az  $i$ -edik terméket több alaptechnológia is előállíthatja. Az LTM-ben itt jelenik meg a technológiai választék lehetősége.

A mátrixok előállításához szükséges pontos adatokat a vállalatnál dolgozó műszaki szakemberektől vagy mérnököktől kapjuk, mely adatoknak egyezniük kell a vállalat számviteli rendszeréből kinyerhető adatokkal. Az  $m$ -féle alaptechnológia működtetésének  $x$  vektor által megadott valamely kombinációja esetén a teljes termelőfolyamat egyes elsődleges erőforrások iránti igényét a  $\mathbf{D}\mathbf{x} \in \mathfrak{R}_+^l$

vektor, termék, félkész termék, segédanyag és egyéb termék iránti igényét az  $\mathbf{R}\mathbf{x} \in \mathfrak{R}_+^n$  vektor, és a gyártási folyamat bruttó kibocsátását az egyes termékekből a  $\mathbf{K}\mathbf{x} \in \mathfrak{R}_+^n$  vektor adja meg. Termelőfelhasználásról akkor beszélünk, ha a vállalat az egyes termékeinek gyártása során az általa korábban előállított köztes és félkész termékeket felhasználja. A lineáris tevékenységelemzés feladata kiválasztani, hogy a lean menedzsment elveinek az alaptevékenységek mely kombinációja felel meg leginkább, úgyelve arra, hogy minimális szintre csökkentse a vállalat a veszteségeket. Az így kiválasztott technológia kombinációját egy lineáris programozási feladat optimális megoldásaként adódó  $\mathbf{x}$  vektor adja meg. Például  $x_i = 0$  megoldás esetén, a vállalat nem folytatja az  $i$ -edik alaptevékenységet.

A lineáris tevékenységelemzés és standard mikroökonómia termelési függvény fogalmi kapcsolatának megvilágítása céljából nézzünk most egy speciális esetre példát. Ehhez figyelmen kívül kell hagynunk a Kék Gazdaság elveit és feltenni, hogy a vállalat csak egy terméket állít elő,

melyhez négyféle technológia áll rendelkezésére:  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  és  $A_4$ . Tegyük fel továbbá, hogy a vállalat csupán két féle elsődleges erőforrást használ fel a termék előállításához, sorrendben a tőkét (jelölje  $K$ ) és a munkát (jelölje  $L$ ), továbbá köztes és félkész terméket nem használ fel, ezekből a termelőfelhasználása nulla. Ekkor a kibocsátási, ráfordítási és elsődleges erőforrásfelhasználási együtthatók mátrixai pl. az alábbiak lehetnek:

$$\mathbf{K}=(1, 1, 1, 1), \mathbf{R}=(0, 0, 0, 0), \mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 \\ 0,5 & 0,3 & 0,2 & 0,1 \end{bmatrix}.$$

Mivel példánkban csak egyetlen termék van ( $n=1$ ), tegyük fel, hogy a vállalat célja a lean menedzsment elveinek megfelelően az  $y^c \in \mathfrak{R}_+$  vevői igény minimális költséggel történő kielégítése.

Az egyszerűség érdekében tekintsük a vevői igényt egységnyinek:  $Q = y^c = 1$ . Ennek során a vállalat négyféle alaptechnológia közül választhat, melyeket az alábbi termelési függvényekkel írhatunk le:

$$Q_1 = \min\left(\frac{K_1}{0,2}, \frac{L_1}{0,5}\right), Q_2 = \min\left(\frac{K_2}{0,3}, \frac{L_2}{0,3}\right), Q_3 = \min\left(\frac{K_3}{0,4}, \frac{L_3}{0,2}\right), \text{ és } Q_4 = \min\left(\frac{K_4}{0,5}, \frac{L_4}{0,1}\right).$$

ahol  $K_j$  a  $j$ -edik alaptechnológia működtetése során felhasznált tőke,  $L_j$  pedig az ugyanitt felhasznált munka mennyiségét jelöli ( $j=1, \dots, 4$ ). Az előállított végtermék mennyisége:  $Q_1+Q_2+Q_3+Q_4=Q$ . Példában célszerű az egyes alaptechnológiák működtetésének intenzitását az előállított végtermék mennyiségével mérni. Ekkor  $x_j = Q_j$ , továbbá  $K_j = d_{1j}x_j$  és  $L_j = d_{2j}x_j$ , így a termelés elsődleges erőforrásigénye a korábban mondottaknak megfelelően:  $\mathbf{s} = \mathbf{D}\mathbf{x}$ .

Mivel a példában szereplő vállalatnál nincs termelőfelhasználás, költségtenyezőként csak az elsődleges erőforrások felhasználásából adódó költségeket kell figyelembe venni. Ez a  $q\mathbf{s}$  skalárszorzat révén adódik, ahol a  $q$  vektor a tőke és munka árát tartalmazza.

A vállalat problémája tehát az alábbi:

$$y^c \leq \mathbf{K}\mathbf{x}, \quad \mathbf{x} \geq \mathbf{0} \tag{1}$$

$$q\mathbf{s} \rightarrow \min \tag{2}$$

A probléma megoldása az 1. ábrán követhető nyomon Chiang (1984) könyvében található ábrát felhasználva, melyen valamennyi alaptechnológia esetében feltüntettem az ahhoz tartozó izokvantok közül kettőt. Megjegyzendő, hogy az egy alaptechnológiához tartozó izokvantok egymást nem metszik és nem is érintik, azonban két különböző alaptechnológia izovantjai már metszhetik és



érintheik is egymást. Ez azért van így, mert minden egyes alatehnológiához végtelen sok különböző izokvant rajzolható.

Az egyes alatehnológiákhoz tartozó izokvantok töréspontjai egy-egy origóból húzott egyenesre esnek. Ezeket skálaegyeneseknek nevezzük. Az egyes alatehnológiákhoz tartozó skálaegyenesek

meredeksége  $\frac{L_j}{K_j} = \frac{d_{2j}}{d_{1j}}$ , ennek reciprokát a standard mikroökonómiában tőkeintenzitásnak nevezik. Mivel példában kölcsönösen egyértelmű hozzárendelés van az alatehnológiák és azok tőkeintenzitása között, célszerű az egyes alatehnológiákat azok tőkeintenzitásával jellemezni.

A  $\mathbf{q}\mathbf{s} \rightarrow \min$  célfüggvény szinthalmazait a  $TC = q_1s_1 + q_2s_2$  paraméteres egyenlet határozza meg, ahol az egyenlőség bal oldalán álló paramétert a termelés összköltségeként értelmezzük. Az egyenletet kielégítő tőke-munka kombinációkat isocost-nak nevezzük. Az elsődleges erőforrások adott ára esetén ilyen isocost az összköltség minden szintjéhez meghatározható. Az 1. ábrán az isocost-ok negatív meredekségű egyenesek gyanánt jelennek meg, melyek meredekségét az

$$\frac{q_2}{q_1}$$

elsődleges erőforrások árának  $q_1$  aránya határozza meg, origótól mért távolságuk pedig az összköltség emelkedésével növekszik. Ezek közül kettőt tüntettem fel az 1. ábrán folytonos, illetve szaggatott kettős vonallal, az elsődleges erőforrások árának két különböző aránya mellett.

Természetesen bármelyik alatehnológia alkalmas a vevői igények kielégítésére, és az ehhez szükséges tőke-munka kombináció bármelyik alatehnológiát reprezentáló skálaegyenesen megjelölhető. Az ezeket összekötő vastag vonal azokat a tőke-munka kombinációkat jelöli, melyekre

a (1) feltételek  $y^c \leq \mathbf{K}\mathbf{x}$  és  $\mathbf{s} = \mathbf{D}\mathbf{x}$  minimális. (A vastag vonalat vízszintes, illetve függőleges irányban meghosszabbítva azonban olyan elsődleges erőforrásigények adódnak, melyekre:  $\mathbf{s} \geq \mathbf{D}\mathbf{x}$ .) A feladat ezek közül kiválasztani azt, melynek költsége minimális.

Szemügyre véve az ábrát, rögtön látszik, hogy amennyiben a munka a tőkéhez képest drága, azaz a szaggatott isocost esetén kizárólag a leginkább tőkeintenzív, az  $A_4$ -es alatehnológiát kell működtetni, mert ez teszi lehetővé a vevői igény minimális költséggel történő kielégítését. Más a helyzet, ha a munka a tőkéhez képest olcsóbb: a folytonosan rajzolt isocost esetén a vevői igény kielégíthető mind az  $A_2$ -es, mind pedig az  $A_3$ -as alatehnológia kizárólagos működtetése révén csakúgy, mint ha a vállalat mindkét alatehnológiát működteti. A vevői igény kielégítéséhez szükséges elsődleges erőforrás-kombinációkat tartalmazó, vastag vonal most ugyanis nem egyetlen pontban érintkezik a minimális összköltséget reprezentáló isocost-tal, hanem egy szakaszon. E szakasz bármely pontja olyan s tőke-munka kombinációt reprezentál, mely felhasználása révén a vevői igények a lehető legalacsonyabb költséggel elégíthetők ki. Az egyes alatevékenységek üzemeltetésének szintje az  $\mathbf{s} = \mathbf{D}\mathbf{x}$  egyenletrendszer megoldása révén adódik. Érdeemes felfigyelni rá, hogy a folytonos isocost esetében ez csupán egyetlen lineárisan független egyenletet tartalmaz, míg a szaggatott isocost esetében kettőt.

- **1. ábra:** Egységnyi kibocsátási szinthez tartozó izokvant görbe

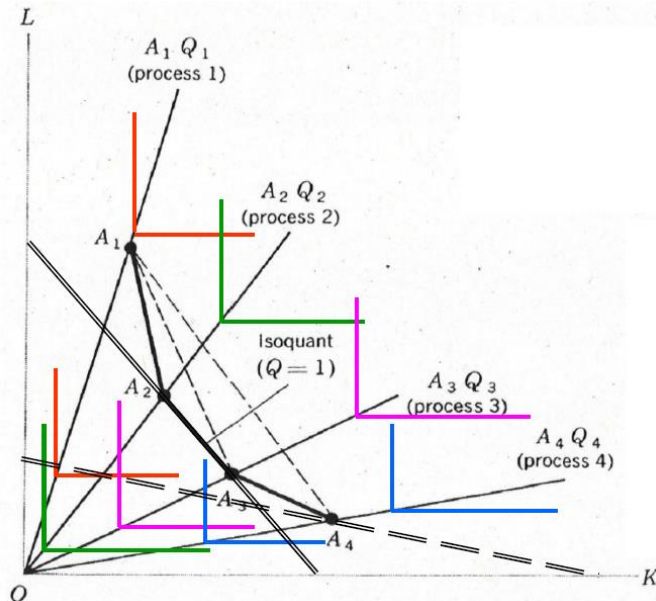
*Forrás: Chiang, 1984 alapján saját szerkesztés*

A lineáris programozás standard eszköztárának alkalmazásához a példában szereplő vállalat problémáját a következőképpen írhatjuk fel:

$$y^c \leq \mathbf{Kx}, \quad \mathbf{x} \geq \mathbf{0} \quad (3)$$

$$\mathbf{qDx} \rightarrow \min \quad (4)$$

A (3–4) problémát a példában szereplő vállalat primális feladatának nevezzük. Jelöljük a (3) és (4)



lineáris programozási problémában szereplő egyetlen feltételhez tartozó duális változót  $p$ -vel. Ez azt mutatja meg, hogy mennyivel csökkenne a termelés összköltsége a vevői igény egységnyi szintű csökkenése esetén. Ezt a mikroökonómiában határköltségek szokás nevezni, de az operációkutatás az árnyékár<sup>18</sup> elnevezést használja. Ennek meghatározása az alábbi, duális feladat megoldása révén történik:

$$p\mathbf{K} \leq \mathbf{qD} \quad \text{és} \quad p \geq 0 \quad (5)$$

$$py^c \rightarrow \max \quad (6)$$

Megjegyzendő, hogy a dualitás I. tétele szerint a primális és a hozzá tartozó duális feladat

megoldásában a célfüggvényértékek megegyeznek, azaz  $py^c = \mathbf{qDx} = \mathbf{qs}$ . Ez azt jelenti, hogy a vevői igényt kielégítő termékmennyiség határköltségen számított értéke a termelés során felmerülő összköltség nagyságával egyenlő. Teljesül tehát a kimerítési elv.

Érdemes figyelni továbbá arra, hogy a duális feladat feltételrendszere négy darab egyenlőtlenséget tartalmaz. Az ezekhez tartozó duális változók az  $\mathbf{x}$  vektor elemei. Az 1. ábrán szaggatottan jelölt isocost esetén optimális megoldás mellett az első három feltétel szigorú egyenlőtlenség formájában teljesül, így a dualitás II. tétele szerint az  $\mathbf{x}$  vektor első három eleme zérus. A negyedik feltétel viszont egyenlőség formájában teljesül, ezért  $0 < x_4$ . Így szelektálja ki a lineáris programozás módszere

<sup>18</sup> „Az optimális erőforrás-elosztási feladatok duális megoldásait árnyékáraknak (shadow price) nevezik. Megmutatják a korlátozó feltételekben szereplő javak és erőforrások utolsó egysége mennyivel járul hozzá a célfüggvény értékéhez” (Zalai, 2012, 84.p.).

<sup>19</sup> Mivel példánkban egyetlen termék van  $\mathbf{K}$  sorvektor.

azokat az alaptermőológiákat, melyek a határköltségnél magasabb költséggel állítanak elő egységnyi terméket.

Mind a duális feladatot, mind pedig az 1. ábrát szemügyre véve jól látható, hogy az elsődleges erőforrások árának aránya határozza meg, hogy mely alaptermőológiát, vagy alaptermőológiákat kell működtetni. Ebből következik, hogy az elsődleges erőforrások felhasználásának adóztatása révén a vállalatok technológiai választása befolyásolható. Jó lenne ennek a befolyásolásnak a környezetterhelésre gyakorolt hatását is figyelembe venni az adók (például személyi jövedelemadó kulcs) módosítása során.

Jól szemlélteti az 1. ábra azt is, hogy a vállalat legfeljebb két alaptermőológiát működtethet gazdaságosan. Például az első három alaptermőológia egyidejű működtetése esetén adódó elsődleges erőforrásigényt az  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  háromszög valamely belső pontja reprezentálja. Ennél alacsonyabb erőforrásigényt, egyúttal alacsonyabb összköltséget jelent, ha csak az 1 és 2, vagy a 2 és 3 alaptermőológia működik, mert az ebből adódó elsődleges erőforrásigényt a háromszög valamelyik, origó felé eső oldalának egy pontja határozza meg. Nagyszámú további alaptervekenység rendelkezésre állása esetén az 1. ábrán hatékony görbeként a sztenderd mikroökonómiahoz hasonló izokvantok adódnak.

Az iménti példával ellentétben a továbbiakban a Kék Gazdaság elveit követem. Ennek megfelelően olyan vállalatokkal fogok foglalkozni, melyek egynél több terméket állítanak elő, így nem lesz lehetőség az 1. ábrához hasonló ábra készítésére.

A lean menedzsment és a Kék Gazdaság alapelveit követve a vevői igényt az  $\mathbf{y}^c \in R_+^n$  vektor írja le. Azon félkész termékek, segédanyagok, illetve termelési szolgáltatások esetében, melyekre vevői igény nincs, az  $\mathbf{y}^c$  vektor megfelelő eleme zérus, bár a vállalat többnyire ezeket is előállítja. Ugyanez a helyzet a hulladékok, vagy szennyezőanyagok esetében is. A továbbiakban azt feltételezem, hogy a vállalat egy adott vevői igényt elégít ki, így  $\mathbf{y}^c$  exogén adottságként adódik.

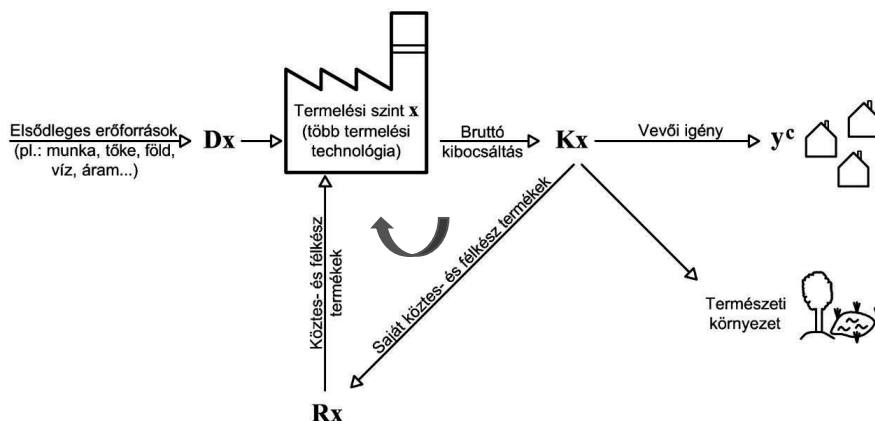
A lineáris tevékenységelemzés standard modellje feltételezi a díjmentes lomtalanítás<sup>20</sup> lehetőségét, vagyis azt, hogy a hulladékok vagy szennyezőanyagok költségmentesen eltüntethetők a rendszerből.  $\mathbf{s}$ -sel jelölöm azon elsődleges erőforrásokat, amelyek a vevői igények által meghatározott termékek előállításához szükségesek, és felteszem, hogy ezeket az elsődleges erőforrások piacán szerzi be a vállalat. Felteszem továbbá, hogy a vállalat az elsődleges erőforrás piacon nem rendelkezik erőfölénnyel. Ekkor az elsődleges erőforrások ára a vállalat által nem befolyásolható, exogén

konstans, melyet a  $\mathbf{q} \in R_+^l$  vektor tartalmaz. Mivel a vevői igények adottak, profitját a vállalat csak a beszerzendő elsődleges erőforrások költségének csökkentése révén növelheti. Mivel ez a költség a vevői igények módosulása esetén változik, változó költségnek szokás nevezni. Nagyságát a  $\mathbf{q}\mathbf{s}$  skalárszorzat határozza meg. A szóban forgó vállalat célja tehát a változó költség minimalizálása.

Az elsődleges erőforrások és termékek áramlását szemlélteti a 2. ábra. Az ábrán középen helyezkedik el a vállalat, melyen belül megjelenik a termelés körforgásos jellege piros nyíllal jelölve. A mainstream mikro- és makroökonómia eltekint a termelés körforgásos jellegétől ezt, azonban az értekezésben figyelembe veszem. Az ábrán szemléltetett vállalat még nem a Kék Gazdaság elve szerint működik, hiszen számos anyag kikerül a természeti környezetbe feltehetőleg károsítva azt. A későbbi fejezetek azonban már ezt is figyelembe veszik.

<sup>20</sup> A lomtalanítás azt jelenti, hogy ha a vevői igény kielégítése során a kellenél több közbenső termék keletkezne, akkor attól a feleslegtől a vállalatnak meg kell szabadulni. Koopmans eredeti modelljében nem szerepelt a díjmentes lomtalanítás, mivel azt feltételezte, hogy az eltakarítás költséggel jár, azaz a felesleg szennyezheti a környezetet (Zalai, 2012).

- **2. ábra:** A vállalat elsődleges erőforrás és termék áramlása



### Forrás: saját szerkesztés

A fent bemutatott mátrixok és vektorok segítségével az alábbi általános lineáris programozási feladat írható fel Zalai (2012) nyomán:

$$\mathbf{x}, \mathbf{y}^c, \mathbf{s} \geq 0 \quad (7)$$

$$\mathbf{p} \quad \mathbf{R}\mathbf{x} + \mathbf{y}^c \leq \mathbf{K}\mathbf{x} \quad (8)$$

$$\mathbf{w} \quad \mathbf{D}\mathbf{x} \leq \mathbf{s} \quad (9)$$

$$-\mathbf{q}\mathbf{s} \rightarrow \max \quad (10)$$

Az egyes feltételek előtt a hozzájuk tartozó duális változókat, azaz árnyékárakat tüntettem fel, melynek értelmezése később következik. A primális feladat (7) feltétele a változók előjelére teszi a szokásos megkötéseket. A (8) feltétel a termékmérleg, mely szerint egyetlen termékből sem használható fel több az előállított mennyiségnél. A felhasználási oldalon álló első tag az egyes termékek termelőfelhasználását adja meg, a második tag pedig a végső felhasználást. A (9) feltétel az elsődleges erőforrások mérlegegyenlete. Ezekből sem használható fel több a rendelkezésre álló mennyiségnél. Feltételezem, hogy  $w_i \leq q_i$ . Végül az (10) egyenlet a nyereséget maximalizáló célfüggvény. A feladat az előzőekben bemutatott példa általánosítása arra az esetre, amikor a vállalat több terméke iránt is jelentkezik vevői igény, és van termelőfelhasználás.

Későbbi eredményeim igazolása céljából célszerű az egyes feltételekhez tartozó árnyékárakat már most értelmezni:

- Az egyes termékek árnyékára megmutatja, hogy a vevői igény adott termékből történő egységnyi csökkenése esetén mennyivel csökkenne a változóköltség:  $p_i = \partial \mathbf{q}\mathbf{s} / \partial y_i^c$ . Ha ez az érték kisebb, mint amennyit a vevő a szóban forgó termékért fizetni hajlandó, akkor a szóban forgó termék iránti vevői igény csak veszteséggel elégíthető ki.
- Az egyes elsődleges erőforrások árnyékára azt mutatja meg, hogy mennyivel csökkenne a beszerzendő elsődleges erőforrások költsége, ha a vállalat a szóban forgó elsődleges erőforrásból egységnyivel többel rendelkezne, s így azt nem kellene a piacról beszerezni:  $w_k = \partial \mathbf{q}\mathbf{s} / \partial s_k$ , ahol  $k = 1, 2, \dots, l$ .  $s_i = 0$  esetén a szóban forgó elsődleges erőforrás beszerzése szükségtelen, különben az  $\mathbf{y}^c$  vektor által előírt termelési feladat minimális költséggel történő teljesítéséhez ez az erőforrás szükségtelen.

A modell egy feltételes szélsőérték probléma, ahol az (7) – (9) egyenlőtlenségek alkotják a feltételrendszert, mely mellett a (10) célfüggvényt kell minimalizálni. A probléma lokális megoldása egyúttal globális megoldás is, hiszen a feltételek és a célfüggvény is lineárisak. A feladat megoldásához a GAMS szoftver<sup>21</sup> használatát javaslom, amely az ilyen jellegű, s az értekezés további részében bemutatásra kerülő problémák vizsgálatára alkalmas.

A lean menedzsment emberi oldalával az értekezés nem foglalkozik. Figyelmen kívül hagyom tehát, hogy az egyes tevékenységek megszüntetése dolgozói, azaz emberi érdekeket sért. Arra azonban

felhívom a figyelmet, hogy az  $i$ -edik tevékenység akkor felesleges, ha a feladat megoldásában  $x_i = 0$ . Amennyiben a vállalat célja a folyamat-optimalizálás, az ennek során elkerülhetetlenül kialakuló belső verseny eldöntését a lineáris tevékenységelemzés modellje hatékonyan támogatja. Ugyanakkor a munkaerő vállalatsoporton belüli átcsoportosítása is lehetséges, így valamely alaptevékenység leállítása nem feltétlenül jár elbocsátással.

A duális feladat<sup>22</sup> felírásához először elkészítem a szimplex táblát:

• **4. táblázat:** Az (7) – (10) feladathoz tartozó szimplex tábla

|          | <b>x</b>                     | <b>s</b>  |                      |
|----------|------------------------------|-----------|----------------------|
| <b>p</b> | $-(\mathbf{K} - \mathbf{R})$ | 0         | $\leq -\mathbf{y}^c$ |
| <b>w</b> | <b>D</b>                     | <b>-E</b> | $\leq 0$             |
|          | $\geq$                       | $\geq$    |                      |
|          | 0                            | <b>-q</b> |                      |

*Forrás: saját szerkesztés*

Ennek segítségével a duális feladat már könnyen felírható:

$$\mathbf{p}, \mathbf{w}, \mathbf{v} \geq 0 \quad (11)$$

$$\mathbf{x} \quad \mathbf{pK} \leq \mathbf{pR} + \mathbf{wD} \quad (12)$$

$$\mathbf{s} \quad \mathbf{w} \leq \mathbf{q} \quad (13)$$

$$\mathbf{py}^c \rightarrow \max \quad (14)$$

Az egyes feltételek bal oldalán, ismét a hozzájuk tartozó duális változókat tüntettem fel. Ezek a primális feladat változói. A dualitásból következik, hogy a  $j$ -edik tevékenység akkor és csakis akkor fölösleges (optimális megoldás esetén:  $x_j = 0$ ), ha  $\mathbf{pk}_j < \mathbf{pr}_j + \mathbf{pd}_j$ , ahol  $\mathbf{k}_j$  a kibocsátási együtthatómátrix  $j$ -edik oszlopa,  $\mathbf{r}_j$  a ráfordítási együtthatómátrix  $j$ -edik oszlopa,  $\mathbf{d}_j$  pedig az elsődleges erőforrásfelhasználási együtthatók mátrixának  $j$ -edik oszlopa. Ezek szerint a  $j$ -edik alaptevékenységet akkor nem folytatja a vállalat, ha a folytatása során létrehozott érték árnyékáron számítva nem éri el a ráfordítások árnyékáron számított nagyságát.

Mivel optimális megoldás esetén a primál és a duál feladat célfüggvényértékei megegyeznek, teljesül a  $\mathbf{qs} = \mathbf{py}^c$  összefüggés. Ezt átrendezve a következő egyenlőséget kapjuk

$$\mathbf{py}^c = \mathbf{qs} \quad (15)$$

<sup>21</sup> Tantermi változata az internetről ingyenesen letölthető ([www.gams.com/download/](http://www.gams.com/download/)).

<sup>22</sup> A duális feladat a primális feladat transzponáltja, ahol a primál és a duál változók szerepe felcserélődik, az egyenlőtlenségek iránya megfordul és a célfüggvényben szereplő minimum helyett maximum szerepel. Ehhez a transzponáláshoz nyújt segítséget a szimplex táblázat. A duális feladtból kapjuk az árnyékárok értelmezését (Zalai, 2012).

melynek bal oldalán a vevői igények kielégítéséből származó, határkölségen számított bevétel áll, jobb oldalán pedig a változó költség. A (15) egyenletből következik a kimerítési elv, mely szerint, ha a vevői igényeket kielégítő termékeket a vállalat a határkölségek által meghatározott áron értékesíti, nem ér el nyereséget. Ez a helyzet, ha végtermékeinek piacain a vállalat nem rendelkezik erőfölénnyel.

A dualitás második tételéből következik továbbá, hogy amennyiben  $s_i > 0$ , akkor  $w_i = q_i$ . Ez azt jelenti, hogy a beszerzésre kerülő elsődleges erőforrások árnyékárai azok piaci árával egyeznek meg. Az LTM modell mélyebb matematikai bemutatása megtalálható Zalai (2012) könyvében.

Megjegyzem, hogy a bemutatott folyamat-optimalizáláson túl a lineáris tevékenységelemzés modellje alkalmas termék-optimalizálásra is. Erre akkor kerülhet sor, ha a vállalat a vevői igények kielégítése során piaci erőfölénnyel rendelkezik. Ebben az esetben azt is meg kell határozni, hogy az egyes termékek iránt mutatkozó vevői igények milyen mértékben kerüljenek kielégítésre. A termék-optimalizálás bevezetésével a primális feladat célfüggvénye (10) helyett például a következő formát írhatjuk:

$(\mathbf{A} - \mathbf{B}\mathbf{y}^c)\mathbf{y}^c - \mathbf{q}\mathbf{s} \rightarrow \max$ , ahol  $\mathbf{A}, \mathbf{B} \in \mathbb{R}_+^{m \times n}$  a vevői preferenciarendszert leíró

együtthatómátrixok, és ezúttal  $\mathbf{y}^c$  döntési változó. Az így módosított célfüggvényben a végtermékek árai azok megtermelt mennyiségétől függenek. Nagyságukat a zárójelben szereplő különbség határozza meg figyelembe véve az egyes termékek kereszt-helyettesítési hatásait is. Mivel azonban az így kapott célfüggvény nemlineáris, ezen a ponton túllépnék a lineáris tevékenységelemzés modelljének módszertani ismertetésén. Ebben az esetben a vállalat feladatai között a folyamat-

optimalizálás mellett a termék-optimalizálás is megjelenik. A GAMS szoftver nemlineáris problémák megoldására is alkalmas. Ennek során figyelembe kell venni azonban, hogy a GAMS outputja csupán egy lokális optimumot szolgáltat, ami nem feltétlenül esik egybe a globális optimummal. A disszertáció későbbi fejezeteiben a nemlineáris probléma némileg más vonatkozásban fog megjelenni.

### 3.2 Számpélda az LTM modell illusztrálásához

A 3.1 pontban mondottak illusztrálásához tekintünk a következő számpéldát, melyet Dinkelbach és Rosenberg (1994, 119. p.) könyvéből vettem át kiegészítve azt a körforgásos termelés lehetőségének bevezetésével.

A terméklista három elemet tartalmaz: mt1 1. károsanyag, mt2 2. károsanyag, és vég végtermék. Az elsődleges erőforrások listája két elemet tartalmaz: r1 és r2. Valamint az alaptevékenységek listáján hat alaptevékenység szerepel, melyek az alábbiak: proc1, proc2, proc3, proc4, proc5, és proc6.

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} 11 & 9 & 7 & 6 & 3 & 1 \\ 6 & 6 & 8 & 9 & 9 & 9 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

A kibocsátási együtthatók mátrixának elemei:  $\mathbf{K}$ . A ráfordítási együtthatók mátrixa zérómátrix, így Dinkelbach és Rosenberg (1994, 119. p.) példájában figyelmen kívül marad a termelés körforgásos jellege. Célszerű az egyes alaptevékenységek intenzitását az általuk előállított végtermék mennyiségével mérni.

Az elsődleges erőforrásfelhasználási együtthatók mátrixának elemei az alábbiak:

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} 30 & 35 & 40 & 45 & 60 & 70 \\ 40 & 38 & 32 & 30 & 24 & 25 \end{pmatrix}, \text{ az ezekből maximálisan rendelkezésre álló mennyiség pedig: } \bar{s}_1 = 12760 \text{ és } \bar{s}_2 = 8000.$$

Dinkelbach és Rosenberg (1994) számpéldáját tekintve felvetődik a gyanú, hogy a számpélda redundáns, mivel gyanúsán együtt mozog a két elsődleges erőforrás helyettesítési aránya. Ebből adódik, hogy a 4-es és 6-os alaptevékenységet a vállalat nem üzemelteti. Az értekezés azonban eltekint ennek további vizsgálatától, és a könyvben bemutatott eredeti számpéldát kívánja használni, illetve kiegészíteni.

Az elsődleges erőforrások ára legyen:  $q_1 = 7$  és  $q_2 = 8$ . Kiegészítve a (7) – (10) probléma feltételrendszerét a károsanyagok kibocsátását korlátozó  $y_1 \leq 1540$  és  $y_2 \leq 2033$  feltételekkel, a megoldás az 5. táblázatban bemutatott módon függ a vevői igénytől<sup>23</sup>:

- **5. táblázat:** (7) – (10) feladat illusztrálásához használt számpélda eredménytáblája hat alaptevékenység üzemeltetése esetén

| $y_3$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $r_1$ | $r_2$ | $y_1$ | $y_2$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 100   | 100   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 3000  | 4000  | 1100  | 600   |
| 140   | 140   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4200  | 5600  | 1540  | 840   |
| 220   | 0     | 0     | 220   | 0     | 0     | 0     | 8800  | 7040  | 1540  | 1760  |
| 248   | 0     | 0     | 199   | 0     | 49    | 0     | 10900 | 7544  | 1540  | 2033  |
| 263   | 0     | 98    | 39    | 0     | 126   | 0     | 12544 | 8000  | 1534  | 2033  |
| 264   | 0     | 108   | 19    | 0     | 137   | 0     | 12760 | 8000  | 1516  | 2033  |

*Forrás: saját szerkesztés*

A GAMS nyelven megírt feladat megtalálható az értekezés 8.1 Függelékében. A 5. táblázat első oszlopában  $y_3$ , azaz a vevői igény különböző értékeit Dinkelbach és Rosenberg (1994) nyomán rögzítettem.  $y_3 = 265$  esetén a feladatnak nincs megengedett megoldása. A táblázatban jól látható, hogy alacsony vevői igény esetén csak az első alaptevékenységet ( $x_1$ ) üzemelteti a vállalat, míg magasabb vevői igény esetén már bekapcsolódik a termelésbe a harmadik ( $x_3$ ), majd a második ( $x_2$ ), végül az ötödik ( $x_5$ ) alaptevékenység is. Tehát a termelés növekedése önmagában technológiai váltást tesz szükségessé. A vevői igény növekedésével, növekszik az elsődleges erőforrásigénye ( $r_1$  és  $r_2$ ), és a károsanyag kibocsátása ( $y_1$  és  $y_2$ ) a vállalatnak.

