

MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS

**Az élelmezés- és környezetbiztonság kihívásai az
EU bioökonómiai stratégiájának tükrében**

Dr. Oláh Judit

Debrecen

2021

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3
1. Biomassza alapú gazdaság és körforgásos gazdaság.....	7
1.1. A bioökonómia vagy biomassza alapú gazdaság kihívásai.....	7
1.2. Körforgásos gazdaság	14
1.2. Rövid élelmiszerellátási lánc szerepe.....	18
2. Az EU bioökonómiai stratégiája	20
2.1. Fenntarthatóság és körforgás.....	21
2.2. Versenyképes és klímasemleges zöldgazdaság.....	23
2.3. A biomassza alapú gazdaság szerepe	24
2.4. Gazdasági és társadalmi hatások	26
3. A biomassza globális termelésének és felhasználásának alakulása	28
3.1. A biomassza szerepe az élelmezés- és környezetbiztonságban	28
3.2. Vizsgálati módszer	31
3.3. Eredmények.....	32
3.3.1. A biomassza termelés és felhasználás alakulása	32
3.3.2. A bioenergia szerepe az energiaellátásban.....	35
3.3.3. A bioökonómia szerepe az EU gazdaságában.....	37
3.3.4. A vegyipar kilátásai az EU-ban.....	41
3.3.5. A bioenergia termelésének és felhasználásának mérlege az EU-ban.....	42
3.4. Kilátások.....	45
4. Bioökonómia: élelmezés-biztonsági prioritás	47
4.1. Túltápláltság, alultápláltság.....	49
4.2. Élelmiszerpazarlás, különös tekintettel a gabona ellátási láncra.....	51
4.2.1. Anyag és módszer	56
4.2.2. Eredmények.....	57
4.2.3. Következtetések	61
4.3. Alternatív fehérjeforrások	62
4.3.1. Levélfehérje.....	62
4.3.2. Akvakultúra eredetű fehérjeforrás.....	63
4.3.3. Rovarfehérje	64
4.3.4. Egysejtű fehérjeforrások (élesztő).....	67
4.4. Alternatív élelmiszerek fogyasztása.....	67
4.4.1. Fenntartható-e az élelmiszertermelés?	67
4.4.2. Laboratóriumi hús	69

4.4.3. Vegetáriánus (vega) étrend.....	70
4.5. Élelmezés- és táplálkozásbiztonság az EU-ban	71
4.5.1. Akvakultúra-rendszerek fejlődése Magyarországon.....	73
5. Bioökonómia: fenntarthatósági prioritás.....	76
5.1. Környezetbiztonság	76
5.1.1. Éghajlatváltozás	76
5.1.2. Vízbiztonság.....	85
5.2. Energiabiztonság	86
5.2.1. A globális energiabiztonság alakulása	86
5.2.2. Folyékony bioüzemanyag	89
5.2.3. A primer energiatermelés alakulása az EU-ban	109
5.2.4. A megújuló energia szerepe az EU-ban	112
Összefoglalás	121
Felhasznált szakirodalom	126
Köszönetnyilvánítás	152
Rövidítések jegyzéke	153
Ábrák jegyzéke	155
Táblázatok jegyzéke	157

Bevezetés

Munkám során meghatározó szakmai élményem volt, hogy 2010-ben néhány oktató és kutató által életre hívott kutatócsoport tagja lettem a Debreceni Egyetemen. Az előttünk álló egyik legnagyobb kihívás a növekvő számú globális népesség élelmiszerrel, tiszta energiával és egyéb bioalapú alapanyagokkal történő ellátása véges természeti erőforrások mellett. Kutatásaimban 2010 után kezdtem intenzíven foglalkozni a globális élelmiszerbiztonság kérdéskörével, majd a megújuló energia és környezetvédelem szerepének elemzése került a középpontba, végül a körforgásos és biomassza alapú gazdaság kilátásait kezdtem el kutatni. Kutatómunkám kiindulópontja a biomassza alapú gazdaság globális és uniós, azon belül elsősorban az élelmiszer-, energia- és környezetbiztonság aspektusainak vizsgálata volt.

2018-ben sikerült elnyernem a Bolyai János kutatói ösztöndíjat (Az élelmiszeripari innováció és technológia szerepe és hatása a versenyképességre és élelmiszerárindex alakulására, (2018-2021)). A Bolyai János ösztöndíj mellett 4 alkalommal Új Nemzeti Kiválóság Programot (ÚNKP) is nyertem a következő témakörökben: A bioüzemanyag-, a kőolaj- és mezőgazdasági nyersanyagárak volatilitásának és egymásra gyakorolt hatásának elemzése” c. kutatás (2017-2018); A fehérjetakarmány-piac kilátásai alternatív fehérjeforrás tükrében” c. kutatás (2018-2019); Az Ipar 4.0 technológia hatása az élelmiszer-feldolgozó és -kereskedő vállalatok versenyképességére” c. kutatás (2019-2020); A fenntartható biomassza alapú gazdaság (bioökonómia) fő tényezőinek elemzése” c. kutatás (2020-2021). Az Erasmus keretében (2015-2019) lehetőségem volt együttműködni Prof. Sebastian Kot, Prof. Beata Ślusarczyk, Prof. Yuriy Bilan és Prof. Włodzimierz Sroka kutatókkal a bioenergia és környezetbiztonság témakörökben. A rangos nemzetközi folyóiratokban megjelent növekvő publikációim eredményeként egyre több folyóiratban (Amfiteatru Economic, Economics and Sociology, Energies (vendég szerkesztő), LogForum, Polish Journal of Management Studies, Sustainability (vendég szerkesztő)) lettem szerkesztőbizottsági tag. Továbbá támogatást jelentett, hogy egyre több nemzetközi folyóirattól kaptam bírálói felkérést, ami széles körű rálátást biztosított a kutatott témára. Az International Association for Energy Economics (IAEA), az International Association of Agricultural Economists (IAAE) és az European Association of Agricultural Economists (EAAE) tagjaként a kutatásom területén aktívan működő nemzetközi hálózat jött létre.

2017-ben Zöld Magyarorszáért Díjat kaptam a Journal of Central European Green Innovation folyóiratban megjelent publikációért. 2018-ban Nívódíjban részesültem a Gazdálkodás folyóiratban megjelent cikkünkért. Meghívott egyetemi docensi kinevezést kaptam a dél-afrikai North-West Egyetemen (2020-2021), valamint professzori kinevezésben részesültem a lengyelországi WSB Egyetemen (2020-2022).

2019-ben témavezetőként elnyertem az OTKA „Fenntartható folyékony bioüzemanyag (bioetanol, biodízel) előállítása és multifunkcionális hatása” kutatási témapályázatot (2019-2023). Kutatásunkban elemezzük az első generációs folyékony bioüzemanyagok előállításának gazdasági, társadalmi, környezeti szempontjait. A fenntartható és multifunkcionális bioüzemanyag-gyártás feltételeinek meghatározása mellett feltárjuk a folyékony bioüzemanyag-ipar aktuális és jövőbeni szerepét, továbbá vizsgáljuk, hogy képes lesz-e az ágazat a termelési és versenyképességi kritériumoknak eleget tenni.

A kutatócsoportban végzett munkán belül az egyes fejezetek saját kutatási eredményeimet is bemutatják. A vizsgálataim során számos módszertant, modellt használtam. Többek között az intézményi ökonómia és az erőter-elmélet alkalmazásával, valamint a szakértői becslések alapján a MACTOR (Szövetségek és Ellentétek Hálózata) módszer használatával és a PRISMA (Javasolt tartalmi elemek szisztematikus szakirodalmi áttekintés és metaanalízis készítéséhez)

ajánlás szerint végeztem el a különféle szempontok azonosítását. Ehhez személyes, nem strukturált interjúkat készítettem szakértőkkel, de összehasonlító- és idősorlemzést úgyszintén végeztem számos nemzetközi szakirodalom és adatbázis feldolgozásával.

A biomassza alapú gazdaságban az élelmiszergazdaság és az erdészet mindig is meghatározó szerepet játszott. Az első számú prioritás továbbra is a globális élelmezésbiztonság maradt, vagyis az élelmiszer és takarmány termelése. Az élelmiszertermelés mellett a másik legfontosabb kérdés a fosszilis energia megújuló energiaforrásokkal történő kiváltása, ebben az erdészet is szerepet játszik, elsősorban a bioenergia előállításában. A bioenergia felhasználásában kiemelt figyelmet kapott a bioüzemanyaggyártás globális elemzése is, mivel a bioetanolt és a biodízel ma is döntően élelmiszernövényekből állítják elő. Mindez hatást gyakorol a földhasználatra és az élelmiszerárak alakulására. Az élelmiszer, az energia és az egyéb fogyasztási cikkek előállítása környezeti terhelést jelent, károkat idéz elő, ami többek között a klímaváltozáshoz is jelentősen hozzájárul. Ehhez a témakörhöz kapcsolódva sokoldalú elemzést végeztem, amelyek eredményei megjelentek hazai és külföldi folyóiratokban, idézettségük magas.

A globális gazdasági expanzió és a népesség folytatódó, noha lassuló ütemű (éves átlagban 1% körüli) növekedése nyomán várhatóan tovább élénkül az élelmiszerek iránti kereslet. A világ népessége 2020-2050 között 7,8 milliárd főről közel 10 milliárd főre, vagyis 25%-kal bővül, ami az éltrend változásával, azaz a magas hozzáadott-értékű élelmiszerek (pl. hús- és tejtermékek) fogyasztásának növekedésével együtt értékben kifejezve 60%-kal növeli az élelmiszerigényt (FAO, 2017). A növekvő hústermelés feltétele a fehérjetakarmány előállítása. Az egyéb, vagy alternatív fehérjeforrások belátható időn belül nem váltják ki a szójafehérjét. A legújabb alternatív élelmiszerfehérje piaci bevezetése is gyorsan bővül világszerte, mint a laboratóriumi hús vagy növényi eredetű vegahús előállítása (Oláh, 2019). Az élelmiszerlánc pazarlásának mérséklésével változatlan feltételek mellett egyrészt növelhető az élelmiszer kínálata, másrészt csökkenthető a fajlagos energia- és vízfelhasználás. A gabona esetében a pazarlás a gabona értéklánc mentén elérheti a 60-70%-ot. A körforgásos és biomassza alapú gazdaság bevezetése is hozzájárul az élelmiszerpazarlás visszaszorításához.

Világszerte a végső energiafogyasztásban a fosszilis energia aránya csaknem 80%, a megújuló energiaforrásoké 18% a nukleáris energiáé pedig 2% körül alakul. A fosszilis szénforrás alternatívája a biomassza, mivel a fosszilis erőforrás is egykor biomassza volt, de a geológiai folyamatok során kőszén, földgázzá és kőolajjá alakult át. A modern bioenergia-termelésben a bioüzemanyag-gyártás azért került a figyelem középpontjába, mert a kőolaj több mint 50%-át a közlekedés használja fel, ahol a kőolajon alapuló üzemanyag-felhasználás aránya 96% (3% bioüzemanyag, 1% villamos energia, ebből 0,3% megújuló forrásból származik (REN21, 2019).

A terményekért pedig versengés alakult ki az élelmiszer-, takarmány- és energiaipar között. A globális szántó- és ültetvényterület mintegy 2%-át használja a bioüzemanyag-ipar, ráadásul az USA és az EU korlátozza az élelmiszernövények felhasználását a bioüzemanyag iparban, hogy ne veszélyeztesse az élelmiszer- és takarmányipar nyersanyagellátását. A megújuló energia – főleg a nap- és szélenergia – ára az innovációnak és növekvő piaci keresletnek köszönhetően ma már versenyképes a fosszilis alapú villamosenergia termeléssel.

Globális és uniós szinten a biomassza legalább 50%-a takarmányozási és élelmezési célt szolgál, 23%-át bioenergia (beleértve a bioüzemanyagot is) termelésre fordítják, a fennmaradó részt elsősorban nem élelmezési célú bioalapanyagok készítésére használják (van den Born és szerzőtársai, 2014; Gurría és szerzőtársai, 2017). A megtermelt biomassza kétharmadát használják élelmiszer- és energiatermelésre. Ugyanakkor gyorsan nő a biomassza egyéb célú felhasználása (faanyagok, bútor, textil és egyéb innovatív bioalapú kemikáliák stb.). Az EU-

ban a biomassza alapú gazdaság a bruttó hozzáadott érték mintegy 4%-át teszi ki, ennek kétharmadát a mezőgazdaság és az élelmiszeripar adja. Ugyanakkor az összes foglalkoztatott 8%-a dolgozik a biomassza alapú gazdaságban, ami alacsony munkatermelékenységre utal (Gurría és szerzőtársai, 2017). Az EU már megkezdte az átmenetet az éghajlati szempontból semleges gazdaság felé. A klímasemlegesség eléréséhez a gazdaság minden ágazatát érintő mélyreható társadalmi és gazdasági átalakulásra van szükség.

Az EU célja a nulla nettó ÜHG-kibocsátás elérése 2050-ig. Ezek közül a legfontosabb prioritás a zöld energiára való átállás felgyorsítása, a CO₂-mentes és automatizált közúti közlekedés bevezetése, a körforgásos biomassza alapú gazdaság megvalósítása a mezőgazdaság, az állattenyésztés, az akvakultúra és az erdőgazdaság diverzifikációjával. Az ezredfordulóra bebizonyosodott, hogy rendszerszintű változást kell elérnünk az áruk előállítása, fogyasztása és hulladékká válása terén. A biomassza alapú gazdaság, vagyis a körforgásos gazdaság megújuló szegmense, fejlesztésével új és innovatív megoldásokat találhatunk az élelem, az energia és egyéb termékek előállításához a Föld véges biológiai erőforrásainak kimerítése nélkül. A cél eléréshez szükség van a lineáris gazdasági modellről a körforgásos és biomassza alapú gazdasági modellre történő átállásra. A gazdaság átalálítása és az elsődleges termelési modellek korszerűsítése a környezet és az éghajlat védelméhez szükséges, ráadásul nagy számban hozhat létre új zöld munkahelyeket is, különösen a vidéki és a tengerparti területeken.

A biomassza alapú gazdaság a mezőgazdasági, az ipari termelés során keletkező biomassza hulladékból és melléktermékből magasabb hozzáadott értéket képviselő terméket állít elő, ezáltal képes kezelni az élelmezésbiztonságot, a természeti erőforrások megőrzését, a fosszilis tüzelőanyagoktól való függőség csökkentését, az éghajlatváltozást és a fenntartható fejlődés egyéb kihívásait. A biomassza alapú gazdaság tehát a megújítható biológiai erőforrások termesztését, majd élelmiszer-, takarmány-, bioenergia- és egyéb bioalapú termék célú feldolgozását jelenti magasabb hozzáadott értékű termékkel. A biomassza alapú gazdaság magában foglalja a hulladék újrahasznosítását is a fenntarthatóság szempontjainak figyelembe vételével. A biológiai erőforrások és ökoszisztémák végesek, tehát innovációra van szükség a lakosság élelemmel, tiszta vízzel, tiszta energiával és egyéb bioalapú alapanyagokkal történő ellátása érdekében.