Dinkelbach és Rosenberg (1994, 119. p.) számpéldáját kiegészítve, most tegyük fel, hogy a technikai haladás eredményeként bővül az alaptevékenységek listája. Az új (proc7) alaptevékenység kibocsátási együtthatói: (4, 0, 1), ráfordítási együtthatói: (0, 3, 0), elsődleges erőforrásfelhasználási együtthatói pedig (75, 23). Az új alaptevékenység tehát az eddig 2. károsanyagnak nevezett

<sup>23</sup> A táblázat utolsó két sorában található eredmények csekély mértékben eltérnek a Dinkelbach és Rosenberg (1994, 119. p.) könyvében megadottaktól. Ennek minden bizonnyal numerikus okai lehetnek.

mellékterméket nem előállítja, hanem felhasználja. Itt jelenik meg a termelés körforgásos jellege, amit az értekezés 2. ábrája szemléltet.

Nézzük meg, most miként változnak az optimális megoldások:

- **6. táblázat:** (7) – (10) feladat illusztrálásához használt számpélda eredménytáblája hét alaptevékenység üzemeltetése esetén

| $y_3$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ | $r_1$ | $r_2$ | $y_1$ | $y_2$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 100   | 100   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 3000  | 4000  | 1100  | 600   |
| 140   | 140   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4200  | 5600  | 1540  | 840   |
| 220   | 0     | 0     | 220   | 0     | 0     | 0     | 0     | 8800  | 7040  | 1540  | 1760  |
| 248   | 0     | 0     | 199   | 0     | 49    | 0     | 0     | 10900 | 7544  | 1540  | 2033  |
| 263   | 0     | 0     | 185   | 0     | 66    | 0     | 12    | 12273 | 7776  | 1540  | 2033  |
| 264   | 0     | 0     | 184   | 0     | 67    | 0     | 13    | 12365 | 7792  | 1540  | 2033  |
| 265   | 0     | 0     | 183   | 0     | 68    | 0     | 14    | 12457 | 7807  | 1540  | 2033  |

*Forrás: saját szerkesztés*

A GAMS nyelven megírt feladat megtalálható az értekezés 8.2 Függelékében. A 5. táblázathoz hasonlóan, az 6. táblázat első oszlopában ismét az  $y_3$  vevői igény különböző értékeit tüntettem fel. Ugyanakkor a táblázat egy újabb oszloppal bővült, a hetedik alaptevékenységgel ( $x_7$ ), mely a termelés körforgásos jellegét reprezentálja. Hét alaptevékenység üzemeltetése esetén már másképp

alakulnak az egyes alaptevékenységek üzemeltetési szintjei. Jól látható, hogy  $y_3 = 263$  esetén, a terméklista 2. eleme már nem tekinthető egyértelműen károsanyagnak. Ebben az esetben egy olyan köztes termékről van szó, mely a kibocsátás bővítéséhez egy ponton túl nélkülözhetetlen. Ennek következményeként pedig a természetbe kibocsátott károsanyag mennyisége is csökkeni fog. Továbbá a számpélda eredménye, hogy a vállalat már képes többet termelni a 7. alaptevékenység üzemeltetésével szemben Dinkelbach és Rosenberg (1994) által bemutatott alappéldával. A későbbi fejezetekben részletesen vizsgálni fogom a vállalat szennyezőanyag csökkentésére irányuló törekvését, azonban az LTM módszertan bemutatása túllép e kérdés megválaszolásán.

### 3.3 Input-output modell

Az input-output modellt az LTM egy sajátos eseteként értelmezem Zalai (2012) nyomán, ahol a termékek és az alaptevékenységek közti kapcsolatok kölcsönösen egyértelműen megfeleltethetőek egymásnak. LTM környezetben ez azt jelenti, hogy a kibocsátási együtthatók mátrixa az egy egységmátrix, ebből adódik, hogy nincs technológiai választék (egy terméket csak egy technológia állít elő) és nincs ikertermelés sem (egy technológia csak egy terméket bocsát ki). E korlátozások miatt az input-output elemzést elsősorban nagyobb termelőrendszerek, vagy a teljes makrogazdaság vizsgálata során szokás alkalmazni. Ilyenkor az egyes alaptevékenységeknek a nemzetgazdaság, vagy a nagyobb termelőrendszer ágazatai felelnek meg. Valóban, egy ágazat kibocsátását többnyire nem állítja elő egy másik ágazat.

Az input-output modell technológiai lehetőségének halmazát, az LTM-hez hasonlóan, három mátrix segítségével írhatjuk le.  $\mathbf{K} = \mathbf{E} \in \mathfrak{N}_+^{m \times n}$  egy egységmátrix, azaz a kibocsátási együtthatók mátrixa. Mindezek miatt célszerű az egyes alaptevékenységek intenzitását a bruttó kibocsátással mérni, így



$Kx = Ex = x$ . Az  $R = A \in \mathfrak{R}_+^{n \times n}$  mátrix írja le a termékráfordítási együtthatókat.  $a_{ij}$  megmutatja, hogy egységnyi  $j$ -edik termék előállításához mennyi  $i$ -edik termék szükséges.  $a_{ii} > 0$  esetén az  $i$ -edik alaptevékenység, mint ágazat saját termékét is felhasználja. Ez a helyzet például egy olyan farmgazdaságban, mely a megtermelt növények egy részét vetőmagként hasznosítja. Az input-output modellben a termelési eljárások, vagy ágazatok között nincs mód a helyettesítésre. Ennek következtében a termékráfordítási együtthatók mátrixa is négyzetes lesz.  $D \in \mathfrak{R}_+^{k \times n}$  az elsődleges erőforrásfelhasználási együttható mátrixa.  $d_{ki}$  megmutatja, hogy egységnyi  $i$ -edik ágazati kibocsátás előállításához mennyi  $k$ -adik elsődleges erőforrás szükséges. Elsődleges erőforrásként szerepelhet továbbra is a villamosenergia, vagy a bérköltség.

Az  $x = Ax + y$  primális alapegyenletben végső felhasználást az  $y \in R_+^n$  vektor írja le. Elemei megadják, hogy egyes ágazatok termékéből mennyi kerül értékesítésre a fogyasztók számára, és mennyi készletre. Elképzelhető, hogy az  $i$ -edik ágazat végső felhasználása nulla ( $y_i = 0$ ), ám kibocsátását termékráfordításként más ágazat felhasználja.

A fentiekből következően az input-output modell adatigénye szerényebb, mint az LTM modellé. Vállalati szinten a szükséges adatok akár a vállalat számviteli rendszeréből kinyerhetők, makroszinten pedig az ágazati kapcsolatok mérlegéből. Ehhez egy az ágazati kapcsolatok mérlegéhez (ÁKM) hasonló séma szükséges, melyet az ÁKM terminológiáját felhasználva a 7. táblázat mutat be. A sorokban jelenik meg az egyes tevékenységek bruttó kibocsátása ( $x$ ), és annak felhasználása. Az oldalsó szárny oszlopaiban a végső felhasználás jellemző tételei tüntethetők fel (pl: értékesítés, készletváltozás). Számomra ezek összege érdekes, melyet az  $y$  vektorban foglalom össze. Az oszlopösszegek az egyes tevékenységekből származó bruttó bevételt jelenítik meg, míg az oszlop egyes elemei megadják, hogy a termelési költség mely elemeit finanszírozza a bruttó bevétel. Mivel a modell két mérleget tartalmaz, a belső négyzet alatt és mellett, a sor és oszlopösszegeknek meg kell egyezniük. Ennek érdekében mind az oldalsó, mind pedig az alsó szárnyon egy-egy helyesbítő tételt szokás alkalmazni. Az oldalsó szárnyon ez a készletváltozás, míg az alsó szárnyon az ágazat nettó működési eredménye. Az LTM-mel ellentétben többnyire nominális nagyságban adják meg az adatokat, ám az eredmény naturális mértékegységben is értelmezhető.

• **7. táblázat:** Egy általános input-output modell sémája

|                             | Tevékenységek, ill. termékek, mint felhasználók | Felhasználás értékesítés készlet | Bruttó termelés |
|-----------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| Termékek, ill. kibocsátások | X<br>Belső négyzet                              | Y<br>Oldalsó szárny              | x               |
| Elsődleges erőforrások      | H<br>Alsó szárny                                |                                  | s               |
| Árbevétel                   | x                                               | y                                |                 |

*Forrás: saját szerkesztés Zalai (2012, 177. p.) nyomán*

Az  $\mathbf{A}$  és  $\mathbf{D}$  együtttható mátrixokat úgy képezzük, hogy az  $\mathbf{X}$  (az  $n \times n$ -es belső négyzet) és  $\mathbf{H}$  (az  $l \times n$ -es alsó szárny) mátrixok elemeit elosztjuk az  $\mathbf{x}$  oszlopösszegekkel, az alábbi képletek felhasználásával  $a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j}$  és  $d_{kj} = \frac{h_{kj}}{x_j}$ .

Az input-output modell primál és duál alapegyenletei a következőképp írhatók fel (Zalai, 2012):

$$\text{Primális alapegyenlet} \quad \mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{y} \quad (16)$$

$$\text{Duális alapegyenlet} \quad \mathbf{p} = \mathbf{pA} + \mathbf{c} \quad (17)$$

ahol az oldalsó szárnynon szereplő tételeket az  $\mathbf{y}$  vektorban összegeztük, továbbá az alsó szárnynon

$$c_j = \frac{1}{x_j} \sum_{k=1}^N h_{kj}$$

adódó együttthatókat a  $\mathbf{c}$  vektorban összegeztünk: , amit a  $j$ -edik ágazat egységnyi kibocsátása során képződő hozzáadott- vagy fajlagos hozzáadott értéknek nevezünk. Ebből kell finanszírozni az alaptevékenység folytatásához szükséges elsődleges erőforrások költségét, beleértve az ágazati nyereséget is.

Felmerül a kérdés, hogy a (16) primális alapegyenlet esetén egyáltalán létezik-e olyan  $\mathbf{x} \geq 0$  vektor, mely esetén igaz az, hogy  $\mathbf{y}$  vektor elemei pozitívak lesznek. Ez a termelési rendszer produktivitásának kérdése. Egy termelő rendszer akkor és csak akkor produktív, ha létezik olyan  $\mathbf{x} \geq 0$  bruttó kibocsátási vektor, melyre igaz, hogy  $\mathbf{x} > \mathbf{Ax}$ , azaz a bruttó kibocsátások meghaladják az ezek előállításához szükséges termékráfordítások mértékét. Ekkor minden termékből keletkezik nettó kibocsátás, tehát az  $\mathbf{y}$  vektor elemei pozitívak lesznek. Az értekezés további részében felteszem, hogy a vállalat termelőrendszere kielégíti Gale (1960) ezen produktivitási feltételét. Ez az LTM modellben azt jelenti, hogy létezik az alaptevékenységeknek egy olyan  $\mathbf{x} \geq 0$  kombinációja, melyre  $\mathbf{Kx} > \mathbf{Rx}$  teljesül.

A produktivitás Gale-féle duális feltétele szerint egy termelő rendszer akkor és csak akkor produktív, ha létezik olyan  $\mathbf{p} \geq 0$  vektor, mely esetén  $\mathbf{p} > \mathbf{pA}$ , azaz minden termék termelése során keletkezik pozitív hozzáadott érték. Az imént meghatározott Gale-féle primális produktivitás definíciója és a duális produktivitás definíciója ekvivalensek<sup>24</sup>. Mindkettő az  $\mathbf{A}$  termékráfordítási együtttható mátrix által leírt termelési rendszer produktivitásának feltétele.

Az input-output modell arra ad választ, hogy mi lesz a végső felhasználás, illetve fajlagos hozzáadott érték változásának hatása az egyes tevékenységek termelési ( $\mathbf{x}$ ) szintjére, illetve költségindexeire ( $\mathbf{p}$ ). A modell komparatív statikus elemzésekhez biztosít lehetőséget. Ennek érdekében a (16) és (17) alapegyenletet átrendezve az alábbiakat kapjuk  $(\mathbf{E} - \mathbf{A})\mathbf{x} = \mathbf{y}$ , illetve  $\mathbf{p}(\mathbf{E} - \mathbf{A}) = \mathbf{c}$ , ahol az  $(\mathbf{E} - \mathbf{A})$  együtttható mátrixot más néven Leontief mátrixnak nevezzük, melynek az inverze a Leontief-inverz. Utóbbi egyenleteket a Leontief-inverzszel beszorozva, az alábbiakat kapjuk

$$\mathbf{x} = (\mathbf{E} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y} \quad (18)$$

$$\mathbf{p} = \mathbf{c}(\mathbf{E} - \mathbf{A})^{-1} \quad (19)$$

A (18) egyenlet tehát a végső felhasználás függvényében adja meg a bruttó kibocsátásokat, míg a (19) egyenlet a fajlagos hozzáadott értékek függvényében az ágazati költségindexeket. Megjegyzendő továbbá, hogy az így kapott nagyságok biztosan nemnegatívak, amennyiben az  $(\mathbf{E} - \mathbf{A})^{-1}$  Leontief-inverz elemei nemnegatívak. Ekkor és csakis ekkor  $\mathbf{A}$  egy produktív termelőrendszer együttthatómátrixa, a produktivitás Gale-féle értelmében.

<sup>24</sup> A primális és duális produktivitás ekvivalenciájának bizonyítást lásd Zalai (2012, 151-174.) könyvében.

### 3.4 Számpélda az input-output modell illusztrálásához

Az input-output modell bemutatásához vegyünk példának egy bio-farmgazdaságot. Tegyük fel, hogy három ágazatot működtet: a növénytermesztést, az állattenyésztést és a tanyasi vendéglátást. A farmgazdaságnál a végső felhasználásnak két összetevője van, az egyik az értékesített termékek árbevétele  $\mathbf{y}^c \in \mathbb{R}_+^3$ . A másik összetevő a készletezésre került termékek értéke, amit  $\mathbf{y}^k \in \mathbb{R}_+^3$  vektorral jelölünk. A végső felhasználás így a következőképp alakul:  $\mathbf{y} = \mathbf{y}^c + \mathbf{y}^k$ . A farmgazdaság elsődleges erőforrásainál feltüntetésre került a felhasznált energia költsége, a bérköltség annak közterheivel, valamint az ágazat nettó működési eredménye. Tudjuk továbbá, hogy a növénytermesztés termelési értéke a vizsgált időszakban 5 052 euró volt összesen, az állattenyésztésé 21 303 euró, a vendéglátásé pedig 19 203 euró. Ezek jelentik az egyes tevékenységekhez tartozó bruttó kibocsátást, amit az  $\mathbf{x}$  vektor elemei rögzítenek:  $\mathbf{x} = (5\ 052, 21\ 303, 19\ 203)$ . A farmgazdaság további adatait a 8. táblázatban látjuk. Ezek az információk a vállalat számviteli rendszeréből kinyerhetők. A következő számlaosztályok adnak erről információt: 5. számlaosztály (a költségnevek) és a 9. számlaosztály (a bevételek).

• **8. táblázat:** Egy farmgazdaság input-output táblája  
(az értékek euróban értendők)

|             | 1.növény t. | 2.állatt. | 3.vendégl. | értékesítés | készletezés | összesen  |
|-------------|-------------|-----------|------------|-------------|-------------|-----------|
| 1.növény t. | 1 818       | 2<br>062  | 508        | 257         | 408         | 5<br>052  |
| 2.állatt.   | 1 367       | 8<br>154  | 4 562      | 480         | 2 740       | 21<br>303 |
| 3.vendég l. | 425         | 2<br>579  | 4 595      | 10<br>567   | 1 037       | 19<br>203 |
| energia     | 155         | 1<br>176  | 1 851      |             |             |           |
| bérköltség  | 544         | 3<br>525  | 3 672      |             |             |           |
| eredmény    | 743         | 3<br>808  | 4 015      |             |             |           |
| összesen    | 5 052       | 21<br>303 | 19 203     | 15<br>304   | 4 185       |           |

Forrás: saját szerkesztés

A 8. táblázatot, a következő módon olvashatjuk soronként: a növénytermesztés bruttó kibocsátásából 1 818 euró egységet a saját tevékenység számára termelt (vetőmag), 2 062 euró egységet az állattenyésztés (takarmányozás) és 508 euró egységet a vendéglátás (vendégek étkeztetése) számára; valamint 257 euró egységet értékesítésre, és 408 euró egységet készletezésre állított elő az ágazat. A növénytermesztés oszlopértékei az alábbiakat mutatják meg a következő sorrendben: mennyi volt a növénytermesztés ráfordítása az ágazat saját termékei iránt (1 818 euró vetőmag), az állattenyésztés kibocsátására (1 367 euró igavonó állatok felhasználása a talajművelés és szállítás során), és a vendéglátás szolgáltatására (425 euró növénytermesztésben dolgozó vendégmunkások ellátása

(szállítás, étkezés), végül megadja mennyi volt az energia és bérköltség, valamint az ágazat működésének nettó eredménye.

Ahhoz, hogy megkapjuk a termékráfordítási, illetve az elsődleges erőforrásfelhasználási együttható mátrixokat, a sorértékeket elosztjuk a bruttó kibocsátás értékeivel azért, hogy egységre jutó adatokat kapjunk. Ennek eredményét a 9. táblázatban látjuk.

- **9. táblázat:** A farmgazdaság input-output táblájának együtthatói

|                   | <b>1. növénytermesztés</b> | <b>2. állattenyésztés</b> | <b>3. vendéglátás</b> |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| <b>1.növényt.</b> | 0,36                       | 0,10                      | 0,03                  |
| <b>2.állatt.</b>  | 0,27                       | 0,38                      | 0,24                  |
| <b>3.vendégl.</b> | 0,08                       | 0,12                      | 0,24                  |
| <b>energia</b>    | 0,03                       | 0,06                      | 0,10                  |
| <b>bérköltség</b> | 0,11                       | 0,17                      | 0,19                  |
| <b>eredmény</b>   | 0,15                       | 0,18                      | 0,21                  |
| <b>összesen</b>   | 1                          | 1                         | 1                     |

*Forrás: saját szerkesztés*

A 9. táblázat első oszlopának első három oszlopértéke, mely egybeesik a termékráfordítási együttható mátrix első oszlopával, megmutatja, hogy 1 egységnyi növénytermesztési termék előállításához mennyit kell felhasználni az egyes ágazatok kibocsátásából.

A 8. táblázatból kapjuk:

a termékráfordítási együttható mátrixot  $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0,36 & 0,10 & 0,03 \\ 0,27 & 0,38 & 0,24 \\ 0,08 & 0,12 & 0,24 \end{bmatrix}$ ,

az elsődleges erőforrásfelhasználási együttható mátrixot  $\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0,03 & 0,06 & 0,10 \\ 0,11 & 0,17 & 0,19 \\ 0,15 & 0,18 & 0,21 \end{bmatrix}$ ,

míg 8. táblázatból kapjuk a végső felhasználás vektorát  $\mathbf{y} = \mathbf{y}^c + \mathbf{y}^k = \begin{bmatrix} 665 \\ 7\ 220 \\ 11\ 604 \end{bmatrix}$ .

Mindenekelőtt érdemes a (16) primális egyenlet teljesülését ellenőrizni. Egyszerű számolással megmutatható, hogy

$$\begin{bmatrix} 5\ 052 \\ 21\ 303 \\ 19\ 203 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,36 & 0,10 & 0,03 \\ 0,27 & 0,38 & 0,24 \\ 0,08 & 0,12 & 0,24 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 5\ 052 \\ 21\ 303 \\ 19\ 203 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 665 \\ 7\ 220 \\ 11\ 604 \end{bmatrix}$$

A fajlagos hozzáadott értékek vektora a következő:  $\mathbf{c} = (0,29\ 0,41\ 0,50)$ .

Ezt felhasználva látható, hogy a (17) egyenlet az ágazati árindexek egységnyi értékei mellett teljesül.

$$(1\ 1\ 1) = (1\ 1\ 1) \begin{bmatrix} 0,36 & 0,10 & 0,03 \\ 0,27 & 0,38 & 0,24 \\ 0,08 & 0,12 & 0,24 \end{bmatrix} + (0,29\ 0,41\ 0,50)$$

Nézzünk most három esetet. Vizsgáljuk meg hogyan alakul a bruttó kibocsátás a farmgazdaságnál, ha a készleteket felszámolja (*Eset 1*); nézzük meg mekkora termelésnövekedést vagy csökkenést idéz elő a végső fogyasztásban beállt változás (*Eset 2*); végül nézzünk arra egy példát hogyan hat az egyes ágazatok költségindexeire az energiaköltségek 10%-os növekedése, például egy környezetvédelmi adó bevezetése következtében (*Eset 3*).

*Eset 1:* Tegyük fel, hogy a farmgazdaság úgy dönt, hogy felszámolja a készleteket ( $\mathbf{y}^k = 0$ ). Így a teljes kibocsátás most az alábbi módon alakul  $\mathbf{y} = \mathbf{y}^c$ . A (18)-as egyenletbe behelyettesítve az új  $\mathbf{y}$  vektort, megkapjuk a bruttó kibocsátási értékeket ( $\mathbf{x}$ ), melyek az alábbiak lesznek: a növénytermesztésnél 3 381 euró, míg az állattenyésztésnél 15 159 euró, és a vendéglátásnál 16 677 euró. Az előző időszakhoz képest most jelentősen csökkent a termelési érték. A készletfelszámolás egyik előnye lehet, hogy a farmgazdaság csökkenti a termelési költségeit, és ezzel párhuzamosan raktározásra használt területeket tud felszabadítani. Ugyanakkor a készletcsökkentés hátránya, hogy a vállalkozás kitétsége növekszik, ha például az időjárásban bekövetkezett változás miatt hozamcsökkenést tapasztalva nem tudja pótolni hiányzó készleteit.

*Eset 2:* Nézzük meg, mi történik akkor, hogyha átalakul a végső fogyasztás szerkezete: az állattenyésztés termékeiből 1 500 euró egységgel kevesebbet igényelnek a végső fogyasztók, míg a növénytermesztés termékei iránt 950 euróval növekszik a kereslet. Ekkor a végső felhasználásban

beállt változást  $\Delta \mathbf{y} = \begin{bmatrix} 950 \\ -1\ 500 \\ 0 \end{bmatrix}$  írja le. A (18) egyenlet az alábbi módon alakul  $\Delta \mathbf{x} = (\mathbf{E} - \mathbf{A})^{-1} \Delta \mathbf{y}$ ,

helyettesítsük be  $\Delta \mathbf{y}$ -t. Láthatjuk, hogy a Leontief-inverz egyfajta multiplikatorként viselkedik ez esetben is, megsokszorozza a termelés iránt jelentkező külső igényt, ami közvetve tovagyrúzó igényeket támaszt. Ebben az esetben volumenmultiplikatorról beszélünk.  $\Delta \mathbf{x}$  vektor megmutatja, hogy a végső felhasználási igény ( $\Delta \mathbf{y}$ ) változása a bruttó kibocsátás mekkora változását generálja.  $\Delta \mathbf{x}$ -re a következőket kapjuk: [1 164 -1 986 -169]. A két ágazat végső fogyasztásában bekövetkezett változás eltérően érinti az egyes ágazatokat. Láthatjuk, hogy a vendéglátás bruttó kibocsátása is csökken, annak ellenére, hogy annak végső felhasználása nem változott. Ez a tovagyrúzó hatás a termelés körkörös jellegéből fakad, melyet az input-output modell éppúgy figyelembe vesz, mint a lineáris tevékenységelemzés modellje.

*Eset 3:* A környezetterhelési adó bevezetése az energiaköltségek 10%-os emelkedését eredményezi. Ekkor ágazatonként magasabb energiaköltségek adódnak, euróban kifejezve: [171 1293 2036]. Nézzük meg, hogyan hat az energiaköltségek emelkedése az egyes ágazatok költségindexére. Először is kiszámoljuk az új  $\mathbf{c}$  értékeket:

$$\mathbf{c} = (0,37 \ 0,53 \ 0,61)$$

majd azt behelyettesítjük a (19) egyenletbe. Az így kapott eredmények az ágazatok költségindexében beállt változásokat mutatják meg, melyek az alábbiak: a növénytermesztésnél 1,3, az állattenyésztésnél 1,4 és a vendéglátásnál 1,8 százalékos költségindex-növekedést tapasztalunk. Mint látjuk itt is egyfajta multiplikatőrrel van dolgunk, hiszen minden ágazatra hatást gyakorolt az energiaköltség árának növekedése. Ebben az esetben ármultiplikatorról beszélünk. Érdemes lehet megvizsgálni, hogy az egyes ágazatok képesek-e érvényesíteni áraikban saját költségeik növekedését. Azonban ezen a ponton túllépnék az input-output modell módszertani ismertetésén.

### 3.5 Az input-output modell hiányosságai az LTM modellel szemben

Az input-output modellben a tevékenységek és a termékek kölcsönösen egyértelműen megfeleltethetők egymásnak, ezért írhatjuk le szabályos egyenletrendszerrel a vállalat működését. Az LTM modellel ugyanakkor ez már nem igaz.

Az egyik jelentős eltérés a két modell között az, hogy az input-output modell figyelmen kívül hagyja az ikertermelés lehetőségét. A Kék Gazdaság típusú vállalat működésének egyik fontos szempontja szerepeltetni a vállalat kibocsátásai közt nem csak a köztes és végtermékeket, hanem a

melléktermékeket- és szennyezőanyagokat is. Ehhez azonban az ikertermelés figyelembe vétele szükséges. A Kék Gazdaság típusú vállalat célja továbbá csökkenteni az elsődleges erőforrás-felhasználást oly módon, hogy helyettesíti azokat a gyártás során keletkezett félkész és melléktermékekkel, ide értve a szennyezőanyagokat és hulladékokat is. Ehhez azonban a technológiai választék lehetőségét is figyelembe kell venni, amint azt az LTM modell teszi. Az LTM modellben az **R** mátrix mutatja meg a termelő felhasználást a vállalat technológia lehetőségeinek függvényében. Itt mutatható ki a termelőrendszer körforgásos jellege is (ld. 2. ábra). Az input-output modellben nem lehet kimutatni a gyártás során keletkezett hulladékok gazdaságon, vagy vállalaton belül történő hasznosulását, mivel a tevékenységek és termékek között kölcsönösen egyértelmű kapcsolatot feltételezünk. Az ikertermelés és a technológiai választék alapvető jelentőségű a Kék Gazdaság szempontjából, azonban az input-output modell ezt a két tulajdonságot nem tudja kezelni, ezért nem alkalmas a Kék Gazdaság vizsgálatára.

Másrészt tény, hogy az egyes technológiák eltérő módon szennyeznek a környezetet, melynek figyelembe vétele az input-output modell keretein túlmutat, azonban a lineáris tevékenységelemzés modellje a különféle szennyezőanyagok kibocsátását képes egymástól elkülönítetten kezelni. Így lehetőség nyílik annak figyelembe vételére, hogy az egyik technológia az "A" típusú szennyezőanyagból bocsát ki többet, míg a másik technológia a „B” típusúból. Mivel az LTM modell tevékenység-optimalizálásra is alkalmas, a technológiák közti választás a modell keretein belül megvalósítható.

Mindezek miatt a környezetgazdasági elemzésekhez és egyben a Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalat esetében is javaslom a lineáris tevékenységelemzési modell módszerének alkalmazását, mivel olyan szempontokat képes figyelembe venni, melyek az input-output modell korlátját jelentik. Ezt Bessenyei (2016) tanulmányában részben igazolta is, mely tanulmányból kiindulva a továbbiakban megmutatom, hogy az LTM modell felhasználási lehetőségei a környezetgazdaság vizsgálati területén jelentősek.

### 3.6 Összegzés

A harmadik fejezetben arra kerestem a választ, hogy miért alkalmasabb a lineáris tevékenységelemzési modell a Kék Gazdaság leírására az input-output modellel szemben. Az utóbbi modell jelentősége abból adódott, hogy a koncepció megalkotója, Pauli (1998) könyvében az input-output modell egy variációjának használatát javasolja a termelő vállalatok lehetőségeinek feltárására, illetve a szakirodalomban is többször találkozunk az input-output modell használatával eltérő környezeti problémák vizsgálatokor (ld. 2.2 pont).

A fejezet részletesen bemutatta mindkét modell módszertanát, és egy számpéldával illusztrálta is azokat. Ezt követően, az utolsó alfejezetben rávilágítottam arra, hogy a Kék Gazdaság szemléltetésére a lineáris tevékenységelemzési modell alkalmas keretet biztosít, hiszen megjeleníthető benne az ikertermelés és a technológiai választék. Ezen két sajátosság a Kék Gazdaság koncepció lényegi részét képezik, azonban az input-output modell ezt a két tulajdonságot nem képes megjeleníteni, ezért a Kék Gazdaság vizsgálatára kevésbé alkalmas.

A következő fejezetben rátérek a költségminimalizáló vállalat modelljének tárgyalására, mivel e modell keretei közt fogom bemutatni a Kék Gazdaság nulla hulladék-elve tett szigorú megköötését.

## 4. A költségminimalizáló vállalat modellje

A modell felírásához a fejezet első részében bevezetem a szennyezőanyagok kibocsátásának korlátozása és a kvótakereskedelem lehetősége miatt szükségessé váló feltevéseimet, definiálom az új változókat, majd a második részben megkonstruálom a költségminimalizáló vállalat LTM modelljét. A harmadik részben egy számpéldát mutatok be a modell illusztrálásához. Végezetül a Kék Gazdaság típusú modellt, a költségminimalizáló vállalat egy sajátos eseteként értelmezem.

### 4.1 A modell feltevései

A vállalat által előállított valamennyi outputot, beleértve a szolgáltatásokat is, továbbra is a terméklistán tüntetem fel, ahogy azt a 3.1. pontban is tettem. Továbbá nem különböztetem meg szigorúan a vevői igénnyel rendelkező termékeket a félkész termékektől, a melléktermékektől, a hulladékoktól és a szennyezőanyagoktól. A mainstream irodalomtól eltérően mindenfajta kibocsátást, ide értve a szennyezőanyagokat is eltérő terméként kezelek, csakúgy, mint a vevői igénnyel rendelkező termékeket. Vegyük például a timföldgyárat. Ebben az esetben a terméklista az alábbi tételeket tartalmazza:

- timföld (végtermék),
- vörösiszap (melléktermék),
- CO<sub>2</sub> (a termelés során képződött szennyezőanyag)
- és a vörösiszap szállítása a telephelyről a lerakóba (szolgáltatás).

Az *elsődleges erőforrások* közé sorolok minden olyan inputot, melyeket a vállalat nem képes, vagy nem szándékozik előállítani. Ezeket az elsődleges erőforrások listája rögzíti. A timföldgyár esetében ilyen elsődleges erőforrások az alábbiak lehetnek:

- bauxit, mely a legfontosabb alapanyag,
- a gyártáshoz nélkülözhetetlen gépek és egyéb berendezések – például védő- és munkaruházat és a szállításhoz szükséges eszközök,
- szakmunkások és más munkaerő,
- valamint a vállalkozás telephelyéül szolgáló földingatlan.

A *köztes és félkész termékek* közé sorolom azokat a termékeket és szolgáltatásokat, melyeket a vállalat termelési folyamatában inputként és outputként is egyaránt feltüntethet. Ilyen például a vörösiszap telephelyről a lerakóba történő szállítása, ami köztes termék is lehet a timföldgyár esetében, de csak ha a vállalat saját maga látja el ezt a feladatot. Ha a szolgáltatást kiszervezi, akkor elsődleges erőforrások közé soroljuk. Ebben a speciális esetben azonban a köztes termék és az elsődleges erőforrást tökéletes helyettesítőknak tekintjük.

Az iménti példában természetesen nem soroltam fel valamennyi terméket és elsődleges erőforrást. Kimaradt például a timföldgyártás során felhasznált energia. A valóságban egy vállalat többnyire nagyon sokféle terméket állít elő, és hasonló a helyzet az elsődleges erőforrásokkal is. Mindazonáltal a vállalat véges számú terméket és elsődleges erőforrást használ fel a gyártási folyamatainál, melyeket a termék- és az elsődleges erőforrások listája rögzít. Továbbra is jelölje  $n$  a terméklistán és  $l$  az elsődleges erőforrások listáján szereplő elemeket.

Az egyes termékek iránti vevői igény nagyságát exogén adottságnak tekintem, ahogy azt a 3.1-es pontban tettem, és felteszem, hogy ez nem változik a vizsgált termelési periódus alatt. Feltételezem, hogy ennek mennyiségét a vállalat marketing osztályán határozzák meg, vagy egy közsférában dolgozó vállalat esetében a szolgáltatás megrendelője adja meg. (Ilyen lehet például egy helyi közlekedési vállalat, ahol a vevői igény az úgynevezett paraméterkönyv formájában jelenik meg.) A vevői igénnyel rendelkező termékeket az  $\mathbf{y}^c \in \mathfrak{R}_+^n$  vektor írja le, ahol  $\mathfrak{R}_+$  továbbra is a nemnegatív, valós számok halmaza jelöli. Ennek értelmezése nem változott a 3.1. pontban tárgyaltaktól: ha  $y_i^c > 0$ , akkor az  $i$ -edik termék alkalmas a vevői igény kielégítésére; ha  $y_i^c = 0$ , akkor a termék egy szennyezőanyagot (mellékterméket, hulladékot) vagy köztes terméket jelöl. Érdemes megjegyezni ezen a ponton, hogy a disszertáció további részében a szennyezőanyagon a környezetre káros melléktermékeket és hulladékokat értem.

Feltételezem, hogy a vállalat eladhat és vásárolhat termékeket annak érdekében, hogy alacsonyabb költségen tudja kielégíteni a vevői igényeket, vagy képes legyen betartani a környezetszennyezési előírásokat. A piaci nyitottságot, azaz a társvállalatokkal folytatott kereskedést a Kék Gazdaság koncepció is támogatja. Ez a modellben az alábbi módon jelenik meg.

A társvállalatok számára átadott egyes termékek mennyiségét a  $\mathbf{z} \in \mathfrak{R}_+^n$  vektor írja le. Vegyünk például egy malomipari vállalatot, mely fehér lisztet és búzakorpát állít elő. Tegyük fel, hogy mindkét termékre van vevői igény, de a fehér liszt termelése során jóval több búzakorpa keletkezik, mint amennyi iránt igény van. Legyen a búzakorpa az  $i$ -edik termék. Ha létezik vevői igény a búzakorpa

iránt, akkor  $z_i > 0$ , de amint a finomliszt iránt jelentkező vevői igény kielégítése során keletkezett többlet búzakorpa meghaladja a vevői igényt, a többletet eladhatja a malomipari vállalat takarmányként. Ebben az esetben  $z_i > 0$  is fennáll. Ha az egyes termékek eladási árait a  $\mathbf{p}^s \in \mathfrak{R}^n$

vektorban foglaljuk össze, akkor  $p_i^s > 0$ . Áttérve a timföldgyár példájára, legyen a  $j$ -edik termék a vörösiszap. Ha egy téglagyár alapanyagként átveszi a vörösiszapot, akkor lehetséges, hogy a timföldgyár fizetni fog a téglagyárnak a vörösiszap átvételéért, hiszen úgy tekinthet erre a tranzakcióra, mint a vörösiszap semlegesítésére és ekkor  $p_j^s < 0$ . Ugyanakkor speciális esetben  $p_j^s = 0$  is előfordulhat. Legyen az  $n$ -edik termék a CO<sub>2</sub>. Ekkor  $z_n > 0$  úgy értelmezhető, hogy a

vállalat  $P_n^s$  áron vásárol kibocsátási kvótát, mert a vállalat elhasználta a birtokában levő összes szabad kibocsátási kvótát, és ennek segítségével még több CO<sub>2</sub>-t tud kibocsátani a környezetbe.

Ebben az esetben  $p_n^s < 0$ , és egységnyi többlet CO<sub>2</sub> kibocsátást lehetővé tevő kibocsátási kvóta ára  $-p_n^s > 0$ .

A vállalat által vásárolt egyes termékek mennyiségét az  $\mathbf{u} \in \mathfrak{R}_+^n$  vektor írja le. Abban az esetben, ha  $0 < u_i < y_i^c$ , a vállalat saját termelésből nem képes kielégíteni az  $i$ -edik termék iránt jelentkező vevői igényt, ezért a hiányt a társvállalatoktól vásárolt termékkel pótolja. Ha  $0 = y_i^c < u_i$ , akkor a vállalat olyan félkész terméket vásárol, melyet termel vagy képes lenne termelni, de az is elképzelhető, hogy ennek valamekkora részét célszerű a piacról beszereznie. Ezen termékek beszerzési árát a  $\mathbf{p}^p \in \mathfrak{R}^n$



vektor írja le. Felteszem, hogy az eladási- és vásárlási árak a termékpiacokon határozódnak meg, és a vizsgált vállalat egyetlen piacon sem rendelkezik erőfölénnyel, így árelfogadó magatartást tanúsít. Ebből adódóan a  $\mathbf{P}^s$  és a  $\mathbf{P}^p$  vektorokra exogén adottságként tekintek. Alapvetően  $p_i^s \leq p_i^p$ . Lehetséges ugyanakkor a  $p_i^s = p_i^p$  egyenlőség, mely egy speciális eset, amikor az eladási ár megegyezik a beszerzési árral. Nézzük mit jelent ez a szennyezési kvóta piacán! Ha a vállalat kibocsátási engedélyt ad el, modellemben ezt úgy értelmezem, mintha a vállalat  $P_i^p$  áron vásárolt volna szennyezőanyagot, és azt maga bocsátja ki a környezetbe. Ennek következtében a kibocsátási kvótával történő kereskedelem csak formálisan helyezi át a szennyezés helyét. Ha kibocsátási engedélyt adunk el a vonatkozó szennyezőanyag ára negatív  $p_i^p < 0$ , ám a kvóta ára pozitív:  $-p_i^p > 0$ . A szennyezési kvóta nem szerepel sem a terméklistán, sem az elsődleges erőforrások listáján, de a terméklista  $i$ -edik eleme most a kibocsátási kvótában meghatározott szennyezőanyag.

A környezetbe kibocsátott szennyezőanyagok mennyiségét az  $\mathbf{y}^p \in \mathfrak{R}_+^n$  vektor írja le, az egyes szennyezőanyagokhoz tartozó korlátokat pedig az  $\bar{\mathbf{y}} \in \mathfrak{R}_+^n$  vektor. A korlátok nagyságát meghatározhatja a vállalat környezetvédelmi stratégiája és a környezetvédelmi hatóság is. Amíg nem állapítottak meg szennyezési korlátot az  $i$ -edik termékre, addig  $\bar{y}_i = \infty$ .<sup>25</sup>

A vizsgált termelési periódus kezdetén a vállalat rendelkezésére álló elsődleges erőforrások mennyiségét az  $\bar{\mathbf{s}} \in \mathfrak{R}_+^l$  vektor adja meg. A vállalatnak lehetősége van további elsődleges erőforrásokat beszerezni. Ezeknek az elsődleges erőforrásoknak a mennyiségét az  $\mathbf{s} \in \mathfrak{R}_+^l$  vektor írja le. Az elsődleges erőforrások piaci árait az exogén adottságként kezelt  $\mathbf{q} \in \mathfrak{R}_+^l$  vektor tartalmazza. A 3.1. pontban mondottak szerint, továbbra is felteszem, hogy a vállalat egynél több alaptevékenységet képes folytatni. A rendelkezésre álló alaptevékenységek, vagy alapterméklisták száma  $m$ . Ekkor a rendelkezésre álló alapterméklisták alkalmazásának intenzitását az  $\mathbf{x} \in \mathfrak{R}_+^m$  vektor írja le. Az alapterméklisták egy ilyen kombinációját működtetve továbbra is

- $\mathbf{D}\mathbf{x}$  az elsődleges erőforrás igényt,
- $\mathbf{R}\mathbf{x}$  a termelőfelhasználást,
- $\mathbf{K}\mathbf{x}$  pedig a bruttó termékkibocsátást adja meg.

Vegyük ismét a timföldgyár példáját, ahol a vörösiszap lerakóba történő szállítását a vállalat saját maga oldja meg. Tegyük fel, hogy egy új lehetőség nyílik a vállalat számára, mi szerint a szállítás egy másik vállalattól vásárolhatja. Ebben az esetben új termékkel egészítem ki a terméklistát, melynek neve legyen pl. „vásárolt szállítási szolgáltatás”. Egy új tevékenységgel is ki kell egészíteni az alapterméklistát, „szállítás kiszervezése” néven. Ennek következtében eggyel növeltük a termékek és az alapterméklisták számát. A  $\mathbf{D}$  mátrix utolsó oszlopában tehát  $d_{lm} = 1$  szerepel, és a többi elem nulla. Hasonlóképpen a  $\mathbf{K}$  mátrix utolsó oszlopában  $k_{lm} = 1$  szerepel, ha az  $i$ -edik termék a „saját szállítási szolgáltatás” lesz. A  $\mathbf{K}$  mátrix utolsó oszlopának többi eleme nulla, és az  $\mathbf{R}$  mátrix

<sup>25</sup> Megjegyezzük, hogy ezt a legtöbb fejlett szoftver eszköz kibővített aritmetikája támogatja is. Pl. GAMS-ben erre szolgál az INF szimbólum.

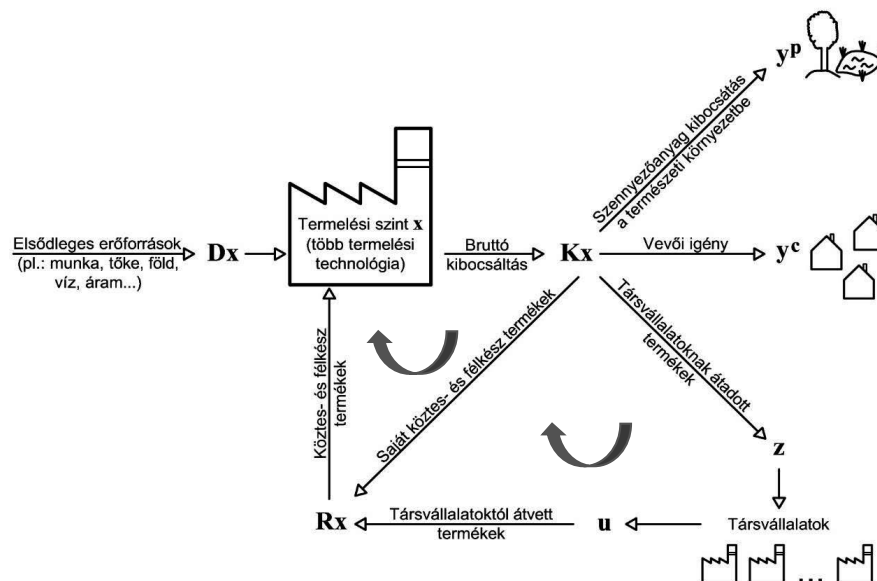
utolsó oszlopában található összes elem nulla. Ennek köszönhetően az új alaptechnológia minden „vásárolt szállítási szolgáltatás”-t átkonvertál „saját szállítási szolgáltatás”-ra.

Az imént említett elsődleges erőforrás- és termékáramlásokat illusztrálja a 3. ábra. Az ábra középpontjában a vizsgált vállalat helyezkedik el. Ahogy azt korábban említettem, a  $Kx$  vektor írja le a termelés bruttó kibocsátását, mely a továbbiakban az alább felsorolt helyekre kerülhet:

- a természeti környezetbe,
- a vevőkhöz,
- a társvállalatokhoz,
- és továbbfeldolgozásra, mint köztes és félkész termékek.

Az 3. ábrán két körforgás látható. A belső körforgás, mivel nem zárom ki a vállalat által előállított köztes és félkész termékeket a termelési folyamatból. Továbbá, a második, tágabb körbe a társvállalatok is bekapcsolódnak, hiszen vállalatunk eladhat és vásárolhat köztes és félkész termékeket, melléktermékeket, hulladékokat, és szennyezőanyagokat társvállalataitól. A mainstream mikro- és makroökonomia termelési függvény fogalma eltekint a termelés körforgásos jellegétől, azonban az értekezés figyelembe veszi azt.

- **3. ábra:** A vállalat elsődleges erőforrás és termék áramlása figyelembe véve a piaci nyitottságot



*Forrás: saját szerkesztés*

A termelési folyamat imént ábrázolt kettős körforgása a Kék Gazdaság szemléletmódjának egyik fontos jellemzője. A disszertáció egyik újdonsága, hogy szemben a második fejezetben áttekintett cikkekkel, figyelembe veszi a termelési folyamat dupla körforgásos természetét.

A továbbiakban felteszem, hogy a vállalatok heterogének:

- mivel eltérő szerkezetben és mennyiségben jelentkező vevői igényt elégítenek ki,
- mivel különböző technológiai választék áll egyes vállalatok rendelkezésére (pl.: eltérő licensteket vásároltak)
- és mivel eltérő elsődleges erőforráskészlettel rendelkeznek.

Továbbá az alábbi feltevéseket teszem, melyek a szennyezőanyagok kibocsátásának korlátozásából, a kvótakereskedelmi rendszerből és az ipari szimbiózisból következnek:

- A vállalat átadhat olyan termékeket társvállalatai számára, melyek fogyasztói kereslettel rendelkeznek. Ezek ára pozitív.
- Átadhat félkész termékeket is a társvállalatok számára. Ezek ára továbbra is pozitív.
- Átadhat melléktermékeket társvállalatai számára. Ha ezek a melléktermékek szennyezőanyagok, akkor ezek ára negatív is lehet.
- A vállalat átvehet olyan termékeket, melyek fogyasztói igényvel rendelkeznek, például elégtelen termelési kapacitás esetén. Ekkor a termékek ára pozitív.
- Átvehet félkész termékeket. Ezek ára továbbra is pozitív.
- Átvehet szennyező melléktermékeket is, és a saját termékébe beépítheti azokat. Ekkor az ár pozitív is lehet.

Clower (1965) nyomán felteszem, hogy a vállalatok adagoltak a termékpiacon. Az adagolás úgy jelenik meg modellemben, hogy a vállalatok számára a vevői igény exogén adottság. Ahogy azt a 2.1 és 3.1. pontban már említettem a Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalatoknak nem célja minél többet termelni, mint amennyire vevői igény van, ezért tekintek  $y^c$ -re exogén adottsággként. Ennek következtében az ebből származó bevétel is exogén módon alakul. Így a maximális nyereség a változó költségek minimalizálása révén érhető el. Perkis és társai (2016) azt feltételezik, hogy a kibocsátási engedélyek kínálata rugalmatlan, ennek következtében azok ára jelentősen ingadozik. Az ár ezen volatilitását azonban csökkenti, ha a szennyezőanyagokat más vállalatok számára átadhatják továbbfeldolgozás, vagy ártalmatlanítás céljából, ahelyett, hogy a környezetbe bocsátanák ki őket. Az átvévő vállalatok részéről jelentkező kereslet helyettesíti a kibocsátási kvóta iránti igényt, így azok kínálata rugalmasabb lesz. Ugyanakkor az üvegházhatású gázok esetében nem biztos, hogy létezik olyan technológia, mely képes lenne ezeket továbbfeldolgozni vagy semlegesíteni.

Az eddigi feltételezésekből következik, hogy ha a vállalat  $m$ -féle alaptechnológiát üzemeltet, akkor nem értelmezhető a „zöld”, „kevésbé zöld” és „hagyományos technológia” besorolása, amit pl. Gong és Zhou (2013) és Hong és társai (2016) tanulmányukban alkalmaztak. A jelen dolgozatban bemutatásra kerülő modellek ezzel szemben, az egyes technológiai eljárásokat sokkal rugalmasabban minősítik, amennyiben lehetséges, hogy a  $j$ -edik technológia többet állít elő a  $k$ -edik típusú, és kevesebbet az  $l$ -edik típusú szennyezőanyagból, míg az  $i$ -edik technológia esetén fordított a helyzet. Ugyanakkor az is előfordulhat, hogy a két szennyezőanyag közül a társvállalatok csak az egyikre tartanak igényt, hogy saját termékükbe beépítsék, míg a másik szennyezőanyag iránt egyáltalán nincs kereslet. A társvállalatok által működtetett technológiai eljárások ezek szerint hatással lehetnek az egyes technológiák környezetvédelmi szempontokon alapuló értékelésére csakúgy, mint a társvállalatok termékei iránt mutatkozó vevői igény. Ahogy azt az 2.1 pontban említett ipari ökológia is felismeri. Érdemes lehet tehát a társvállalatoknak összehangolni termelési technológiáikat a negatív környezeti hatás elkerülése érdekében.

Nézzük most a téglagyár esetét. Tegyük fel, hogy a gyártó három különböző alaptechnológiát üzemeltet, ezekhez az alábbi alapanyagokat használja fel: 1) agyag, 2) kohósalak, és 3) vörösiszap (Boltakova és társai, 2017; Liu és társai, 2017). Ha a vevői igényt ki tudjuk elégíteni a 2)-es és a 3)-as alaptechnológia üzemeltetésével, akkor környezetvédelmi szempontból úgy tűnik, hogy az 1) alaptechnológia üzemeltetése hátrányos, mert olyan technológiákat szorít ki, melyek szennyező melléktermékeket dolgoznak fel. Ugyanakkor, ha kiderül, hogy a kohósalak radioaktív, akkor a vevői igény megszűnik erre a termékre, hiszen káros lehet az emberi egészségre. Ha most a vevői igény

kielégítéséhez nem elegendő a 3) alaptchnológia üzemeltetésével előállított téglá mennyisége, akkor szükségessé válik az 1) alaptchnológia üzembe helyezése.

#### 4.2 A költségminimalizáló vállalat LTM modellje

A fent említett feltételeket figyelembe véve, a költségminimalizáló vállalatra az alábbi lineáris programozási problémát írunk fel:

$$\mathbf{x}, \mathbf{z}, \mathbf{y}^p, \mathbf{y}^c, \mathbf{s}, \mathbf{u} \geq 0 \quad (20)$$

$$\mathbf{p} \quad \mathbf{R}\mathbf{x} + \mathbf{y}^c + \mathbf{z} + \mathbf{y}^p = \mathbf{K}\mathbf{x} + \mathbf{u} \quad (21)$$

$$\mathbf{w} \quad \mathbf{D}\mathbf{x} - \mathbf{s} \leq \bar{\mathbf{s}} \quad (22)$$

$$\mathbf{t}^y \quad \mathbf{y}^p \leq \bar{\mathbf{y}} \quad (23)$$

$$-VC = -\mathbf{q}\mathbf{s} - \mathbf{p}^p\mathbf{u} + \mathbf{p}^s\mathbf{z} \rightarrow \max \quad (24)$$

Az egyes feltételek bal oldalán feltüntettem a hozzájuk tartozó duális változókat. Bessenyei (2016) tanulmányában felírt modellhez képest, a társvállalatokkal folytatott kereskedés egyenlege kikerült a feltételek közül, és a célfüggvényben jelenik meg.

Az (20) feltétel a döntési változók nemnegativitását írja elő. A (21) feltétel a termékmérleg, melynek bal oldala a felhasználás oldal és a jobb oldala a forrás oldal. A termékmérleg (21) egyenlettel megadott felírása jelentős újítás a 3.1. pontban tárgyalt általános lineáris tevékenységelemzési modell termékmérlegétől, mely a két oldal között  $\leq$  relációt ír elő. Ez azt jelenti, hogy a felhasználásra nem kerülő melléktermékek és szennyezőanyagok egyszerűen eltüntethetők a rendszerből, de a standard LTM megközelítés ezeket legalábbis figyelmen kívül hagyja. Ezek a hulladék- és szennyezőanyagok azonban nem tűnnek el, hanem a természeti környezetbe kerülve azt károsítják. A Kék Gazdaság elvével összhangban minden kibocsátást számításba vesz a vállalat. A (20) – (24) modell újdonsága tehát az, hogy beiktatva a felhasználási oldalra az  $\mathbf{y}^p$  helyesbítő tételt, ezt a természetkárosító hatást bevezeti a lineáris tevékenységelemzés modelljébe. A (22) feltétel az elsődleges erőforrások mérlegegyenlete. Itt már fölösleges lenne egyenlőséget előírni, hisz a vállalatnál előfordulhatnak kihasználatlan termelőkapacitások. Ugyanakkor ezek mennyiségének növelését a feladat kizárja. A (23) feltétel megadja az egyes termékekhez tartozó, exogén paraméterként adott szennyezőanyag

kibocsátási korlátokat. Feltételezzük, hogy a vevői igények,  $\mathbf{y}^c$  szintén exogén módon adottak, ezért a vállalat célfüggvényében, a költségek minimalizálása jelenik meg. Mivel a rendelkezésre álló elsődleges erőforrások  $\bar{\mathbf{s}}$ -val jelölt mennyisége elsüllyedt vagy fix költségként értelmezhető, elegendő a változó költségek minimalizálása. Ezt írja elő a (24) célfüggvény. Vegyük észre, hogy a változó költség a pótlólagosan beszerzett elsődleges erőforrások költségéből és a melléktermék- és kvótakereskedelemből származó veszteségből tevődik össze.

Bevezetve a  $\mathbf{B} = \begin{pmatrix} \mathbf{D} & -\mathbf{E} & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{E} \end{pmatrix}$  mátrixot, a (22) és (23) feltételeket a következő, tömörebb formában

$$\mathbf{B} \begin{pmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{s} \\ \mathbf{y}^p \end{pmatrix} \leq \begin{pmatrix} \bar{\mathbf{s}} \\ \bar{\mathbf{y}} \end{pmatrix}$$

írhatók fel: . Ennek az átírásnak nem csupán jelöléstechnikai oka van. A tömörebb forma rávilágít ugyanis arra a lehetőségre, hogy a kibocsátási korlátokat éppúgy kapacitáskorlátként értelmezhetjük, mint a termelési periódus elején a vállalat rendelkezésére álló elsődleges erőforrások

állományát. Utóbbi az elsődleges erőforrások piacán természetesen bővíthet, és hasonló a helyzet a kibocsátási korlátokkal is. Ezek is bővíthetők, amennyiben a vállalat kibocsátási kvótákat vásárol.

A lineáris programozási feladat optimális megoldásából már kiderül, hogy a terméklistán szereplő elemek közül melyek lesznek szennyezőanyagok: ha optimális megoldás esetén  $y_i^p > 0$  teljesül, akkor az  $i$ -edik termék szennyezőanyag. Fordítva nem igaz.  $y_i^p = 0$  esetén is szennyezőanyag, ha  $u_i > 0$  és szennyezési kvótát vesz a vállalat.

Most nézzük a duális változókat, vagy árnyékárak értelmezését. Ismert, hogy az árnyékár megmutatja a célfüggvény optimális értékének javulását, amennyiben a korlát jobb oldalán található konstans értéke egy egységgel növekszik. Ha átrendezzük a (21) feltételt  $(\mathbf{R} - \mathbf{K})\mathbf{x} - \mathbf{u} + \mathbf{z} + \mathbf{y}^p = -\mathbf{y}^c$ , akkor

könnyen belátható, hogy  $p_i$  megmutatja, hogy ha egységgel növekszik az  $i$ -edik termék iránt a vevői igény, akkor mennyivel változik a változó költség nagysága, tehát  $p_i = \partial VC / \partial y_i^c$ .  $\mathbf{p}$  vektor elemei most határköltségeként (MC) is értelmezhetők. Az egyenlőség-feltétel miatt a (21) feltételhez tartozó árnyékár negatív is lehet. Ennek illusztrálásához idézzük fel ismét a malomipari vállalat példáját.

Legyen a búzakorpa az  $i$ -edik termék és legyen  $\bar{y}_i = 0$ . Ha nincs olyan társvállalat, mely felvásárolná a keletkezett búzakorpa többletet, akkor ezt a vállalatnak egy alatechnológia felhasználása révén semlegesítenie kell. Ilyen alatechnológia lehet pl. az égetés. Mivel az égetés további elsődleges erőforrásokat igényel (pl.: a tűzbiztonság követelményeinek kielégítését), kézenfekvő feltételezés, hogy a megsemmisítendő búzakorpa mennyiségének növekedése esetén a szükséges elsődleges erőforrások mennyisége is növekszik. Így a búzakorpa iránt megnövekvő fogyasztói igény csökkenteni fogja az elsődleges erőforrások felhasználását, s ezáltal a változó költséget is. Ez esetben a búzakorpa határköltsége negatív. Érdeemes megjegyezni, hogy abban az esetben, ha a búzakorpához tartozó szennyezőanyag kibocsátási korlátja  $\bar{y}_i$  nagymértékben emelkedik, akkor a búzakorpát ingyen kibocsáthatja a vállalat a természeti környezetbe. Ennek következtében a búzakorpa határköltsége a korábbi negatív értékről, most nullára nő.

A  $W_k$  árnyékár értelmezése egyszerű. Megmutatja, hogy ha a vállalat egységnyi további  $k$ -edik elsődleges erőforrással rendelkezne, mennyivel csökkennének a változó költségek. Ez pedig nem lehet más, mint a  $k$ -edik elsődleges erőforrás piaci beszerzési ára, ami rögtön látszik, ha felírjuk a (20) - (24) probléma duálisát. Az is látható, hogy amennyiben az optimális megoldás nem teszi szükségessé a  $k$ -edik elsődleges erőforrás vásárlását, akkor ennek az árnyékára nulla lesz.

Érdekesebb következtetésre jutunk  $t_i^y$  árnyékár értelmezésekor. Amennyiben a kibocsátási korlát a vállalat saját döntése alapján követett környezetvédelmi stratégiájának következménye, akkor ez az

árnyékár a stratégia követésének költségét számszerűsíti. Ebben az esetben azt mutatja meg, hogy mennyivel csökkenne a változó költség abban az esetben, ha a vállalat környezetvédelmi stratégiája egységnyivel magasabb kibocsátást tenne lehetővé az  $i$ -edik szennyezőanyagból. Áttérve arra az

esetre, amikor a kibocsátási korlátokat egy környezetvédelmi hatóság írja elő, megmutatja, hogy mennyivel csökkenne a változó költség, ha az  $\bar{y}_i$  kibocsátási korlát egységnyivel növekedne. Az optimális megoldás ezen eredményének jelentőségét az adja, hogy környezetszennyezési bírság meghatározásának alapjául szolgálhat. A  $t_i^y$  árnyékár ezen értelmezéséből következik ugyanis:

## 1. Állítás

A szennyezőanyagokra meghatározott kibocsátási korlátok túllépésétől hatékonyan visszatartó, környezetszennyezési bírság alsó korlátait, a (23) feltételhez tartozó árnyékárak határozzák meg.

Amíg ugyanis az  $\bar{y}_i$  kibocsátási korlátot egységnyivel meghaladó többletkibocsátás után fizetendő környezetszennyezési bírság mértéke kisebb, mint  $t_i^y$ , addig a vállalat oly módon növelheti nyereségét, hogyha további szennyezőanyagot bocsát ki a környezetbe, s kifizeti az e miatt kirótt bírságot.

Az 1. Állítás alkalmazhatóságát korlátozza, hogy ha a modell paramétereit módosítjuk, például a vevői igények változása miatt, akkor a szennyezőanyag kibocsátási korláthoz tartozó hatékony környezetszennyezési bírság alsó korlátjának  $t_i^y$  értéke is változhat. Az egyes szennyezőanyag-kibocsátásokhoz tartozó árnyékárak alapján meghatározott környezetszennyezési bírságok tehát csak egy adott vállalatra és vállalati környezetre érvényesek. Ahhoz, hogy az  $i$ -edik termékhez egy egységes környezetszennyezési bírságot lehessen meghatározni, az egyes vállalatokra számolt  $t_i^y$  értékek maximumát kell vennünk.

Az iménti megállapítások a (20) - (24) problémához tartozó duális problémából következnek. Ahhoz hogy ezt kifejezzem, átrendezem az (21) egyenlethez tartozó termékmérleget  $-(\mathbf{K}-\mathbf{R})\mathbf{x}-\mathbf{u}+\mathbf{z}+\mathbf{y}^p = -\mathbf{y}^c$ .

A duális feladat felírásához először elkészítem a szimplex táblát:

• **10. táblázat:** Az (20) - (24) feladathoz tartozó szimplex tábla

|                | $\mathbf{x}$               | $\mathbf{z}$   | $\mathbf{u}$    | $\mathbf{s}$  | $\mathbf{y}^p$ |                         |
|----------------|----------------------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|-------------------------|
| $\mathbf{p}$   | $-(\mathbf{K}-\mathbf{R})$ | $\mathbf{E}$   | $-\mathbf{E}$   | 0             | $\mathbf{E}$   | $= -\mathbf{y}^c$       |
| $\mathbf{w}$   | $\mathbf{D}$               | 0              | 0               | $-\mathbf{E}$ | 0              | $\leq \bar{\mathbf{s}}$ |
| $\mathbf{t}^y$ | 0                          | 0              | 0               | 0             | $\mathbf{E}$   | $\leq \bar{\mathbf{y}}$ |
|                | 0                          | $\mathbf{p}^s$ | $-\mathbf{p}^p$ | $-\mathbf{q}$ | 0              | max                     |

*Forrás: saját szerkesztés*

Így az alábbi módon írható fel a duális probléma:

$$\mathbf{w}, \mathbf{t}^y \geq 0 \quad (25)$$

$$\mathbf{x} \quad \mathbf{p}(\mathbf{K}-\mathbf{R}) \leq \mathbf{w}\mathbf{D} \quad (26)$$

$$\mathbf{s} \quad \mathbf{w} \leq \mathbf{q} \quad (27)$$

$$\mathbf{u} \quad \mathbf{p} \leq \mathbf{p}^p \quad (28)$$

$$\mathbf{z} \quad \mathbf{p} \geq \mathbf{p}^s \quad (29)$$

$$\mathbf{y}^p \quad \mathbf{p}+\mathbf{t}^y \geq 0 \quad (30)$$

$$\mathbf{w}\bar{\mathbf{s}} + \mathbf{t}^y\bar{\mathbf{y}} - \mathbf{p}\mathbf{y}^c \rightarrow \min \quad (31)$$

A (31) célfüggvény a következő formára írható át:  $\mathbf{p}\mathbf{y}^c - \mathbf{w}\bar{\mathbf{s}} - \mathbf{t}^y\bar{\mathbf{y}} \rightarrow \max$ . Ez azt jelenti, hogy a duális probléma megoldása során olyan árnyékárakat keresünk, melyeket felhasználva a vevői igényeket kielégítő termékkészlet és a kapacitáskorlátok értéke között mutatkozó különbség maximális.

A dualitási tételeket felhasználva, a határkölségek előjelére tett megállapításaimat most még pontosabban megfogalmazhatjuk: mivel szigorú egyenlőséget írtam elő a (21) mérlegfeltételben található termékekre, ebből következik, hogy nem tehetek további megkötéseket a (21) feltételhez tartozó ( $\mathbf{p}$ ) árnyékárak előjelére. Megmutattam továbbá, hogy ezek az árnyékárak jelenthetik az egyes termékek határkölségét. Ez azt jelenti, hogy egy termék határkölsége akkor és csak akkor negatív, ha a természeti környezetbe kibocsátott szennyezőanyag mennyisége a kibocsátási korlátba ütközik.

Valóban, ebben az esetben  $t_i^y > 0$ , de  $y_i^p > 0$  miatt, a (30) feltétel az alábbi formában teljesül  $p_i + t_i^y = 0$ , melyből  $p_i = -t_i^y < 0$  következik.

Amennyiben igaz, hogy a duális változók pozitívak, akkor az (26) – (30) egyenlőtlenségek egyenlőségek formájában teljesülnek. Ez teremti meg a kapcsolatot az árnyékár és a piaci árak között. Ez azt jelenti, hogy amíg a vállalat bármilyen szennyezőanyaggal (kibocsátási kvótával), köztes termékkel vagy melléktermékkel kereskedik, annak határkölsége egyenlő annak eladási- vagy beszerzési árával. Ebből következik:

## 2. Állítás

Ha egy termék piaci ára negatív, akkor ez a termék szennyezőanyag.

Az állítás megfordítása azonban nem igaz: Valamely szennyezőanyag ára pozitív is lehet.

Vegyük ismét a timföldgyár példáját. Ha az építőipar átveszi a termelés során keletkezett vörösiszap teljes mennyiségét, akkor a vörösiszap nem szennyezőanyag, hanem egy hasznos melléktermék. Ugyanakkor, ha az építőipar nem veszi át az összes vörösiszapot, de a lerakóba (természeti környezetbe) kerülő mennyiség még nem ütközik az  $\bar{y}_i$  kibocsátási korlátba, akkor  $t_i^y = 0$ . Ekkor a (30) feltétel szerint  $p_i = 0$ . Érdemes megjegyezni, hogy ez esetben a vörösiszap már szennyezőanyag, hisz további feldolgozás helyett a természeti környezetbe kerül, ugyanakkor piaci ára nulla. (Az építőipar nem fizet a vörösiszap átvételéért, de az átadó timföldgyár sem fizet az átadásért.) Ugyanakkor, ha a maradék vörösiszap mennyisége  $\bar{y}_i$  kibocsátási korlátba ütközi, akkor  $t_i^y > 0$  és a (30) feltétel miatt a vörösiszap határkölsége negatív lesz  $p_i < 0$ . Továbbá piaci ára is negatív lesz  $p_i^s < 0$  a (29) feltétel miatt, vagyis most a timföldgyár fizet azért, mert az építőipar átveszi a képződött vörösiszap egy részét.