A klímaváltozás hatására csökken a biodiverzitás, pedig egykori működésének eredménye a mai energiabőség. A világ számos térségében egyre élesebb verseny folyik a rendelkezésre álló vízforrások hasznosításáért a mezőgazdaság és az ipar, valamint a háztartások/közösségek között. A mezőgazdaság 70%-os részesedésével jelenleg a legnagyobb vízfogyasztó. Az emberiséget vízválság fenyegeti. A környezet védelme érdekében változtatni kell az élelmiszerfogyasztási szokásokon is, így például indokolt csökkenteni a hagyományos állati fehérjék fogyasztását alternatív fehérjeforrásokkal. Az élelmezésbiztonság továbbra is prioritás marad, ugyanakkor az innováció lehetőséget nyújt a biomassza, valamint a mezőgazdasági és erdőgazdálkodási melléktermékek nem élelmezés célú felhasználásának. Hangsúlyos szerepet kap az integrált és változatos termelési rendszer és mezőgazdasági gyakorlat, beleértve a precíziós technológiát, de fontos szempont a mezőgazdasági termelékenység alapját jelentő talajgazdálkodás a talaj termőképességének javítása érdekében.

A biomassza alapú gazdaság stratégiájának kidolgozása és megalapozása globális, uniós és nemzeti szinten alapos kutatást igényel, elméleti, gyakorlati és módszertani szempontból egyaránt. A biomassza alapú gazdaság különböző kérdéseit, kihívásait és dilemmáit, valamint azok élelmezés-, energia- és környezetbiztonsági vonatkozásait tudomásom szerint kevésbé vizsgálták hazánkban. A biomassza alapú gazdaság uniós stratégiájának részletes elemzése is újdonságnak számít.

Az **értekezés célja**, hogy az alábbi kutatási kérdések megválaszolásával járuljon hozzá a téma átfogó elemzésének megalapozásához:

1. Milyen kapcsolódási pontjai vannak biomassza alapú gazdaság és körforgásos gazdaság fejlődésének?
2. Milyen gazdasági és társadalmi hatások várhatók az EU-ban a klímasemleges zöldgazdaság kiépítésével?
3. Milyen szerepet játszik a bioökonómia az élelmezés- és környezetbiztonság alakulásában globális és uniós szinten?
4. Fenntartható-e a jelenlegi élelmiszertermelési gyakorlat?
5. Milyen elvek határozzák meg a biomassza felhasználásának rangsorolását a biomassza alapú értéklánc mentén?

Az értekezés hat fejezetből áll. A bevezetés után a biomassza alapú és körforgásos gazdaság globális kérdéseit és kapcsolódási pontjait vizsgálom. A harmadik fejezet az EU bioökonómia stratégiáját összegzi, míg a negyedik fejezet a biomassza globális termelésének és felhasználásának alakulását elemzi, arra a kérdésre keresve a választ, hogy az élelmezés- és környezetbiztonságban milyen szerepet játszik a bioökonómia. Az ötödik fejezet a bioökonómia élelmezésbiztonsági prioritását tárgyalja az élelmiszerpazarlás, alternatív fehérjeforrások és alternatív élelmiszerek szemszögéből, míg a hatodik fejezetben a fenntarthatósági tényezőket azonosítom a környezet- és energiabiztonság tükrében. Az összefoglalás összegzi a főbb megállapításokat.

Az Magyar Tudományos Akadémia Agrárközgazdasági Tudományos Bizottságának és az Magyar Tudományos Akadémia Körforgásos Gazdaság Osztályközi Állandó Bizottságának tagjaként is hozzájárulhatok ahhoz, hogy a biomassza alapú gazdaságról részletes képet kapjanak a téma iránt érdeklődő tudományos kutatók és oktatók egyaránt.

A biomassza alapú gazdaság fejlődése a következő 30 évben meghatározza az EU globális geopolitikai és kereskedelmi szerepét, ezért indokolt figyelemmel kísérni az EU-ban a nulla nettó ÜHG (üvegházhatású gáz) kibocsátás eléréséhez szükséges reformokat. Hasonlóképpen ajánlom az értekezést az agrárpolitikai döntéshozóknak is, akik a disszertáció ajánlásainak segítségével kidolgozhatják a biomassza alapú gazdaság stratégiáját és annak programelemeit a magyar élelmiszergazdaság és erdészet nemzetközi versenyképességének növelése érdekében.

Az értekezés nem születhetett volna meg oktató és kutató kollégáim támogatása nélkül. Itt mondok köszönetet minden kollégámnak, aki közvetve vagy közvetlen módon támogatott az értekezés megírásában. Kiemelten köszönöm annak a szűk kutatócsoportnak, nevezetesen Popp Józsefnek, Lakner Zoltánnak, Máté Domiciánnak, Harangi-Rákos Mónikának, Kovács Sándornak, Kiss Annának, Horváth Adriennek és Erdei Edinának. Köszönetemet szeretném kifejezni Varga Mónikának, aki hozzájárult az adminisztratív terheim csökkentéséhez.

1. Biomassza alapú gazdaság és körforgásos gazdaság

1.1. A bioökonómia vagy biomassza alapú gazdaság kihívásai

A harmadik évezred elején bebizonyosodott, hogy rendszerszintű változást kell elérnünk az áruk előállítás, fogyasztása és hulladékká válása terén. A körforgásos gazdaság megújuló szegmense, a biomassza alapú gazdaság fejlesztésével új és innovatív megoldásokat találhatunk az élelem, az energia és egyéb termékek előállításához a Föld véges biológiai erőforrásainak kimerítése nélkül. A gazdaság átállítása és az elsődleges termelési modellek korszerűsítése a környezet- és éghajlatvédelem érdekében nélkülözhetetlen, ráadásul a biökonómia nagy számban hozhat létre új zöld munkahelyeket is, különösen a vidéki és a tengerparti területeken. A biomassza alapú gazdasággal és körforgásos gazdasággal foglalkozó szakirodalom feldolgozása szerint is nehéz a fogalmak egyértelmű definiálása, valamint a közöttük levő kapcsolat meghatározása (Vásáry, 2019). Különösen akkor, ha a fenntarthatóság fogalmát is a biomassza alapú gazdasággal és körforgásos gazdasággal együtt definiálják. A fogalmak meghatározásával számos szerző foglalkozott.

Mivel a bioökonómiának nincs egyértelmű, általánosan elfogadott definíciója, nincs nyilvánvaló különbség a „**bioökonómia**” és a „**biomassza alapú gazdaság**” kifejezések között sem, de a nemzetközi szakirodalom többnyire az első kifejezést használja (Staffas és szerzőtársai, 2013). A hazai tudományos közlemények a biomassza alapú gazdaság kifejezést preferálják a bioökonómia kifejezéssel szemben. A biomassza alapú gazdaság témakörben említést érdemelnek a következő kutatócsoportok megjelent publikációi (Scarlat és szerzőtársai, 2015; Bugge és szerzőtársai, 2016; Lewandowski, 2017; Aguilar és szerzőtársai, 2018; Golden és szerzőtársai, 2018; Patermann és szerzőtársai, 2018; Ronzon és szerzőtársai, 2018). A tudományos cikkek mellett számos European Commission (2013, 2014a, 2014b, 2017a, 2017b) és az OECD (2018a; 2018b) által kiadott szakpolitikai és jogi dokumentum is megjelent e témakörben. A biomassza alapú gazdaság sarokköve, a fenntarthatóság a biomassza organikus szénforrásának hatékony kiaknázása körül forog, mely a talaj és a tenger minden biológiai anyagát magában foglalja (növények, fák, állatok és mikrobák). A biomassza erőforrások kategóriái: elsődleges (közvetlenül az erőforrásokból nyert), másodlagos (az elsődleges biomassza erőforrások feldolgozásából nyert) és harmadlagos fogyasztói maradványok, köztük állati zsírok és zsiradékok, használt növényi olajok, csomagolási hulladék és építési-bontási törmelék (Albrecht és szerzőtársai, 2012).

Az EU stratégia célja a lineáris gazdasági modellről a biomassza alapú gazdasági modellre történő átállás (European Commission, 2019a; European Commission, 2019b). A biomassza alapú gazdaság fogalmának jelentősége folyamatosan bővül mind a kutatók, mind a politikai döntéshozók körében, mivel a szerteágazó problémák lehetséges megoldásának tekintik. Kialakulása új ismeretekre és technológiákra alapszik, ugyanakkor számos kockázat és bizonytalanság kíséri az útját. Ha ezeket a kihívásokat az emberi viselkedés szemszögéből közelítjük meg, többek között egyéni és társadalmi döntéshozatali folyamatról, kockázatkerülésről és különféle gazdasági helyzetekre adott emberi reakciókról beszélhetünk. **A fenntartható biomassza alapú gazdaság fejlődéséhez a biotechnológiai előrehaladáson kívül társadalmi átalakulásra is szükség van.** Mindez jelentős hatást gyakorol az állami támogatottság alakulására és a társadalom hozzáállására, de ez fordított irányban is igaz.

A biomassza alapú gazdaság fogalmának meghatározása esetében az **Európai Bizottság definícióját** tekinthetjük mérvadónak: **“A biomassza alapú gazdaság magába foglalja a megújuló biológiai erőforrások előállítását és ezen erőforrások, valamint hulladékáramok hozzáadott értékkel bíró termékekké – élelmiszerré, takarmánnyá, biomassza alapú**

termékekké és bioenergiává -való átalakítását” (European Commission, 2017a). Ezzel egyidejűleg kutatómunkámra jelentős hatással volt még a Bugge és szerzőtársai (2016) által publikált cikk, ahol három vízió – biotechnológia; biológiai erőforrások és biomassa alapú ökológia – került meghatározásra a biomassa alapú gazdaság jellemzésére az általános célokra és törekvésekre, az értékteremtésre és az innováció közvetítő szerepére összpontosítva (1. táblázat). Továbbá részletesen elemeztem a bioökonómia három fejlődési típusát (bioökonómia I, bioökonómia II és bioökonómia III).

A **biotechnológiai szemlélet** elsődleges céljai és törekvései a gazdasági növekedéshez és a munkahelyteremtéshez köthetők (Staffas és szerzőtársai, 2013). Habár a klímaváltozással és a környezeti szempontokkal kapcsolatosan is pozitív eredményeket várunk, de mivel a gazdasági növekedés az elmúlt időszakban egyértelműen prioritást élvezett a fenntarthatósággal szemben, a biotechnológia alkalmazásához kapcsolódó visszajelzéseket többnyire figyelmen kívül hagyják (Richardson, 2012). Ehhez hasonlóan a kockázati és etikai aggodalmak is kevésbé játszanak fontos szerepet a gazdasági növekedéshez képest (Hilgartner, 2007).

1. táblázat: A biomassa alapú gazdaság vízióinak fő jellemzői

	Biotechnológiai szemlélet	Biológiai erőforrások szemlélet	Biomassa alapú ökológiai (bioökológiai) szemlélet
Célok és törekvések	Gazdasági növekedés, munkahelyteremtés.	Gazdasági növekedés és fenntarthatóság.	Fenntarthatóság, biodiverzitás, ökoszisztémák megőrzése, talajromlás elkerülése.
Értékteremtés	Biotechnológia alkalmazása, kutatás és technológia kereskedelmi bevezetése.	Biológiai erőforrások konverziója és fejlesztése (folyamatorientált).	Integritás termelési rendszerek és magas minőségű területi identitással bíró termékek fejlesztése.
Az innováció hajtóereje és közvetítői	Kutatás-fejlesztés, szabadalmak, technológiaátadási hivatalok, kutatási tanácsok és alapkezelők (tudomány által vezérelt lineáris modell).	Interdiszciplináris, optimalizált földfelhasználát, marginális földterület bevonása bioüzemanyag gyártásába, biomassa alapú erőforrások használata és rendelkezésre állása, hulladékgyógyítás, gépesítés, tudomány és piac.	Kedvező organikus agroökológiai gyakorlatok azonosítása, etika, kockázat, transzdiszciplináris fenntarthatóság, ökológiai interakciók, hulladék újrafelhasználása (körforgásos és önfenntartó termelési mód).
Térbeliség	Globális klaszterek/központi régiók.	Vidéki/periférikus régiók.	Vidéki/periférikus régiók.

Forrás: Bugge (2016)

Az értékteremtés számos szektor esetén a biotechnológia alkalmazásához, valamint a kutatás és a technológia kereskedelmi bevezetéséhez kapcsolódik. A biotechnológiai kutatással foglalkozó cégek fontos szerepet játszanak a biomassa alapú gazdaság növekedésében (Morrison és Cornips, 2012). A kutatás molekuláris szinten játszódó folyamatokkal indul, ezután következik a gyártási folyamat, ami lehetővé teszi, hogy a biomasszát igen sokféle eladható terméké alakítsuk át (Hansen, 2014). Az innovációs folyamatok általában

tudományos kutatással kezdődnek, később termékfejlesztéssel, gyártással és marketinggel folytatódnak (Bush, 1995; Hansen és Winther, 2011). A biomassza alapú gazdaságban az erőforráshiányt nem szükséges elemezni, mert a technológiai folyamat megoldja ezt a kérdést (Staffas és szerzőtársai, 2013). A hulladékkérdés sem játszik kulcsszerepet, mivel a biotechnológiai gyártási folyamatok nem vagy alig termelnek hulladékot. A biotechnológia segítségével az organikus hulladék új végtermékké alakul át (Richardson, 2012). A szerteágazó alkalmazási lehetőség a hagyományos iparágak közötti határok elmosódásához vezet, ha a technológiák kereskedelmi bevezetésre kerülnek (Boehlje és Bröring, 2011; Kearnes, 2013).

Mivel itt a kutatás a kulcs tényező, a kutatásokat finanszírozó befektetők biztosítják, hogy a biomassza alapú gazdaság valósággá váljon Kearnes (2013), habár felmerül a kutatás irányításának kérdése, például az irányelvek várható alakulása (Aguilar és szerzőtársai, 2013). A biotechnológia alkalmazása globálisan kevés számú régióra koncentrálódik, ahol a gyógyszeripari vállalatok, kis méretű biotechnológia vállalatok és a kockázati tőke jönnek szóba Cooke (2007); Cooke (2009), ugyanakkor a biotechnológiai kutatással foglalkozó régiók az átlagnál gyorsabban fejlődnek (Birch, 2009). A globális biotechnológiai centrumok fontos szerepet töltenek be a bioökonómiai innovációkban Cooke (2006), de a globális versenyben központi téma lesz az innováció irányítása (Hogarth és Salter, 2010). Az értékteremtés kétféle tényezőt tartalmaz: egyrészt az anyagi tényezőt az erőforrásokkal kapcsolatban, másrészt a tudást és képességet az új ismeret megteremtéséhez (Birch, 2012). Számos tudományos közlemény a különböző feltörekvő gazdaságok bioökonómiai feltételeivel és stratégiáival foglalkozik (Salter és szerzőtársai, 2006; Salter, 2009; Chen és Gottweis, 2013).

A **biológiai erőforrások szemlélet** a gazdasági növekedéshez és fenntarthatósághoz kapcsolódik (Levidow és szerzőtársai, 2013). A gazdasági növekedés a biotechnológiai vízióban a biotechnológia tőkésítéséből ered, a biológiai erőforrás szemléletben pedig a biológiai erőforrások tőkésítéséből származik. Általában azt feltételezik, hogy ez a folyamat a környezeti fenntarthatóságot pozitívan érinti, de a fő hangsúlyt inkább az új biomassza alapú termékek technológiai fejlesztésére helyezik és kevésbé a környezetvédelemre. Paradox módon a biomassza alapú gazdaság klímaváltozásra gyakorolt hatásait kevésbé vizsgálják, így a fenntarthatóság viszonylag kevés figyelmet kap (Staffas és szerzőtársai, 2013; Ollikainen, 2014). Ez abból is kiderül, hogy a fenntarthatósági szempontok alig szerepelnek a biomassza alapú gazdaságról szóló irányelvekben, pedig a kutatók gyakran elemzik a fenntarthatóság pozitív hozadékát. Pfau és szerzőtársai (2014) azt állítják, hogy a biomassza alapú gazdaság standard felépítésével kapcsolatos folyamatok és eljárások fontosabb szerepet játszanak, mint a fenntartható fejlődés várható eredménye. A biomassza alapú gazdaságról szóló párbeszéd gyakorlatilag ahhoz vezethet, hogy kevesebb hangsúlyt kapnak bizonyos kérdések, mint például az erdők eltűnése vagy a biológiai diverzitás csökkenése (Pülzl és szerzőtársai, 2014).