Mindebből következik, hogy abban a speciális esetben, ha  $\bar{y} = 0$ , azaz a szennyezőanyag-kibocsátás nem lehetséges, akkor a 2. Állítás szigorúbb formáját kapjuk:

## 2'. Állítás

Ha valamely termék kibocsátási korlátja nulla, akkor ez a termék akkor, és csak akkor szennyezőanyag, ha annak piaci ára negatív.

Ha  $u_i > 0$ , akkor a (28) feltételből adódik  $p_i = p_i^p$ , és ha  $z_i > 0$ , akkor a (29) feltételből  $p_i = p_i^s$  adódik. A sztenderd mikroökonómiából jól ismert optimum-kritérium szerint, a profitmaximum szükséges feltétele, hogy a határkölség és a piaci ár megegyezzen egymással. Mint látható, modellemben ez a kritérium negatív ár esetén is érvényes.

Mivel a duális és a primális feladat optimális megoldása esetén a célfüggvény értékek megegyeznek, a következő írható fel  $-\mathbf{q}\mathbf{s} - \mathbf{p}^p\mathbf{u} + \mathbf{p}^s\mathbf{z} = \mathbf{w}\bar{\mathbf{s}} + \mathbf{t}^y\bar{\mathbf{y}} - \mathbf{p}^y\mathbf{c}$ . Ezt átrendezve az alábbi egyenletet kapjuk:

$$\mathbf{p}^y\mathbf{c} + \mathbf{p}^s\mathbf{z} - \mathbf{w}\bar{\mathbf{s}} - \mathbf{q}\mathbf{s} - \mathbf{p}^p\mathbf{u} = \mathbf{t}^y\bar{\mathbf{y}} \quad (32)$$

Az egyenlet bal oldala a vállalat nyereségéért értelmezhető, ugyanis az első tag a bevétel határköltésén értékelve, a második tag a társvállalatoknak átadott termékekből származó bevétel határköltésén értékelve, a következő három tagban pedig az elsüllyedt és változó költségek jelennek meg. A jobb oldalon a kibocsátási korlátok árnyékárakon számított értéke szerepel. Tehát a (32) egyenlőség erős kapcsolatot jelenít meg a nyereség és a szennyezőanyag-kibocsátás között. A (32) feltételből következik:

### 3. Állítás

Ha a vevői igények kielégítését szolgáló végtermékek eladási ára azok határköltésével egyezik meg, a vállalat akkor és csak akkor lesz nyereséges, ha szennyezőanyag-kibocsátása legalább egy esetben elér egy pozitív kibocsátási korlátot.

Valóban, ha létezik egy olyan szennyezőanyag, amelyre igaz, hogy  $y_i^p = \bar{y}_i > 0$ , akkor  $t_i^y > 0$  és ennek következtében  $\mathbf{t}^y\bar{\mathbf{y}} > 0$ , ami azt jelenti, hogy a vállalat nyereséges. Ebből következik, hogy minél többféle szennyezőanyag esetében éri el a vállalat a pozitív kibocsátási korlátot, annál nagyobb lesz nyeresége. Ugyanakkor a zéró kibocsátási korlát elérése a nyereséget nem növeli.

Megjegyzendő, hogy a vevői igények kielégítését szolgáló végtermékek eladási ára abban az esetben egyezik meg azok határköltésével, ha a végtermékek piacán a verseny tökéletes. Ellenkező esetben a vállalatnak piaci erőfölénye van, és az eladási ár a határköltéséget meghaladja.

A 3. Állítás a Samuelson (1948) által megfogalmazott kimerítési elv<sup>26</sup> kiterjesztése, arra az esetre, amikor a természeti környezetet termelési tényezőként vesszük figyelembe. A kimerítési elv teljesülése mögött a (21) feltételben szereplő szigorú egyenlőség húzódik meg, ugyanis ez zárja ki a díjtalan lomtalanítás lehetőségét. Modellemben tehát a természeti környezet, a munkához, vagy a gépekhez és a berendezésekhez hasonlóan, termelési tényezőként jelenik meg. A határtermelékenységi elmélet szerint a vállalat akkor lehet nyereséges, ha ezt a tényezőt nem díjazták, vagy díjazása a határtermék-értékétől elmarad.

A fent említett (20) – (22) tulajdonságokban megfogalmazottak mellett, modellemben a szakirodalomban közölt korábbi modellek számos tulajdonsága megjelenik. E modellek az itt bemutatottnál egyszerűbbek vagy valamilyen más irányban általánosítanak. Zhang és Xu (2013) modelljével kapcsolatban a következő hasonlóságok állapíthatók meg:

1. Ha a vállalat kibocsátási kvótát vásárol, akkor a kvóta árának növekedése csökkenti a gyártókapacitás értékét. Ennek oka, a célfüggvényben megjelenő költségminimalizáló vállalat viselkedésében lehetséges fel. A dualitás második tételéből a következő egyenletet kapjuk:

$\mathbf{p}^y\mathbf{c} - \mathbf{w}\bar{\mathbf{s}} - \mathbf{q}\mathbf{s} - \mathbf{t}^y\bar{\mathbf{y}} = \mathbf{p}^p\mathbf{u} - \mathbf{p}^s\mathbf{z}$ . Ha az  $i$ -edik termék szennyezőanyag, s ennek kibocsátása érdekében a vállalat kvótát vásárol, annak ára pozitív,  $P_i^s$  pedig negatív, és a kvóta árának növekedése miatt  $P_i^s$  csökken. Ennek következtében az egyenlet jobb oldalán szereplő érték

<sup>26</sup> Magyar nyelven ismerteti pl. Kopányi, 1993.



növekszik. Így a bal oldali értékek is növekedni kell. Ehhez vagy néhány termék határkölségének kell növekedni, vagy a  $\mathbf{w}\bar{\mathbf{s}} + \mathbf{q}\mathbf{s} + \mathbf{t}^y\bar{\mathbf{y}}$  kifejezésnek kell csökkennie. Mindkét eshetőség a gyártó-kapacitás értékét csökkenti. Érdemes megjegyezni, hogy a kimerítési elv korábban említett teljesülése kapcsán mondottak szerint a megengedett pozitív kibocsátási korlátokat  $\bar{\mathbf{y}}$  a gyártó-kapacitás részeként értelmezem.

2. Az (20) - (31) probléma optimális megoldása esetén: ha a kibocsátási kvóta ára növekszik, akkor több (kevesebb) nyereség képződik, amennyiben a vállalat kibocsátási engedélyeket ad el (vásárol). Valóban, a modell (29) és a (30) feltételeiből következik  $t_i^y = -p_i^s$ , ahol a kibocsátási kvóta pozitív ára az egyenlet jobb oldalán látható. A megállapítás a (32) egyenletből közvetlen adódik.
3. Konstans profit esetén, a kibocsátási kvóta ára csökken, amennyiben a szennyezőanyaghoz tartozó kibocsátási korlát növekszik. Modellemben ez a megállapítás azokra a szennyezőanyagokra érvényes, melyek kibocsátása korlátba ütközik. Jelölje most a profit konstans értékét  $\bar{\pi}$ , akkor a (32) feltételből adódik, hogy  $\bar{\pi} = \mathbf{t}^y\bar{\mathbf{y}}$ . Feltételezzük a továbbiakban, hogy a szennyezőanyag, melynek kibocsátási korlátja növekszik, az  $i$ -edik termék. Ekkor  $\bar{\pi} - t_1^y\bar{y}_1 - \dots - t_{i-1}^y\bar{y}_{i-1} - t_{i+1}^y\bar{y}_{i+1} - \dots - t_n^y\bar{y}_n = t_i^y\bar{y}_i$ . Miután a bal oldalon szereplő kifejezés konstans, ezért fordított arányosság áll fenn a jobb oldalon szereplő két tényező között. Ahogy az imént a felsorolás 2. pontjában mondtam, az első tényező a szennyezőanyag ára, míg a második tényező a kibocsátási korlát.

A modellben a Hong és társai (2016, 99. p.) tanulmányának 1. tételében tett megállapítása is teljesül. A tétel szerint a termelési költségek nem csökkennek, amennyiben a vevői igénnyel rendelkező termékek gyártása növekszik. Vegyük figyelembe ugyanis, hogy ha a termékek piaci árai egyenlők azok határkölségeivel, akkor ez a megállapítás minden olyan termékre teljesül, amely nem szennyezőanyag, és így annak határkölsége pozitív. Ugyanakkor a szennyezőanyagok esetében nincs igény a gyártás növelésére, ezért azok határkölségét nem tudjuk értelmezni, ahogy Hong és társai (2016) sem tették.

### 4.3 Számpélda a költségminimalizáló vállalat modelljének szemléltetéséhez

Visszatérek az előző fejezet 3.2-es pontjában bemutatott számpélda eredeti, hat alaptevékenységet tartalmazó változatához. A technikai haladás eredményeként bevezetésre kerülő 7. alaptevékenység hatása helyett azonban most azt vizsgálom meg, mi történik, ha a vállalat kihasználja a piaci nyitottságból adódó lehetőségeket. A számpélda most a (20) – (24) költségminimalizáló vállalat problémáját vizsgálja. A GAMS software-ben megírt feladat megtalálható az értekezés 8.3 Függelékében.

Tegyük fel, hogy mindkét melléktermék szennyezési engedélyével lehet kereskedni: egységnyi károsanyag kibocsátására vonatkozó engedély ára az első melléktermék esetében 15, a második esetében 10, azaz  $p_1^p = -15$  és  $p_2^s = -10$ . A korábbi eredményeinkkel való jobb

összehasonlíthatóság érdekében azonban kikötöm, hogy a kvótakereskedelemnek nullszaldósnak kell lennie, azaz  $\mathbf{p}^p \mathbf{u} = \mathbf{p}^s \mathbf{z}$  egyenlőségnek kell teljesülnie.  
Ekkor a megoldás az alábbi módon függ a vevői igénytől:

- **11. táblázat** (20) – (24) feladat illusztrálásához használt számpélda eredménytáblája.  
A vállalat 6 alaptevékenységet üzemeltet, s figyelembe veszi a piaci nyitottságot.

| $y_3$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $r_1$ | $r_2$ | $y_1$ | $y_2$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 100   | 100   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 3000  | 4000  | 1500  | 0     |
| 140   | 140   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4200  | 5600  | 1540  | 840   |
| 220   | 68    | 0     | 152   | 0     | 0     | 0     | 8117  | 7586  | 1540  | 2033  |
| 248   | 0     | 0     | 199   | 0     | 49    | 0     | 10900 | 7544  | 1540  | 2033  |
| 260   | 0     | 0     | 167   | 0     | 93    | 0     | 12268 | 7572  | 1540  | 2033  |
| 263   | 0     | 0     | 159   | 0     | 105   | 0     | 12610 | 7580  | 1540  | 2033  |
| 264   | 0     | 0     | 156   | 0     | 108   | 0     | 12724 | 7582  | 1540  | 2033  |
| 265   | 0     | 0     | 177   | 0     | 50    | 39    | 12760 | 7811  | 1540  | 2033  |

*Forrás: saját szerkesztés*

A 11. táblázatból kiderül, hogy a piaci nyitottság ezek szerint lehetővé teszi a termelés bővítését. Vizsgálataimat tovább folytatva, megnézem miként alakul a számpéldában szereplő költségminimalizáló vállalat elsődleges erőforrás költsége, az átadott és átvett melléktermékek mennyisége és az aggregált környezetszennyezés mértéke. Az aggregált környezetszennyezés kiszámításához az alábbi képletet használom:  $E = r_1 * y_1 + r_2 * y_2$ , ahol  $r$  megmutatja egy egységnyi  $i$ -edik termék környezetbe bocsátásának környezetszennyező hatását. Ezek az értékek legyenek:  $r_1 = 15$  és  $r_2 = 20$ . Ekkor az alábbi megoldást kapjuk a költségminimalizáló vállalat esetére:

- **12. táblázat** (20) – (24) feladat illusztrálásához használt számpélda eredménytáblája.  
A vállalat 6 alaptevékenységet üzemeltet, s figyelembe veszi a piaci nyitottságot.

| $y_3$ | VC     | $u_1$ | $z_2$ | E     |
|-------|--------|-------|-------|-------|
| 100   | 53000  | 400   | 600   | 22500 |
| 140   | 74200  | 0     | 0     | 39900 |
| 220   | 117510 | 0     | 0     | 63760 |
| 248   | 136652 | 0     | 0     | 63760 |
| 260   | 146458 | 93,6  | 140,4 | 63760 |
| 263   | 148910 | 117,0 | 175,5 | 63760 |
| 264   | 149727 | 124,8 | 187,2 | 63760 |
| 265   | 151810 | 117,0 | 175,5 | 63760 |

*Forrás: saját szerkesztés*

A piaci nyitottság éppúgy lehetővé teszi a termelés bővítését, mint a technikai haladás. A 12. táblázatból jól látható, hogy a vállalat él a piaci nyitottság lehetőségével, azaz megjelenik a 3. ábrán bemutatott külső körforgás. Ennek értelmében az 1. károsanyagból átvesz, míg a 2. károsanyagból átad társvállalatainak.

Most tegyük fel ismét, hogy a technikai haladás eredményeként bővül az alaptevékenységek listája. Az együttthatók változatlanok a 3.2 pontban bemutatott számpéldához képest. Az új, 7. alaptevékenység az eddig 2. károsanyagnak nevezett mellékterméket továbbra sem előállítja, hanem felhasználja. Ennek értelmében bevezetésre került a modellbe a 3. ábrán szemléltetett kettős körforgás. A GAMS software-ben megírt program megtalálható az értekezés 8.4 Függelékében.

Nézzük meg, miként változnak az optimális megoldások:

- **13. táblázat** (20) – (24) feladat illusztrálásához használt számpélda eredménytáblája. A vállalat 7 alaptevékenységet üzemeltet, s figyelembe veszi a piaci nyitottságot.

| $y_3$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ | $r_1$ | $r_2$ | $y_1$ | $y_2$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 100   | 100   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 3000  | 4000  | 1500  | 0     |
| 140   | 140   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4200  | 5600  | 1540  | 840   |
| 220   | 68    | 0     | 152   | 0     | 0     | 0     | 0     | 8117  | 7586  | 1540  | 2033  |
| 248   | 0     | 0     | 232   | 0     | 0     | 0     | 16    | 10473 | 7793  | 1540  | 2033  |
| 260   | 0     | 0     | 223   | 0     | 10    | 0     | 27    | 11537 | 8000  | 1540  | 2033  |
| 263   | 0     | 0     | 214   | 0     | 22    | 0     | 27    | 11892 | 8000  | 1540  | 2033  |
| 264   | 0     | 0     | 211   | 0     | 26    | 0     | 26    | 12010 | 8000  | 1540  | 2033  |
| 265   | 0     | 0     | 208   | 0     | 30    | 0     | 26    | 12128 | 8000  | 1540  | 2033  |

*Forrás: saját szerkesztés*

A 13. táblázatban jól látható, hogy a vállalat elkezd üzemeltetni a 7. alaptevékenységet a vevői igény kielégítéséhez, például  $y_3 = 248$  esetében, ami azt jelenti, hogy a 2. károsanyag, most már köztes termékként jelenik meg.

A 14. táblázatban szerepel a változó költség nagysága, az 1. és 2. károsanyagból átadott és átvett mennyiség és az aggregált környezetszennyezés. A piaci nyitottság értelmében a vállalat ugyanúgy kereskedik társvállalataival, ugyanakkor a 7. alaptevékenység üzemeltetésének következtében a 2. károsanyagot most már nem átadja társvállalatainak, hanem felhasználja azt. Ugyanakkor az 1. károsanyagból kibocsát bizonyos mennyiséget. Ez a lehetséges magyarázata annak, hogy a 12. és 14. táblázatban az aggregált környezetszennyezési értékek megegyeznek.

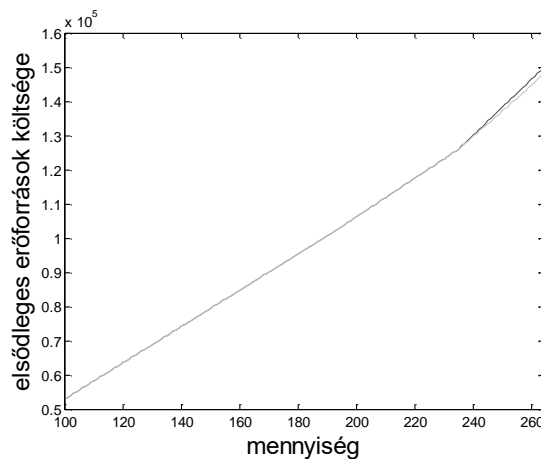
**14. táblázat** (20) – (24) feladat illusztrálásához használt számpélda eredménytáblája. A vállalat 7 alaptevékenységet üzemeltet, s figyelembe veszi a piaci nyitottságot.

| $y_3$ | VC     | $u_1$ | $u_2$ | $z_1$ | $z_2$ | E     |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 100   | 53000  | 400   | 0     | 0     | 600   | 22500 |
| 140   | 74200  | 0     | 0     | 0     | 0     | 39900 |
| 220   | 117510 | 0     | 410   | 273   | 0     | 63760 |
| 248   | 135662 | 0     | 223   | 149   | 0     | 63760 |
| 260   | 144765 | 0     | 241   | 161   | 0     | 63760 |
| 263   | 147245 | 0     | 199   | 133   | 0     | 63760 |
| 264   | 148072 | 0     | 185   | 123   | 0     | 63760 |

*Forrás: saját szerkesztés*

Hasonlítsuk össze, hogyan változik a vállalat elsődleges erőforrás költsége (VC), valamint az aggregált szennyezőanyag-kibocsátása (E), amennyiben hat, illetve hét alaptevékenységet üzemeltet. A 4. ábrán piros vonallal tüntettem fel, amikor a vállalat 6 alaptevékenységet, és zöld színnel, amikor 7 alaptevékenységet üzemeltet. A vevői igények mennyiségének függvényében ábrázoltam az elsődleges erőforrásköltségeket, azaz a változó költségek (24) célfüggvény értékének alakulását. A vállalat ugyanolyan változó költség szinten üzemelteti a 6, illetve 7 alaptevékenységet  $y_3 = 100$  és 240 vevői igény kielégítése mellett. Azonban  $y_3 = 240$  és 260 között megnövekszik kissé a változó költség nagysága 6 alaptevékenység üzemeltetése esetén.

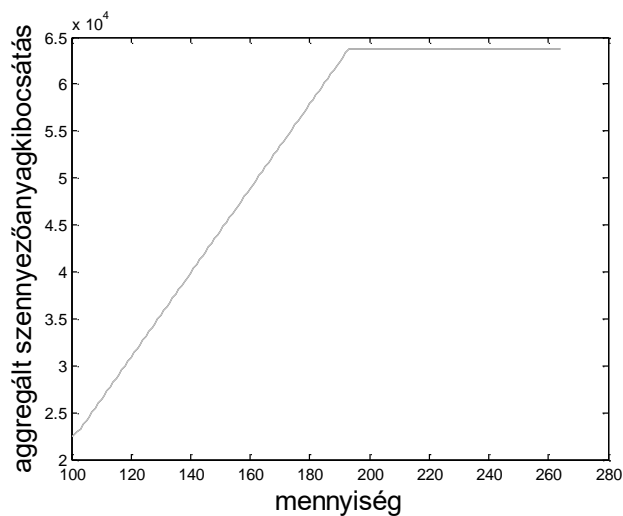
- **4. ábra** A költségminimalizáló vállalat elsődleges erőforrásköltségének alakulása 6, illetve 7 alaptevékenység üzemeltetése esetén



*Forrás: saját szerkesztés*

A 5. ábrán szintén piros vonallal tüntettem fel, ha a vállalat 6 alaptevékenységet, és zöld színnel, ha 7 alaptevékenységet üzemeltet. Ugyanakkor most a vevői igény mennyiségének függvényében a vállalat aggregált környezetszennyezésének alakulását láthatjuk. Az aggregált környezetszennyezés kibocsátásának mennyisége ugyanannyi lesz mindkét esetben, függetlenül attól, hogy a vállalat 6 vagy 7 alaptevékenységet üzemeltet. Ennek egyik lehetséges magyarázata az alábbi: a (24) célfüggvényben a költségminimalizálás szerepel. Ahhoz, hogy ezt teljesítse a vállalat, kihasználja a károsanyagok kibocsátására tett mennyiségi korlátot mindkét esetben. Ennek értelmében indifferens, hogy bevezeti-e a 7. alaptevékenységet vagy sem.

- **5. ábra** A költségminimalizáló vállalat szennyezőanyag-kibocsátásának alakulása 6, illetve 7 alaptevékenység üzemeltetése esetén



*Forrás: saját szerkesztés*

Tehát a technikai haladás eredményét a vállalat nem E, hanem VC csökkentésre fordítja.

#### 4.4 A Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalat fogalma

Ezen a ponton definiálom a Kék Gazdaság típusú vállalat fogalmát, ami a (20) – (24) probléma egy speciális eseteként tárgyalható. Érdekes ismét felidézni, hogy a Kék Gazdaság alatt Pauli (1997, 113. p.) az alábbiakat érti: *minden kibocsátást figyelembe vesz a termelő vállalat, mindent újrahasznosít, és így nincs környezetszennyezése.* A 2.1 pontban bemutatott Kék Gazdaságot teljes komplexitásában nincs lehetőségem bemutatni az értekezésben megkonstruált LTM modell keretei közt, mint például a munkahelyteremtés, az erőforrások regionális szinten történő beszerzése. Annak mindössze egy tulajdonságát emelem ki, miszerint a termelő vállalat nem termel hulladékot és nincs károsanyag kibocsátása.

Az alábbi szigorú megkötés, miszerint a vállalat a nulla-hulladék elvet tartja be, modellemben az (23) egyenlőtlenségben írható elő. Ekkor a termelő vállalatnak a  $\bar{y} = 0$  szigorú feltételt kell betartania, amennyiben a Kék Gazdaság elveit követi. Figyelembe véve a 3. Állítást, ez azt jelenti, hogy amennyiben a vállalat a Kék Gazdaság elveit figyelembe veszi, és a tökéletes piaci verseny következtében termékeit határkölségen értékesíti, akkor az elérhető maximális nyereség nulla.

Másrészt az esetek túlnyomó többségében  $\bar{y} = 0$  paraméterérték mellett a (23) feltétel csak oly módon teljesíthető, hogy a keletkezett szennyezőanyagokat a vállalat a társvállalatok számára átadja. Az átadott szennyezőanyagok mennyiségének növekedése azonban együtt jár a vállalatközi tranzakciók során képződő veszteség növekedésével, ami az (24) célfüggvény értékét, azaz a változó költségeket növeli.

Hartung (2016) egy almale-gyártó üzem működésén keresztül mutattam be a szigorú feltétel, azaz a nulla-hulladék elv betartásának lehetetlenségét, mely a Kék Gazdaság elvének egyik lényegi vonása. A gyakorlati számpéldában összehasonlítottam a hagyományosan működő almale-gyártó üzem működését, mely csak almalevet és almabort állít elő, a zárt rendszerben működő vállalatéval, mely esetben nem kerül károsanyag kibocsátásra a természeti környezetbe. Az utóbbi üzem több tevékenységet üzemeltet azért, hogy az almale gyártás során keletkezett melléktermékeket és hulladékokat felhasználja. Ilyen tevékenység például a likörgyártás, a pálinkagyártás, a gombatalaj előállítás, a gombatermesztés és a biogáz termelés. Az üzem működésének problémáját a LTM modellben fogalmazta meg Hartung (2016). A célfüggvényben a profit-maximalizálás szerepel, míg a korlátok között felírásra kerül a termékmérleg, az elsődleges erőforrásokra tett megkötés, és a szennyezőanyag-kibocsátásra tett megkötés. Ez a modell egy kezdetleges felírása az értekezésben szereplő modelleknek. Például Hartung (2016) modelljében nem szerepel a társvállalatokkal folytatott kereskedelem egyenlege és adott vevői igény kielégítése sem. Hartung (2016) gyakorlati példájából az derül ki, hogy a vállalat a legtöbb nyereséget akkor termeli, ha hagyományos almale-gyártó üzemként működik, ám ez esetben bocsátja ki a legtöbb szennyezőanyagot is a környezetbe. Amint a termelőüzem elkezd működtetni a többi alaptevékenységet a szennyezőanyag felhasználása céljából, akkor a nyeresége csökken, egyidejűleg a szennyezőanyag-kibocsátás nagyságával. Amennyiben a termelőüzem betartja a nulla-hulladék elvét, azaz a Kék Gazdaság elvét, és nem bocsát ki szennyezőanyagot a környezetbe, bizonyításra kerül az értekezés korábbi 3. Állítása Hartung (2016) cikkében, miszerint az üzem nulla hasznot termel, hiszen e szigorú megkötés betartása esetén a termelővállalatnál nem üzemel egy alaptevékenység sem. Ebben a példában jól megmutatkozik ugyanakkor a Kék Gazdaság elv másik társadalmi dimenziója, mely az értekezés vizsgálódásainak fókuszán kívül esik. Bár a példában szereplő, zárt rendszerben működő üzem gazdaságilag nem termel hasznot, és így pénzügyileg nem is rentábilis, mégis munkahelyeket teremt, és egyáltalán nem jár környezetszennyezéssel a vállalat üzemeltetése. Hartung (2016) szerint a Kék Gazdaság típusú vállalat fenntartása olyan településeken lévő önkormányzatok számára lehet előnyös, ahol a munkanélküliség leküzdése a cél, és számos olyan bio-terméket állítanak elő, melyeket határköltség felett értékesíthetők a környező piacokon vagy a település saját szükségleteit elégíti ki.

Makroszintre kiterjesztve az elemzést, ennél is súlyosabb probléma, hogy amennyiben a termelés során olyan szennyezőanyagok képződnek, melyek teljes mennyiségét a vállalatok nem képesek ártalmatlanítani, akkor szükségszerűen lesznek olyan vállalatok, melyek károsanyagot bocsátanak ki a környezetbe, ennél fogva képtelenek a Kék Gazdaság elvei szerint működni.

Mindezek miatt, gyengítve az előírást, bevezetem a kvázi Kék Gazdaság típusú vállalat fogalmát. Ezen olyan vállalatot értek, mely a természeti környezet károsítását igyekszik minimalizálni, feladva egyúttal a nyereség maximalizálásának, illetve változó költség minimalizálásának célkitűzését. A vállalati típus nevét tovább finomítva, környezetszennyezést minimalizáló vállalatként is hivatkozom, és annak működését modellezem az értekezés következő részében. Így a továbbiakban a két elnevezést szinonimaként használom.

A környezetszennyezést minimalizáló vállalati modell vizsgálatától egyebek mellett azt várom, hogy annak megoldásaként kapjuk meg a minimális környezetszennyezés mértékét adott vevői igények

kielégítése mellett. Mivel a szennyezőanyag-kibocsátások az új modell változói lesznek, a kapott értékek előírhatók kibocsátási korlátként a költségminimalizáló vállalat számára. Az így kapott kibocsátási korlátok mellett megoldva a (20) – (31) problémát megkapjuk a környezetszennyezési bírság azon mértékét, mely hatékonyan visszatartja a vállalatot a kibocsátási korlátok túllépésétől, a vevői igények korlátozása nélkül.

#### 4.5 Összegzés

A negyedik fejezetben először is bevezettem a modellalkotáshoz szükséges feltevéseimet. Ilyen például az, hogy a vevői igényre adottságként tekintek, hiszen a Kék Gazdaság koncepció célja az alapvető szükségletek kielégítése, s nem a többlettermelés. Feltételeztem, hogy a vállalatok heterogének a piacon. Továbbá a piaci nyitottság értelmében lehetővé tettem, hogy a vállalatok átadjanak és átvegyenek egymástól termékeket. Ezek lehetnek félkész vagy melléktermékek, de akár káros szennyezőanyagok is. Az ismertetett feltevések után megkonstruált költségminimalizáló vállalat modelljét, mely figyelembe veszi a termelés kettős körforgásos jellegét, amitől a standard mikro és markoökonómia eltekint. A modell primális feladat felírását követően bemutattam az árnyékárak értelmezését. A szennyezőanyag kibocsátási korlátjához tartozó árnyékárát újraértelmeztem, melyből adódott az értekezés első állítása: a duális változó támpontul szolgálhat a környezetszennyező bírság minimális nagyságának meghatározásához. Ezt követően felírásra került a modell duális problémája, amiből az értekezés második állítása adódott: ha egy termék piaci ára negatív, akkor ez a termék szennyezőanyag. A dualitás második tételéből, a célfüggvény értékek egyezőségéből szintén egy érdekes következtetést vontam le, az értekezés harmadik állítását: a költségminimalizáló vállalat csak akkor lehet nyereséges, ha a szennyezőanyag-kibocsátása legalább egy esetben elér egy pozitív kibocsátási korlátot. Az ezt követő alfejezetben egy számpéldát mutattam be, ahol illusztráltam a piaci nyitottságból adódó előnyöket, illetve megnéztem azt az esetet is, mi történik, ha a vállalat bevezeti a 7. körforgásos alaptevékenységet. A példából az derül ki, hogy a 7. alaptevékenység üzemeltetése nem jár többlet költséggel. Azonban a szennyezőanyag kibocsátás mértéke hasonlóan alakul, ha bevezeti a körforgásos apatevékenységet, hiszen a vállalat beleütközik a kibocsátási korlátba. A fejezet utolsó részében a Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalat fogalmát definiáltam. Azonban kiderül, ha a termelő vállalat határköltségen értékesítve termékeit, ezen feltétel szigorú betartása következtében a maximális elérhető nyereség nulla a modell linearitása miatt. Ezen feltétel gyengítése miatt szükséges bevezetni a kvázi Kék Gazdaság típusú vállalat fogalmát, mely a környezetszennyezés csökkentésére törekszik. Ez a modell a Kék Gazdaság felé vezető utat jelöli ki, mely a jelenleg uralkodó és az új paradigma közti átmenetet képviseli. Érzékelhető, hogy a hagyományos, költségminimalizálásra törekvő vállalat keretei között lehetetlen elérni a Kék Gazdaságot, amit Hartung (2016) tanulmányában be is bizonyított. A Kék Gazdaság célja olyan technológiák alkalmazása, melyek nem bocsátanak ki károsanyagot. Ilyen technológiák széleskörű ismeretével valós cél lehet a célfüggvényben elhelyezkedő költségminimalizálás. Ha csak szűk technológiai választék van, akkor is lehetséges. A régi paradigma fogalmi és módszertani keretei között pusztán egy átmenetként tudjuk értelmezni a Kék Gazdaságot az új paradigma felé. A Kék Gazdaságot tehát a költségminimalizálás helyett jobban reprezentálhatjuk a környezetszennyezés minimalizálásával a megfelelő technológia hiányában. Ennek tárgyalására térek át a következő fejezetben.





## 5. A környezetszennyezést minimalizáló vállalat lineáris modellje

Az előző fejezetben tárgyalt költségminimalizáló vállalattal szemben, a Kék Gazdaság elveinek jobban megfelel azt feltételezni, hogy a vállalat célja nem a profit maximalizálása, hanem a környezet állapotának lehető legcsekélyebb károsítása. A fejezetben tárgyalt modell a Kék Gazdaság ideáltípus felé csupán törekszik, mivel a korábban tett szigorú  $\bar{y} = 0$  feltételről le kell mondanunk. Ebben a fejezetben tehát, a kvázi Kék Gazdaság típusú vállalatot vizsgálom, majd kitérek arra, hogy vajon a határköltség helyébe a környezeti határszennyezést vagy a határvesztéséget célszerű használni, szó esik a technikai haladásról a Kék Gazdaság fogalomkörében, végül a fejezetet ismét egy számpéldával zárom.

### 5.1 A környezetszennyezést minimalizáló vállalat LTM modellje

Ahhoz, hogy a kvázi Kék Gazdaság típusú vállalat működésével könnyebben összehasonlíthassam az előző modelltől adódó eredményeket, először is felírom azt a lineáris programozási feladatot, mely szerint a vállalat célja a környezetszennyezés minimalizálása. Ehhez, a különböző szennyezőanyag-kibocsátásokat aggregálok egy egységes környezetszennyezési indexben. Jelölje az aggregálás során

alkalmazott súlyokat az  $\mathbf{r} \in \mathfrak{R}_{+}^{27}$  vektor, ahol  $r_i$  megmutatja, ha a vállalat egy egységnyi  $i$ -edik terméket bocsát ki a környezetbe, az ceteris paribus mennyivel növeli az egységes

környezetszennyezési indexet. Az értékek meghatározása ökológiai probléma. Az előző modellben használt jelölések segítségével, a kvázi Kék Gazdaság típusú vállalat problémája az alábbi módon írható fel:

$$\mathbf{x}, \mathbf{z}, \mathbf{y}^p, \mathbf{y}^c, \mathbf{u} \geq 0 \quad (33)$$

$$\mathbf{p} \quad \mathbf{R}\mathbf{x} + \mathbf{y}^c + \mathbf{z} + \mathbf{y}^p = \mathbf{K}\mathbf{x} + \mathbf{u} \quad (34)$$

$$\mathbf{v} \quad \mathbf{p}^p \mathbf{u} - \mathbf{p}^s \mathbf{z} \leq \mathbf{d}_e \quad (35)$$

$$-E = -\mathbf{r}\mathbf{y}^p \rightarrow \max \quad (36)$$

ahol  $E$  az aggregált környezetszennyezési indexet jelöli. A (33) - (36) problémát az előző (20) - (24) problémával egybevetve, az alábbiakat kell megjegyezni:

1. Mivel az utólagosan beszerzett elsődleges erőforrások értéke kikerül a célfüggvényből, ezért már nem szükséges az erőforrások mérlegegyenletét szerepeltetni a modellben. A pótlólagosan beszerzett elsődleges erőforrások mennyiségét a feladat megoldását követően, mintegy epilógusként számíthatjuk ki az  $\mathbf{s} = \mathbf{D}\mathbf{x} - \bar{\mathbf{s}}$  összefüggés felhasználásával.
2. Vállalati szinten az aggregált környezetszennyezési index nullára csökkenthető, amennyiben minden szennyezőanyagot átadunk a társvállalatok részére, ám ez megnöveli a változó költségeket. Következésképp ebben a modellben a társvállalatokkal folytatott kereskedelemre tett

(35) korlátozó feltétel nem hagyható el. Az egyenlőtlenség jobb oldalán található egy exogén paraméter, mely a maximálisan megengedett veszteséget jelöli a társvállalatokkal

<sup>27</sup> Felhívom a figyelmet, hogy  $r_i$  egy vektor, míg későbbiekben  $r_{ij}$  pedig egy mátrix elemét jelöli. Sajnos jelölés technikailag nem találtam alkalmasabb betűt a súlyok jelölésére.

folytatott kereskedés során. Esetenként célszerű lehet  $d_e$  értékét nullára venni. Mindebből következik, hogy a (35) egyenlőtlenséghez tartozó árnyékárnak pozitívnak kell lennie ( $\nu > 0$ ), hiszen a változó költség ilyen módon történő növelésével a környezetszennyezés csökkenthető.

3. Mivel a szennyezőanyag-kibocsátások most a modell döntési változói, a kibocsátási korlátok szükségtelemmé váltak. Ugyanakkor a társvállalatok által folytatott tranzakciók továbbra is megengedettek, így az ezeket leíró  $u$  és  $z$  vektorokat továbbra is figyelembe veszem. Továbbra is lehetséges, hogy a vállalat szennyezőanyagot ad át egy társvállalatnak pozitív áron, ha az rendelkezik olyan alaptechnológiával, mellyel beépítheti saját termékébe vagy semlegesíteni

tudja azt. Ha ez a helyzet áll elő valamennyi szennyezőanyag esetében, akkor a paraméter értékét növelve, a környezetszennyezés mértéke tetszőlegesen alacsony szintre csökkenthető. Ahhoz, hogy ezt elérjük, egyszerűen megfelelő mennyiségű szennyezőanyagot kell átadni a társvállalatok számára.

- a. Természetesen a modellben vizsgált vállalat is átvehet olyan szennyezőanyagot egy társvállalatától, amit saját maga használ fel termékeihez vagy semlegesíti azt, mialatt ezt a terméket szennyezőanyagként kezeli a társvállalat.
  - b. Az ezeknél a tranzakcióknál alkalmazott ár, a 4. fejezethez hasonlóan, pozitív és negatív értéket is felvehet, de ez nem értelmezhető kvótakereskedelemként, hiszen nem szerepel ebben a modellben kibocsátási korlát.
4. Az egyes termékekhez tartozó  $P_i$  árnyékárak most a határköltséghez hasonló módon értelmezhetők. A (33) – (36) modellben ugyanis az aggregált környezetszennyezési indexet költségelemként tekinthetjük. Egy termékhez tartozó határköltség azonban most azt mutatja meg, hogy mennyivel változik az aggregált környezetszennyezési index, ha egységnyivel növekszik a termékek iránt a vevői igény. Ez a változás egyaránt lehet pozitív és negatív. Negatív, ha olyan termék iránt növekszik meg a vevői igény, melyet máskülönben a környezetbe kellene kibocsátani. Ez a helyzet például az ásványvizes palackok esetén, ha a háztartások ebben tartják a házi készítésű szörpöket, vagy bort. Pozitív a változás, ha a vevői igény olyan termékek iránt növekszik, melynek előállítása jelentős környezetszennyezéssel jár. Ilyen például a légi közlekedés.

## 5.2 Kitérő: Környezeti határszennyezés és határveszteség

A  $P_i$  duális változók az előző felsorolás 5. pontjában bemutatott értelmezése azonban némileg erőltetett. Valójában ugyanis a (36) célfüggvényben nem változó költség szerepel, hanem az aggregált környezetszennyezés. Ennek megfelelően helyesebb lenne a  $P_i$  árnyékárakat környezeti határszennyezésnek nevezni. Ezen a ponton azonban felmerül a kérdés, hogy a környezeti határszennyezés helyett nem lenne-e célszerűbb a Fullerton és Karney (2018) cikkében bevezetett környezeti határveszteség (marginal environmental damage) fogalmára támaszkodni?

Úgy gondolom, hogy ez az utóbbi fogalom azonban meglehetősen problematikus, mivel cikkükben az említett szerzők a környezeti határveszteséget az egyéni hasznossági függvény egyes szennyezőanyag-kibocsátások szerint vett parciális deriváltjaiként értelmezik. Ez a definíció azonban több szempontból is vitatható:

1. Az egyéni hasznossági függvény számszerűsítése problematikus. Alkalmazva a kinyilvánított preferencia eljárását<sup>28</sup>, létezik ugyan olyan módszer, mely a közömbösségi görbék közelítésére alkalmas, e görbék azonban végtelen számú, különböző hasznossági függvény szinthalmazai lehetnek. Ez azt jelenti, hogy változatlan egyéni preferenciák leírhatók az  $U_1$  hasznossági függvénnyel csakúgy, mint az  $U_2 = f(U_1)$  közvetett hasznossági függvénnyel, ahol  $f$  tetszőleges, szigorúan monoton növekvő, egyváltozós függvény. Ebből adódik, hogy a Fullerton és Karney (2018) által bevezetett környezeti határveszteség mértéke erősen függ az alkalmazott hasznossági függvény konkrét formájától. Ez a probléma elkerülhető, ha a környezeti határszennyezéseket az ökológia összefüggéseiből levezetett (36) függvény parciális deriváltjaiként értelmezzük. Mivel a (36) célfüggvény lineáris, ezek nem mások, mint az ott szereplő  $r_i$  együtthatók.
2. Arrow (1963) lehetetlenségi tételéből következik<sup>29</sup>, hogy az egyéni hasznossági függvények nem aggregálhatók társadalmi hasznossági függvénnyé, sőt ilyen társadalmi hasznossági függvény nem is létezik, így az eredmények makroszinten történő alkalmazása problematikusává válik. A probléma megoldására több megoldás született a környezetgazdaságtan irodalmában. Schleich (1999) feltételezi egy jóindulatú, mindenható diktátor létezését, és ennek hasznossági függvényét tekinti társadalmi jóléti függvénynek. Favard (2002) a háztartások preferenciáinak egyöntetűségét tételezi fel. Így bármelyik háztartás képes a háztartások sokaságát reprezentálni. Bessenyei (2005) modelljében hasznossági függvény helyett profitfüggvényt alkalmaz, és megmutatja, hogy a nem regenerálható természeti erőforrások optimális felhasználási sorrendje hasonló a hasznossági függvény esetén adódóhoz. A disszertációban alkalmazott megoldás, mely a hasznossági függvény helyett egy az ökológiából levezethető függvényt épít be a modellbe, szintén alkalmas az Arrow-féle lehetetlenségi tételből adódó probléma kezelésére.

### 5.3 A dualitás és a technikai haladás a Kék Gazdaságban

Mint ahogy azt a 4. fejezet végén említettem, a (33) - (36) lineáris programozási feladat megoldásaként kapott  $y_i^p$  értékek fontos támpontot adnak a költségminimalizáló vállalat számára megszabott kibocsátási korlátok meghatározásához. Ha alacsonyabb értékeket adunk meg a kibocsátási korlátokhoz, akkor az  $\mathbf{y}^c$  vevői igényeket csak további kibocsátási kvóta vásárlásával tudja a költségminimalizáló vállalat kielégíteni. Ez azonban csupán a szennyezőanyag-kibocsátásának formális áthelyezését jelenti egyik vállalattól a másik vállalathoz, ahogy azt már korábban említettem.

A duális feladat felírásához először elkészítem a szimplex táblát:

- **15. táblázat:** A (33) - (36) feladathoz tartozó szimplex tábla

|              | $\mathbf{x}$                 | $\mathbf{z}$    | $\mathbf{u}$   | $\mathbf{y}^p$ |                   |
|--------------|------------------------------|-----------------|----------------|----------------|-------------------|
| $\mathbf{p}$ | $-(\mathbf{K} - \mathbf{R})$ | $\mathbf{E}$    | $-\mathbf{E}$  | $\mathbf{E}$   | $= -\mathbf{y}^c$ |
| $\mathbf{v}$ | 0                            | $-\mathbf{p}^s$ | $\mathbf{p}^p$ | 0              | $\leq d_e$        |
|              | 0                            | 0               | 0              | $-\mathbf{r}$  | max               |

*Forrás: saját szerkesztés*

A (33) - (36) probléma duálisa a következőképp írható fel:

<sup>28</sup> Magyar nyelven ismerteti: Kopányi (1993)

<sup>29</sup> A tétel bizonyítása magyar nyelven Zalai (1989) könyvében található.

$$v \geq 0 \quad (37)$$

$$x \quad \mathbf{pK} \leq \mathbf{pR} \quad (38)$$

$$u \quad \mathbf{p} \leq v\mathbf{p}^p \quad (39)$$

$$z \quad \mathbf{p} \geq v\mathbf{p}^s \quad (40)$$

$$y^p \quad \mathbf{p} \geq -\mathbf{r} \quad (41)$$

$$v \cdot d_e - \mathbf{p}y^c \rightarrow \min \quad (42)$$

A határkölség fenti értelmezésével összhangban (41)-ből adódóan csak azon termékek környezeti határszennyezése lehet nulla, melyeket a vállalat nem bocsát ki a környezetbe, tehát  $y_i^p = 0$  vagy azon termékek, melyek nem szennyeznek a környezetet, tehát  $r_i = 0$ .

Érdeemes összehasonlítani a (26) és (38) feltételt. A (26) feltétel szerint azon alaptechnológiák

üzemeltetése gazdaságtalan, melyek határkölsége  $(MC_i = \partial VC / \partial y_i^p)$

számított nettó eredménye kisebb, mint a működtetéshez szükséges, pótlólagosan beszerzendő elsődleges erőforrások piaci árakon számított értéke. A (38) feltétel más megközelítés alapján szelektálja ki a nem működtetendő alaptechnológiákat: azokat az alaptechnológiákat nem célszerű működtetni, melyek nettó-környezetszennyezők. Ezen alaptechnológiák azok, melyek árnyékárakon, azaz környezeti határszennyezésen számított kibocsátása a több mint a szintén határszennyezésen

számított szennyezőanyag felhasználása. Legyen az optimális megoldásban  $x_j = 0$ , ami ekvivalens az alábbiakkal:

$$p_1 k_{1j} + \dots + p_i k_{ij} + \dots + p_n k_{nj} < p_1 r_{1j} + \dots + p_i r_{ij} + \dots + p_n r_{nj} \quad (43)$$

A (41) feltétel szerint, ha  $y_i^p > 0$  és  $r_i > 0$ , akkor  $p_i < 0$ , és a (43) feltételben megjelenő szennyezőanyag-kibocsátásának előjele negatív lesz. Ebben az esetben, ha a  $j$ -edik alaptechnológiát fejlesztjük, akkor legalább egy állítás az alábbiakból teljesül:

- Ha  $p_i > 0$ , akkor  $k_{ij}$  növekszik. Ez a helyzet áll elő esetén, amikor több hasznos terméket állít elő a vállalat változatlan szennyezőanyag-kibocsátás mellett.
- Ha , akkor  $k_{ij}$  csökken. Ez a helyzet áll elő  $y_i^p > 0$  esetén, amikor változatlan mennyiségű hasznos termék előállításánál kevesebb szennyezőanyagot bocsát ki a vállalat.
- Ha  $p_i > 0$ , akkor  $r_{ij}$  csökken. Ez a helyzet áll elő esetén, amikor változatlan termékkibocsátás mellett kevesebb félkész termék felhasználás történik.
- Ha , akkor  $r_{ij}$  növekszik. Ez a helyzet áll elő  $y_i^p > 0$  esetén, amikor változatlan termékkibocsátás mellett több szennyezőanyagot használ fel a vállalat a termeléshez, mintsem hogy kibocsátaná azokat.

Az előbb említett a) és b) pontban a (43) egyenlőtlenség bal oldalán álló kifejezés értéke növekszik, és a c) és d) pontban a jobb oldalon álló kifejezés értéke csökken. Abban az esetben, ha a növekedés vagy csökkenés mértéke elegendően nagy, az egyenlőtlenség egyenlőségre változik, és ekkor a dualitás miatt a (38) feltételből  $x_j > 0$  következik, azaz a vállalat elkezd működtetni a  $j$ -edik alaptechnológiát. Érdeemes megjegyezni, hogy az a) - d) pontban tett feltételekre úgy tekinthetünk,

mint a technológiai haladás alternatív meghatározására, összhangban a Kék Gazdaság elvével. Ez a meghatározás némileg egybevág, Barrows és Olivier (2018) megállapításával, akik úgy találták, hogy az alapkompétencia támogatása csökkenti a vállalat szennyezőanyag-kibocsátását. Ugyanakkor a dolgozat további részében, az előző fejezethez hasonlóan továbbra is azt feltételezem, hogy a technológia változatlan.

#### 5.4 A modell további vizsgálata

Mivel a dualitás következményeként az optimális megoldás esetén a (36) és (42) célfüggvény értékek megegyeznek  $\nu \cdot d_e - \mathbf{p}y^c = -\mathbf{r}y^p$ . Legyen a társvállalatokkal folytatott tranzakciók egyenlege zérus, azaz  $d_e = 0$ , ekkor az alábbi megállapítást tehetjük:

#### 4. Állítás

$\mathbf{p}y^c = \mathbf{r}y^p = E$  azaz, ha a társvállalatokkal folytatott kereskedés egyenlege nulla, akkor a vevői igényeket kielégítő termékkészlet határszennyezésen számított értéke megegyezik az aggregált környezetszennyezési indexszel. Értéknek tekintve a tiszta természeti környezetet, ez azt jelenti, hogy a vevői igényt kielégítő termékkészlet értéke kifejezhető az aggregált környezetszennyezés segítségével, mely a Kék Gazdaság elveihez jól illeszkedik.

A 4. Állításra úgy is tekinthetünk, mint a kimerítési elvre, abban az esetben, amikor az egyetlen termelési erőforrás a természeti környezet, ennek szennyezése pedig az egyetlen költségelem.

Ha többféle szennyezőanyagot veszünk figyelembe – és olyan köztes termék is lehet szennyezőanyag, amit más vállalat beépíthet saját termékébe – akkor érdemes részletesebben is megvizsgálni, hogy miként használja ki a vállalat az ipari heterogenitásból adódó lehetőségeket. Ennek során a társvállalatokkal folytatott kereskedés során kínált és keresett termékek szerkezetét elemezzük. Ezt a szerkezetet továbbra is a  $\mathbf{z}$  és  $\mathbf{u}$  vektor írja le. Nézzük a timföldgyár példáját! Legyen

az  $i$ -edik termék a vörösiszap. Feltesszük, hogy a timföldgyár eladja azt ( $z_i > 0$ ) a téglagyárnak  $p_i^s < 0$  áron, tehát a timföldgyár fizet a vörösiszap átvételéért. Ebben az esetben  $\nu p_i^s = p_i = -r_i$ , és így a  $\nu$  árnyékárát értelmezhetjük úgy, mint a környezetszennyezés „árfolyama”, ami megmutatja az egy pénzegységen vásárolható aggregált környezetszennyezés mértékét. Az előző megállapításból (40) alapján a dualitás miatt következik, hogy  $\nu > 0$ . A példában, a timföldgyár köteles fizetni a vörösiszap átadásáért, mivel a téglagyár tökéletesen informált a timföldgyár céljáról, miszerint a vörösiszap átadásával közelebb kerül a környezetszennyezés csökkentéséhez.

Figyelembe véve, hogy a (39) vagy (40) feltétel egyenlőség formájában teljesül, amennyiben a szóban forgó termékek a vállalatközi kereskedelemben részt vesznek, az alábbi megállapítást tehetjük:

#### 5. Állítás

Az egy pénzegységen vásárolható környezetszennyezés mértéke a környezetszennyezés módjától független konstans.

Az 5. Állításból következik, hogy az eltérő szennyezőanyagok kibocsátása között különböző átváltások, azaz trade-off-ok vannak. Ha  $ME$  jelöli a környezeti határszennyezést, akkor általános formában így írható fel:

$$\begin{aligned} \text{Ha } z_i, z_j > 0, \text{ akkor } \frac{ME_i}{ME_j} &= \frac{p_i^s}{p_j^s}, \\ \text{ha } u_i, u_j > 0, \text{ akkor } \frac{ME_i}{ME_j} &= \frac{p_i^p}{p_j^p}, \\ \text{és ha } z_i > 0 \text{ és } u_j > 0, \text{ akkor } \frac{ME_i}{ME_j} &= \frac{p_i^s}{p_j^p}, \text{ ahol } ME_i = \frac{\partial E}{\partial y_i^p}. \end{aligned} \quad (44)$$

Ezek a tulajdonságok abból erednek, hogy az árnyékár a környezeti határszennyezés  $-1$ -szerese, vagyis  $ME_i = -p_i$ . Továbbá, a (39) vagy (40) feltételek egyenlőség formájában teljesülnek mindaddig, amíg a vonatkozó termék a vállalatközi kereskedelem része.

Megjegyzendő, hogy a (44) összefüggések által leírt trade-off-okhoz hasonlóan az 4. fejezetben vizsgált (20) - (31) problémához is fel lehetne írni hasonló összefüggéseket, azonban ott a helyzet

sokkal egyszerűbb: ha  $u_i > 0$ , akkor  $p_i^p = MC_i$  és ha  $z_i > 0$ , akkor  $p_i^s = MC_i$ .

Ugyanakkor fontos rámutatni arra, hogy az algebrailag hasonló optimum feltételek a két modellben a termelői racionalitás radikálisan eltérő fogalmára épülnek. A 4. fejezetben a vállalat célja a profit maximalizálása volt, amit a változó költségek minimalizálása révén ért el. Így abban a modellben azon ráfordítások hoznak létre értéket, melyek a változó költség nagyságát határozzák meg. A (24) célfüggvény szerint, ilyenek a pótlólagosan beszerzésre került elsődleges erőforrások, és a társvállalatokkal folytatott kereskedelem egyenlege. A (20) - (24) modellel szemben, az e fejezetben tárgyalt vállalat célja a környezetszennyezés minimalizálása. Ebből következik, hogy a környezetszennyezés költségként jelenik meg, míg értéket a természeti környezet jelent. Az értekezésből tehát egy fontos értékelméleti következtetés adódik, mely a Kék Gazdaság elveivel tökéletesen összhangban van.

Azért konstruáltam meg az alternatív termelői racionalitáson alapuló vállalat modelljét azon túl, hogy a Kék Gazdaság ideológiához jobban illeszkedik, hogy meghatározzam a 4. fejezetben bemutatott kibocsátási korlátokat ( $\bar{Y}$ ) a profitmaximumra törekvő vállalat számára. A (33) - (36) problémához tartozó optimális megoldás  $Y^p$  kibocsátási értékeire úgy tekinthetünk, mint ezek referencia értékeire. Természetesen a környezetvédelmi hatóság, ezen referencia értékeknél magasabb értéket is meghatározhat.

Az eddigiek alapján látható, hogy mind a költségeket, mind pedig a környezetszennyezést minimalizáló vállalat racionális működése alkalmas érdekes következtetések levonására. Mégis a (33) - (42) modell linearitása néhány valóságtól idegen feltételezésen alapul.

A kibocsátási korlátok meghatározása szempontjából különösen problematikus, hogy a (36) célfüggvény a szennyezőanyagok egymás közti tökéletes helyettesítését tételezi fel, azaz a szennyezőanyagok helyettesítésének határrátája konstans. A timföldgyár esetében ez azt jelenti, hogy 3 tonna többlet vörösiszap kibocsátása minden körülmények közt pontosan annyival növeli az aggregált környezetszennyezési indexet, mint amennyivel egy tonna CO<sub>2</sub> kibocsátása növeli<sup>30</sup>. Így a

<sup>30</sup> Ha az  $i$ -edik termék a vörösiszap és a  $j$ -edik termék a CO<sub>2</sub>, akkor például a (36) célfüggvényben  $r_i=3$  és  $r_j=1$ .

vállalat bármikor növelheti a CO<sub>2</sub> kibocsátását, és hogy az aggregált környezetszennyezési index változatlan szinten maradjon, a többlet CO<sub>2</sub> kibocsátásával egy időben mindössze annak 3-szorosával kell csökkentenie a vörösiszap kibocsátását. Ez az átváltási arány a CO<sub>2</sub> kibocsátás nagyon alacsony szintje esetén is ugyanakkora, mint jóval nagyobb mennyiségű CO<sub>2</sub> kibocsátása esetén. Figyelembe véve a természet önregeneráló képességét, belátható, hogy ez nem igaz: egy tonna többlet CO<sub>2</sub> kibocsátás jobban szennyezi a környezetet magas CO<sub>2</sub> kibocsátás szint esetén, mint az emisszió alacsonyabb szintjén. Így ahhoz, hogy az aggregált környezetszennyezési indexet változatlan szinten tartsuk, például egy tonna többlet CO<sub>2</sub> kibocsátás kompenzálása esetén, az szükséges, hogy a kibocsátott vörösiszap mennyiségét csökkentsük, ám e csökkentés mértéke függ a CO<sub>2</sub> kibocsátás aktuális szintjétől. Ahhoz, hogy kezelni tudjam ezt a problémát és a vállalatok közti kereskedés során esetlegesen megjelenő piaci erőfölényt, fel kell adni a modell linearitását. A következő fejezetben ezt fogom tenni.

### 5.5 Számpélda a környezetszennyezést minimalizáló vállalat lineáris modelljének szemléltetéséhez

Visszatérek az előző fejezet 4.4-es pontjában bemutatott számpélda eredeti, hat alaptervékenységet tartalmazó változatához. A piaci nyitottságból adódó lehetőségek kihasználása helyett azonban most azt vizsgálom meg, mi történik, ha a vállalat célja a környezetszennyezés minimalizálása. A számpélda most a (33) – (36) környezetszennyezést minimalizáló vállalat problémáját vizsgálja.

Továbbra is azt feltételezem, hogy a vállalatok kereskedhetnek egymással. Azonban a korábbi eredményeinkkel való jobb összehasonlíthatóság érdekében, a kereskedés egyenlegének

nullszaldósának kell lennie, azaz  $\mathbf{p}^b \mathbf{u} = \mathbf{p}^s \mathbf{z}$  egyenlőségnek kell teljesülnie.

A környezetszennyezés minimalizálása most a (36) célfüggvényben szerepel. Számítása pedig a 4.3-as pontban bemutatott módon történik:  $E = r_1 * y_1 + r_2 * y_2$ . Az aggregálás során használt súlyok változatlanok:  $r_1 = 15$  és  $r_2 = 20$ .

Ekkor a megoldás az alábbi módon függ a vevői igénytől:

- **16. táblázat** (33) – (36) feladat illusztrálásához használt számpélda eredménytáblája. A vállalat 6 alaptervékenységet üzemeltet, s figyelembe veszi a piaci nyitottságot.

| $y_3$ | $x_6$ | VC     | $u_1$ | $z_2$ | E     |
|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 100   | 100   | 69000  | 600   | 900   | 10500 |
| 140   | 140   | 96600  | 840   | 1260  | 14700 |
| 220   | 220   | 151800 | 1320  | 1980  | 23100 |
| 248   | 248   | 171120 | 1488  | 2232  | 26040 |
| 260   | 260   | 179400 | 1560  | 2340  | 27300 |
| 263   | 263   | 181470 | 1578  | 2367  | 27615 |
| 264   | 264   | 182160 | 1584  | 2376  | 27720 |

*Forrás: saját szerkesztés*

A vállalat a rendelkezésre álló technológiák közül, most csak a 6-os alaptervékenységet üzemelteti a vevői igények kielégítése céljából ( $x_{1,2,3,4,5} = 0$ ). Nem tüntettem fel a 16. táblázatban a  $u_2$  és  $z_1$

változók nagyságát, mert az optimális megoldás szerint ezekkel nem kereskedik a vállalat. Ha összevetjük a 16. táblázatban kapott eredményeket az előző fejezetben bemutatott költségminimalizáló feladat 11. táblázatában kapott eredményeivel, akkor azt tapasztaljuk, hogy jelen példában szereplő vállalatunk jelentősen csökkentette az aggregált környezetszennyezés kibocsátását a költségminimalizáló vállalattal szemben. Ez a példában szereplő (36) célfüggvénnyel magyarázható.

A továbbiakban megvizsgáljuk, mi történik akkor, ha a vállalat bevezeti a 7. alaptevékenységet, mely tevékenység üzemeltetése során felhasználja a 2. károsanyagot. Nézzük meg, hogyan alakul az alaptevékenységek üzemeltetési szintje, a változó költség nagysága, a társvállalatokkal történő kereskedelem során átadott vagy átvett termékek mennyisége, illetve az aggregált környezetszennyezés mértéke adott vevői igény esetén. A GAMS nyelven megírt feladat megtalálható az értekezés 8.5 Függelékében.

- **17. táblázat** (33) – (36) feladat illusztrálásához használt számpélda eredménytáblája. A vállalat 7 alaptevékenységet üzemeltet, s figyelembe veszi a piaci nyitottságot.

| $y_3$ | $x_7$ | VC     | $u_1$ | $u_2$ | $z_1$ | $z_2$ | E    |
|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------|
| 100   | 100   | 70900  | 0     | 300   | 200   | 0     | 3000 |
| 140   | 140   | 99260  | 0     | 420   | 280   | 0     | 4200 |
| 220   | 220   | 155980 | 0     | 660   | 440   | 0     | 6600 |
| 248   | 248   | 175832 | 0     | 744   | 496   | 0     | 7440 |
| 260   | 260   | 184340 | 0     | 780   | 520   | 0     | 7800 |
| 263   | 263   | 186467 | 0     | 789   | 526   | 0     | 7890 |
| 264   | 264   | 187176 | 0     | 792   | 528   | 0     | 7920 |

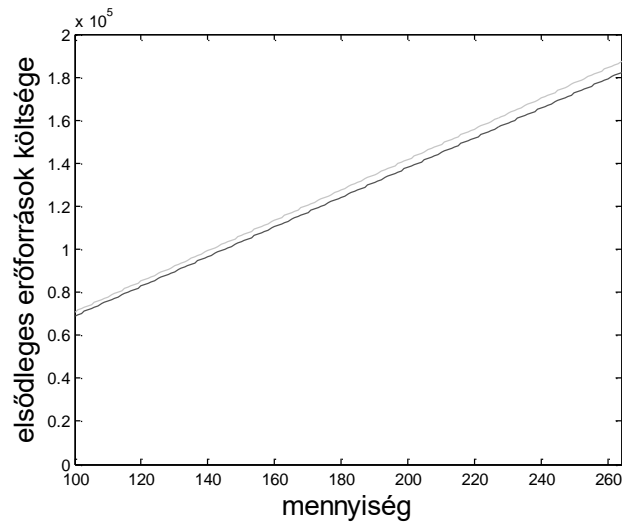
*Forrás: saját szerkesztés*

A 17. táblázatból kiderül, hogy a 7. alaptevékenység bevezetésével, a vállalat kizárólag ezt a tevékenységet üzemelteti. Ennek oka, hogy a vállalat célja most a környezetszennyezés minimalizálása, ezért a 2. károsanyagot nem átadja társvállalatai számára vagy kibocsátja a környezetbe, hanem felhasználja a termelésben, így  $z_2 = 0$ . Ennek következtében az aggregált környezetszennyezés mértéke jelentősen csökken a 16. táblázatban kapott eredményekkel összevetve, mely példában vállalatunk csak 6 alaptevékenységet üzemeltetett. Megállapíthatjuk, hogy a termelés kettős körforgása kisebb környezetterhelést eredményez.

Hasonlítsuk össze, hogyan változik a vállalat elsődleges erőforrás költsége (VC), valamint az aggregált szennyezőanyag-kibocsátása (E), amennyiben hat, illetve hét alaptevékenységet üzemeltet. A 6. ábrán piros vonallal tüntettem fel, amikor a vállalat 6 alaptevékenységet, és zöld színnel, amikor 7 alaptevékenységet üzemeltet. A vevői igények mennyiségének függvényében ábrázoltam az elsődleges erőforrásköltségeket, azaz a változó költségek értékének alakulását. A vállalat valamivel magasabb költségen üzemelteti a 7. alaptevékenységet, azonban a költségek közötti különbség elhanyagolható. Ebből az a következtetés vonható le, hogy amennyiben a vállalat stratégiai céljai közt szerepel a környezetszennyezés csökkentése, akkor érdemes üzemeltetni a körforgásos technológiát.



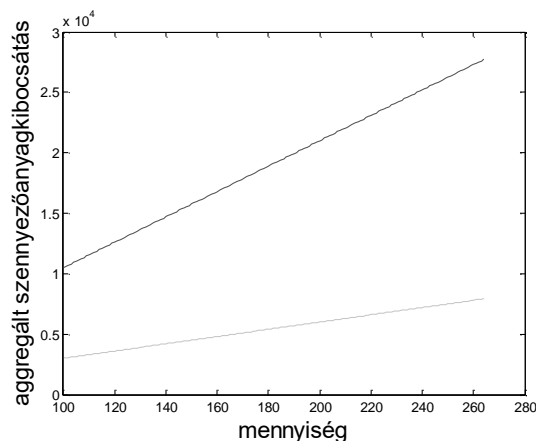
- **6. ábra** A környezetszennyezést minimalizáló vállalat elsődleges erőforrásköltségének alakulása 6, illetve 7 alaptervekenység üzemeltetése esetén



*Forrás: saját szerkesztés*

A 7. ábrán szintén piros vonallal tüntettem fel, ha a vállalat 6 alaptervekenységet, és zöld színnel, ha 7 alaptervekenységet üzemeltet. Ugyanakkor most a vevői igény mennyiségének függvényében a vállalat aggregált környezetszennyezésének alakulását láthatjuk. Az aggregált környezetszennyezés kibocsátása jelentősen csökken, amennyiben a vállalat bevezeti a 7. alaptervekenységet. Ha a vállalat célja a környezetszennyezés csökkentése és a technológiai haladásnak köszönhetően bevezetheti a 7. alaptervekenységet, akkor érdemes a termelés kettős körforgásának lehetőségét kihasználni. Bár valamivel drágább a technológia üzemeltetése, mégis a környezetszennyezés mértékét jelentősen csökkenti a vállalat.

- **7. ábra** A környezetszennyezést minimalizáló vállalat aggregált környezetszennyezésének alakulása 6, illetve 7 alaptervekenység üzemeltetése esetén

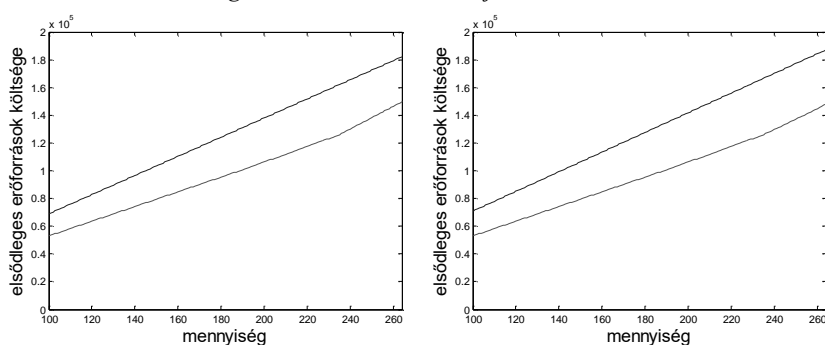


*Forrás: saját szerkesztés*

Érdekes összehasonlítani a költségminimalizáló és környezetszennyezést minimalizáló vállalat viselkedését különböző szempontok alapján. A következő három ábrán használt jelölések megegyeznek: piros színnel jelöltem a költségminimalizáló vállalatra, míg kék színnel jelöltem a környezetszennyezést minimalizáló vállalatra vonatkozó értékeket. Nézzük meg, hogyan alakulnak az elsődleges erőforrás költségek, az aggregált környezetszennyezés mértéke, és végül a 2. káros melléktermék környezetbe kibocsátott mennyisége.