A biológiai erőforrások használatában a hulladékkezelés is kiemelt szerepet kap. Az értéklánc folyamatában egyrészt minimális organikus hulladék előállítására törekednek, másrészt a hulladékgyártás – nem kerülhető ki teljesen – fontos inputot jelent a megújuló energiatermelés számára (European Commission, 2012). A biomassza feldolgozásában a kaszkádok kialakításával (anyag- és energia-körforgás) igyekeznek maximalizálni a biomassza felhasználás hatékonyságát (Keegan és szerzőtársai, 2013). Továbbá érvként szerepel még, hogy a hulladék feldolgozásával termelt trágya kulcs tényező az ipari bioüzemanyag-gyártáshoz (Mathews, 2009). A biológiai erőforrás vízióban a talaj termelékenységének növelése jelentős hajtóerőt jelent, ehhez hasonló ösztönzést ad a degradált, kedvezőtlen tulajdonságú talajokon a bioüzemanyag célú nyersanyagok előállítása (Mathews, 2009, Levidow és szerzőtársai, 2013). Gyakran szóba kerül a földhasználat-változás kérdése is, ha

művelési ágak közötti váltásról van szó, például ilyen az erdő vagy gyepek művelési ágából mezőgazdasági művelési ágba történő átsorolása (Ollikainen, 2014). Továbbá a biológiai erőforrásokkal kapcsolatos elemzések alig érintik a környezet és a felhasznált termelési inputok (víz, műtrágya és növényvédő szer) közötti kapcsolatokat (Staffas és szerzőtársai, 2013). A kutatási és innovációs törekvések gyakran eltérő kompetenciájú szereplők közötti együttműködést igényelnek, de több hangsúlyt célszerű fektetni a problémás kérdések, például a vásárlói preferenciák kutatására (Levidow és szerzőtársai, 2013). Az innováció is igényli a szektorok közötti együttműködést, például az erdészetnél ez kiemelt szempont (Kleinschmit és szerzőtársai, 2014).

A biológiai erőforrás szemlélet a térszerkezetben jelentős potenciált képvisel a vidéki régiók fejlődésének elősegítésében. Az új bioalapú termékek előállítása pozitívan befolyásolja majd a vidéki térségek foglalkoztatottságát, mivel a természeti erőforrások helyhez kötött tényezők (Low és Isserman, 2009). A biológiai erőforrás lehetőséget ad a vidék felvirágoztatására és magas minőségű hozzáadott értékű termékek gyártására (Horlings és Marsden, 2014). Ehhez külső tudást és ismeretet is be kell vonni, mert a helyi kompetenciák elsősorban a biológiai erőforrások művelésére és feldolgozására alkalmasak (Albert, 2007).

Összefoglalva elmondható, hogy a biológiai erőforrás vízióban az értékteremtést előmozdító innovációs hajtóerő a biotechnológiai vízióval kevésbé tekinthető lineáris szemléletűnek, mivel itt a szektorok közötti együttműködés és a vásárlókkal való interakció fontosabb szerepet játszik.

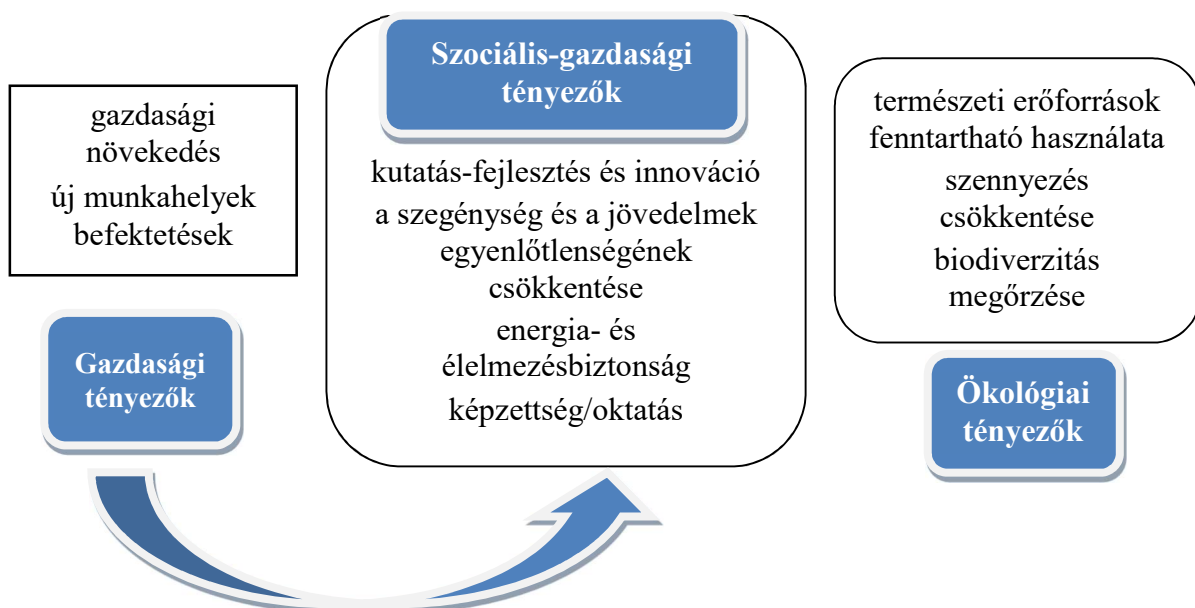
A **biomassza alapú ökológiai (bioökológiai) szemlélet** célja és törekvése többnyire a fenntarthatósággal függ össze. Míg a biotechnológiai és a biológiai erőforrás szemléletben a gazdasági növekedés és a munkahelyteremtés a fő szempont, a bioökológiai vízióban ezek másodlagos szerepet játszanak a fenntarthatósági kérdésekhez képest (Levidow és szerzőtársai, 2013). A biomassza alapú gazdaság irodalma kritikus hangvételt is tartalmaz, mivel a biotechnológia és a biológiai erőforrás szemléletekben a gazdasági növekedés és a piaci bevezetés központi téma. Az emberi egészségről szóló irodalomban számos helyen kritikával illetik a biológiai erőforrások kereskedelmi bevezetését, például az emberi szövetek, mint a köldökzsinórvér (Brown és szerzőtársai, 2011; Brown, 2013), a petesejtek (Gupta, 2012; Haimés, 2013), a magzati szövet (Kent, 2008), az őssejtek (Fannin, 2013), combcsontfejt (Hoeyer, 2009) vagy a vér (Mumtaz és szerzőtársai, 2012) kereskedelme esetében. A szóban forgó témák például érintik a biológiai erőforrások kereskedelmének etikáját, a vérellátás biztonságát (Mumtaz és szerzőtársai, 2012), a bérnyaság morális dilemmáit (Marsden, 2012) és a biológiai erőforrásokhoz való egyenlőtlen (aszimmetrikus) hozzáférést (Davies, 2006).

A bioökológiai vízió az értékteremtés középpontjában a biodiverzitás növekedésének elősegítését, az ökoszisztémák megőrzését, az ökoszisztéma szolgáltatások nyújtásának elterjedését és a talajdegradáció megelőzését helyezi (Levidow és szerzőtársai, 2013; McCormick és Kautto, 2013). A biohulladékból előállított energia csak a lánc végén jelenik meg az újrafelhasználás és az újrafelhasználás során. A végső cél a háztartási és városi hulladék minimalizálása és a külső inputok megszüntetése a bioalapú termékgyártásban (Levidow és szerzőtársai, 2013). Ez a vízió körforgásos és önfenntartó termelési módot szemléltet. A bioökológiai szemlélet a kedvező organikus bioökológiai gyakorlatokat (Marsden, 2012; Siegmeyer-Möller, 2013), valamint a hulladék újrafelhasználásával, újrafelhasználásával és a talajhasználat hatékonyságával kapcsolatos ökológiai kölcsönhatásokat hangsúlyozza. Az energia- és vegyszerinput minimalizálásához a biológiai komponensek közötti ökológiai kölcsönhatásokra indokolt összpontosítani a jobb minőségű termelés és hatékony növényvédelem céljából (Levidow és szerzőtársai, 2013).

A bioökológia gyakorlatilag kizárja az egyes technológiákat, mint például a genetikai

növénymódosítást, pedig a kutatási és innovációs tevékenységeket fontosnak tartja. Albrecht és szerzőtársai (2012) nagyobb hangsúlyt helyeznek a transzdiszciplináris fenntarthatóságra, például a fenntartható biomassza feldolgozásának lehetőségeire, a globális tisztességes (fair) kereskedelemre és az átalakulási folyamatban érdekelt felek körének bővítésére. Szükség van olyan kutatásokra is, melyek globálisan vizsgálják a biomassza alapú gazdaságra vonatkozó víziók versengésének negatív következményeit (Hansen, 2014). A bioökológiai szemlélet a vidéki és periférikus régiók lehetőségeire kiemelt hangsúlyt fektet. A vidék gazdasági növekedésének, fejlődésének lehetőségét teremti meg a helyi, magas minőségű termékek előállítása (Levidow és szerzőtársai, 2013). Míg a biológiai erőforrás szemlélet a külső kapcsolatokra épít, a bioökológia szemlélet a helyi érdekeltésségű vállalatokat tekinti mérvadónak a fenntartható biomassza alapú gazdaság létrejöttéhez (Marsden, 2012).

A FAO 2018-ban kiadott tanulmánya szerint a biomassza alapú gazdaság koncepciójának a megvalósításához szükség van az adott ország sajátosságainak és prioritásainak összhangjára (1. ábra).



1. ábra: A fenntartható biomassza alapú gazdaság fejlődésének fő tényezői

Forrás: FAO (2018)

A bioökonómia három fejlődési típusát (bioökonómia I., bioökonómia II. és bioökonómia III.) különböztetjük meg (2. táblázat).

2. táblázat: A bioökonómia típusai

	Bioökonómia I.	Bioökonómia II.	Bioökonómia III.
Hivatkozások	Georgescu-Roegen (1975a, b, 1978)	OECD (2009) OECD (2017a, b, c)	Langeveld szerzőtársai (2010) European Commission (2012; 2018a)
Meghatározása	A bioszférával kompatibilis ökológiai gazdaság.	Az ipar által vezérelt tudásalapú gazdaság.	Biomassza alapú gazdaság.
Természet/ gazdasági kapcsolat	A bioszféra küzdelme az entrópia és a koevolúció ellen. Gazdasági fejlődés a biológiai evolúcióval párhuzamosan.	A sejt egy gyár A technológia képes kijavítani "Isten hibáit".	A biomassza helyettesíti a fosszilis tüzelőanyagokat és a bányászatot, hogy energiát és bioanyagokat termeljen.
Tudomány, technológia és társadalom	Megatrendek "promethean technológiával". A Prometheus III technológia megjelenésétől függően körültekintő és megosztásos gazdaság.	Az ötödik Kondratyjev-ciklus kilátásai a biotechnológia szerepének növekedésével. A „technológiai tudományos ígéreték gazdasága”.	Biofinomítás az ökológiai átmenet középpontjában (többszintű perspektíva). A tanulás gazdasága.
Fenntarthatóság	“Erős fenntarthatósági és nulla növekedési kilátás.”	“Nagyon gyenge” fenntarthatósági megközelítés.	“Gyenge fenntarthatósági” megközelítés.
Kormányzás/ vezetés	Demokratikus megfontolás és ökológiai tervezés.	A tudás áruba bocsátása. A szellemi tulajdonjogok védelme.	Küldetésorientált politika – backcasting jövőkutató módszer a bioökonómia kívánatos jövőjének meghatározására termékazonosítással és a gazdasági szereplők koordinálásával.
Feszültségek és ellentmondások	Ellentétes szakértelem konkrét műszaki megoldások helyett. A döntéshozó központok marginális társadalmi csoportjainak kritikája. A nulla növekedés nem szerepel a döntéshozók napirendjén.	Konfliktusok és verseny a szabadalmaztatásban, de a tudáshalmazás továbbra is probléma. Hogyan lehet a biotechnológiai folyamatokat integrálni multitechnológiai termékekben? Hogyan lehet az áttörést a legjobb megoldásként fenntartani az alkalmazások minden területén? Társadalmi ellenállás a GMO-val szemben.	Termékek vagy funkciók helyettesítése új termékekkel (vegyi anyagok és alapanyagok). Természeti erőforrásokra és termőföldre nehezedő nyomás.

Forrás: Vivien és szerzőtársai (2019)

A **bioökonómia I. típusa** holisztikus megközelítést igényel, sokkal hosszabb időtartamot vesz igénybe, mint az az időszak, amelyre Schumpeter és más közgazdászok döntéshozatalukat alapozták (Georgescu-Roegen, 1975a). A „Prometheus III technológiák” fogalma nem kompatibilis a gazdasági ciklus fogalmával, mivel nem tudjuk, vajon a Prometheus III forradalom egyáltalán megvalósul-e és ha igen, mikor? Georgescu-Roegen (1975b) szerint a jövő kiszámíthatatlan társadalmi-gazdasági szempontból és a jövővel kapcsolatos bizonytalanság miatt a lehetséges elágazásoknak kell elsőbbséget adni. Ez az oka annak, hogy a **bioökonómia I. típusa egy óvatos, körültekintő gazdaságnak tekinthető**, amely magában foglalja az erőforrások megosztását a nemzedékek között és a saját generáción belül egyaránt (Vivien és szerzőtársai, 2019).

A **bioökonómia II. típusa** az 1970-es években tapasztalt gyógyszer- és vegyipari innováció lassulásának köszönhető, többek között azért, mert a fő gazdasági szereplők nem tudtak jelentős innovációt felmutatni, mint például a nejlon (nylon) feltalálása új gazdasági ciklusok elindításához (Achilladelis és szerzőtársai, 1990). A bioökonómia II. típusa a Kondratyjev és Schumpeter által leírt gazdasági ciklusok ötletéhez kapcsolódik, ahol az optimális biotechnológia megjelenése elindítja az új innovációs és növekedési ciklust. Ez az oka annak, hogy a **bioökonómia II. típusa egy „technológiavezérelt gazdaság”**. A valóságban **„ígéretgazdaságnak” is nevezhetjük**: a termelési és ökológiai problémák megoldásának ígérete a géntechnológia segítségével elért technológiai áttöréseknek köszönhetően (Felt, 2007). Nem világos azonban, hogy a tudományos és a technológia forradalom hogyan csap át gazdasági és a társadalmi forradalommá.