A 8. ábráról az derül ki, hogy a változó költségek szempontjából szinte nincs különbség a két vállalati stratégia között amennyiben 6 vagy 7 alaptervekenységet üzemeltet. Ugyanakkor a környezetszennyezést minimalizáló vállalat üzemeltetése valamivel költségesebb, mint a költségminimalizáló vállalaté.

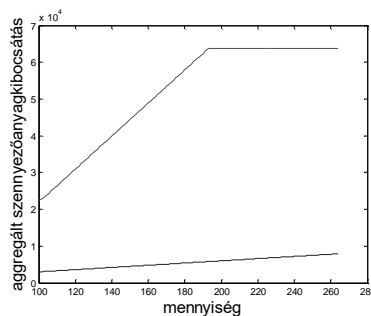
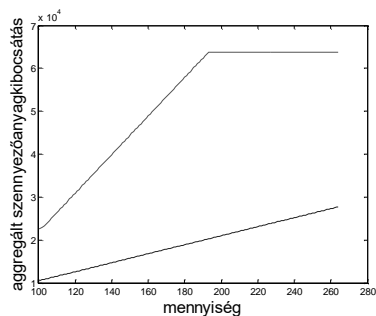
- **8. ábra** Az elsődleges erőforrásköltség mértékének alakulása a vevői igény változásának függvényében a költség- és a környezetszennyezést minimalizáló vállalatot egybevetve.
- *Megjegyzés: a bal oldali ábrán 6 alaptervekenységet, míg a jobb oldali ábrán 7 alaptervekenységet üzemeltetnek a vállalatok. Kék színnel a környezetszennyezést, piros színnel a költségminimalizáló vállalatot jelöltem.*



*Forrás: saját szerkesztés*

A 9. ábrán jól érzékelhető, hogy a költségminimalizáló vállalat ugyanannyi szennyezőanyagot bocsát ki a környezetbe függetlenül attól, hogy 6 vagy 7 alaptervekenységet üzemeltet. Ez a szennyezőanyag mennyiség a kibocsátási korlát által meghatározott. Ugyanakkor a környezetszennyezést minimalizáló vállalat esetében már más a helyzet. Itt a (36) célfüggvény jelentősen meghatározza a környezetszennyezés mértékét, mely a költségminimalizáló vállalathoz képest jóval alacsonyabb szinten mozog, és tovább csökken, amint a vállalat bevezeti a 7-es alaptervekenységet.

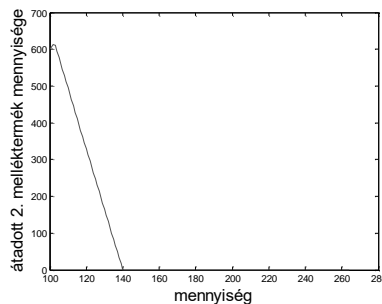
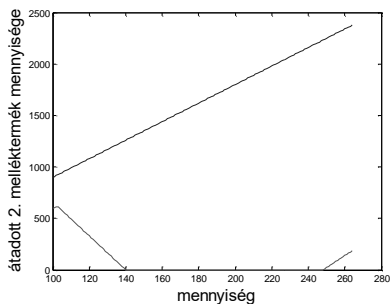
- **9. ábra** Az aggregált környezetszennyezés mértékének alakulása a vevői igény változásának függvényében a költség- és a környezetszennyezést minimalizáló vállalatot egybevetve.
- *Megjegyzés: a bal oldali ábrán 6 alaptervekenységet, míg a jobb oldali ábrán 7 alaptervekenységet üzemeltetnek a vállalatok. Kék színnel a környezetszennyezést, piros színnel a költségminimalizáló vállalatot jelöltem.*



Forrás: saját szerkesztés

A 10. ábrán most megvizsgáljuk a 2. káros melléktermék társvállalatok számára átadott mennyiségének ( $z_2$ ) alakulását. Ezen az ábrán jól érzékelhető a 7. alaptevékenység üzemeltetésének hatása. A környezetszennyezést minimalizáló vállalat esetében a 7. alaptevékenység bekapcsolásával a 2. káros melléktermék környezetbe történő kibocsátása gyakorlatilag nullára esett vissza, hiszen köztes terméként visszakerült a termelés körforgásába. A költségminimalizáló vállalat ezzel szemben a 7. alaptevékenység bevezetésével egy rövid ideig növeli a 2. káros melléktermék kibocsátását, majd hirtelen lecsökkenti nullára.

- **10. ábra** A második káros melléktermék társvállalatok számára átadott mennyiségének alakulása a vevői igény változásának függvényében a költség- és a környezetszennyezést minimalizáló vállalatot egybevetve.
- *Megjegyzés: a bal oldali ábrán 6 alaptevékenységet, míg a jobb oldali ábrán 7 alaptevékenységet üzemeltetnek a vállalatok. Kék színnel a környezetszennyezést, piros színnel a költségminimalizáló vállalatot jelöltem.*



Forrás: saját szerkesztés

## 5.6 Összegzés

A ötödik fejezetben megkonstruálom a környezetszennyezést minimalizáló vállalat modelljét, amit a kvázi Kék Gazdaság modelljével azonosítok. A célfüggvényben most az aggregált környezetszennyezés szerepel, s a feltételek között megjelenik a társvállalatokkal folytatott kereskedelem egyenlege, mely a Kék Gazdaság koncepció elveivel összhangban van. A termékmérlegben szereplő árnyékár értelmezése most változott a költségminimalizáló vállalattal szemben. Míg ott határköltségről beszéltünk, addig ebben a modellben környezeti

határszennyezésként értelmeztem a  $p$  duális változót. Ennek magyarázata, hogy a célfüggvényben az aggregált környezetszennyezés helyezkedik el. A duális probléma felírását követően kitérek a technológiai haladás újraértelmezésére, összhangban a Kék Gazdaság elvével. A dualitás második tételéből adódik az értekezés negyedik állítása, miszerint ha a társvállalatokkal folytatott tranzakciók egyenlege zérus, akkor a vevői igényeket kielégítő termékkészlet határszennyezésen számított értéke megegyezik az aggregált környezetszennyezés indexszével. Ezután megfogalmaztam az értekezés ötödik állítását, amennyiben a duális változók pozitívak: az egy pénzegységen vásárolható környezetszennyezés mértéke a környezetszennyezés módjától független konstans. Ezt felhasználva meghatároztam a társvállalatok számára átadott (átvett) termékkészlet szerkezetét, hiszen az átvételi (eladási) árak aránya a környezeti határszennyezéssel fog megegyezni. Végül egy fontos értékelméleti következtetést vontam le a költség- és környezetszennyezést minimalizáló vállalat összehasonlításából. Az első modell esetében értéket a célfüggvényben elhelyezkedő termelési ráfordítások hoznak létre, míg a második modellben értéket a természeti környezet megőrzése, ami a Kék Gazdaság elvével tökéletes összhangban van. A fejezetben bemutatott gyakorlati számpélda egy olyan esetet illusztrál, amikor a környezetszennyezést minimalizáló vállalat működtetése nem jár jelentős költségekkel, azonban a környezetszennyezést minimalizáló törekvése miatt a környezetszennyezés mértéke számottevően csökkent, és ez a tendencia tovább csökkent, amint a 7. körforgásos alaptervekenységet bevezette a vállalat.

A környezetszennyezést minimalizáló vállalat vizsgálata közben arra a felismerésre jutottam, hogy a válóságnak jobban megfelel azt feltételezni, hogy az aggregált kibocsátás mértéke nem feltétlenül egyenes arányban változik a kibocsátott szennyezőanyagok mennyiségével. Ez a felismerés motivált arra, hogy a modell nemlineáris változatát felírjam, és további vizsgálatokat folytassak ezen a területen. A következő fejezet a környezetszennyezést minimalizáló vállalat nemlineáris modelljét tárgyalja.

## 6. A környezetszennyezést minimalizáló vállalat nemlineáris modellje

Ebben a fejezetben tárgyalom a kvázi Kék Gazdaság típusú vállalat nemlineáris modelljét. A fejezet második részében ismét egy számpéldával illusztrálom a bemutatott modellt. Végül néhány érdekes esetet vizsgálok meg, ahol láthatjuk többek között azt is hogyan viselkedik a szóban forgó vállalat, ha piaci erőfölénnyel rendelkezik.

### 6.1 A környezetszennyezést minimalizáló vállalat nemlineáris modellje

A valóságnak jobban megfelel azt feltételezni, hogy az aggregált környezetszennyezés az egyes szennyezőanyag-kibocsátásoknak nem csupán szigorúan monoton növekvő függvénye, hanem hogy ez a függvény egyúttal konvex is. Ezért a (36) helyett, az alábbi célfüggvény írható fel:

$$E = \sum_{i=1}^n r_i (y_i^p)^{\alpha_i} \rightarrow \min \quad (45)$$

ahol  $\alpha_i \geq 1$  által okozott környezetszennyezés az  $i$ -edik terméknek a szennyezőanyag környezetbe kibocsátott mennyisége szerint vett rugalmassága; és  $r_i$  megmutatja az első egység  $i$ -edik termék természeti környezetbe való kibocsátásának hatását az aggregált környezetszennyezési indexre. Az  $\alpha_i$  és paraméterértékek becslését ökológiai problémának tekintem, ezért azzal továbbra sem foglalkozom.

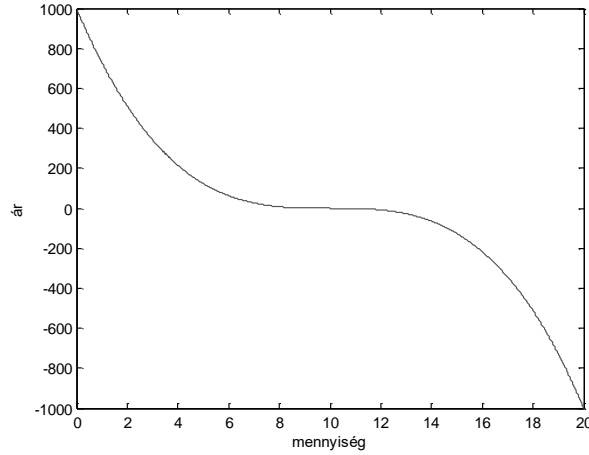
Az 5. fejezetben bemutatott modell másik gyengesége, hogy kevésbé valószínű, hogy egy szennyezőanyag eladási ára független lenne az eladott vagy átvett szennyezőanyag mennyiségétől. Nézzük továbbra is a timföldgyár példáját, ahol a vállalat vörösiszapot ad át a téglagyárnak. Könnyen elképzelhető, hogy ha kevesebb mennyiségű vörösiszapot ad át, akkor a vevő hajlandó magasabb árat fizetni egy egységért. Viszont ahogy a mennyiség növekszik, az átvételi ár többnyire csökken.

Tovább folytatva a gondolatot, egy bizonyos  $\bar{z}_i$  mennyiség felett már a timföldgyárnak kell fizetni a vörösiszap átvételéért, ezért  $p_i^s < 0$ . Ha a mennyiség tovább növekszik, és a téglagyár nem tud további mennyiséget feldolgozni, akkor a maradék mennyiséget egy másik, távolabb lévő téglagyárhoz kell elszállítani. Ha a szállítási költséget a fogadó fél viseli, akkor egy egységgel több vörösiszap átvételéért többet kell fizetni, és így a vörösiszap  $p_i^s$  ára még alacsonyabb lesz. Ezt a helyzetet reprezentálja például az alábbi inverz keresleti függvény:

$$p_i^s(z_i) = A_i (\bar{z}_i - z_i)^3 \quad (46)$$

A mennyiség és az ár között a (46) összefüggés által leírt kapcsolat egy lehetséges formáját a 11. ábra szemlélteti, mely az  $A = 1$  és  $\bar{z} = 10$  paraméterértékek feltételezésével készült. Mint látható, amennyiben az átadott mennyiség a  $\bar{z}$  küszöbértéket meghaladja, az átvétel negatív áron történik. Ugyanakkor e küszöbérték környezetében az ár alig érzékeny a mennyiség változására.

- **11. ábra:** A (46) inverz keresleti függvény ábrázolása



*Forrás: saját szerkesztés*

Figyelembe véve az inverz keresleti függvény által leírt összefüggést, a (35) feltétel helyébe az alábbi írható fel:

$$\sum_{i=1}^n p_i^p u_i - p_i^s(z_i)z_i \leq d_e \quad (47)$$

Ha a  $j$ -edik termék egyértelműen szennyezőanyag, elképzelhető, hogy a semlegesítésért kapott eladási ár növekedni fog az átvett mennyiség növekedésének arányában. Ekkor az inverz keresleti függvény az alábbi módon írható fel  $p_j^s = A_j z_j^{\beta_j}$ , ahol  $\beta_j$  az inverz kínálat árugalmassága és  $A_j < 0$ .

Ha szükséges, akkor egy hasonló vagy még általánosabb  $p_i^p(\mathbf{u})$  inverz kínálati függvényt is bevezethetünk. Ezt azonban most nem teszem meg, helyette azt feltételezem, hogy a vásárolt félkész és köztes termékek árai függetlenek a vásárolt mennyiségtől.

Mindezek alapján a környezetszennyezést minimalizáló vállalatra az alábbi nemlineáris programozási problémát írhatjuk fel:

$$\mathbf{x}, \mathbf{z}, \mathbf{y}^p, \mathbf{y}^c, \mathbf{u} \geq 0 \quad (48)$$

$$\mathbf{p} \quad \mathbf{R}\mathbf{x} + \mathbf{y}^c + \mathbf{z} + \mathbf{y}^p = \mathbf{K}\mathbf{x} + \mathbf{u} \quad (49)$$

$$\mathbf{u} \quad \sum_{i=1}^n p_i^p u_i - p_i^s(z_i)z_i \leq d_e \quad (50)$$

$$E = \sum_{i=1}^n r_i (y_i^p)^{\alpha_i} \rightarrow \min \quad (51)$$

A (48) – (51) nemlineáris feladathoz tartozó Lagrange függvényben a (33) - (36) lineáris programozási feladathoz tartozó árnyékarak Lagrange szorzóként<sup>31</sup> jelennek meg. Az optimum elsőrendű szükséges feltételeit a Lagrange-módszer alapján most az

<sup>31</sup> „Az árnyékarak matematikai szempontból megfelelnek a nemlineáris feltételes szélsőérték-számítási feladatok megoldása során alkalmazott Lagrange-féle szorzóknak. Az optimális erőforrás-allokációs feladatok Lagrange-szorzóinak optimális értéke, a korlátok kívülről adott értéke megváltozásának a célfüggvény optimális értékére gyakorolt differenciális hatását mutatja meg.” (Zalai, 2012, 85.)

$$L = -\sum_{i=1}^n r_i (y_i^p)^{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n p_i \left( \sum_{j=1}^m r_{ij} x_j + y_i^c + z_i + y_i^p - \sum_{j=1}^m k_{ij} x_j - u_i \right) + v \left( \sum_{i=1}^n p_i^p u_i - p_i^s(z_i) z_i - d_c \right) \quad (52)$$

Lagrange függvény parciális deriváltjaiból kapjuk meg.

A Lagrange-szorzókat az árnyékárakhoz hasonló módon értelmezhetjük. Ezek szerint az előző fejezethez hasonlóan  $P_i$  az egységes környezetterhelési index mértékegységében fejezi ki, hogy mennyivel javulna a célfüggvény, ha egységnyivel több  $i$ -edik termék iránt mutatkozna vevői igény.

A Lagrange függvény  $x_j$  szerint vett parciális deriváltjaira adódó elsőrendű feltétel a (38) feltétellel egyezik meg. Eszerint a nettó környezetszennyező alaptermőtechnológiákat, továbbra sem lehet működtetni.

$$\sum_{i=1}^n p_i (r_{ij} - k_{ij}) = 0, \quad j = 1, \dots, m \quad (53)$$

Szintén megegyeznek a (39) és (40) feltétellel a Lagrange függvény  $u_i$  szerint történő deriválása révén kapott feltételek. Az (53) összefüggésnél alkalmazott írásmóddhoz hasonlóan, kanonikus formában felírva:

$$-p_i + v p_i^p = 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (54)$$

A (55) feltétel a Lagrange függvény  $z_i$  szerint történő parciális deriválása révén adódik. Ennek (40) egy speciális esete, amennyiben ott azt feltételezem, hogy az  $i$ -edik melléktermék piacán tökéletes verseny áll fenn, ennél fogva  $dp_i^s / dz_i = 0$ . Ahhoz, hogy a tökéletes verseny feltételezését elhagyjam, az  $i$ -edik termék eladási árának helyére az értékesítés határbevétele kerül:

$$p_i - v \left( \frac{dp_i^s}{dz_i} z_i + p_i^s(z_i) \right) = 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (55)$$

A fent említett feltétel jól ismert a sztenderd mikroökonómiából. Modellem azonban e feltételt kiterjeszti a szennyezőanyagok esetére, amikor  $P_i$  negatív. Az (55) egyenlet bal oldalán álló zárójelében szereplő kifejezést határbevételeként ( $MR_i$ ) értelmezem, és így az összefüggés a következő módon írható fel  $P_i = v MR_i$ . Ezen a ponton ismét felidézzük, hogy  $v$ -t, a 5.4 pontban a környezetszennyezés „árfolyamaként” értelmeztem. A sztenderd mikroökonómia a határköltséget nominális nagyságként értelmezi, így ott  $v=1$ . Most azonban a határköltség szerepét a  $p_i$  Lagrange-szorzó veszi át, így a mértékegységek megegyezéséhez a  $v$  tényező szerepeltetése szükséges. Még azt kell tisztázni, miként értelmezhető modellemben egy szennyezőanyag negatív határbevétele. Ha  $z_i > 0$  a vállalat szennyezőanyag eladását reprezentálja, ennek határbevétele azt mutatja meg, mennyivel változik a vállalat árbevétele egységnyivel több szennyezőanyag eladása esetén. Mivel a szennyezőanyag eladása során az eladó fizet, az árbevétel csökken, így a határbevétel negatív.

Továbbá a (52) Lagrange függvényt  $y_i^p$  szerint deriválva:

$$-r_i \alpha_i (y_i^p)^{\alpha_i - 1} + p_i = 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (56)$$

$\alpha_i = 1$  esetén ez éppen a (41) feltétel. Ugyanakkor az (56) feltétel ezt tovább általánosítja: arra az esetre, amikor egy százaléknyi többlet károsanyag-kibocsátás több, mint egy százalékkal növeli az

ebből adódó aggregált környezetszennyezés mértékét. Általában ez a helyzet, így  $\alpha_i > 1$ . Az (56) feltételből következik, hogy  $r_i > 0$  esetén  $p_i$  negatív. Lényeges különbség a lineáris modellel szemben, hogy ebben az esetben a környezeti határszennyezés szintje függ a természeti környezetbe kibocsátott szennyezőanyag mennyiségétől,  $ME_i = ME_i(y_i^p)$ .

Bár a modell vizsgálata során belső ponti megoldást feltételeztem, érdemes felírni a (47) feltételhez tartozó komplementaritási feltételeket:

$$v \left( \sum_{i=1}^n p_i^p u_i - p_i^s(z_i) z_i - d_e \right) = 0 \quad \text{és} \quad (57)$$

$$\sum_{i=1}^n p_i^p u_i - p_i^s(z_i) z_i - d_e \leq 0, \quad v \geq 0$$

Mivel a vállalat célja a szennyezőanyag minimalizálása, ezért igyekszik minél több káros szennyezőanyagot átadni a társvállalatai számára ártalmatlanítás vagy továbbfeldolgozás céljával. A kereskedelem során megengedett maximális veszteség mértéke  $d_e$ , és így a (47) feltétel biztosan egyenlőség formájában teljesül. Ezek szerint  $v = 0$  nem következik a komplementaritási feltételekből sem, így a környezetszennyezés árfolyama biztosan pozitív.

Az optimális megoldáshoz az (53) – (56) feltételek teljesülése szükséges ugyan, de nem elégséges. Elégséges csak akkor lenne, ha valamennyi szennyezőanyag piacán tökéletes versenytételeznék fel.

Ebben az esetben ugyanis minden termékre  $dp_i^s / dz_i = 0$  teljesülne és így a modell feltételei által definiált konvex poliédernek egy az origóra konkáv hiperfelülettel vet érintési pontját kellene megkeresni. Amennyiben a szennyezőanyagok piaca monopsonista szerkezetet mutat, nem ez a helyzet. Az ebből fakadó nehézségeket a következő 6.2 pontban vizsgálom.

A modell linearitásának elvesztése következtében, a kimerítés elv nem teljesül, és emiatt a 3. és 4. Állításhoz hasonló állítások sem tehetők. Ugyanakkor az (44)-es elsőrendű feltétel általánosított alakja továbbra is érvényes, amennyiben az egyes termékek eladási árát helyettesítjük azok határbevételével. Ennek következtében a társvállalatokkal folytatott kereskedelem során az optimális termékszerkezet meghatározására szolgáló elsőrendű feltételek az alábbiak:

$$\begin{aligned} \text{Ha } z_i, z_j > 0, \text{ akkor } \frac{ME_i(z_i)}{ME_j(z_j)} &= \frac{p_i^s(z_i)}{p_j^s(z_j)}, \\ \text{ha } u_i, u_j > 0, \text{ akkor } \frac{ME_i(u_i)}{ME_j(u_j)} &= \frac{p_i^p}{p_j^p}, \\ \text{ha } z_i > 0 \text{ és } u_j > 0, \text{ akkor } \frac{ME_i(z_i)}{ME_j(u_j)} &= \frac{p_i^s(z_i)}{p_j^p}. \end{aligned} \quad (58)$$

Az (58) összefüggések csupán a lokális optimum szükséges feltételei. A globális optimum megtalálása jóval nehezebb feladat. Ezzel kapcsolatban fogok az 6.3. alfejezetben néhány érdekes és fontos esetet megvizsgálni.

## 6.2 Számpélda a környezetszennyezést minimalizáló vállalat nemlineáris modelljének szemléltetésére

Visszatérek az előző fejezet 5.5-ös pontjában bemutatott számpélda eredeti, hat alaptevékenységet tartalmazó változatához. Azonban most azt vizsgálom meg, mi történik, ha a környezetszennyezés



minimalizáló vállalat célfüggvénye nemlineáris. A számpélda most a (48) – (51) környezetszennyezést minimalizáló vállalat nemlineáris feladat problémáját vizsgálja. Eltérés a korábbi feladathoz képest, hogy a célfüggvényben  $y^p$  kitevőjében megjelenik a környezetszennyezés rugalmassága. Ennek értéke az alábbiak,  $\alpha_1 = 1,5$ , míg  $\alpha_2 = 1,2$ . Az értekezésben felírt modell (50) feltételében vállalatunk piaci erőfölénnyel rendelkezik a társvállalatoktól átvett melléktermékek piacán, ugyanakkor a számpéldában továbbra is azt feltételezem, hogy tökéletes a verseny a melléktermékek piacán. A többi adat változatlan a feladatban. A GAMS software-ben írt feladatot megtaláljuk a 8.6 Függelékében.

Nézzük meg, hogyan alakul az optimális megoldás a vevői igény függvényében:

- **18. táblázat** (48) – (51) feladat illusztrálásához használt számpélda eredménytáblája 6 alaptevékenység üzemeltetése esetén

| $y_3$ | VC     | $z_1$ | $z_2$  | E       |
|-------|--------|-------|--------|---------|
| 100   | 69000  | 99,8  | 60,3   | 82462   |
| 140   | 96600  | 93,6  | 0      | 124011  |
| 220   | 141164 | 992,7 | 1227,7 | 427842  |
| 248   | 152588 | 936,6 | 1227,7 | 786265  |
| 260   | 153320 | 781,0 | 1227,7 | 990190  |
| 263   | 153320 | 736,3 | 1227,7 | 1045112 |

*Forrás: saját szerkesztés*

A feladatnak nincs megoldása  $y_3 = 266$ -nál. Az előző fejezetben tárgyalt költségminimalizáló vállalat nemlineáris feladatának optimális megoldásával összehasonlítva (16. táblázat) a kapott eredményeket, azt láthatjuk, hogy a két vállalatot közel hasonló költség szinten működtethető. Jelentős különbség ugyanakkor, hogy míg a lineáris feladatban nem adott át társvállalatainak a 2. káros melléktermékből vállalatunk, addig a nemlineáris feladatban érdeke az optimális megoldás szerint mindkét károsanyagot átadni társvállalatainak.

Nézzük meg, mi történik akkor, ha a vállalat bevezeti a 7. alaptevékenységet, mely segítségével a 2. károsanyagot felhasználja a termelésben.

- **19. táblázat** (48) – (51) feladat illusztrálásához használt számpélda eredménytáblája 7 alaptevékenység üzemeltetése esetén

| $y_3$ | VC     | $z_1$  | $z_2$  | E       |
|-------|--------|--------|--------|---------|
| 100   | 70900  | 416,4  | 60,3   | 17878   |
| 140   | 99260  | 532,5  | 0      | 26998   |
| 220   | 141020 | 2040,8 | 1227,7 | 204607  |
| 248   | 152472 | 1781,8 | 1227,7 | 492592  |
| 260   | 153320 | 1414,5 | 1227,7 | 737762  |
| 263   | 153320 | 1309,3 | 1227,7 | 809718  |
| 264   | 153320 | 1072,5 | 1227,7 | 967252  |
| 270   | 153320 | 901,3  | 1227,7 | 1074054 |

*Forrás: saját szerkesztés*

A feladatnak nincs megoldása  $y_3 = 271$ -nél. A 19. táblázatból az derül ki, hogy a vállalat csak minimálisan, de képes volt csökkenteni az aggregált környezetszennyezés mértékét a 7. alaptevékenység bevezetésével. A 18. és 19. táblázatot összehasonlítva a vállalat csökkenteni tudta az aggregált környezetszennyezés kibocsátásának mértékét, azonban a vevői igények növekedésével a környezetszennyezés kibocsátásának mértéke összesimul. Megállapíthatjuk, hogy alacsony vevői igény kielégítése esetén van jelentősége a 7. alaptevékenység üzemeltetésének.

A számpélda tanúsága az, hogy fontos megvizsgálni és kimutatni a termelővállalatok környezetszennyezésének mértékét azt feltételezve, hogy eltérő károsanyagok eltérő módon szennyezik a természeti környezetet. Ezt figyelembe véve egy valós képet kaphatunk a termelővállalatok tevékenységének környezetszennyező mivoltáról, s így a környezetvédelmi hatóság objektíven bírálhatná el a környezetszennyező vállalatok működésének jogosultságát.

### 6.3 Néhány érdekes eset

Ebben az alfejezetben 4 különböző esetet vizsgálunk, mely a környezetszennyezést minimalizáló nemlineáris modell valamilyen irányú specializációja.

#### 6.3.1 Első eset: Az átadásra kerülő melléktermékek optimális szerkezetének vizsgálata.

A (58) feltételek számos érdekes következtetés levonására adnak lehetőséget. Segítenek meghatározni a melléktermékek optimális szerkezetét, melyeket a társvállalatok számára átad a vállalat. Legyenek ezek a melléktermékek szennyezőanyagok, melyeket az  $i$ -edik és  $j$ -edik termékként jelölök. Nem jelenti az általánosság különösebb megszorítását, ha feltételezem, hogy a

(47) feltétel egyenlőség formájában teljesül. Egyelőre tegyük fel, hogy a  $\mathbf{P}^s$  árak konstansok! Mint arra a 6.1. pont végén rámutattam, ekkor a lokális optimum egyúttal globális is. Az egyszerűbb jelölés érdekében bevezetem a  $c$  szimbólumot, és legyen:

$$c = \mathbf{p}^p \mathbf{u} - p_1^s z_1 - \dots - p_{i-1}^s z_{i-1} - p_{i+1}^s z_{i+1} - \dots - p_{j-1}^s z_{j-1} - p_{j+1}^s z_{j+1} - \dots - p_n^s z_n - d_c$$

Feltevés szerint  $c$  értéke rögzített. Akkor a (35) feltételből következik, hogy

$$c = p_i^s z_i + p_j^s z_j \quad (59)$$

Bevezetem a két szennyezőanyagból – az esetleges termelőfelhasználás és vevői igény kielégítése után – megmaradó mennyiségre a következő egyszerűbb jelölést

$$q_i = (k_{i1} - r_{i1})x_1 + \dots + (k_{im} - r_{im})x_m + u_i - y_i^c, \text{ és}$$

$$q_j = (k_{j1} - r_{j1})x_1 + \dots + (k_{jm} - r_{jm})x_m + u_j - y_j^c$$

Könnyű látni, hogy a (49) termékmérlegből adódóan  $q_i = z_i + y_i^p$  és  $q_j = z_j + y_j^p$ . Ez azt jelenti, hogy az  $i$ -edik és a  $j$ -edik termékből (szennyezőanyagból) megmaradt mennyiség egy része a környezetbe kerül és a másik része a társvállalatokhoz.

Mivel csupán két döntési változót tételeztem fel, a (51) célfüggvény az alábbiak szerint írható fel:

$$E = r_i (q_i - z_i)^{\alpha_i} + r_j (q_j - z_j)^{\alpha_j} \rightarrow \min \quad (60)$$

Behelyettesítve az (56) egyenlőséget, az (58) feltételbe a társvállalatok számára átadandó szennyezőanyagok optimális mennyiségének meghatározásához az alábbi feltétel írható fel:

$$\frac{r_i \alpha_i (q_i - z_i)^{\alpha_i - 1}}{r_j \alpha_j (q_j - z_j)^{\alpha_j - 1}} = \frac{p_i^s}{p_j^s} \quad (61)$$

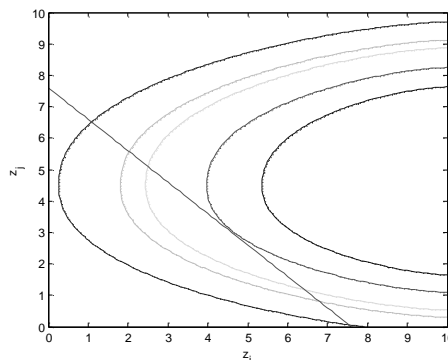
Az (61) egyenlet a mérlegelt határkölségek törvényére emlékeztet, de az új értékelméleti paradigma miatt most a határkölség helyébe a határszennyezés lép. Ennek értelmében az egyenlet bal oldalán a célfüggvény parciális deriváltjainak hányadosa, azaz a környezeti határszennyezések aránya áll, a

döntési változók ( $z_i$  és  $z_j$ ) függvényében kifejezve. Ezt egyfajta transzformációs határrátaként is értelmezhetjük, amennyiben megmutatja, hogy ha a vállalat a  $j$ -edik termék, mint szennyezőanyag egységnyi mennyiségét nem a környezetbe bocsátja ki, hanem a társvállalatok számára adja át, akkor mennyivel növelhető az  $i$ -edik termék, mint szennyezőanyag környezetbe történő kibocsátása úgy, hogy az aggregált környezetszennyezési index értéke ne változzon. Optimális megoldás esetén a transzformációs határrátának a szennyezőanyag átvételi árak hányadosával kell megegyeznie. Ez a feltétel egyébként a mikroökonómiában jól ismert határelemzés révén is belátható.

A 12. ábrán a (60) célfüggvény szinthalmazait tüntettem fel. Ezeket izo-szennyezési görbéknek is nevezhetjük. Mivel a célfüggvény értéke a döntési változók  $z_i = q_i$  és  $z_j = q_j$  értékei mellett veszi fel a minimális értéket, az ábrán látható izo-szennyezési görbék annál jobb célfüggvény értékeket reprezentálnak, minél távolabb esnek a függőleges tengelytől. A célfüggvény globális maximumhelyének elérését azonban a termékmérlegből adódó (59) feltétel korlátozza. E korlátot reprezentálja 12. ábrán feltüntetett egyenes, melynek meredeksége a két szennyezőanyag átvételi árának  $-1$ -szerese:  $-p_i^s / p_j^s$ . Az ábra készítésekor azt feltételeztem, hogy mindkét átvételi ár negatív. Az egyenes és egy izo-szennyezési görbe érintési pontjában adódik a társvállalatok számára átadandó szennyezőanyagok optimális mennyisége. Jól látszik az ábrán az is, hogy amennyiben az  $i$ -edik szennyezőanyag ára megemelkedik, az egyenes meredekebb lesz, és ennek következtében a vállalat kevesebb  $i$ -edik szennyezőanyagot ad át a társvállalatainak, ezért növelni fogja a  $j$ -edik szennyezőanyag átadott mennyiségét.