Az Európai Bizottság által támogatott **bioökonómia III. típusa** egy biofinomításon alapuló megújuló karbonmentesítési gazdaság, amely valamennyi biológiai eredetű erőforrás feldolgozását foglalja magában. Mivel ugyanazt a végterméket különféle alapanyag és technológia segítségével lehet előállítani, a bioökonómia III. típusa versenyt jelent a felhasznált alapanyagok, a feldolgozási technológia és előállított termékek között. A bizonytalanság és a verseny két módon befolyásolja a gazdasági szereplők stratégiáját. A cégek választhatják a drop-in/alacsony hozzáadott-értékű stratégiát (az ún. „drop-in” eljárás enzimek és baktériumok alkalmazásával alakítja át a cukrot például kis szénatomszámú etanollá) vagy az innovatív megközelítésű stratégiát, amely új funkciókat kínál a biológiai forráson kívül: biológiai úton lebomló anyagok, hosszabb életciklus, jobb teljesítmény stb. Továbbá a bioökonómia II. típusától eltérően az új alapanyagok felhasználása a különböző tudás egyesítését igényli, ahol biotechnológiai tudásra van szükség. Következésképpen a **bioökonómia III. típusát a tudás gazdaságának** is nevezhetjük. Ez a technológiai-gazdasági ismeretek iránt elkötelezett kísérleti és bemutató üzemek fejlesztésében nyilvánul meg (Hellsmark és szerzőtársai, 2016; Fevolden és szerzőtársai, 2017).

Felmerül a kérdés, hogy vajon a **bioökonómia típusai a gyenge, kontra erős fenntarthatóságot képviseli-e** (Costanza és Daly, 1992). Az **bioökonómia I. típusa** egyértelműen az **„erős fenntarthatóságot” képviseli** nagyon szigorú ökológiai korlátok között (Georgescu-Roegen, 1978), kihangsúlyozva az újrafeldolgozási kapacitás korlátait (energia és anyag). A bioökonómia I. a nulla növekedéssel ellentétes megközelítést alkalmaz, ezért a hosszú távú fejlődés helyett a hosszú távú túlélési stratégiát helyezi előtérbe, ezért **„körültekintő gazdaságnak** nevezhetjük (Dupuy, 2004). A **bioökonómia II. típusa** a **„gyenge fenntarthatóság” képviselője**. A természeti erőforrások intenzívebb használata a mezőgazdaságban felveti a természetes élőhelyek elvesztésének vagy pusztulásának problémáját. A **bioökonómia III. típusánál** „zöld” növekedés opciójáról van szó és kevésbé radikális, mint a bioökonómia II. típusa, habár egyéb technológiák mellett a biotechnológiát is alkalmazza a biomassza feldolgozásánál. Ez azt jelenti, hogy a bioökonómia II. és III. típusa összeolvad. Ez a szövetség az agroökológiai gyakorlatokkal szemben „élettudományi iparnak”

is nevezhető, megágyazva a bioökonómia III. típus kritikáinak (Levidow és szerzőtársai, 2013). Mindazonáltal a biomassza felhasználása olyan kérdéseket is felvet, mint a földhasználat-változás, az erdőirtás, az iparszerű termelés növekvő környezetszennyezése stb. (Ramcilovic-Suominen és Pülzl, 2018). A nemzeti és európai stratégia és cselekvési tervek érintik a körforgásos bioökonómia lehetőségeit, de elkerülik a körforgásos gazdaság fenntarthatósági kérdéseit (European Commission, 2018b; de Jesus és Mendonça, 2018).

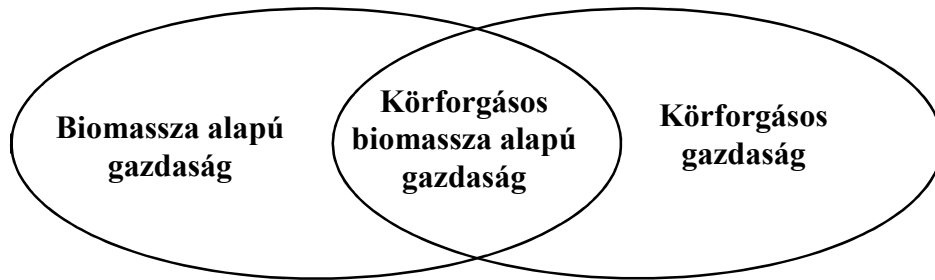
A **bioökonómia I.** típusa elősegíti az ökológiai tervezést szabályozott körülmények között (Georgescu-Roegen, 1975b). Ez ökológiai korlátot is jelent a vagyoni méltányosabb elosztását célzó politikának. Amikor Georgescu-Roegen elkészült bioökonómiai programjával, valószínűleg szem előtt tartotta az Antarktisz jövőjével kapcsolatos nemzetközi tárgyalásokat. A hatodik kontinens világörökségi státuszt kapott, ahol a természeti erőforrások kiaknázása nem tiltott, de csak az emberiség érdekében történhet. Úgy tűnik, hogy az 1970-es években Georgescu-Roegen (1975b) komolyan fontolóra vette a környezeti mozgalmakkal való szövetség keresését bioökonómiai alapelveinek végrehajtása érdekében. Ez az oka annak, hogy „Közgazdaságtan és az entrópia” című közleményét újra publikálták. Az ökológiai mozgalmak támogatják ajánlásait, miszerint a kereslet kerüljön előtérbe a kínálat helyett a fogyasztás csökkentése mellett. A biotechnológia által vezérelt új ipari forradalom áll a **bioökonómia II.** középpontjában és az 1970-es évek óta intenzív intézményi támogatást élvez nemzeti és nemzetközi szinten egyaránt. Ugyanakkor a biotechnológiai forradalom jövőjét számos tudományos vita kíséri. Különösen Európában erős a társadalmi ellenállás a genetikailag módosított szervezetek előállításával és felhasználásával szemben (Levidow és szerzőtársai, 2013). A **bioökonómia III.** gazdasági szereplőinek heterogén tudásbázissal és erős versenykörnyezettel kell megbirkózniuk. A vállalat és tudás összekapcsolásához kísérleti és bemutató üzemeket hoznak létre (Vivien és szerzőtársai, 2019).

1.2. Körforgásos gazdaság

A **körforgásos gazdaság** és biomassza alapú gazdaság közötti hasonlóságok és eltérések egyértelműen nem definiálhatók. A körforgásos gazdaság fogalmára az egyik legátfogóbb meghatározást Kircherr és szerzőtársai (2017) adták. **A körforgásos gazdaság olyan gazdasági rendszer, amelyben a lineáris gazdaság, azaz a hulladéktermelés helyett az anyagok újrahasználatára, újrahasznosítására kerül sor a termelési, disztribúciós és fogyasztási folyamatokban.** Mikro szinten (termékek, cégek, fogyasztók), mezo szinten (ökoipari parkok) és makro szinten (város, régió, nemzet és nemzetek feletti szinten) működik a fenntartható fejlődés érdekében, azaz a környezeti minőség, a gazdasági prosperitás és a társadalmi egyenlőség megteremtéséhez a mai és a jövő generációi számára (Vásáry, 2019). Ennek megvalósításához új üzleti modellekre és felelős fogyasztókra van szükség (Kirchherr és szerzőtársai, 2017).

A körforgásos és biomassza alapú gazdaság fogalma alapvetően különböző, de mégis kiegészítik egymást: mindkettő célja az erőforrás- és ökológiai hatékonyság javítása, a fosszilis tüzelőanyagok iránt mutatkozó kereslet csökkentése, az ÜHG-kibocsátás mérséklése, valamint a hulladék- és melléktermékáram növelése. A biomassza alapú gazdaság a körforgásos gazdaság biológiai motorja, nem csak annak szerves része (Papadopoulou és szerzőtársai, 2018). A biomassza alapú gazdaság és a körforgásos gazdaság keresztszete (2. ábra) a körforgásos biomassza alapú gazdaság.

A körforgásos biomassza alapú gazdaság magába foglalja: a biomassza alapú termékeket, a megosztásos gazdaságot, az újrahasználatot, az újragyártást, az újrahasznosítást, a kaszkádhaznosítást, a szerves hulladékáram hasznosítását, az erőforráshatékony értékláncokat és a tápanyag körforgás biztosítását.



A körforgásos biomassza alapú gazdaság magában foglalja:

- Biomassza alapú termékek.
- Megosztás, újrahasználat, úragyártás, újrahasznosítás.
- Kaszkádhasznosítás.
- Szerves hulladékáramok hasznosítása.
- Erőforráshatékony értékláncok.
- Organikus újrahasznosítás, tápanyag körforgás biztosítása.

2. ábra: Körforgásos biomassza alapú gazdaság

Forrás: European Commission (2017c)

A körforgásos gazdaságról szóló csomagot az Európai Bizottság 2015-ben fogadta el, ezzel komoly lendületet adott a körforgásos gazdaságra való átmenetnek az EU-ban. A csomag jogalkotási javaslatokat tartalmaz a hulladékok kezeléséről, a hulladéklerakás csökkentéséről, valamint az újrafeldolgozás és az újrafelhasználás növeléséről. A körforgásos gazdaságban a zárt láncú termékeletciklus célja az erőforrás-hatékonyság megteremtése az értéklánc minden egyes fázisában a termeléstől a fogyasztásig, a javítástól a gyártásig, beleértve a hulladékgazdálkodást és a gazdaságba visszaforgatott másodnyersanyagokat is. Az erőforrás-termelékenység az egységnyi erőforrás-felhasználásra jutó GDP-termelést jelenti (pl. GDP/kg), azaz reciproka az erőforrás-igényességnek (pl. kg/GDP), ami az erőforrás-hatékonyság egyik mércéje. Az EU globális kötelezettségvállalásainak teljesüléséhez, így az ENSZ 2030-ig szóló fenntartható fejlődési célkitűzései eléréséhez a körforgásos gazdaságra való áttérés hatékonyan hozzájárul (Pomázi és Szabó, 2019).

A jelenleg működő gazdasági szerkezet a lineáris gazdasági szemléletet követi, vagyis a „nyersanyagot kitermeli-terméket gyárt-hulladékot eldob” elven alapul. Ez a felfogás nem támogatja az erőforrások fenntarthatóságát, az anyagkörforgás működtetését. A lineáris gazdaság azokra az egyirányú folyamatokra épül, amelyek a nagy tömegű termelést és az alacsony termelési költséget preferálják. Ez a megközelítés a termeléshez szükséges alapanyagok (elsősorban műanyagok) relatíve olcsó beszerzésére törekszik (Ellen MacArthur Foundation, 2016). **A körforgásos gazdaság minimális vagy zéró hulladéktermeléssel és erőforrás felhasználással forgatja vissza az előállított termékeket életciklusuk végén.** A körforgásos rendszer elsődleges prioritásai: a hulladék minimalizálása, újrafelhasználása, újrahasználat, úragyártása, javítása (Fogarassy és Horváth, 2018).

A körforgásos gazdaság megközelítése szükségessé teszi a kormányzás innovatív megoldásait is a gazdaság működtetése érdekében. A körforgásos felfogásban helyi szinten fenntarthatóbb, reziliensebb és nyitottabb rendszerek jönnek létre; a helyi hatóságok pedig meghatározó szerepet játszanak a gazdasági működés mindegyik fázisában. A helyi önkormányzatok ösztönözhetik az egyes gazdasági szektorok, szakterületek közötti

együttműködés új formáit. A körforgás célja ugyanis pont az, hogy a gazdaság szereplőinek gondolkodása alakuljon át a gazdasági termelés minden egyes pontján. A termékek fejlesztése során nemcsak az esztétikum és az ergonómia számít, hanem a későbbi javíthatóság, átalakítás és visszaforgathatóság is, hiszen a gazdaságosság mellett újrahasznosíthatónak és környezetkímélőnek is kell lennie. A kormány ösztönözni tudja a gazdasági szereplőket forráshatékony és tartós, lokális megoldások kifejlesztésére, míg a termék-előállítás során együttműködhetnek a többi érdekelttel a nyersanyagok fenntartható módon történő beszerzésében és az erőforrások körforgásának különféle módjaiban is (ipari szimbiózis, vegyipari kölcsönzési eljárás, újragyártás). A szabályozónak lehetősége van a háztartások, cégek és egyéb szervezetek fogyasztási szokásainak befolyásolására az oktatás, képzés, tudatformálási kampány, a megosztó gazdasági elvek támogatása, az újrahasználat és javítás ösztönzése segítségével. Végül az újrahasznosítás során kritikus a hulladékgyűjtés rendszerének fejlesztése, valamint a gyártók környezetvédelmi felelősségének növelése, a biofinomítás, a komposztálás szükségességének elterjesztése is (Magyar Nemzeti Bank, 2019).

A körforgásos gazdaság az importigény és az elsődleges nyersanyagok iránti kereslet csökkenésének köszönhetően javuló erőforrás-biztonságot eredményez, míg ezzel egyetemben csökken a környezetterhelés és mérséklődik az ÜHG-kibocsátás is. A körforgásos gazdaság a növekedés és az innováció új lehetőségeit nyújtja, ráadásul a javuló erőforrás-hatékonyság pozitívan hat a pénzügyi megtakarítások alakulására is, míg az új foglalkoztatási lehetőségek társadalmi előnyökkel is járnak (Magyar Nemzeti Bank, 2019). A körforgásos gazdaság elve olyan gazdasági koncepciót ír le, amely globális modellként választja szét egymástól a növekedést és a fejlődést a korlátozottan rendelkezésre álló erőforrások figyelembevételével. A helyreállító tervezési folyamat segítségével a termékek és azok összetevői a legmagasabb felhasználási szinten a legnagyobb értéket képviselik. A vállalkozások számára nem csak nagyon jó lehetőséget kínál új termékek és szolgáltatások bevezetésére, hanem egyúttal a termeléshez szükséges alapanyagok árváltozásából és beszerzéséből adódó kockázatokat is csökkenti. A lineáris gazdasági modellek segítenek leküzdeni a különböző javak (pl. élelmiszerek) hiányából adódó gazdasági növekedési szükségleteket, mivel gyorsan, nagy mennyiségű termék előállítását teszik lehetővé (pl. ilyen helyzetben volt a világ gazdasága a 2. világháború után). A telített piacokon a lineáris gazdasági megoldások még nagyobb egyensúlytalanságot okoznak, mert az erőforrások lokális szintű megőrzését, fenntartását nem tudják biztosítani. Az erőforrások elérése ma folyamatos politikai viták és külön egyezségek tárgyát képezik, ezért erre a problémára a körforgásos (zárt anyagáramú) gazdasági modellek adnak választ.

Az új gazdasági építőelemek (pl. megosztásos platformok) bevezetése változásokat idéz elő az üzleti folyamatokban, ami várhatóan rendszerszintű átalakuláshoz vezet. A körforgásos gazdasági koncepció szerint preferált innovatív üzleti modellek nem az eszközök birtoklására, hanem azok használatára összpontosítanak. Így fontos szerepet kapnak az olyan üzleti modellek, amelyek ügyfeleikre már nem termékeik és szolgáltatásaik fogyasztójaként (consumer), hanem felhasználójaként (user) tekintenek. Mivel további prioritást jelent a termékélelciklusok elnyújtása, azok az üzleti kezdeményezések kerülnek előtérbe, amelyek tartós termékeket állítanak elő és hajlandók is hosszabb, akár élelcikluson át tartó garanciát vállalni értük (Fogarassy és Horváth, 2018).

A körforgásos gazdaság két fő területre koncentrál. Az egyik a **biológiai ciklusok vagy körfolyamatok fenntartása**, ahol az anyagáramok mozgásban tartása az elsődleges preferencia. Az anyagforgalom során nem vagy alig keletkezik hulladék, mert minden fázisban (ún. kaszkádokon keresztül) értéket rendel hozzá a rendszer. A szerves anyagok teljes volumenű visszaforgatása az elsőrendű erőforrásokhoz (talaj, víz, tápanyag) a körforgásos gazdaság alapvető célja. Így folyamatosan újra elláthatja erőforrásokkal például az élelmiszertermelést

vagy az alapanyaggyártást. **A másik terület, a technológiai rendszerek körforgása** is hasonló ciklusok alapján történik. Különböző megoldásokon keresztül próbálja elkerülni a hulladékok keletkezését: az életciklusok meghosszabbításával (javítás, újra gyártás, felújítás) növeli a körforgás fokát, így a termékek vagy komponenseik felhasználási életciklusát is.

A körforgásos gazdasági modellek kockázatmentes működési feltételeket biztosítanak, mert a vállalkozások nincsenek kitéve a nyersanyagok változó beszerzési árainak vagy a termékek/szolgáltatások értékesítését jellemző áringadozásoknak. A körforgásos gazdasági modell gyakorlatilag ipari-szolgáltatási rendszer, amely az end-of-life (hasznos élettartam vége) koncepciót a helyreállítással váltja fel, továbbá ösztönzi a megújuló energiák felhasználását. A hulladékot az alapanyagok, termékek és folyamatrendszerek segítségével, ezen belül az üzleti modellek tervezésével kívánja megszüntetni. A körforgásos gazdasági modellek jellemzője, hogy a biomassa alapú gazdaságban is ismert indikátorokat alkalmazza a ciklikus rendszer leírásra és kiemelt hangsúlyt fektet a tudomány és az életciklus összefüggésének kidolgozására.

A körforgásos gazdaság gondolata mögött az a közkeletű megfigyelés áll, hogy a természet folyamatai nem termelnek hulladékot, **minden mellék- és végtermék egyben valaminek a kiindulópontja is**, ugyanis az ökoszisztéma a Nap energiáját felhasználva végtelen körforgásban tartja a rajta különböző sebességgel átvirágzó anyagokat. A fenntartható gazdaságot hasonló anyagáramlatok jellemzik, de ez többnyire nem tapasztalható a gyakorlatban. A körforgásos gazdaság megvalósulásához számos tudományterületnek kell a körforgás analógiáját lefordítania a saját nyelvére és precízebben megfogalmaznia az oda vezető út egyes lépéseit.

A gazdaság térbeli és kulturális globalizációjával a termékek és összetevőik eredete egyre inkább távoli és homályos a fogyasztók számára. A beszállítói láncok ilyen átláthatatlansága már többről szól, mint az externália klasszikus fogalmáról, mert itt az egyéni és közösségi haszon már nem hasonlítható össze, ezeket számba venni is hatalmas kihívás. Ezek a rejtett és észrevétlen környezetre és társadalomra gyakorolt hatások azok a pontok, ahol a körforgás megszakad. Az áru új tulajdonosra talál, de valami azonban elvész, kilép a természetes rendező mechanizmusok köréből, ami hatást is gyakorol, de a gazdaság szereplői és szabályozói számára láthatatlan. Ezek az externáliák, tehát a piaci mechanizmus révén számba nem vett fizikai és társadalmi hatások megbontják a gazdaság körforgását. Ha az összes externália megszűnne, a gazdaság egyben fenntartható is lenne.

A körforgásos gazdaság elterjedése érdekében komoly változásokra van szükség az értékláncok teljes hosszában, a termékek tervezésétől kezdve az új üzleti és piaci modelleken, valamint a hulladék erőforrássá alakításán át az új fogyasztói magatartási formáig bezárólag. Ez innovációt igényel a technológiák, a szervezés, a társadalom, a finanszírozási módszerek és a szabályozás terén egyaránt. **A jelenlegi lineáris gazdasági modelltől a körforgásos gazdaságra való átállás a környezetbarát hulladékgazdálkodás mellett a körforgásos gazdaság társadalmi és fogyasztói magatartás kihívásait is magában foglalja.** A fő kérdés, hogyan lehet a körforgásos gazdaságra való átmeneti időszakot hatékonyan irányítani társadalmi támogatottság mellett. Hosszú távon nem kerülhető meg a megosztásos gazdaságnak, a digitalizációnak, az okostelepülések infrastruktúrájának és logisztikai szolgáltatásainak, valamint a körforgásos gazdaság kölcsönhatásainak részletes elemzése (Pomázi és Szabó, 2019).

1.2. Rövid élelmiszerellátási lánc szerepe

Jurgilevich és szerzőtársai (2016) szerint **az élelmiszerlánc körforgásos gazdasága magában foglalja az élelmiszerpiacok csökkentését.** A rövid élelmiszerellátási lánc (RÉL), angol nyelven Short Food Supply Chain (SFSC) koncepciója a körforgásos gazdaság filozófiájának speciális megvalósítása az élelmiszerpiacokban (Genovese és szerzőtársai, 2017). Az 1305/2013/EU rendelet European Parliament and Council (2013) szerint a rövid élelmiszerellátási lánc (RÉL) korlátozott számú gazdasági szereplőt von be, elkötelezett az együttműködés, a helyi gazdasági fejlődés és a szoros földrajzi és társadalmi kapcsolatok iránt a termelők, feldolgozók és fogyasztók között.

Az elmúlt 50 évben a mezőgazdasági- és élelmiszertermékek nemzetközi kereskedelme exponenciális ütemben növekedett, gyorsabban, mint maga a termelés. Ezt a fejlődést számos, egymással összefonódó folyamat ösztönözte, beleértve a nemzetközi vállalatok növekvő gazdasági szerepét, a kereskedelem liberalizációját és a komparatív előnyök kihasználását (Atkins és Bowler, 2016, Hejazi és szerzőtársai, 2017). A RÉL fejlesztésére jelentős figyelmet fordítottak az elmúlt néhány évtizedben Lang és Heasman (2015), mert a globalizált élelmiszerkereskedelmi hálózatokra a magas szintű sebezhetőség Sonnino és szerzőtársai (2016), az átláthatóság hiánya Trienekens és szerzőtársai (2012) és a magas szintű környezeti terhelés jellemző Sala és szerzőtársai (2017). Noha a RÉL meghatározója a közvetítők alacsony száma, de a különböző forrásokban nem határoznak meg felső határértéket a közvetítő szervezetek számára, sőt „minimális” vagy „ideális esetben nulla” számról írnak (Ilbery és Maye, 2006).

Az intézményi ökonómia és az erőter-elmélet alkalmazásával, valamint a szakértői becslések alapján Szövetségek és Ellentétek Hálózata (Matrix of Alliances and Conflicts: Tactics, Objectives and Recommendations: MACTOR) módszerrel a vizsgált EU-tagállamokban meghatároztam az érintett piaci szereplők befolyásának kapcsolatait a rövid ellátási láncok tükrében. A rövid ellátási láncok szerepéről, céljairól szóló vizsgálatom első lépése a személyes, nem strukturált szakértői interjúk készítése volt. A válaszadók földrajzi megoszlása szempontjából az interjúalanyok között az EU alapító tagállamok (Franciaország, Olaszország), az EU-hoz később csatlakozott régi tagállamok (Portugália, Ausztria) és az új tagállamok (Magyarország, Románia, Szlovénia, Horvátország, Észtország és Szlovákia) szakértői voltak. A válaszadók által képviselt tagországok jól tükrözik az EU gazdasági fejlődésének sokszínűségét, ugyanakkor nem képviselik az EU egészét, mert az elemzés a déli és közép-kelet-európai tagországokra összpontosított, ahol a regionális termékek jelentős hányadát állítják elő (Popp és szerzőtársai, 2018a). A felsőoktatás és a kutatás képviselőinek magas részvételi aránya kedvező lehetőséget adott, hogy széles körű rálátással és perspektívával rendelkező szakértőktől nyerjek információt a vizsgált területen.

A szereplők és a célok közötti hasonlóság elemzése alapján kijelenthető, hogy az új tagországokban fontos szempont a fenntarthatóság és a vidékfejlesztés, valamint a mezőgazdasági termelők, az önkormányzatok és az EU közötti szoros kapcsolat. A kevésbé fejlett tagországokban az alacsony ár a termékek egyik legfontosabb jellemzője. A RÉL piaci alkueje jelentős különbséget mutat az EU régi és új tagállamaiban. A régi tagállamokban a mezőgazdasági termelők komoly befolyást gyakorolnak a politikai szereplőkre. Ehhez képest a multinacionális vállalatok viszonylag alacsonyabb befolyással és nagyobb függőséggel rendelkeznek. A nemzeti kormányok és önkormányzatok hatalma erős. Ezzel ellentétben az új tagállamokban a helyi szereplők, különösen a helyi élelmiszerfeldolgozók és a helyi élelmiszerkereskedők általában csekély mértékű befolyással és nagy függőséggel bírnak. Az EU befolyása sokkal nagyobb az új tagállamokra, mint a régi tagállamokra (Popp és szerzőtársai, 2018a).

A jelenlegi keretszabályozás jelentős változása nélkül nehéz elvárni a RÉL fejlődését az új tagállamokban. Ennek legfontosabb lépése a REL támogatása összehangolt gazdaságpolitikai intézkedésekkel (Popp és szerzőtársai, 2018a). Célszerű kialakítani a kis és közepes méretű helyi termelők érdekvédelmi hálózatát célzott versenypolitikával és pénzügyi támogatással, valamint a helyi termelők összefogásának támogatásával. További segítséget jelent a RÉL számára az élelmiszerbiztonsági rendszerek korszerűsítésének támogatása, mivel ez tekinthető a különféle piaci szereplők közös nevezőjének. A helyi élelmiszertermelőknek gyakran nincs pénzügyi forrása a nemzetközileg elismert élelmiszerbiztonsági tanúsítási rendszerek létrehozására, pedig elsősorban ezzel a feltétellel nyílik lehetőség arra, hogy a helyi termelők multinacionális kereskedelmi vállalkozások beszállítói legyenek. Az élelmiszerbiztonsági tanúsítási rendszerek kiépítéséhez elengedhetetlen a tagállami ösztönzés, oktatás és képzés, valamint az infokommunikációs technológiák legújabb módszereinek széles körű alkalmazása. Az internetes kereskedelem elterjedése új perspektívákat nyit meg a REL gazdasági szereplői számára (Popp és szerzőtársai, 2018a).

A körforgásos gazdaság és a rövid ellátási láncok jelentősége és a fenntartható vidékfejlesztés kiemelt szerepe verbális szinten megjelenik uniós és tagállami nyilatkozatokban, de a RÉL rendszere alig létezik az EU új tagországaiban. Felvetődik a kérdés, hogy milyen politikai intézkedések szükségesek a rövid élelmiszerellátási láncok elterjedéséhez. Bebizonyosodott, hogy az EU új tagországaiban a globális ellátási láncok jelentős költséghatékony előnyei és a multinacionális kereskedelmi vállalatok befolyása együttesen fontosabb tényezőnek számít, mint a fenntartható fejlődés. Az EU új tagállamaiban a lakosság viszonylag alacsony hajlandóságot mutat a helyi termékek vásárlására, ami tovább csökkenti a rövid ellátási láncok fejlesztésének lehetőségeit.

2. Az EU bioökonómiai stratégiája

Az EU-ban a biomassza alapú gazdaság első stratégiája 2002-ben készült „Élettudományok és biotechnológia stratégia Európa számára” címmel. A stratégia három területre összpontosít: (1) kutatást, fejlesztést és szakképzést célzó befektetések; (2) a szabályozó irányelvek kölcsönhatásának erősítése és (3) a biomassza alapú gazdaság piaci környezetének és versenyképességének erősítése (European Commission, 2012). A 2002 óta eltelt időszakban a biomassza alapú gazdaság előkelő helyre került mind a nemzeti, mind a nemzetközi tervek rangsorában, miközben több tucat ország dolgozta ki saját stratégiáját. A sajátosságok és eltérő célkitűzések mellett egyes általános jellemző vonások e stratégiák többségében fellelhetők. Széles körű egyetértés van abban, hogy a gazdaságban a fosszilis alapú termelés helyét fokozatosan át kell vennie a biomassza alapú gazdaságnak, közismertebb nevén a bioökonómiának (Aguilar és szerzőtársai, 2013).

Természeténél fogva a **biomassza alapú gazdaság célja a megújuló biomassza fenntartható előállítása és felhasználása különböző bioalapú termékek – élelmiszer, takarmány, bioenergia és egyéb termékek – gyártásához**. A bioalapú nyersanyagokban rejlő új funkciók felfedezése, mint a hosszabb élettartam, nagyobb szilárdság, erősebb állóképesség, kevesebb mérgezőanyag, csökkenő nyersanyagfogyasztás stb. vonzóvá teszi a biomassza alapú gazdaság koncepcióját, ráadásul **számos olyan új, innovatív termék termelésére ad lehetőséget**, amely fosszilis eredetű nyersanyagok felhasználásával csak nehezen vagy egyáltalán nem állítható elő. **A biomassza alapú gazdaságban az élelmiszer és a takarmány előállítása prioritást élvez**, mert jelentősége jóval túlhaladja a pusztán gazdasági értéket, hiszen az **élelmiszer** nem csak egyszerű árucikk, hanem **élelmezésbiztonsági célokat szolgál**. Mindez összekapcsolódik az eredetileg élelmezés céljára használt mezőgazdasági földterületek egyéb célú (bioüzemanyag, rekreáció, természetvédelem stb.) felhasználásával és a pihentetett- vagy parlagterületek sorsának vitájával (Aguilar és szerzőtársai, 2018). **A biotechnológia alapvető szerepet játszik a biomassza alapú gazdaság folyamataiban, mivel a bioökonómia előnyeinek kiaknázásához innovatív technológiai fejlesztésekre van szükség** (Staffas és szerzőtársai, 2013), miközben a **bioenergia is kulcsszerephez juthat az energiabiztonság és az energiaforrások diverzifikációjának megvalósításában, valamint a klímaváltozás enyhítésében**.

A klímasemlegesség hosszú távú stratégiái vízióját „Tiszta bolygót mindenkinek” címmel tette közé 2018 novemberében az Európai Bizottság, amely 2050-ig a világon elsőként klímasemleges gazdaságot kíván kiépíteni az EU-ban (European Commission, 2018a; European Commission, 2019b). A hosszú távú stratégia terve arról szól, hogyan lesz képes az EU a 2015. évi párizsi klímapegállapodás végrehajtására fosszilis energiahordozóktól mentes gazdaságban. Az EU képes leválasztani az ÜHG-kibocsátást a gazdasági növekedéstől, ugyanis 1990 és 2017 között 22%-kal csökkent a CO₂-kibocsátás, miközben a GDP 58%-kal nőtt. **A klímasemleges gazdaság megvalósítása a következő hét stratégiai területen igényel együttes fellépést: energiahatékonyság; megújuló energiaforrások használata; tiszta, biztonságos és összekapcsolt mobilitás; versenyképes ipar és körforgásos gazdaság; infrastruktúra; biomassza alapú gazdaság és természetes szénelnyelők; CO₂-leválasztás és -tárolás a még fennmaradó ÜHG-kibocsátás kezelése érdekében**. A klímasemleges gazdaságra való áttérés mély társadalmi és gazdasági átalakulást követel meg egy generáció alatt. A gazdaság nettó zéró kibocsátásához a becslések szerint az EU-nak a GDP 2,8%-át (évente 520-575 milliárd eurót) kellene befektetnie a jelenlegi GDP arányos 2% helyett az energiarendszer és ahhoz kapcsolódó infrastruktúra korszerűsítésére. Ez a számítás nem tartalmazza a járműpark megújításának a költségeit. Az átállás a GDP 2%-ának megfelelő hasznót hozhat 2050-ig

dinamikusabb növekedés és munkahelyteremtés formájában (European Commission, 2018a; European Commission, 2019c).