- **12. ábra:**  $z_i$  és  $z_j$  optimalizációs helyzete.

*Megjegyzés:* Az ábrán a (60) célfüggvény izo-szennyezési görbéit és a (59) feltételhez tartozó egyenes vonalat tüntettem fel. Minél messzebb helyezkedik el egy izo-szennyezési görbe a függőleges tengelytől, annál alacsonyabb lesz a környezetszennyezési index.



*Forrás:* saját szerkesztés

Mint említettem, a fenti gondolatmenetben  $p_i^s, p_j^s < 0$  teljesül. Azonban érdemes végiggondolni azt az esetet is, amikor  $p_i^s < 0$  és  $p_j^s > 0$ . Ekkor a (57) egyenes meredeksége pozitív. A (61) feltétel most is teljesül, és a (59) egyenes mentén történő jobbra, felfelé elmozdulást most úgy értelmezhetjük, hogy ezúttal a vállalat több hasznos mellékterméket értékesít, az ebből származó bevételből pedig a képződött szennyezőanyag társvállalatoknál történő ártalmatlanítását finanszírozza. Az optimális megoldás most is az egyenes és egy izo-szennyezési görbe érintési pontjában adódik.

### 6.3.2 Második eset: Az első eset kiegészítése: mi történik, ha az $i$ -edik szennyezőanyagot átvevő vállalat piaci erőfölénnyel rendelkezik

Jóval bonyolultabb a helyzet, ha az  $i$ -edik terméket, mint szennyezőanyagot átvevő társvállalat, vagy társvállalatok piaci erőfölénnyel rendelkeznek, s így  $P_i^s$  nem konstans, hanem például a (46) inverz keresleti függvény érvényes. Az (59) egyenlőség helyébe most a következő írható:

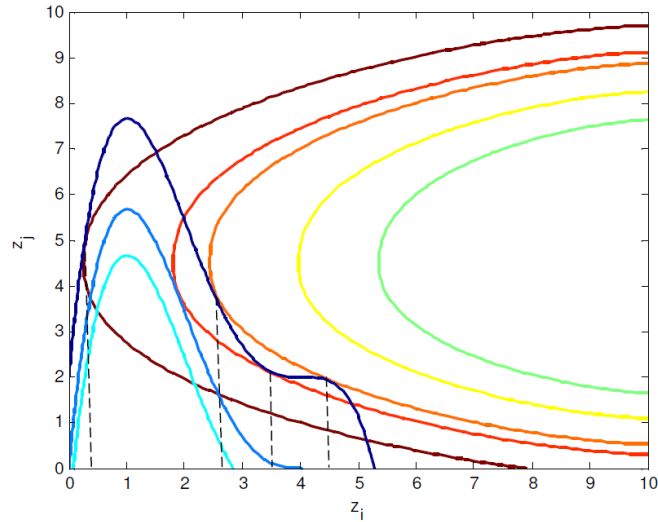
$$c = A_i (\bar{z}_i - z_i)^3 z_i + P_j^s z_j \quad (62)$$

Ugyanakkor az (58) elsőrendű feltételek továbbra is érvényesek. Az ebben az esetben kialakuló optimalizációs helyzetekből a 13. ábra mutat be néhányat, mely ábra továbbra is  $P_j^s$  negatív konstans feltételezése mellett készült. Feltettem tehát, hogy a másik szennyezőanyag piacán egyetlen szereplő sem rendelkezik erőfölénnyel. A (62) feltétel nemlinearitása miatt az (59) által meghatározott egyenes helyébe most a (62) feltételt kielégítő görbe lép. E görbe helyzete egyebek mellett a  $c$  paraméter értékétől függ: az alacsonyabb görbéhez  $c$  alacsonyabb értéke tartozik.

A (60) függvény  $z_i \approx 0,4$  és  $z_j \approx 4,8$  lokális minimum pontjaiban, a vállalat viszonylag nagy mennyiségű  $j$ -edik szennyezőanyagot ad át megsemmisítésre a társvállalatoknak. Ennek költségét az  $i$ -edik melléktermék értékesítése révén finanszírozza. Ennek a terméknek a piacán, a vállalat jelentős erőfölénnyel rendelkezik, melyet oly módon használ ki, hogy kis mennyiséget ad el, így ezt magas, pozitív áron tudja tenni, pozitív határbevétel mellett. Ebben a helyzetben a társvállalatok az átvett  $i$ -edik mellékterméket nem szennyezőanyagként, hanem hasznosítható melléktermék gyanánt kezelik. A 13. ábrán az is látható, hogy az imént elemzett lokális optimumnál alacsonyabb aggregált környezetszennyezést érhetünk el az  $i$ -edik termék eladásának növelése révén. Ebben az esetben, először a határbevétel válik negatívvá. Ez a helyzet a  $z_i \approx 2,7$  értékéhez tartozó globális optimumban. Az ábra tanúsága szerint azonban két globális optimum van. Tovább növelve ugyanis az  $i$ -edik melléktermék társvállalatok számára átadott mennyiségét a másik globális optimumban ( $z_i \approx 4,5$ )  $P_i^s$  negatívvá válik, ennek következtében a vállalatnak fizetni kell az átvételért. Az emiatt bekövetkező költségnövekedést a  $j$ -edik típusú szennyezőanyag ártalmatlanításra átadott mennyiségének csökkentéséből adódó megtakarítás kompenzálja.

- **13. ábra:**  $z_i$  és  $z_j$  optimalizációs helyzetek.

Megjegyzés: A (60) célfüggvényhez tartozó iso-szennyezési görbék megegyeznek a 12. ábrán felrajzoltakkal. Az 12. ábrán szereplő egyenes helyébe lépő görbék, a (62) feltétel nem-linearitását tükrözik. Ezen görbék helyzete a  $c$  paraméter értékétől függ.



Forrás: saját szerkesztés

Fontos megjegyezni, hogy a 13. ábrán az (61) elsőrendű optimum kritérium a két globális optimum között  $z_i \approx 3,5$  esetén is teljesül. Jól látható azonban, hogy ebben az esetben az aggregált környezetszennyezés nem a lokális minimumát, hanem a lokális maximumát éri el. A  $c$  legnagyobb értéke mellett adódó, legmagasabb görbén elhelyezkedő lokális és globális optimum, ahogy azt az imént is említettem, kielégíti a (62) feltételt. A 12. ábrán az is jól látható hogy, ha  $c$  alacsonyabb értéket vesz fel, akkor egy egyedüli optimumot kapunk.

### 6.3.3 Harmadik eset: Szennyezőanyag ártalmatlanításának finanszírozása egy másik szennyezőanyag átvételéből származó bevételből

Egy másik érdekes kérdés lehet annak vizsgálata, hogy miként finanszírozhatja a vállalat a szennyezőanyagok ártalmatlanítását a globális optimumban valamilyen hasznos melléktermék értékesítése révén. Kezdjük a probléma vizsgálatát ismét azzal az egyszerűsítő feltevéssel, hogy nincs piaci erőfölény, tehát a  $\mathbf{P}^p$  és  $\mathbf{P}^s$  árak a vállalatközi tranzakciókban részt vevő mennyiségektől független konstansok. Látni fogjuk, hogy ebben az esetben is létezik optimum.

Ismét két döntési változót veszek figyelembe: az  $i$ -edik termékből átadásra és a  $j$ -edik termékből átvételre kerülő mennyiségeket. A  $\mathbf{z}$  és  $\mathbf{u}$  vektorok többi elemét tehát rögzítem. Ennek megfelelően a  $c$  konstans most a következőképpen definiálom:

$$c = p_1^p u_1 + \dots + p_{j-1}^p u_{j-1} + p_{j+1}^p u_{j+1} + \dots + p_n^p u_n - p_1^s z_1 - \dots - p_{i-1}^s z_{i-1} - p_{i+1}^s z_{i+1} - \dots - p_n^s z_n - d_e$$

és legyen a  $c$  értéke továbbra is rögzített. Ekkor

$$c = p_j^p u_j - p_i^s z_i \tag{63}$$

Az  $i$ -edik termékből a termelőfelhasználás és vevői igények kielégítése után megmaradó mennyiséget továbbra is  $q_i$ -vel jelölöm:

$$q_i = (k_{i1} - r_{i1})x_1 + \dots + (k_{im} - r_{im})x_m + u_i - y_i^c$$

$q_j$  ezúttal nem tartalmazza az átvett  $j$ -edik termék mennyiségét, de a bruttó kibocsátásból az eladott termékek mennyiségét is kivonom:

$$q_j = (k_{j1} - r_{j1})x_1 + \dots + (k_{jm} - r_{jm})x_m - z_j - y_j^c$$

Egyértelmű, hogy a (34) termékmérleg szerint  $q_i = z_i + y_i^p$  és  $q_j = y_j^p - u_j$ , tehát az  $i$ -edik termékből az esetleges a vevői igények kielégítése után megmaradó mennyiség egy része a környezetbe kerül, másik részét a társvállalatok kapják.

Mivel feltételezésünk szerint továbbra is csak két szennyezőanyag van, ezért a (51) célfüggvény az alábbi módon írható fel:

$$E = r_i(q_i - z_i)^{\alpha_i} + r_j(q_j + u_j)^{\alpha_j} \rightarrow \min \quad (64)$$

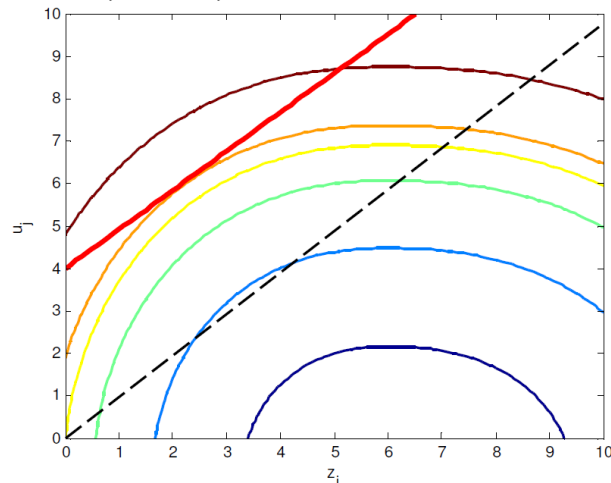
Figyelembe véve az (56) elsőrendű feltételt, a (58) feltételt most az alábbi alakban írható fel:

$$\frac{r_i \alpha_i (q_i - z_i)^{\alpha_i - 1}}{r_j \alpha_j (q_j + u_j)^{\alpha_j - 1}} = \frac{p_i^s}{p_j^p}, \quad (65)$$

ahol a jobb oldal exogén konstans, a bal oldalon pedig a két szennyezőanyag helyettesítési határrátája áll a döntési változók függvényében kifejezve.

• **14. ábra:**  $z_i$  és  $u_j$  optimalizációs helyzete.

*Megjegyzés:* Az ábrán a (64) célfüggvény iso-szennyezési görbéit és a (63) feltételhez tartozó egyenes vonalat tüntettem fel. Minél közelebb helyezkedik el egy iso-szennyezési görbe a vízszintes tengelytől, annál alacsonyabb lesz a környezetszennyezési index.



Forrás: saját szerkesztés

A 14. ábrán ismét feltüntettem a (64) célfüggvény szintvonalait. Most azonban mások a döntési változók, így az izo-szennyezési görbék alakja is eltér a 12. ábrán láthatótól. Felteszem, hogy  $q_i, q_j > 0$ , ekkor egy-egy izo-szennyezési görbe mentén annál alacsonyabb a (64) célfüggvény értéke, minél közelebb helyezkedik el a görbe a vízszintes tengelyhez. Az ábrán feltüntetett egyenes azokat a  $(z_i, u_j)$  kombinációkat tartalmazza, melyek kielégítik a (63) korlátozó feltételt. Az egyenes meredekségét továbbra is a  $P_i^s / P_j^p$  hányados határozza meg. Ez pozitív, mivel feltevésem szerint, mind az átvett, mind az átadott melléktermékek és szennyezőanyagok árai negatívak. Az átadásra, illetve átvételre kerülő szennyezőanyagok optimális értékei az érintési pont koordinátáiként ismét egyértelműen meghatározhatók. Az is látszik a 14. ábrán, hogy az aggregált környezetszennyezés alacsonyabb értéket venne fel, ha a vállalat egyik melléktermékkel sem folytatna tranzakciót. (Egy ilyen magatartásnak az origó felel meg.) Figyelembe véve azonban, hogy esetemben a melléktermékek ára negatív, a kereskedelemtől való elzárkózás azt jelentené, hogy a vállalat megsérti a (63) korlátozó feltételt. Ugyanakkor az is látszik az ábrán, hogy amennyiben az átvett szennyezőanyag átvételi ára emelkedik, vagy az átadott szennyezőanyag ára csökken, akkor az egyenes meredeksége csökken. Ennek eredményeként a vállalat több szennyezőanyagot fog átvenni és többet is fog átadni.

Fontos megjegyezni, hogy az ábra készítésekor  $d_e < c$  feltételezése mellett készült. Növelve a szennyezőanyagok kereskedelme során megengedett maximális veszteség nagyságát, a 14. ábrán bemutatott egyenes önmagával párhuzamosan lefelé tolódik, és az új érintési pont által reprezentált optimalizációs helyzetben a vállalat kevesebb szennyezőanyagot vesz át, és többet fog átadni, ezáltal csökkentve az aggregált környezetterhelést.

Az iménti gondolatmenetben természetesen azt is feltételeztem, hogy a  $j$ -edik típusú szennyezőanyagot átvevő vállalat azt képtelen továbbfeldolgozni, ezért egyszerűen kibocsátja a környezetbe. A két tranzakcióban részt vevő három vállalat együttes környezetszennyezése abban az esetben csökken, ha az  $i$ -edik típusú mellékterméket az azt átvevő vállalat képes olyan termékeibe beépíteni, mely iránt fogyasztói igény mutatkozik. Ez az állítás abban az esetben is igaz, ha a kereskedelem során megengedett maximális veszteség nulla ( $d_e = 0$ ) és a vállalatok között csak a vizsgált két tranzakció megy végbe, azaz  $c = 0$ . Ebben az esetben a (63) feltételt a szaggatott egyenes reprezentálja a 14. ábrán, melyen az origótól távolodva az aggregált környezetszennyezés mértéke egy darabig csökken, majd növekedni kezd.

A fenti gondolatmenetből adódik:

## 6. Állítás

Egy a környezetszennyezés minimalizálására törekvő vállalatnak kibocsátási korlátok és kvóták hiányában is érdemes lehet a környezetszennyező melléktermékekkel kereskedni, még abban az esetben is, ha a kereskedés során nem képződhet veszteség. Az egyes tranzakciókban részt vevő melléktermékek optimális nagyságának meghatározása során azonban figyelembe kell venni a tranzakciókban részt vevő vállalat többi termelési technológiáját is.

Vegyük ismét a timföldgyár példáját, mely a vörösiszap átvételéért fizetni kénytelen a téglagyárnak. Tegyük fel, hogy a téglagyár nem tudja a vörösiszap teljes mennyiségét átvenni, és így a timföldgyár lerakóba helyezi el a maradék mennyiséget, azaz kibocsátja a környezetbe. Ekkor a timföldgyár

felajánlhatja a közeli széntüzelésű erőműnek, hogy átveszi az égetés melléktermékeként képződő zagyot és vállalja annak lerakását, azaz a saját lerakójába viszi. Az ebből származó bevételből finanszírozza a vörösiszap téglagyár számára történő átadását, ilyen módon csökkentve az aggregált környezetszennyezést.

### 6.3.4 Negyedik eset: A harmadik eset kiegészítése: mi történik, ha a $j$ -edik szennyezőanyagot átvevő vállalat piaci erőfölénnyel rendelkezik

Megvizsgálom azt az esetet is, amikor az átvett melléktermék piacán a verseny nem tökéletes, ezért az átvételi ár függ az átvett mennyiségtől. Példámban ezt az alábbi függvény reprezentálja:

$p_j^p = A_j u_j^{\beta_j}$ , ahol  $A_j < 0$ , és az inverz kínálat rugalmassága  $\beta_j > 1$ . Ekkor a (63) korlátozó feltétel helyébe az alábbi írhatjuk:

$$c = A_j u_j^{1+\beta_j} - p_i^s z_i \quad (66)$$

Az így adódó optimalizációs helyzetet, egybevetve a 14. ábrán bemutatottal, a 15. ábra szemlélteti.

Láttuk, hogy a (63) feltételt kielégítő  $(z_i, u_j)$  kombinációk egy pozitív meredekségű egyenes mentén egyenesen helyezkednek el, melyet a 15. ábrán is feltüntettem. A  $j$ -edik melléktermék piacán fellépő piaci erőfölény következtében az egyenes helyébe az ábrán feltüntetett fekvő parabola lép, és a (66)

feltételt kielégítő  $(z_i, u_j)$  kombinációk már e parabola mentén helyezkednek el. Tökéletesen versenyző piacokból az erőfölényes helyzetbe történő átmenet által kiváltott elmozdulás irányát a 15. ábrán a nyíl jelzi.

A 14. ábra azon feltevés mellett készült, hogy a vállalatnak nincs piaci erőfölénye, így az inverz kereslet rugalmassága zérus. Ezzel szemben az 15. ábra bemutatja a piaci erőfölény esetét is. Feltevésem szerint az inverz kereslet árrugalmassága 1,1. Ez azt jelenti, hogy a vállalat csakis abban az esetben hajlandó egy százalékkal többet átvenni a  $j$ -edik típusú szennyező melléktermékből, ha annak átvételi ára 1,1%-kal emelkedik. Egybevetve a 15. ábrán bemutatott két optimalizációs helyzetet, azt látjuk, hogy piaci erőfölényét a vállalat az aggregált környezetszennyezés csökkentésére használja. Ennek során a vállalat kevesebb  $j$ -edik típusú szennyező mellékterméket vesz át magasabb áron, ezáltal növelve az átvételből származó bevételt. Ennek következtében több bevétel áll rendelkezésére, hogy finanszírozza az ártalmatlanításra átadható  $i$ -edik szennyező melléktermék mennyiségét. Az átadásra kerülő többlet  $i$ -edik melléktermék mennyiségét az ábrán a vízszintes, zöld színű méretező jelöli.

A fenti gondolatmenetből adódik a:

## 7. Állítás

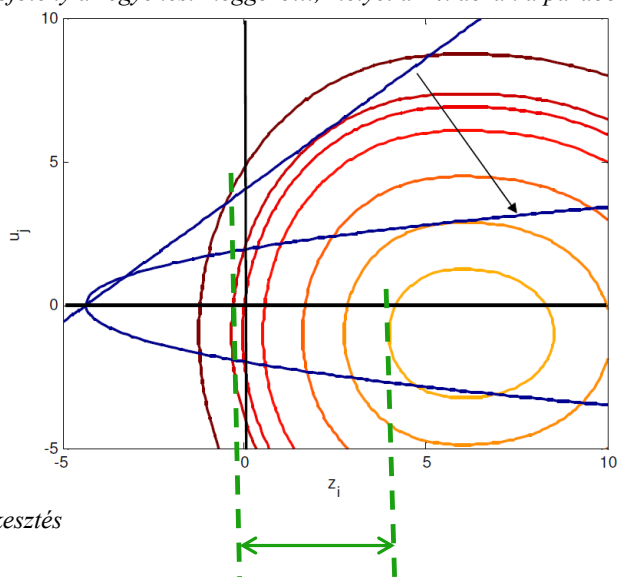
Piaci erőfölényét a kvázi Kék Gazdaság vállalata az aggregált környezetszennyezés csökkentésére használja fel.

Látható továbbá, hogy még alacsonyabb aggregált környezetszennyezés lenne elérhető  $u_j < 0$  esetén, ezt azonban a döntési változók pozitívitására tett megkötés miatt kizártam. A négy síknegyedlet csupán azért mutattam be a 15. ábrán, hogy jól látható legyen, hogy a (66) egyenletet kielégítő pontok nem egy egyenes, hanem egy parabola mentén helyezkednek el.



- **15. ábra:**  $z_i$  és  $u_j$  optimalizációs helyzetek.

*Megjegyzés: A (64) célfüggvényhez tartozó iso-szennyezési görbék megegyeznek a 14. ábrán felrajzoltakkal, most azonban ezeket mind a négy síknegyedben bemutatom. Ahogy azt a nyíl is mutatja, a piaci erőfölény az egyenest meggömbíti, melyet a 14. ábrán a parabola mutat.*



*Forrás: saját szerkesztés*

Az itt vizsgált eseteken kívül további érdekes esetek adódhatnak az inverz keresleti és kínálati függvények más fajta specifikációja esetén vagy abban az esetben, ha a jelen pontban bemutatottak helyett más döntési változatok értékét rögzítjük. A lehetséges esetek száma szinte végtelen, ezért azok tételes elemzésére nem vállalkozom. A jelen pontban bemutatott példák inkább lehetőségek illusztrálására szolgálnak.

## 6.4 Összegzés

A hatodik fejezetben a kvázi Kék Gazdaság típusú vállalat nemlineáris modelljét tárgyaltam. A primális modellben megjelenik a valósághoz jobban illeszkedő nemlineáris célfüggvény, valamint a társvállalatok számára átadott melléktermékek piacán azt feltételeztem, hogy a vállalatunk piaci erőfölénnyel rendelkezik. A primális modellhez tartozó duális változók, most Lagrange szorzóként értelmezhetők. Ezek magyarázata nem változott. Ehhez a fejezethez is készült egy számpélda, melyből az derült ki, hogy számottevően változik a vállalat szennyezőanyag kibocsátásának mértéke, azt feltételezve, hogy eltérő károsanyagok eltérő módon szennyezik a természeti környezetet. A környezetvédelmi hatóság szempontjából érdekes lehet a modell alapján objektíven megvizsgálni a termelő vállalatok működését, és a magas károsanyag kibocsátási értékkel rendelkező vállalatok tevékenységét korlátozni vagy beszüntetni.



## 7. Végső összegzés

Az értekezés elsődleges célja volt a Kék Gazdaság definiálása a mainstream közgazdaságtan keretei közt. Bemutattam, hogy a koncepció a tökéletes fenntarthatóságot képviseli, mely a gazdaság, a társadalom és környezet harmónikus, egymást kiegészítő együttműködésében valósul meg. A Kék Gazdaság, egy olyan komplex, és összetett gazdasági rendszer, mely törekszik a természet folyamataiból inspirációt gyűjtve, regionális szintű gazdasági tevékenységet folytatni. Motivációi közt a lokális igények kielégítése szerepel, a lokális munkaerőt felhasználva, a termelő tevékenységek károsanyag kibocsátása nélkül, amely megvalósításához, ha szükséges meglévő-tradicionális vagy új-Kék technológiákat szükséges bevezetni, ezáltal teremtve új munkahelyeket. A Kék Gazdaság egy új paradigmát képvisel az irodalmi áttekintőben bemutatott fenntartható fejlődési irányzatok közt, hiszen a tökéletes fenntarthatóság megvalósítására törekszik. Azonban az értekezésben a Kék Gazdaság egy jellemvonását tudom bizonyítani, a nulla hulladék-elv betartását, ami a modellben  $\bar{y} = 0$  megkötés betartását jelenti. Későbbiekben ugyanakkor feltételezem, hogy a Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalat célja a környezetszennyezés minimalizálása ( $E \rightarrow \min$ ). A modellben megjelenik a vállalatok közti együttműködés, amit a társvállalatokkal folytatott kereskedés reprezentál ( $z, u > 0$ ), valamint a melléktermékek, szennyezőanyagok, hulladékok felhasználása a termelési folyamatban ( $Rx > 0$ ), és a vevők alapvető szükségleteinek kielégítése ( $y^c$  exogén paraméter).

Az értekezésben a kvázi Kék Gazdaság típusú vállalatot, egy olyan termelőegységként definiáltam, melynek célja a vevői igények kielégítése minimális környezetterhelés esetén. Ennek a vállalatnak a racionális viselkedését hasonlítottam egy hagyományos vállalat racionális viselkedésével, melynek célja a termelési költségek minimalizálása. Ennek során a lineáris tevékenységelemzési modellből indultam ki, hiszen egy jó eszköznek bizonyult az ikertermelés és a technológia választék megjelenítésére. Ez a két jellemvonás alapvető fontossággal bír a különböző szennyezőanyagok termelés során történő kibocsátásának elemzéséhez.

A költségminimalizáló vállalat primális és duális feladat optimális megoldása esetén a célfüggvény értékek egyezőségéből jutottam arra a következtetésre, hogy a vállalat csak akkor lesz nyereséges, ha szennyezőanyag-kibocsátása legalább egy esetben eléri a kibocsátási korlátot. Ezért ha a Kék Gazdaság típusú vállalat szigorúan betartja a nulla hulladék-elvet, akkor az elérhető maximális nyeresége nulla lesz. Célszerűnek láttam áttérni a környezetszennyezést minimalizáló vállalat működésének vizsgálatára, mely összhangban van a Kék Gazdaság elméletével.

A kétféle vállalat típus viselkedésének egybevetése során megmutattam, hogy a termékek értékelése során alkalmazott határkötség fogalma nem csupán a sztenderd mikroökonómiából ismert módon értelmezhető, hanem az egységnyi többletermék iránt mutatkozó vevői igény kielégítése esetén létrejövő többlet környezetszennyezés gyanánt is. Az utóbbi értelmezés a Kék Gazdaság vállalatainak esetében alapvető fontosságú, mert egyrészt segítségével e vállalatok melléktermékpiacokon történő viselkedése a hagyományos vállalatok viselkedéséhez hasonló módon magyarázható. Másrészt az is megmutatható, hogy a végső felhasználásra kerülő termékkészlet határszennyezésen számított értéke éppen megegyezik az előállítás során képződött környezetszennyezéssel.

A Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalat optimális működése esetén adódó szennyezőanyag-kibocsátások alkalmas támpontul szolgálhatnak a kibocsátási korlátok meghatározásához a költségminimalizáló vállalat számára. Az ezek túllépésétől hatékonyan visszatartó erővel bíró környezetvédelmi bírságok nagysága pedig az e korlátokhoz tartozó árnyékarak segítségével

határozhatók meg, melyeket a költségminimalizáló vállalat problémájának megoldása révén kapunk, amit a 4. fejezet tárgyal.

Az értekezésben feltettem a vállalatok heterogenitását, ami mindkét vállalat típus esetében lehetővé és szükségessé teszi, hogy egymás közt a vállalatok környezetszennyező melléktermékekkel is kereskedjenek. Megmutattam azt is, hogy az ilyen melléktermékek ára a vállalatközi tranzakciók során pozitív és negatív egyaránt lehet. Azt is megmutattam, hogy amennyiben a vállalatok egymás között folyó kereskedelmében egy a Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalat piaci erőfölényhez jut, az ebből származó lehetőségeit a környezetszennyezés csökkentése érdekében használja fel.

Az értekezésben bemutatott számpéldák segítettek összehasonlítani a költség- és környezetszennyezést minimalizáló vállalat működését. Láttuk, hogy a kvázi Kék Gazdaság típusú vállalat üzemeltetése nem jár jelentős többlet költséggel, mégis az aggregált környezetszennyezési szintje számottevően csökkent. A példa megmutatta azt is, hogy egy körforgásos alaptevékenység bevezetésével a vállalat képes volt tovább csökkenteni a környezetszennyezés mértékét. Ez a megállapítás ösztönözheti a befektetőket arra, hogy Kék technológiákba fektessék be pénzüket, amennyiben a vállalat stratégiai céljai közt szerepel a fenntartható termelés szempontrendszer.

Az LTM modellkeret alapján végzett vizsgálódásaim fontosabb eredményeinek bemutatása után, érdemes röviden áttekinteni a munkahipotézisek igazolását.

#### **Az induló munkahipotézisek igazolása**

*(H1) A lineáris tevékenységelemzéssel jobban modellezhetők a környezetgazdasági problémák, mint az input-output modellel.*

A környezetgazdasági vizsgálatok nem hagyhatják figyelmen kívül azt a tényt, hogy a termelés során nem csupán a vevők számára hasznos termékek jönnek létre, hanem környezetszennyező melléktermékek is, azaz minden termelőfolyamat ikertermékeket állít elő. Ugyanakkor az elsősorban makrogazdasági elemzésekre kifejlesztett input-output modellekben a termelőegységek csupán egy féle outputot állítanak elő.

Másrészt az input-output modellek feltételezik, hogy az egyes termelőtevékenységek a gazdasági szempontból leghatékonyabb termelési technológiát alkalmazzák. Ha azonban azt vizsgáljuk, hogy milyen feltételek mellett választ egy termelőegység egy környezetvédelmi szempontból hatékonyabb technológiát, akkor nem tekinthetünk el a technológiai választék lehetőségétől. Akkor sem, ha más vizsgálatunk.

Az LTM modell tehát azért biztosítja a környezetgazdasági vizsgálatok input-output modellnél hatékonyabb keretét, mert a 3. fejezetben leírtak szerint, mind az ikertermelést, mind pedig a technológiai választék lehetőségét figyelembe veszi. Ezzel a (H1) hipotézist igazoltuk.

*(H2) Az LTM modell alkalmas a Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalat egzakt leírására.*

A Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalatot 4.3 pontban definiáltam, a nulla hulladék-elv szigorú betartásával. Azonban rávilágítottam arra, hogy az ikertermelés figyelembe vétele esetén a nulla hulladék-elv betartása többnyire nem lehetséges, ezért helyette az 5. fejezetben az adott vevői igényt minimális környezetszennyezéssel kielégítő vállalat működését írtam le. Ha a nulla hulladék-elv betartását a Kék Gazdaság elengedhetetlen feltételének tekintem, akkor az 5. fejezetben tárgyalt vállalatot a kvázi Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalatnak tekinthetem. Ez kétségkívül tágabb fogalom, mint a nulla hulladék-elvet betartó, Kék Gazdaság típusú vállalat, azonban jóval realitásabb. Az 5. fejezet a környezetszennyezés minimalizálására törekvő vállalat, a kvázi Kék Gazdaság, vagy a tágabban értelmezett Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalat LTM keretek közt történő egzakt

leírásának tekinthető. Ezek szerint a (H2) hipotézis igaz, amennyiben a Kék Gazdaság fogalmát tágan értelmezem. Ellenkező esetben a Kék Gazdaság elveit szigorúan betartó vállalati működés nem lehetséges, amint arra az LTM modellben figyelembe vett ikertermelés rávilágít.

*(H3) Az LTM modell kerete megfelelő kiinduló pontként szolgál nemlineáris környezetgazdasági vizsgálatokhoz, a kvázi Kék Gazdaság elvei szerint működő vállalat esetében is.*

Az 5. fejezet nem csupán a tágan értelmezett Kék Gazdaság elveit követő vállalat egzakt leírását adja, de össze is hasonlítja az ilyen vállalat viselkedését a nyereségmaximalizáló vállalattal. Ugyanakkor az itt alkalmazott célfüggvény linearitása mögött az az ökológiai szempontból irreális feltevés húzódik meg, hogy az aggregált környezetszennyezés egyes szennyezőanyagok kibocsátása szerint vett rugalmassága egységnyi. Mivel realisabb feltenni, hogy ezek a rugalmasságok az egységnyi szintet meghaladják, célszerű nemlineáris célfüggvényre áttérni. Ez a lokális optimum unicitásait nem érinti, így a lokális optimum egyúttal globális is. Jóval bonyolultabbá válik a probléma, ha feltételezzük, hogy az ipari szimbiózis adta lehetőségek kiaknázása során a szennyező melléktermékek piacán piaci erőfölény alakulhat ki. Ekkor a globális optimum unicitása nem áll fenn és két globális optimumpont között szuboptimális helyzetek vannak. Az ebből adódó érdekes helyzetekből mutat be néhányat a 6. fejezet. Az itt vizsgált nemlineáris probléma alapja azonban továbbra is az 5. fejezetben tárgyalt LTM modell, így a (H3) hipotézis is igaznak tekinthető.

### **További lehetséges kutatási irányok**

A Kék Gazdaság elve szerint a vállalatoknak nem csak megőrizni kell a természeti környezetet, de azt regenerálni is (Pauli, 2010). Ezt egy olyan vállalat is megteheti, melynek célja a  $\mathbf{y}^c$  vevői igény kielégítése. Ahhoz hogy ezt modellezni tudjunk, feltételeznünk kell, hogy a vállalat olyan termékeket is kibocsát, melyek javítják a környezet minőségét. Ebben az esetben  $r_i$  súly negatív a (51) célfüggvényben. Ennek következménye, hogy nem csupán a lehetséges megoldások halmaza veszt el konvexitását, hanem a célfüggvény is. A modell ilyen irányban történő kiterjesztése azonban az értekezés jelenlegi kereteit meghaladja.