A társadalom magatartásának megváltoztatásához adót kell kivetni az emisszió kibocsátására, például az ipar költözésének (szénszivárgás) megelőzésére karbonadó (importvám) bevezetése az EU határain. Az átállás költsége egy külön erre a célra létrehozandó pénzügyi alappal biztosítható. A nemzeti energia- és klímatervekben rögzített vállalások, így a megújuló energiaforrások növekvő részaránya és a javuló energiahatékonyság sem elégséges, ezért tagállamoknak emelni kell a kötelezettségvállalásukat annak érdekében, hogy az EU eleget tudjon tenni a párizsi klímakonferencián tett vállalásainak. Ezzel az EU-nak esélye lenne a klímasemleges (zéró nettó szénkibocsátású) gazdaság elérésére 2050-ben.

A Bizottság Magyarországhoz intézett ajánlásai szerint a megújuló energia részesedésének 2030-ra kitűzött 20%-os célértékét legalább 23%-ra kell növelni, a fűtési és hűtési ágazatban a célok szintjét is indokolt növelni. Részletes kifejtést igényelnek azok az egyedi intézkedések, amelyek biztosítják a biomassza-ellátás és -felhasználás fenntarthatóságát az energiaágazatban, tekintettel a biomassza jelentős részarányára a magyar energiafelhasználásban. A 2030-as energiahatékonysági célkitűzésének elérése érdekében is sokat kell tenni Magyarországon. Részletes elemzést igényel annak kifejtése, hogy az energiahatékonyság miként járul hozzá a versenyképes karbonszegény gazdaság nemzeti céljainak költséghatékony megvalósításához. Meg kell határozni a diverzifikációra és az energiatülszórás csökkentésére irányuló energiabiztonsági célkitűzéseket, beleértve a nukleáris- és tüzelőanyagok hosszú távú ellátását célzó stratégiát, különös tekintettel az atomenergia-termelési kapacitás bővítésére. Fel kell sorolni valamennyi energetikai támogatást, különösen a fosszilis tüzelőanyagok támogatását, valamint az utóbbiak fokozatos kivételére irányuló létező és tervezett intézkedéseket (European Commission, 2019a).

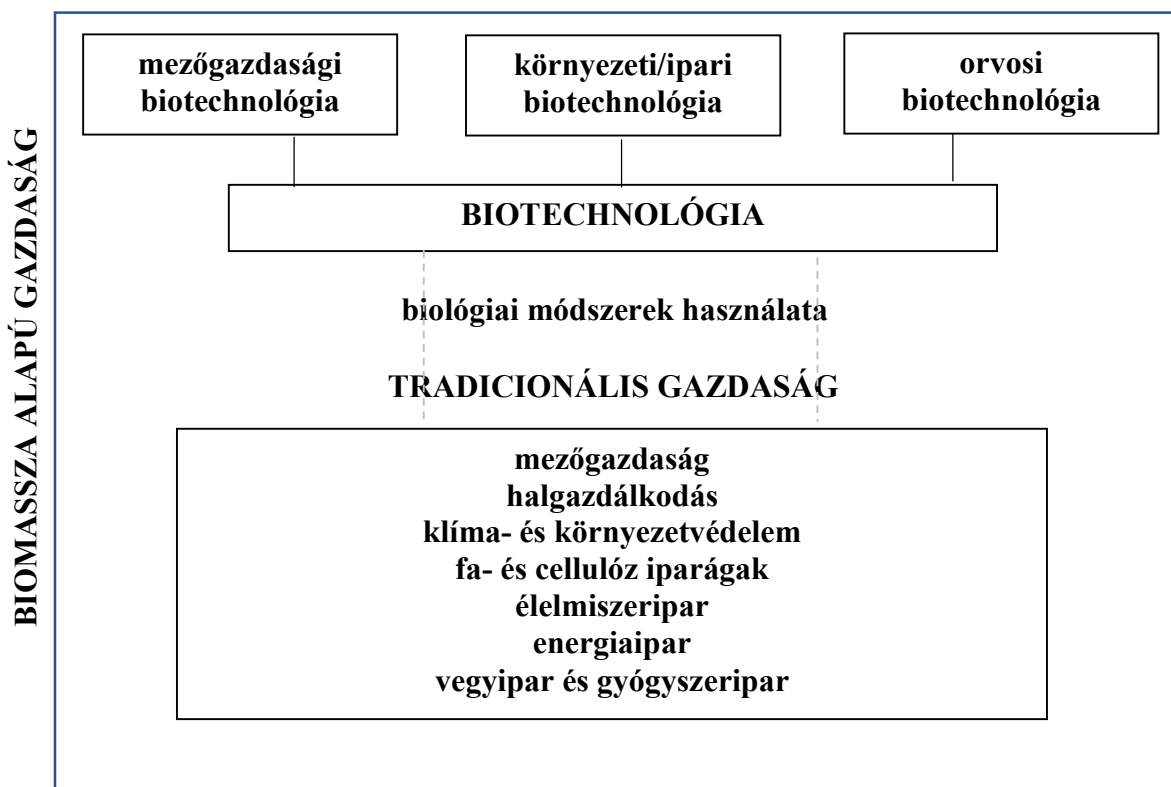
A biomassza alapú gazdaság stratégiájának 2017-es felülvizsgálata kiváló lehetőséget és lendületet biztosított az új politikai irányvonal számára, mert megerősítette a stratégia fő céljait és aktualizálta a tervet konkrét lépések megvalósításához (European Commission, 2017a). Világszerte a különböző biomassza alapú gazdaságról szóló stratégiák fejlesztésének fő jellemzője a sokszínűség. Nem létezik átfogó, minden országra szabható biomassza alapú gazdasági modell, mert az éghajlat, a biomassza elérhetősége, a diverzifikált mezőgazdasági és erdőgazdálkodási termelési módok határozzák meg a biomassza alapú gazdaság irányát és fejlesztését (Egea, 2018).

2.1. Fenntarthatóság és körforgás

A Föld növekvő népessége, a gazdaság, ezzel együtt a jövedelmek folyamatos növekedése egyre nagyobb keresletet támaszt a természeti erőforrások, az élelmiszerek és az energia iránt. A biorégiókról szóló Lodzi Nyilatkozat kiemelte, hogy sürgős válaszokat kell adni a társadalmi problémákra a biomassza alapú gazdaság bevezetésével, vagyis a bioalapú termékek (beleértve az élelmiszert, energiát, vegyipart és egyéb bioterméket) előállításával (Lodz Declaration of Bioregion, 2016; Bugge és szerzőtársai, 2016). E változások várható hatékonyságát számos ellentétes vélemény övezi (Pfau és szerzőtársai, 2014). Bár a biomassza alapú gazdaság megoldást jelenthet a klímaváltozással kapcsolatos problémákra, a környezetvédelem és a klímaváltozás hatásaira még mindig túl kevés figyelmet fordítunk a természeti erőforrások kutatása esetében (Bugge és szerzőtársai, 2016).

A fenntarthatóság kötelezettség, de egyben lehetőség is az EU számára (European Commission, 2016). Az EU már jelenleg is vezető szerepet tölt be a világban a természetes nyersanyagok felhasználásában a fenntartható fejlődési cél elérése érdekében. A fenntartható biomassza alapú

gazdaság fejlesztése munkahelyeket hoz létre, különösen a tengerparti és mezőgazdasági régiókban a biomassza alapú gazdaság növekvő szerepének köszönhetően. A biotechnológia szektor vezető szerepet játszik majd ebben a folyamatban. A biomassza alapú gazdaság általánosan az élelmiszer- és energiaellátás biztosításával a klímaváltozási és környezetvédelmi, valamint számos társadalmi és kulturális problémát magába foglaló összetett fogalom. De ide tartoznak a tradicionális gazdasági szektorok is (3. ábra).



3. ábra: Biomassza alapú gazdaság fogalma

Forrás: Woźniak és Twardowski (2018)

Világszerte számos bioalapú iparág óriási energiát fektet a körforgásos gazdálkodás előnyeinek (újrahasznosítás, biológiai úton való lebomlás) kiaknázásába. Az EU is bevezette a körforgásos gazdaságról szóló intézkedéscsomagot, amely a hulladékgazdálkodással kapcsolatban átgondolt jogalkotási javaslatokat tartalmaz, ezzel felgyorsítva a körforgásos gazdálkodásra való átállást a globális versenyképesség javítása érdekében. Mindez elősegíti a fenntartható gazdasági növekedést és új munkahelyeket teremt (Circular Economy Strategy, 2015). **A körforgásos biomassza alapú gazdaság fogalmának három alkotóeleme: megújuló nyersanyagforrás, termék és fogyasztás.** Ez a folyamat nem csak a biomassza alapú gazdaságra, hanem tágabb értelemben a tradicionális gazdaságra is vonatkozik. **A biomassza alapú gazdaság és a körforgásos gazdaság egymást kiegészítve erősítik a fenntartható fejlődést** (Patermann, 2016).

A **fenntartható biomassza alapú gazdaság** az alábbi változásokkal kínál megoldást a fenti problémákra (Bell és szerzőtársai, 2018):

- A természeti erőforrások megőrzése, a körforgásos gazdaság létrehozása és a biohulladék nyersanyagként való felhasználása a fenntartható biomassza termelés segítségével.
- Az élelmiszer, a mezőgazdaság, valamint az édesvízi és tengeri halászat rendszerszintű megközelítése az élelmiszerpazarlás csökkentése és az egészséges, fenntartható étrendek kialakítása érdekében.

- Az élelmiszerpazarlás és a szűkülő természeti erőforrások tudatosítása a fogyasztók gondolkodásában a fenntarthatóbb fogyasztói minták kialakításával.
- A fenntartható, kisebb ökológiai lábnyommal rendelkező termékek vásárlásának ösztönzése.
- A CO₂-kibocsátás és fosszilis üzemanyagfelhasználás csökkentése a nyersanyag/építőipar/vegyipar szektoraiban (az ÜHG-kibocsátás 40%-ért felelős) a biomassza nyersanyagként való felhasználásával.
- Új munkahelyek és magasabb életszínvonal megteremtése a vidéki és tengerparti régiókban, új értékláncolatok létrehozása a biomassza alapú nyersanyagok innovatív módon történő hasznosítására.
- Versenyképes, körforgásos és fenntartható gazdaság kiépítése a fosszilis eredetű szénfelhasználás függőségének fokozatos megszüntetésével.

2.2. Versenyképes és klímasemleges zöldgazdaság

Az EU a globális ÜHG-kibocsátás 10%-áért felelős, de célja a nulla nettó ÜHG-kibocsátás elérése 2050-ig. A 189 ország által ratifikált Párizsi Megállapodás gyors globális fellépést sürget az ÜHG-kibocsátás csökkentése érdekében, hogy a globális hőmérséklet-emelkedés jóval 2°C alatt maradjon, sőt 1,5°C-ra korlátozódjon. A hőmérséklet-emelkedés 1,5°C-ra történő korlátozása érdekében 2050-ig világszinten nulla nettó CO₂-kibocsátást kell elérni, később valamennyi más ÜHG tekintetében is. Az ÜHG-kibocsátás több mint 75%-ért felel az energia, ezért központi szerepet játszik a nulla nettó ÜHG-kibocsátású gazdaságra való átálláshoz. 1990-2016 között az energiafelhasználás közel 2%-kal, az ÜHG-kibocsátás pedig 22%-kal csökkent, ugyanakkor a GDP 54%-kal növekedett (European Commission, 2018a). Az épületek jelenleg az energiafogyasztás 40%-át teszik ki, ezek nagy része 2050-ben is létezni fog, ezért nagyobb arányú épületfelújításokra és fejlett szigetelőanyagokra, megújuló energiára (zöld villamosenergia és gáz, zöld távfűtés stb.) történő átállásra és intelligens otthonok/berendezések irányítási rendszereinek elterjedésére van szükség. Ez pozitívan fog hatni az EU kereskedelmi és geopolitikai helyzetére, mivel folyamatosan megszűnik a fosszilis tüzelőanyagok behozatala (European Commission, 2018a).

A vegyipar által már régóta használt hidrogén szerepe a CO₂-mentes energiarendszerben várhatóan még fontosabb lesz, mert hozzájárulhat különböző ágazatok dekarbonizációjához. Az energiatárolásban játszhat fontos szerepet az ingadozó teljesítményű megújuló energiaforrások kezelése céljából, de energiahordozóként is felhasználható a hűtés, közlekedés és az ipar területén, végezetül alapanyagként is szolgálhat, például az acél- és vegyipar, valamint az e-üzemanyagok esetében, ahol a legnehezebb a dekarbonizáció. Hátránya viszont, hogy előállítása energiaigényes folyamat. Az ipari termeléssel összefüggő CO₂-kibocsátás kiiktatása bonyolult feladat, de csökkentésére léteznek már lehetőségek. A CO₂ leválasztható, tárolható és felhasználható. A fosszilis tüzelőanyagok helyett a megújuló energiaforrásokból származó hidrogén és a fenntartható biomassza alapanyagként szolgálhat számos ipari folyamathoz, például az acélgyártáshoz és számos vegyipari alapanyag előállításához. Az ipar területén a szén-dioxid-leválasztás és -tárolás (Carbon Capture and Utilisation: CCU) során a CO₂-t leválasztják, majd új terméké alakítják át. Példa erre az e-üzemanyag, ahol a tüzelőanyag égésekor a CO₂ ismét felszabadul, felváltva a fosszilis tüzelőanyagokból származó kibocsátást. Más CCU-termékek, pl. a műanyagok és építőanyagok hosszú ideig tartalmazzák megkötve a CO₂-t (European Commission, 2018a).

2.3. A biomassza alapú gazdaság szerepe

2050-re a jelenlegi helyzethez képest 25%-kal fog növekedni a népesség létszáma, miközben az éghajlatváltozás befolyásolja a globális földhasználatot és az ökoszisztémákat. Az EU-ban a mezőgazdaságnak és az erdészetnek elegendő élelmiszert, takarmányt és rostanyagot kell előállítani az energia-, építőipari- és egyéb ipari ágazat számára. A fenntartható biomassza fontos szerepet játszik a nulla nettó ÜHG-kibocsátású gazdaság megteremtésében. A biomassza közvetlenül képes hőt szolgáltatni, de bioüzemanyag és biogáz előállítására is alkalmas. Energiatermelés során kibocsátott CO₂ leválasztható, így tároláskor negatív kibocsátás keletkezik, továbbá helyettesítheti a nagy CO₂-kibocsátással járó anyagokat, különösen az építőiparban, de fenntartható bioalapú termékek, mint a biokémiai termékek (pl. textiltermék, bioműanyag és kompozit) révén is.

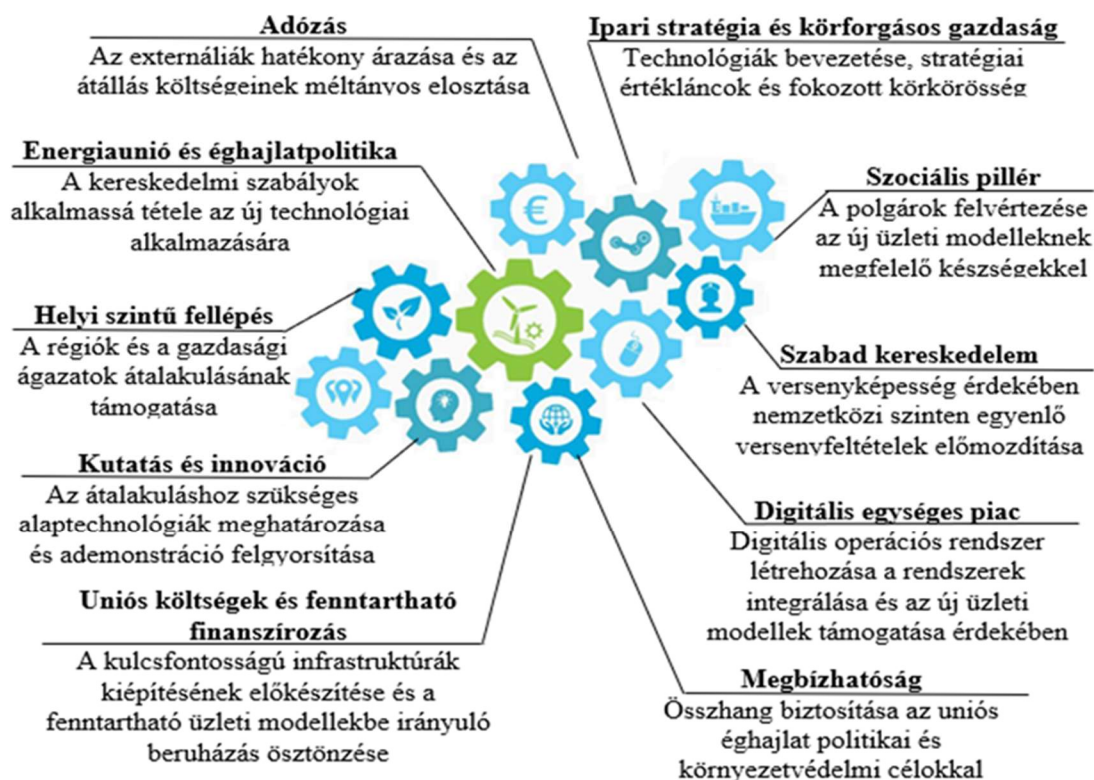
A nulla nettó CO₂-kibocsátású gazdaság a jelenlegi fogyasztáshoz képest nagyobb mennyiségű biomasszát igényel. 2050-re az energiafogyasztásban a 2018. évi 18%-ról 100%-ra nő a megújuló energia fogyasztása. A biomassza-termelés növekedését több forrás kombinációjával kell elérni a természetes szénnyelő (szénlekötő) erdő fenntartása, sőt növelése mellett. A mezőgazdasági termeléssel mindig együtt fog járni a CO₂ mellett egyéb üvegházhatású gázok kibocsátása is, de ezek mennyisége a hatékony és fenntartható termelési módszerek alkalmazásával jelentősen csökkenthető 2050-re. **Az innováció egyre fontosabb szerepet fog kapni, többek között a digitalizáció és az intelligens technológia valamint a precíziós gazdálkodás.** A mezőgazdaságban komoly potenciál rejlik a szén megkötése és tárolása tekintetében, ugyanis a talajban található szénkészlet növelhető direktvetéssel és takarónövények használatával, ezáltal csökkentve a talajbolygatást és a talajeróziót. A talajjal összefüggő CO₂-kibocsátás szempontjából még mindig kritikus tözeges területek és vizes élőhelyek helyreállításával is drasztikusan csökkenthető az emisszió-kibocsátás. Erdőtelepítéssel és a leromlott erdőterületek helyreállításával tovább növelhető a CO₂-leválasztás és -tárolás, a biológiai sokféleség, a talaj és a vízkészletek védelme, valamint a biomasszaállomány. Ezen eredmények elérésében fontos szerepet játszanak a mezőgazdasági termelők és az erdészek, akiket indokolt ösztönözni és támogatni ebben. A szénelnyelés és CO₂-kibocsátás csökkentése egyformán fontos, természetes szénelnyelőként pedig az erdő és a talaj, valamint a mezőgazdasági földterület és a part menti vizes élőhely fenntartása, további növelése játszik szerepet (European Commission, 2018a).

A mezőgazdasági termelők egyre inkább erőforrások és alapvető nyersanyagok szolgáltatói lesznek. A körforgásos biomassza alapú gazdaság pedig új üzleti lehetőségeket kínál. A fás biomassza iránt mutatkozó új kereslet a mezőgazdasági vállalkozások további diverzifikációját eredményezheti. Új lehetőségeket kínál az elhagyott (marginális) földterületek újbóli megművelésére vagy földhasználat-változásra a bioüzemanyagipar nyersanyagainak előállítása. **A biomassza alapú gazdaság növekedését azonban korlátozza a rendelkezésre álló földterület nagysága.** A szűkös földterületet és az egyéb természeti erőforrásokat indokolt a legjobban hasznosítani a biomassza hatékony és fenntartható felhasználásával. A termőföldre nehezedő nyomás enyhítésében kimagasló szerepet játszik a vízi és tengeri erőforrások termelékenységének javítása. Ide tartozik például az algák és egyéb új fehérjeforrások (békalencse, krill, halliszt stb.) előállítása és felhasználása.

Továbbra is szükség van a CO₂-leválasztásra és -tárolásra, különösen az energiaigényes iparágakban és az átmeneti időszakban a CO₂-mentes hidrogén előállításához. Erre akkor is szükség lesz, ha a biomassza alapú energiából és az ipari növényekből származó CO₂-kibocsátást kell leválasztani és tárolni a negatív kibocsátás elérése céljából. A fosszilis tüzelőanyagokon alapuló mai technológiák valószínűleg 2050-ben is működnek még, ezért a CO₂-kivonó technológiák bevezetése növeli az uniós stratégia hitelességét hosszú távon. A

CO₂-leválasztás és -tárolás még nincs kereskedelmi szakaszban, megvalósulásához sokkal több kutatásra, innovációra van szükség, ráadásul új infrastruktúrát, többek között szállítási és tárolási hálózatot is igényel (European Commission, 2018a).

A lehetőségek megvalósítása számos tényezőtől függ, például attól, hogy milyen gyorsan valósul meg a kezdeti bevezetés vagy az új technológiák társadalmi elfogadottsága. Továbbá célszerű megfelelő szakpolitikával és szabályozással elősegíteni e változás ösztönzését. Az energiaunió létrehozására irányuló munkára építve indokolt figyelembe venni a meghatározó tendenciákat, így az éghajlatváltozást, a környezetet, a digitalizációt, a lakosság elöregedését és az erőforrás-hatékonyságot (4. ábra).



4. ábra: Keretprogram a biomassza alapú gazdaságra való áttéréshez

Forrás: European Commission (2018a)

Az uniós gazdaság dekarbonizációja további befektetést fog ösztönözni. Jelenleg a GDP mintegy 2%-ának megfelelő összegű befektetés irányul az energiarendszerre és ahhoz kapcsolódó infrastruktúrára. A nulla nettó ÜHG-kibocsátású gazdaság eléréséhez ezt az arányt 2,8%-ra (azaz éves szinten mintegy 520-575 milliárd EUR-ra) kell növelni. Ez évi 175-290 milliárd EUR nagyságrendű további beruházásokat jelent az alapforgatókönyvhöz képest. A körforgásos gazdaságra történő gyors áttérés és a társadalmi magatartás változása esetében csökkenthető a további beruházások szükségessége. Ugyanakkor jelentős mértékű egészségügyi költség takarítható meg, ha figyelembe vesszük, hogy az EU-ban a légszennyezés éves szinten mintegy félmillió idő előtti halálesetért felelős. A szennyezés fő forrásai a fosszilis tüzelőanyagok, az ipari termelés, a mezőgazdaság és a hulladékgazdálkodás. Ezek a tevékenységek egyben az ÜHG-kibocsátás fő forrásai is (European Commission, 2018a).

A nulla nettó ÜHG-kibocsátású gazdaság megvalósítása a légszennyezés elleni intézkedéseken túl több mint 40%-kal csökkenti a finomreszecskek által okozott idő előtti halálesetek számát is, valamint évente 200 milliárd EUR-val az egészségkárosodással járó kiadásokat. A finomreszecskek többnyire fosszilis tüzelőanyagok égésekor keletkező mikroszkopikus

porszemek. A légszennyezettség jelenleg az első számú egészségkárosító környezeti kockázat. A légszennyezettség ellen vívott harc egyben küzdelem a klímaváltozás és a zajártalom ellen. A szennyezés okozta betegségek a fejlett országok egészségügyi kiadásainak 1,7%-át emésztik fel, az alacsony és közepes jövedelmű országok esetében akár a 7%-át is. Komolyabb beavatkozás nélkül a légszennyezés haláleseteinek száma 50%-kal nőhet 2050-re. A szóban forgó beruházások többsége a magánvállalkozások és a háztartások feladata lesz, ezért elengedhetetlen, hogy a bioökonómia jövőjének megtervezésében az érintettek átlátható módon részt vegyenek (European Commission, 2018a).

2.4. Gazdasági és társadalmi hatások

Európa gazdasága és társadalma a nulla nettó CO₂-kibocsátásra való átállás nélkül is más lesz 2050-ben, mint ma. A demográfiai előrejelzések szerint az EU-ban a társadalom jelentősen öregszi, ami a költségvetés fenntarthatóságát is befolyásolja. Megkönnyíti a gazdaság átállását, ha a népesség az EU-ban felkészültebb lesz az infokommunikációs technológiákkal való munkavégzésre. A nulla nettó ÜHG-kibocsátás várhatóan mérsékelt-pozitív hatással lesz a GDP-re. Az ipari modernizációba, az energiaipar átalakulásába, a körforgásos gazdaságba, a tiszta közlekedésbe, a zöld és kék infrastruktúrába valamint a biomassza-alapú gazdaságba irányuló további beruházások új és magas színvonalú foglalkoztatási lehetőségeket fognak teremteni.

Az építőipari, mezőgazdasági, erdészeti és megújuló energia ágazatokban eddig is nőtt a munkahelyek száma, ugyanakkor több ágazatban nehézséget okozhat az átállás, különösen azokban a régiókban, ahol a gazdaság a jövőben hanyatló vagy átalakuló tevékenységektől, így például a szénbányásztól, vagy a kőolaj- és földgázfeltárástól függ. Az energiaigényes iparágakban, mint az acél-, a cement- és a vegyiparban, valamint az autógyártásban új készségeket igénylő, új gyártási folyamatokra térnek át, ami kihívást jelent a fentebb felsorolt ágazatoktól gazdaságilag függő régiók számára, elsősorban az alacsonyabb jövedelmű közép- és kelet-európai tagállamokban. A változás kezeléséhez figyelembe kell venni, hogy az EU-ban csökken és elöregszi a munkaerő, ráadásul a digitalizáció és az automatizálás egyre több munkaerőt vált ki. A vidéki területeken a mezőgazdasági és az erdészeti ágazat a növekvő munkaerő-kereslet kielégítéséhez elegendő képzett munkaerőt igényel, annak ellenére, hogy a vidéki népesség aránya és létszáma csökken. Ezek a kihívások növelhetik a társadalmi és regionális különbségeket az EU-ban és akadályozhatják a dekarbonizációs törekvéseket.

A karbonsemleges gazdaságra való átállás nem csak technológia és munkahely kérdése, ugyanis csak akkor lehet sikeres, ha a társadalom magáévá teszi a változást, részt vesz benne és megtapasztalja az előnyöket. A fogyasztók érdemben előmozdíthatják ezt a folyamatot, ha fenntartható megoldásokat választanak. Hosszú időre meghatározza a szénlábnyom alakulását, hogy az egyének milyen házat, járművet, háztartási készüléket és berendezést vásárolnak, valamint melyik energiaszolgáltatót választják. A személyes életmódra vonatkozó döntések valódi változást hozhatnak az életminőség javítása mellett. A szabályozás, a vállalati társadalmi felelősségvállalás és a társadalmi trendek kölcsönösen erősíthetik egymást, amit például az uniós energiacímkézési rendszer sikere is bizonyít. A városok is keresik a fenntartható megoldásokat, így a városfelújítás és területrendezés – ideértve a zöldterületeket is – jelentős mértékben ösztönözheti az embereket arra, hogy felújítsák házaikat és újra a munkahelyükhöz közeli lakóhelyet válasszanak az életkörülmény javítása, az utazási idő és ehhez kapcsolódó stressz csökkentése érdekében. Az emberek védelme az éghajlatváltozás káros hatásaival szemben vagy a tartós állami infrastruktúra létesítése a szélsőséges(ebb) időjárási jelenségek ellen szintén elengedhetetlen feladat, ebben a régiókra és a városokra egyaránt támaszkodnia kell az EU-nak.

Arra is fel kell készülni, hogy az alacsony CO₂-kibocsátású gazdaságra való átállás geopolitikai és földrajzi-gazdasági változásokkal jár, mint a fosszilis tüzelőanyagokról a megújuló energiára való átállásból vagy éghajlatváltozásból eredő új függőségi viszonyok kialakulása. Az EU energiabehozatalra szorul, ugyanakkor világviszonylatban a feldolgozóipari termékek és szolgáltatások legnagyobb exportőre. A feldolgozóipari ágazatokban – például a vegyipar, a gépipar és a közlekedési berendezések területén – az EU a világ legfontosabb exportőrei közé tartozik, de egyidejűleg a globális értékláncokba teljes mértékben integrálódott importőr is. Az EU a világ legnagyobb egységes piaca, ahol szigorú környezetvédelmi előírások vonatkoznak a termékekre, amelyek hatásai az EU határain túl is érvényesülnek. A globalizáció előfeltétele annak, hogy az EU hazai és globális szinten is élvezhesse a tiszta energiára való átállás előnyeit, például a megújuló energia előállításához, az elektromos közlekedéshez és a digitális berendezésekhez szükséges kritikus nyersanyagok, szabadalmak esetében. Az EU továbbra is nyitott az éghajlatbarát beruházások és kereskedelem iránt, miközben biztosítani kell a partnerországok piacaihoz, infrastruktúrájához és kritikus nyersanyagaihoz való hozzáférést is. A tisztességes kereskedelem hozzájárulhat az éghajlatbarát technológiák széles körű elterjedéséhez világszerte.

3. A biomassza globális termelésének és felhasználásának alakulása

E fejezet a biomassza globális kínálatának és -keresletének átfogó vizsgálatával foglalkozik, különös tekintettel a bioenergia előállítás alakulására. Az elemzés kiterjed a biomassza nem élelmiszer célú felhasználási prioritásainak meghatározására, ahol az élelmezésbiztonság továbbra is elsőbbséget élvez a bioalapú vegyipari és egyéb alapanyagok, valamint a biomassza alapú energia termelésével szemben. A biomassza alapú értéklánc tanulmányozása nélkülözhetetlen a biomassza felhasználásának rangsorolása érdekében.

3.1. A biomassza szerepe az élelmezés- és környezetbiztonságban

2019-ig több mint 50 ország dolgozott ki stratégiát a biomassza alapú gazdaság piaci bevezetéséről még több élelmiszer, takarmány, energia és egyéb bioalapú termékek előállítása érdekében kevesebb inputanyag felhasználásával csökkenő ÜHG-kibocsátás és növekvő ökoszisztéma-szolgáltatás mellett (European Commission, 2018a). A globális gazdaság elsősorban szénre, földgázra és kőolajra épül, hogy villamos energiát, hőt, vegyszert, üzemanyagot és energiát termeljen. A fosszilis tüzelőanyagok alternatívája a mezőgazdasági, erdészeti és tengeri forrásokból származó biomassza (EURACTIV, 2011). Ez azt jelenti, hogy a feldolgozóipar versenyez az alapanyagokért, elsősorban az élelmiszer-, takarmány- és rostnövényekért, ugyanakkor az élelmiszer, a takarmány és egyéb bioalapú alapanyagok piacának kölcsönös függőségét is figyelembe kell venni a földhasználat és az ÜHG-kibocsátás tükrében. A biomassza alapú alapanyagok növekvő felhasználása befolyásolja a globális élelmiszer-, takarmány- és rosttermelés alakulását, ezzel párhuzamosan növeli a mezőgazdaság részesedését a GDP-ben (Popp és szerzőtársai, 2020).