A Kék Gazdaság definícióban szereplő további jellemvonások modellbe történő bevezetése a jövőbeli kutatási terveim közt szerepel, mint például Kék Gazdaság típusú vállalat munkahelyteremtő képessége, az erőforrások beszerzéséből fakadó szállítás környezetszennyezésének számbavétele, a végtermékek szállításából adódó környezetszennyezés, vagy a társvállalatokkal összehangolt termelési technológiákból származó aggregált környezetszennyezés csökkentésének mértéke. Ezeknek a kérdéseknek az együttes tárgyalása, illetve modellbe történő integrálása az értekezés mikroökonómiai fókuszán kívül esett. Ezen a ponton újra kell gondolni, hogy a kvázi Kék Gazdaság típusú vállalat modelljének feltételrendszerét milyen irányban célszerű módosítani, hogy a fenti jellemzők integrálása mind matematikailag, mind közgazdaságilag kielégítő választ adjon a kérdésekre.

További érdekes kiterjesztése lehetne a modellnek az LTM modell Hong és társai (2016) nyomán történő dinamizálása. E sorok írásakor még nem látom, hogy ez milyen bonyolultságú modellt eredményezhet, de már egy két időszakos LTM modell is minden valószínűség szerint mélyebb bepillantást engedne a környezetgazdasági folyamatokba, mint a jelenlegi, időtlen változat.

Az időtényező bekapcsolásával azonban megjelenik a bizonytalanság problémája is. Ennek modellezése során mindenekelőtt azt kellene megvizsgálni, hogy a Gong és Zhou (2013) által alkalmazott módszer miként építhető be egy LTM-en alapuló modellbe.

A kutatási irányok itt ismertetett lehetőségei azt mutatják, hogy jelen dolgozat csupán az első lépést tette meg az ikertermelést és technológiai választékot figyelembe vevő környezetgazdasági kutatások útján. Munkámat abban bízva fejezem be, hogy ezen lépés iránya helyes volt.

## 8. Függelék

### 8.1 (7) – (10) feladathoz írt GAMS program hat alaptervekenység üzemeltetése esetén 148

```
sets termék / mt1 1. melléktermék,  
             mt2 2. melléktermék,  
             veg végtermék/,  
tevé /proc1, proc2, proc3, proc4, proc5, proc6 /,  
els elsődleges erőforrások  
/ r1, r2 /;  
Table K(termeK, teV) kibocsátási együtthatók  
      proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6  
mt1    11    9    7    6    3    1  
mt2    6    6    8    9    9    9  
veg    1    1    1    1    1    1 ;  
Table R(termeK, teV) ráfordítási együtthatók  
      proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6  
mt1    0    0    0    0    0    0  
mt2    0    0    0    0    0    0  
veg    0    0    0    0    0    0 ;  
Table D(els, teV) elsődleges erőforrásfelhasználási együtthatók  
      proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6  
r1     30    35    40    45    60    70  
r2     40    38    32    30    24    25 ;  
  
parameters q(els) / r1 7,    r2 8 /,  
            sbar(els) / r1 12760, r2 8000 /;  
  
variable vc változőköltség;  
positive variable x(tevé), s(els), y(termeK) ;  
equations tmerleg(termeK), Dmerleg(els), elkot, defs(els), defvc;  
  
tmerleg(termeK).. sum(tevé, K(termeK, tevé)*x(tevé)) =e=  
                  sum(tevé, R(termeK, tevé)*x(tevé)) + y(termeK);  
  
defs(els)..      s(els) =e= sum(tevé, D(els, tevé)*x(tevé));  
  
Dmerleg(els)..  s(els) =l= sbar(els);  
  
defvc..         vc =e= sum(els, q(els)*s(els));  
  
elkot..         y('veg') =g= 264;  
  
equations em1, em2;  
  
em1..           y('mt1') =l= 1540;  
em2..           y('mt2') =l= 2033;  
  
model A6 /all/;  
  
solve A6 using lp minimizing vc;  
  
display x.l, s.l, y.l, vc.l ;
```

**8.2 (7) – (10) feladathoz írt GAMS program hét alaptevékenység üzemeltetése esetén 149**

```

sets termék / mt1 1. melléktermék,
              mt2 2. melléktermék,
              veg végtermék/,
tevé /proc1, proc2, proc3, proc4, proc5, proc6, proc7 /,
els elsődleges erőforrások
/ r1, r2 /;

Table
K(termeK, tevé) kibocsátási együtthatók
      proc1  proc2  proc3  proc4  proc5  proc6  proc7
mt1      11     9     7     6     3     1     4
mt2      6     6     8     9     9     9     0
veg      1     1     1     1     1     1     1;

Table
R(termeK, tevé) ráfordítási együtthatók
      proc1  proc2  proc3  proc4  proc5  proc6  proc7
mt1      0     0     0     0     0     0     0
mt2      0     0     0     0     0     0     3
veg      0     0     0     0     0     0     0;

Table
D(els, tevé) elsődleges erőforrásfelhasználási együtthatók
      proc1  proc2  proc3  proc4  proc5  proc6  proc7
r1      30    35    40    45    60    70    75
r2      40    38    32    30    24    25    23;

parameters q(els) / r1 7, r2 8 /,
            sbar(els) / r1 12760, r2 8000 /;

variable vc változókölttség;
positive variable x(tevé), s(els), y(termeK);
equations tmerleg(termeK), Dmerleg(els), elkot, defs(els), defvc;

tmerleg(termeK).. sum(tevé, K(termeK, tevé)*x(tevé)) =e=
                  sum(tevé, R(termeK, tevé)*x(tevé)) + y(termeK);

defs(els)..      s(els) =e= sum(tevé, D(els, tevé)*x(tevé));

Dmerleg(els)..   s(els) =l= sbar(els);

defvc..         vc =e= sum(els, q(els)*s(els));

elkot..         y('veg') =g= 265;

equations em1, em2;

em1..           y('mt1') =l= 1540;
em2..           y('mt2') =l= 2033;

model A6 /all/;

solve A6 using lp minimizing vc;

display x.l, s.l, y.l, vc.l ;

```



### 8.3 (20) – (24) feladathoz írt GAMS program hat alaptevékenység üzemeltetése esetén 150

```

sets termék / mt1 1. melléktermék,
              mt2 2. melléktermék,
              veg végtermék/,
   tev /proc1, proc2, proc3, proc4, proc5, proc6 /,
   els elsődleges erőforrások
       / r1, r2 /;
Table      K(termeK, tev) kibocsátási együtthatók
           proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6
   mt1     11     9     7     6     3     1
   mt2     6     6     8     9     9     9
   veg     1     1     1     1     1     1 ;
Table      R(termeK, tev) ráfordítási együtthatók
           proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6
   mt1     0     0     0     0     0     0
   mt2     0     0     0     0     0     0
   veg     0     0     0     0     0     0 ;
Table      D(els, tev) elsődleges erőforrásfelhasználási együtthatók
           proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6
   r1      30    35    40    45    60    70
   r2      40    38    32    30    24    25 ;

parameters q(els) / r1 7,      r2 8 /,
           sbar(els) / r1 12760, r2 8000 /;

variable vc változókölttség;
positive variable x(tev), s(els), y(termeK) ;
positive variable z(termeK), u(termeK) ;
equations tmerleg(termeK), Dmerleg(els), elkot, defv(els), defvc;

tmerleg(termeK).. sum(tev, K(termeK, tev)*x(tev)) + u(termeK) =e=
                 sum(tev, R(termeK, tev)*x(tev)) + y(termeK) + z(termeK) ;

defv(els)..      s(els) =e= sum(tev, D(els, tev)*x(tev));

Dmerleg(els)..   s(els) =l= sbar(els);

defvc..          vc =e= sum(els, q(els)*s(els));

elkot..          y('veg') =g= 264;

parameters pw(termeK) / mt1 -15,  mt2 -10,  veg 100 /;

equations em1, em2, loss;

em1..            y('mt1') =l= 1540;
em2..            y('mt2') =l= 2033;

loss..           sum(termeK, pw(termeK)*u(termeK) -
                   pw(termeK)*z(termeK)) =e= 0;

z.up('veg') = 0;
u.up('veg') = 0;

model A6 /all/;

solve A6 using lp minimizing vc;

display x.l, s.l, y.l, vc.l, u.l, z.l ;

```

#### 8.4 (20) – (24) feladathoz írt GAMS program hét alaptevékenység üzemeltetése esetén 151

```

sets termék / mt1 1. melléktermék,
              mt2 2. melléktermék,
              veg végtermék/,
tevé /proc1, proc2, proc3, proc4, proc5, proc6, proc7 /,
els elsődleges erőforrások
    / r1, r2 /;
* igény /100 * 264/;
Table k(termekek, tevé) kibocsátási együtthatók
      proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6 proc7
mt1    11    9    7    6    3    1    4
mt2    6    6    8    9    9    9    0
veg    1    1    1    1    1    1    1 ;
Table R(termekek, tevé) ráfordítási együtthatók
      proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6 proc7
mt1    0    0    0    0    0    0    0
mt2    0    0    0    0    0    0    3
veg    0    0    0    0    0    0    0 ;
Table D(els, tevé) elsődleges erőforrásfelhasználási együtthatók
      proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6 proc7
r1     30   35   40   45   60   70   75
r2     40   38   32   30   24   25   23 ;

parameters q(els) / r1 7, r2 8 /,
            sbar(els) / r1 12760, r2 8000 /,
            rr(termekek) / mt1 15, mt2 20, veg 0 /,
            E, qq ;

variable vc változókölttség;
positive variable x(tevé), s(els), y(termekek) ;
positive variable z(termekek), u(termekek) ;
equations tmerleg(termekek), Dmerleg(els), elkot, defs(els), defvc;

tmerleg(termekek).. sum(tevé, k(termekek, tevé)*x(tevé)) + u(termekek) =e=
                    sum(tevé, R(termekek, tevé)*x(tevé)) + y(termekek) + z(termekek) ;

defs(els)..        s(els) =e= sum(tevé, D(els, tevé)*x(tevé));

Dmerleg(els)..    s(els) =l= sbar(els);

defvc..          vc =e= sum(els, q(els)*s(els));

elkot..          y('veg') =g= qq;

parameters pw(termekek) / mt1 -15, mt2 -10, veg 100 /;

equations em1, em2, loss;

em1..            y('mt1') =l= 1540;
em2..            y('mt2') =l= 2033;

loss..           sum(termekek, pw(termekek)*u(termekek) -
                    pw(termekek)*z(termekek)) =e= 0;

z.up('veg') = 0;
u.up('veg') = 0;

model A6 /all/;

*parameter vcost(igény), vigeny(igény); vigeny(igény) = ord(igény);
scalar i;
* file fo / fo.txt /;
file fo / d:\flash\pub\18\kek\fo.txt /;
put fo;

for (i = 100 to 264, qq = i;
    solve A6 using lp minimizing vc;
    E = sum(termekek, rr(termekek)*y.l(termekek));
    put i, vc.l, z.l('mt1'), z.l('mt2'), E;
    put ' /; ');

```

### 8.5 (33) – (36) feladathoz írt GAMS program hét alaptevékenység üzemeltetése esetén 152

```

sets termék / mt1 1. melléktermék,
              mt2 2. melléktermék,
              veg végtermék/,
tevé /proc1, proc2, proc3, proc4, proc5, proc6, proc7 /,
els elsődleges erőforrások
  / r1, r2 /;
*
igeny /100 * 264/;
Table K(termekek, tevé) kibocsátási együtthatók
      proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6 proc7
mt1    11    9    7    6    3    1    4
mt2    6     6    8    9    9    9    0
veg    1     1    1    1    1    1    1 ;
Table R(termekek, tevé) ráfordítási együtthatók
      proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6 proc7
mt1    0     0    0    0    0    0    0
mt2    0     0    0    0    0    0    3
veg    0     0    0    0    0    0    0 ;
Table D(els, tevé) elsődleges erőforrásfelhasználási együtthatók
      proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6 proc7
r1     30    35    40    45    60    70    75
r2     40    38    32    30    24    25    23 ;

parameters q(els) / r1 7, r2 8 /,
            rr(termekek) / mt1 15, mt2 20, veg 0 /,
            sbar(els) / r1 12760, r2 8000 /,
            pw(termekek) / mt1 -15, mt2 -10, veg 100 /,
            s(els), qq, vc ;

variable E aggregált környezetterhelés;
positive variable x(tevé), y(termekek);
positive variable z(termekek), u(termekek);
equations tmerleg(termekek), elkot, loss, defE;

tmerleg(termekek).. sum(tevé, K(termekek, tevé)*x(tevé)) + u(termekek) =e=
                    sum(tevé, R(termekek, tevé)*x(tevé)) + y(termekek) + z(termekek) ;

defE.. E =e= sum(termekek, rr(termekek)*y(termekek));

elkot.. y('veg') =g= qq;

loss.. sum(termekek, pw(termekek)*u(termekek) -
           pw(termekek)*z(termekek)) =e= 0;

z.up('veg') = 0;
u.up('veg') = 0;

model A6 /all/;

*parameter vcost(igeny), vigeny(igeny); vigeny(igeny) = ord(igeny);
scalar i;
* file fo / fo.txt /;
file fo / d:\flash\pub\18\kek\foE.txt /;
put fo;

for (i = 100 to 264, qq = i;
     solve A6 using lp minimizing E;
     s(els) = sum(tevé, D(els, tevé)*x.l(tevé));
     vc = sum(els, q(els)*s(els));
     put vc, z.l('mt1'), z.l('mt2'), E.l;
     put ' /; ');

putclose fo;

```

## 8.6 (48) – (51) feladathoz írt GAMS program hét alaptevékenység üzemeltetése esetén 153

```

sets termék / mt1 1. melléktermék,
              mt2 2. melléktermék,
              veg végtermék/,
tevé /proc1, proc2, proc3, proc4, proc5, proc6, proc7 /,
els elsődleges erőforrások
  / r1, r2 /;
* igény /100 * 264/;
Table K(termeK, tevé) kibocsátási együtthatók
      proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6 proc7
mt1    11    9    7    6    3    1    4
mt2    6     6    8    9    9    9    0
veg     1     1    1    1    1    1    1 ;
Table R(termeK, tevé) ráfordítási együtthatók
      proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6 proc7
mt1     0     0     0     0     0     0     0
mt2     0     0     0     0     0     0     3
veg     0     0     0     0     0     0     0 ;
Table D(els, tevé) elsődleges erőforrásfelhasználási együtthatók
      proc1 proc2 proc3 proc4 proc5 proc6 proc7
r1     30    35    40    45    60    70    75
r2     40    38    32    30    24    25    23 ;

parameters q(els) / r1 7,      r2 8 /,
            sbar(els) / r1 12760, r2 8000 /,
            rr(termeK) / mt1 15,   mt2 20,   veg 0 /,
            kit(termeK) / mt1 1.5,   mt2 1.2,   veg 1 /,
            vc, qq ;

variable E környezetterhelés;
positive variable x(tevé), s(els), y(termeK) ;
positive variable z(termeK), u(termeK) ;
equations tmerleg(termeK), Dmerleg(els), elkot, defs(els), defE;

tmerleg(termeK).. sum(tevé, K(termeK, tevé)*x(tevé)) + u(termeK) =e=
                 sum(tevé, R(termeK, tevé)*x(tevé)) + y(termeK) + z(termeK) ;

defs(els)..      s(els) =e= sum(tevé, D(els, tevé)*x(tevé));

Dmerleg(els)..  s(els) =l= sbar(els);

```

## Felhasznált irodalom

- Agenda 21 (1993): Feladatok a XXI. századra – Az ENSZ Környezet és Fejlődés Világkonferenciájának dokumentumai. 1993. Föld Napja Alapítvány, Budapest, pp. 431, pp. 433, 339–343 p.
- Ameli, M. - Mansour, S. - Ahmadi-Javid, A. (2016): A multi-objective model for selecting design alternatives and end-of-life options under uncertainty: A sustainable approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 109, pp. 123-136.
- Andersen, M. S. (2007): An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability Science*, 2, pp. 133-140.
- Arrow, K. J. (1963): *Social Choice and Individual Values*. 2nd ed. Yale University Press, New Haven.
- Barrows, G. - Ollivier, H. (2018): Cleaner firms or cleaner products? How product mix shapes emission intensity from manufacturing. *Journal of Environmental Economics and Management*. 88, pp. 134-158.
- Benlemlih, M. (2017): Corporate social responsibility and firm's financing decisions: A literature review. *Journal of Multinational Financial Management*, (kézirat)
- Benyus, J. M. (1997): *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York, Harper Collins Publishers Inc.
- Bessenyei I. - Hartung K. (2018): Cost minimization versus pollution minimization: similarities and differences in firm behaviour. *Journal of Environmental Economics* (kézirat)
- Bessenyei I. (2005): Does market value maximization affect the order of resource exploitation? *Economic Modelling*, 22 évf. 6 sz., pp. 1090-1104.
- Bessenyei I. (2016): Vállalati stratégia a lineáris tevékenységelemzés modelljében. *Műszaki és Menedzsment Tudományi Közlemények*, 1. évf. 1. sz., pp.1-14.
- Bihari P. (2012): *Műszaki hőtan*. Budapest, EDUTUS Főiskola.
- Bocken, N. M. P. - Short, S. W. - Rana, P. - Evans, S. (2014): A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 65, pp. 42-56.
- Boltakova, N. V. – Faseeva, G. R. – Karibov, R. R. – Nafikov, R. M. – Zakharov, Y. A. (2017): Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics. Review of Russian experience for the years 2000-2015. *Waste Management*, 60, pp. 230-246.
- Borhidi A. (1997): *Növényi társadalmak szerkezete és működése új megvilágításban*. Akadémia Kiadó, Budapest, pp. 28, 38 p.
- Brundtland, G. (1987): *Közös jövőnk*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 47, pp. 68, 404 p.
- Carattini, S. – Baranzini, A. – Thalmann, P. – Varone, F. – Vöhringer, F. (2017): Green Taxes in a Post-Paris World: Are Millions of Nays Inevitable? *Environmental Resource Economics*, 68, pp. 97-128.
- Chiang, A.C (1984): *Fundamental methods of mathematical economics*. 3.ed. New York, McGraw-Hill.
- Christiansen, V. – Smith, S. (2015): Emissions Taxes and Abatement Regulation Under uncertainty. *Environmental Resource Economics*, 60, pp. 17-35.
- Circular Foundation (2018) <http://circularfoundation.org/a-korforgasos-gazdasag/> Letöltés ideje: 2018.11.15.
- Clower, R. (1965): *The Keynesian Counter-Revolution: A Theoretical Appraisal*. Reprinted in R.W. Clower. *Monetary Theory*, London: Penguin. pp. 270-290.

- Daddi, T. – Nucci, B. – Iraldo, F. (2017): Using Life Cycle Assessment (LCA) to measure the environmental benefits of industrial symbiosis in an industrial cluster of SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 147, pp. 157-164.
- de-Magistris, T. – Gracia, A. (2016): Consumers' willingness-to-pay for sustainable food products: the case of organically and locally grown almonds in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 118, pp. 97-104.
- Deutsch N. (2015): A Kék Gazdaság innovációs megfontolásai és a Kék Innovációk egy lehetséges vizsgálati modellje. *Marketing és Menedzsment*, 3, pp. 3-19.
- Dinkelbach, W. – Rosenberg, O. (1994): *Erfolgs- und umweltorientierte Produktionstheorie*. Springer-Verlag.
- Dobos I. (2002): Környezetvédelmi tevékenység egy dinamikus termelési modellje. *Sigma*, 32. évf. 3-4. sz., pp. 131-140.
- Dobos I. (2008): Visszautas logisztika és termelésstervezés. *Sigma*, 39. évf. 3-4. sz., pp. 139-167.
- Europa (2018): új jogszabály a körforgásos gazdaságról [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-15-6203\\_hu.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-6203_hu.htm) és <http://www.europarl.europa.eu/EPRS/EPRS-Briefing-573936-Circular-economy-package-FINAL.pdf> Letöltés ideje: 2018.12.05.
- Eurostat (2016): Development of material consumption, 2000-15 (tonnes per capita). [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Development\\_of\\_material\\_consumption,\\_2000%E2%80%9315\\_\(tonnes\\_per\\_capita\)\\_YB16\\_II.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Development_of_material_consumption,_2000%E2%80%9315_(tonnes_per_capita)_YB16_II.png) (2016.07.21)
- Favard, P. (2002): Does productive capital affect the order of resource exploitation? *Journal of Economic Dynamics and Control*, 26, pp. 911-918.
- Forrester, J. (1971): *World Dynamics*. Cambridge, Mass., Wright-Allen Press.
- Fraccascia, L. – Albino, V. – Garavelli, C. A. (2017): Technical efficiency measures of industrial symbiosis networks using enterprise input-output analysis. *International Journal of Production Economics*, 183, pp. 273-286.
- Fullerton, D. - Karney D. H. (2018): Multiple pollutants, co-benefits, and suboptimal environmental policies. *Journal of Environmental Economics and Management*, 87, pp. 52-71.
- Gale, D. (1960): *The Theory of Linear Economic Models*. New York, McGraw-Hill.
- Geldermann, J. - Treitz, M. - Rentz, O. (2007): Towards sustainable production networks. *International Journal of Production Research*, 45. évf. 18-19. sz., pp. 4207-4224.
- Genovese, A. - Acquaye, A. A. - Figueroa, A. - Koh, A. C. L. (2015): Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega*, javított-rögzített változat
- George, D. A. R. – Lin, B. C. – Chen, Y. (2015): A circular economy model of economic growth. *Environmental Modeling és Software*, 73, pp. 60-63.
- Georgescu-Roegen, N. (1971): *The entropy law and economic process*. Cambridge, Mass, Harvard University Press.
- Ghisellinia, P. - Cialanib, C. – Ulgiatic, S. (2016): A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, pp. 11-32.
- Gong, X. – Zhou, S. X. (2013): Optimal Production Planning with Emissions Trading. *Operations Research*, 61. évf. 4. sz., pp. 908-924.
- Gyulai I (2012): *A fenntartható fejlődés*. Miskolc, Ökológiai Intézet Fenntartható Fejlődésért Alapítvány.

- Hajnal K (2006): *A fenntartható fejlődés elméleti kérdései és alkalmazása a településfejlesztésben*. Ph.D. doktori értekezés. (PTE TTK)
- Hajnal K (2010): *Itt és most. Helyi megoldások a globális válságra*. Zöld Völgyért Egyesület, Bükkösd.
- Hartini, S. – Ciptomulyono, U. (2015): The relationship between lean and sustainable manufacturing on performance: literature review. *Procedia Manufacturing*, 4, pp. 38-45.
- Hartung, K (2013): Carbon dynamics: Ever going to stop increasing? Scientific and Educational Forum of Business Information Systems (SEFBIS), No. VIII., Vol. I. pp.15-23
- Hartung K. - Kiss T. (2014): Time for Change! Decentralized Energy System on the Hungarian Market. *Energy Procedia*, 52, pp.38-47.
- Hartung K. (2016) Linear Activity Analysis of Production for Closed-Loop Businesses—Case Study of a Hungarian Apple Juice Factory. *Open Journal of Social Sciences*, 4. évf. 5. sz.
- Hartung K. (2016): Természeti környezetbe ágyazott vállalatok, és termelésük módszertani szakirodalmának áttekintése. *Sigma*, 1-2. sz., pp. 63-77.
- Hartung K. (2017): Nulla hulladék elvet követő vállalat: fókuszban a belső elszámolóár, a forgóeszközhitel és a környezetvédelmi bírság. *Hitelintézési Szemle*, 16 évf. 3. sz., pp. 98-118.
- Hintermann, B. (2017): Market Power in Emission Permit Markets: Theory and Evidence from the EU ETS. *Environmental Resource Economics*, 66, pp. 89-112.
- Hong, Z. – Chu, C. – Yu, Y. (2016): Dual-mode production planning for manufacturing with emission constraints. *European Journal of Operations Research*, 251, pp. 96-106.
- Inghels, D. - Dullaert, W. - Bloemhof, J. (2016): A model for improving sustainable green waste recovery. *Resources, Conservation and Recycling*, 110, pp. 61-73.
- Jaehn, F. (2016): Sustainable Operations. *European Journal of Operations Research* 253, pp. 243-264.
- Khalili, N. R. - Duecker, S. - Ashton, W. - Chavez, F. (2015): From cleaner production to sustainable development: the role of academia. *Journal of Cleaner Production*, 96, pp. 30-43.
- Kiss T. (2005): Nature-Driven Economy through Sustainable Communities. World Futures. *The Journal of New Paradigm Research*, 61. évf. 8. sz., pp. 591-599.
- Klemes, J. J. - Varbanov, P. S. - Huisingh, D. (2012): Recent cleaner production advances in process monitoring and optimization. *Journal of Cleaner Production*, 34, pp. 1-8.
- Koopmans, T. C. (1951): *Activity Analysis of Production and Allocation*. London, Chapman & Hall Ltd.
- Kopányi M. szerk. (1993) *Mikroökonómia*. Műszaki Könyvkiadó – Aula, Budapest.
- Kosztolányi J. - Schwahoffer G. (2016): *Útmutató a Lean gyakorlati alkalmazásához*. Budapest, Kaizen Pro.
- Letmathe, P. – Balakrishnan, N. (2005): Environmental considerations on the optimal product mix. *European Journal of Operational Research*, 167, pp. 398-412.
- Li, R. H. - Su, C. H. (2012): Evaluation of the circular economy development level of Chinese chemical enterprises. *Procedia Environmental Sciences*, 13, pp. 1595-1601.
- Li, S. (2012): The research on quantitative evaluation of circular economy based on waste input-output analysis. *Procedia Environmental Sciences*, 12, pp. 65-71.
- Liu, S. – Guan, X. – Zhang, S. – Xu, C. – Li, H. – Zhang, J. (2017): Sintering red mud based imitative ceramic bricks with CO2 emissions below zero. *Materials Letters*, 191, pp. 222-224.
- Liu, Y. - Bai, Y. (2014): An exploration of firms' awareness and behavior of developing circular economy: An empirical research in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, pp. 145-152.

- Losonci D. (2010) *Bevezetés a lean menedzsmentbe – a lean stratégiai alapjai*. Budapesti Corvinus Egyetem, Vállalatgazdaságtan Intézet, Műhelytanulmányok sorozat, 119.
- Magyar Ipari Ökológiai Társaság (2018) <http://www.ipariokologia.hu/Mie1.htm> Letöltés ideje: 2018.12.05.
- Manikas, A. S. – Kroes, J. R. (2015): A newsvendor approach to compliance and production under cap and trade emissions regulation. *International Journal of Production Economics* 159, pp. 274-284.
- Martinás K. (1988): Irreverzibilis makroökonómia vagy közgazdasági termodinamika? *Közgazdasági Szemle*, XXXV. évf. 9. sz., pp. 1105-1110.
- McDonough, W. - Braungart, M. (2002): *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. New York, North Point Press.
- Meadows, D. – Meadows, De. – Randres, J – Behrens, W. W. (1972): *The Limits to Growth*. A Potomac Ass. Book, London and Sydney, pp. 127, pp. 151, pp. 158, pp. 171, pp. 174–175, pp. 178, pp. 191, 205 p.
- Miller, R. E. – Blair, P. D. (2009): *Input-Output Analysis: Foundations and extensions*. New York, Cambridge University Press, 750 p.
- Munck, L. (2016): Sustainable grain production and utilization. *Encyclopedia of Food Grains* (Second edition), 4, pp. 144-153.
- NFFT (2018): <http://www.nfft.hu/> Nemzeti Fenntartható Fejlődés Tanács. Letöltés: 2018.11.10.
- OECD (2014): Material resources, productivity and the environment: Key findings. [http://www.oecd.org/greengrowth/MATERIAL%20RESOURCES,%20PRODUCTIVITY%20AND%20THE%20ENVIRONMENT\\_key%20findings.pdf](http://www.oecd.org/greengrowth/MATERIAL%20RESOURCES,%20PRODUCTIVITY%20AND%20THE%20ENVIRONMENT_key%20findings.pdf) (2016.06.12)
- Park, J. Y. - Chertow, M. R. (2014): Establishing and testing „reuse potential” indicator for managing wastes as resources. *Journal of Environmental Management*, 137, pp. 45-53.
- Pauli, G. (1997): Zero emissions: the ultimate goal of cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 5. évf. 1-2. sz., pp. 109-113.
- Pauli, G. (1998): *Upsizing: The Road to Zero Emissions*. UK, Greenleaf.
- Pauli, G. (2010): *The Blue Economy: 10 years 100 innovations 100 million jobs*. Berlin, Konvergenta Publishing.
- Penkuhn, T. - Spengler, T. H. - Püchert, H. - Rentz, O. (1997): Environmental integrated production planning for the ammonia synthesis. *European Journal of Operational Research*, 97, pp. 327-336.
- Perkis, D. F. – Cason, T. N. – Tyner, W. E. (2016): An Experimental Investigation of Hard and Soft Price Ceilings in Emissions Permit Markets. *Environmental Resource Economics*, 63, pp. 703-718.
- Perman, R. - Ma, Y. - Common, M. - Maddison, D. - McGilvray, J. (2011): *Natural Resource and Environmental Economics*. Gosport, Pearson, 4th ed.
- Polányi K. (1976): *Az archaikus társadalom és a gazdasági szemlélet*. Budapest, Gondolat kiadó.
- Rahim, R. - Raman. A. A. A. (2015): Cleaner production implementation in a fruit juice production plant. *Journal of Cleaner Production*, 101, pp. 215-221.
- Révész T. - Zalai E. (2014): Egy gazdaság-energia-környezet kapcsolatok elemzésére alkalmazott általános egyensúlyi (GEM-E3) modell felépítése és alkalmazása. *Sigma*, XLV. évf. 1-2. sz., pp. 23-55.
- Samuelson, P. A. (1948): *Foundations of Economic Analysis*. Harvard University Press, Cambridge.
- Sauvé, S. - Bernard, S. - Sloan, P. (2016): Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, 17, pp. 48-56.



- Scheel, C. (2016): Beyond sustainability. Transforming industrial zero-valued residues into increasing economic returns. *Journal of Cleaner Production*, 131, pp. 376-386.
- Schleich, J. (1999): Environmental quality with endogenous domestic and trade policies. *European Journal of Political Economy*, 15, pp. 53-71.
- Shah, R. – Ward, P. T. (2003): Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21. évf. 2. sz., pp. 129-149.
- Song, B. – Yeo, Z. – Kohls, P. – Herrmann, C. (2017): Industrial Symbiosis: Exploring Big-data Approach for Waste Stream Discovery. The 24<sup>th</sup> CIRP Conference on Life Cycle Engineering, *Procedia CIRP*, 61, pp. 353-358.
- Su, B. - Heshmati, A. - Geng, Y. - Yu, X. (2013): A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production*, 42, pp. 215-227.
- Szlávik J. (2013): *Fenntartható gazdálkodás*. Budapest, Wolters Kluwer.
- Takács-Sántha A. (2007): *Paradigmaváltás?! Kultúránk néhány alapvető meggyőződésének újragondolása*. Budapest, L'Harmattan Kiadó.
- Ulbert, J. (2010): *Mindentudás Egyeteme*, UNIV TV előadása. Letöltés: [www.ktk.pte.hu](http://www.ktk.pte.hu)
- UN (2018): <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> Letöltés: 2018.11.10.
- Vörös J. (2010): *Termelés- és szolgáltatásmenedzsment*. Budapest, Akadémiai Kiadó.
- Werner, D. – Rosenberg, O. (1994): *Erfolgs- und umweltorientierte Produktionstheorie*. Springer. Berlin Heidelberg.
- Williams, A. – Kennedy, S. – Philipp, F. – Whitemann, G. (2017): Systems thinking: A review of sustainability management research. *Journal of Cleaner Production*, 148, pp. 866-881.
- Womack, J. P. – Jones, D. T. (2003): *Lean thinking – Banish waste and create wealth in your corporation*. UK, Simon&Schuster UK Ltd.
- Zalai E. (1989): *Bevezetés a matematikai közgazdaságtanba*. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest.
- Zalai E. (2008): Műszaki és gazdasági hatékonyság Koopmans teremléseleméletében. *Közgazdasági szemle*, LV. évf., pp. 3-24.
- Zalai E. (2012): *Matematikai közgazdaságtan II. – Többszektoros modellek és makrogazdasági elemzések*. Budapest, Akadémiai Kiadó.
- Zhang, B. – Xu, L. (2013): Multi-item production planning with carbon cap and trade mechanism. *International Journal of Production Economics*, 144, pp. 118-127.