A világ élelmiszerellátása és a fosszilis erőforrások helyettesítése hatalmas kihívás, mivel a globális földterület és a biomassza kínálata korlátozott. A Föld felszínének csupán 22%-a (ebből 18%-ot a szárazföld és 4%-ot az óceán tesz ki) termékeny. 2050-ig a globális népesség mintegy 25%-kal, bővül, miközben az élelmiszerek iránt mutatkozó igény 60%-kal nő (FAO, 2017). Ezen túlmenően a világ népességének 33%-a túlsúlyos, ebből 30% elhízott. Ezzel szemben 800 millió ember alultáplált a kalória hiány és 2 milliárd ember a mikrotápanyag-hiány miatt (van den Born, 2014). Az étrendváltás nagyobb hatással lesz a földhasználatra, mint a népesség növekedése. A jelenlegi étrend nem egyeztethető össze az erőforrások fenntartható használatával. Például a hústermelés hatszor annyi földterületet igényel ugyanannyi kalória (energia) előállításához, mint a gabonatermelés, mert az állattenyésztésben a takarmány transzformációs hatékonysága alacsony. A hústermelés ma a globális mezőgazdasági terület 70%-át hasznosítja (van Zanten és szerzőtársai, 2016).

A fosszilis tüzelőanyagok 19 milliárd tonna fosszilis eredetű szenet tartalmaznak, ezzel szemben a globális mezőgazdaság 7 milliárd tonna bioszenet termel (Kircher, 2012). Ez azt jelenti, hogy a bioszén előállítását 2,5-szeresére kell növelni, hogy fedezze a felhasznált 19 milliárd tonna fosszilis eredetű szenet (Tvaronavičienė és szerzőtársai, 2018). Nem szabad elfelejtenünk, hogy a mezőgazdaság, az erdőgazdálkodás és a halászat nagymértékben függ az ökoszisztémától, a biodiverzitás pedig óriási gazdasági jelentőséggel bír. Például a rovarok központi szerepet játszanak a növények beporzásában és a természetes tápanyag körforgásában. Ezért a biomassza ipari felhasználását olyan célokra indokolt korlátozni, ahol nincs alternatíva a bioszénrel szemben. A biomassza nagyrészt kihasználatlan marad, nem csak az EU-ban, hanem világszerte is. A biomassza alapú energia termelésére vonatkozó becslések 2050-re évi 100-1 500 exajoule (EJ) közötti értékről szólnak (EJ=24 millió tonna olajegyenérték). Más modellekben az előrejelzések szerint a bioenergia előállítása 2100-ban 150-400 EJ nagyságrendű lesz (Popp és szerzőtársai, 2018c). A biomassza energia- és szén-sűrűsége

alacsonyabb a fosszilis erőforrásokénál, de a biomassza alkalmas hő és villamos energia, valamint bioüzemanyag és bioalapú kemikália előállítására. Ma a biomassza a világ energiaellátásának 10%-át, a közúti közlekedésben felhasznált bioüzemanyag 3-4%-át és a vegyipari alapanyagok 10-13%-át adja (BIO, 2020).

A biomassza elsősorban az élelmiszer, a takarmány, a bioenergia (szilárd és folyékony), valamint vegyipari és egyéb alapanyagok előállításában játszik fontos szerepet. A biomassza a globális végső energiafogyasztás 13%-át teszi ki (az egyéb megújuló energia további 5%-ot ad hozzá a teljes végső energiafogyasztáshoz). Összességében a bioenergia aránya az elmúlt két évtizedben stabil maradt globális szinten, ugyanakkor a modern megújuló energia felhasználása alacsony szintről indulva gyorsan emelkedett az 1990-es évek második felétől kezdve. Ez azt jelenti, hogy a modern megújuló energia termelése gyorsabb ütemben bővül, mint a biomasszára alapozott bioenergia előállítása. A megújuló energiaforrások, például a nap-, szél-, víz- és geotermikus energia az atomenergiához hasonlóan CO₂ semleges, ezért kiemelt szerepe van a gazdaság „szénmentesítési” folyamatában. A szerves vegyipar 550 millió tonna kemikáliát és 275 millió tonna nitrogén műtrágyát termel, habár az előállított vegyi anyagok csak 500 millió tonna szenet tartalmaznak, a felhasznált biológiai eredetű alapanyagok széntartalma pedig további 100 millió tonnát tesz ki (Levi és Cullen, 2018). Jelenleg a bioüzemanyag és bioalapú kemikália előállításában a cukor, a keményítő és a növényolaj dominál, de ezen alapanyagok termelése korlátozott; ezért a nyersanyagportfólió bővítésére van szükség, beleértve az etanol, bioalapú felületaktív anyagok, oldószerek, aromák, agrokemikáliák, biopolimerek előállításához felhasznált biomassza melléktermékeit (pl. lignocellulóz, fűrészpor) is (Kircher, 2017). Továbbá indokolt javítani a biomassza feldolgozásának hatékonyságát is a kaszkád, többlépcsős hasznosítás és újrahasznosítás érdekében. Hosszú távon a szénforrás ellátási láncban a fosszilis erőforrások csökkennek és a biológiai eredetű erőforrások (kukorica, búza, szója, cukorrépa és cukornád, pálmaolaj) növekednek. A bioalapú termékek fejlesztését a fenntartható termékek iránt mutatkozó fogyasztói igények és a fosszilis energiahordozóktól való függőség csökkentése vezérli.

Számos biokémiai termék versenyképessé vált, így befektetési lehetőségeket kínál világszerte. Jelenleg az EU vegyiparának nem energetikai célú nyersanyag-felhasználásának 90%-a fosszilis erőforrásokból származik és csupán 10%-a megújuló szénforrásokból. Az európai vegyiparnak radikális szerkezetváltásra van szüksége, mert csak a megújuló nyersanyagok felhasználásának növelésével tudja vezető szerepét megőrizni a globális versenyben. Az új bioalapú termékek fejlesztése az alacsony olajárak miatt lelassult. A versenyképességet a kőolaj és a biomassza árszintje befolyásolja. Az anyagáram felhasználásának hatékonysága meghatározza a biomassza feldolgozásának gazdasági és ökológiai értékét. A bioszén ára alacsonyabb, mint a fosszilis eredetű széné, de a bioalapú anyagok feldolgozási költsége viszonylag magas. A fosszilis tüzelőanyagokat és az alapvető vegyi alapanyagokat a kőolaj finomításával állítják elő nagyon magas széntartalom és alacsony munkaerő-intenzitás mellett. Ezzel szemben a biomassza több feldolgozási lépést igényel magasabb költség és munkaerő-szükséglet kíséretében, erre jó példa a bioetanol előállítása (Popp és szerzőtársai, 2020).

Az élelmiszerláncra jut az energiafogyasztás 30%-a és az ÜHG-kibocsátás 30%-a, miközben a világ élelmiszertermelésének csaknem egyharmadát teszi ki az élelmiszer-pazarlás (élelmiszerveszteség és -hulladék együtt). 2017-ben az EU célul tűzte ki, hogy 2030-ig 50%-kal csökkenjen az élelmiszer-pazarlás. Az élelmiszerveszteség és -hulladék értéklánc társadalmi, gazdasági és környezeti előnyöket kínál, mivel abból jövedelmező, megújuló nyersanyagok állíthatók elő innovatív termékek gyártásához. A biomassza alapú gazdaságra jellemző tiszta technológiák mellett a precíziós mezőgazdaság kitüntetett szerepet játszhat a fenntarthatóságban az inputok minimalizálásával és az outputok maximalizálásával. Az élelmiszerbiztonság továbbra is kiemelt prioritás marad. Az élelmiszernövények nem

élelmezési célú felhasználását a terméspotenciál növelése, az élelmiszerveszteség és -hulladék csökkentése, valamint a csökkenő input (energiaigény) határozza meg. Mivel a biomassza alapú gazdaság által előállított termékek sikere a társadalmi elfogadottságtól függ, a bioalapú termékek piaci bevezetését tanúsítások, jelölés (címkézés) és oktatási kampányok segítségével indokolt támogatni (Popp és szerzőtársai, 2020).

A közlekedési ágazatra jut a teljes végső energiafogyasztás egyharmada és az energiához kapcsolódó globális CO₂-kibocsátás 23%-a. A kőolaj több mint 50%-át a közlekedés használja fel, ahol a kőolajon alapuló üzemanyag-felhasználás aránya 96%, míg a bioüzemanyag aránya csak lassan bővül, pedig a megújuló energiaforrások növekvő felhasználása kiemelt prioritást élvez a közlekedési ágazat szénmentesítésében. Az is igaz, hogy a zöld villamosenergia (nap- és szélenergia) termelése felgyorsult az utóbbi években, ez pedig hozzájárulhat a megújuló energiával üzemelő elektromos gépjárművek elterjedéséhez (Simionescu és szerzőtársai, 2017). A folyékony bioüzemanyagok kerültek a figyelem középpontjába, pedig a biomassza elenyésző hányadát használják fel bioüzemanyag előállításra. Ezenkívül az EU és az USA korlátozza az élelmiszernövényekből előállított biohajtóanyag bekeverését a fosszilis üzemanyagba. Noha a globális szántó- és ültetvényterület mintegy 2%-a szolgálja a bioüzemanyag-ipar nyersanyag termelését, az „üzemanyag versus élelmiszer” vita mégis azt mutatja, hogy az ipari célokra felhasznált biomassza érzékeny kérdés maradt a társadalomban. Ugyanakkor a bioüzemanyag-gyártáshoz szükséges néhány alapanyag (pl. kukorica, olajnövény és cukornád) a globális termelés jelentős részét teszi ki, mivel a takarmánygabona 10%-át, a cukornádtermelés 20%-át használja fel az etanolipar, valamint a növényolajtermelés 12%-át a biodízelipar. Hozzá kell tenni, hogy a bioüzemanyag-gyártás nyersanyagának egy része melléktermékként, azaz takarmányként (szója- és repcedara, a szárított gabonatörköly oldható anyagokkal (Distillers Dried Grains with Solubles: DDGS)) visszakerül az állattenyésztéshez, így az energianövények globális nettó földhasználata mintegy 0,5%-ponttal csökken, így a globális nettó szántó- és ültetvényterület mindössze 1,5%-át köti le a bioüzemanyaggyártás. A cellulózalapú folyékony biohajtóanyag piaci bevezetése még várat magára.

2019-ig mintegy 50 ország vezetett be emisszió-kereskedelmi rendszert, az ÜHG-kibocsátás több mint 20%-át képviselik. Az európai emisszió-kereskedelmi rendszerben a CO₂-kibocsátás ára tonnánként 4 euróról 25 euróra nőtt 2017 és 2019 között (Market Insider, 2020). Németország klímavédelmi csomagot fogadott el 2019-ben, ennek értelmében 2021-től a nehézipar mellett a közlekedési ágazatra és az építőiparra is kiterjesztik az emisszió-kereskedelmi rendszert. A CO₂-kibocsátás problémáinak megoldásához elengedhetetlen a globális emisszió-kibocsátási árak bevezetése. Az éghajlatváltozás negatív hatással lesz az élelmiszertermelésre, sőt a mezőgazdaság is jelentősen hozzájárul az éghajlatváltozáshoz, ezért indokolt áttérni a környezetkímélő mezőgazdasági termelésre, ezzel együtt a fogyasztói magatartás befolyásolására (túltápláltság és túlzott húsfogyasztás) az ÜHG-kibocsátás csökkentése érdekében. Az élelmezés- és táplálkozásbiztonság magában foglalja a kínálati és a keresleti oldalt egyaránt. az élelmiszer-pazarlás mérséklése és az egészségesebb étrendre való átállás csökkenti a földhasználatra és egyéb természeti erőforrásokra nehezedő nyomást (Popp és szerzőtársai, 2020).

Az energia- és vegyiparban alkalmazott biotechnológiai innováció hozzájárult a fosszilis tüzelőanyagoktól való függőség csökkentéséhez, ez pedig pozitív hatással volt a környezetre. A növénynevelés egyre nagyobb szerepet játszik a magasabb fajlagos termés hozam elérésében. A vetőmagelőállítás, a növényvédelem, a talajművelés, a betakarítási és tárolási technológiai fejlesztése jelentősen csökkentheti az élelmiszerlánc veszteségeit. A biomassza alapú gazdaság és a körforgásos gazdaság integrálja a körforgás gazdaság ökonómia és a biomassza alapú gazdaság fenntarthatósági szempontjait. A különböző biomassza alapú

gazdaságok nemzetköziesítése kiemelt prioritást élvez a körforgásos gazdaság kialakításában (Aguilar és szerzőtársai, 2018).

Először a biomassza termelés és -felhasználás alakulását ismertetem, majd a biomassza az energia, az élelmiszer és takarmány, valamint a bioalapú vegyipari és egyéb alapanyagok előállításában játszott szerepét tárgyalom. Mivel a biomassza alapú gazdaságban a biológiai eredetű erőforrások korlátozott mértékben állnak rendelkezésre, az élelmiszer és takarmány termelése elsőbbséget élvez a biomassza minden más célú felhasználása mellett. Ugyanakkor a biomassza nem élelmiszer célú felhasználásában célszerű meghatározni a másodlagos prioritások tényezőit és sorrendjét a bioalapú vegyipari és egyéb alapanyagok, valamint a bioenergia előállításának vonatkozásában. Az EU vegyiparának kilátásai alapján egyértelmű a bioalapú vegyipari alapanyagok gyártásának előtérbe helyezése, egyébként az EU elveszítheti meghatározó szerepét a globális vegyiparban. A biomassza alapú uniós energiamérleg változásainak vizsgálatával zárul az elemzés. Összességében ismertetem a biomassza alapú gazdaságban az értékláncok komplexitását annak érdekében, hogy megfelelő döntéseket hozzassunk a biomassza felhasználásának legjobb módjáról.

3.2. Vizsgálati módszer

Bemutatom a biomassza szerepét a bioalapú termékek előállításában a releváns nemzetközi szakirodalom és globális modellek alapján. A következő kifejezések kombinációit használtam a 2010-2019 közötti időszakra vonatkozó tudományos közlemények kutatására: bioökonómia, biomassza-ellátás és -felhasználás, bioenergia, bioüzemanyag, biokémiai anyagok, biotechnológia és az éghajlatváltozás mérséklése.

A biomassza alapú gazdaság stratégiáiról szóló szakirodalom már jelentős; ugyanakkor az élelmiszertermelés mellett a növekvő biomassza-ellátás egyéb bioalapú termékek termelésére gyakorolt hatása és szerepe sokkal kevesebb figyelmet kapott. A biomassza különböző célú felhasználásának rangsorolásáról kevés publikáció áll rendelkezésre. A World Bioenergy Association (WBA) – Bioenergia Világszövetség –, a Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) – A 21. század Megújuló Energiapolitikai Hálózata – és az International Energy Agency (IEA) – Nemzetközi Energia Ügynökség – megújuló energiára (különösen a bioenergiára) vonatkozó globális adatbázisait elemeztem. Az EU-ban a biomassza termelésének és felhasználásának, valamint a biomassza-alapú energiaellátási mérlegmutatók legátfogóbb forrása az Eurostat adatbázisa. A European Chemical Industry Council (CEFIC) – Európai Vegyipari Tanács – pedig megbízható adatokat szolgáltat az európai vegyipar kilátásairól (Popp és szerzőtársai, 2020).

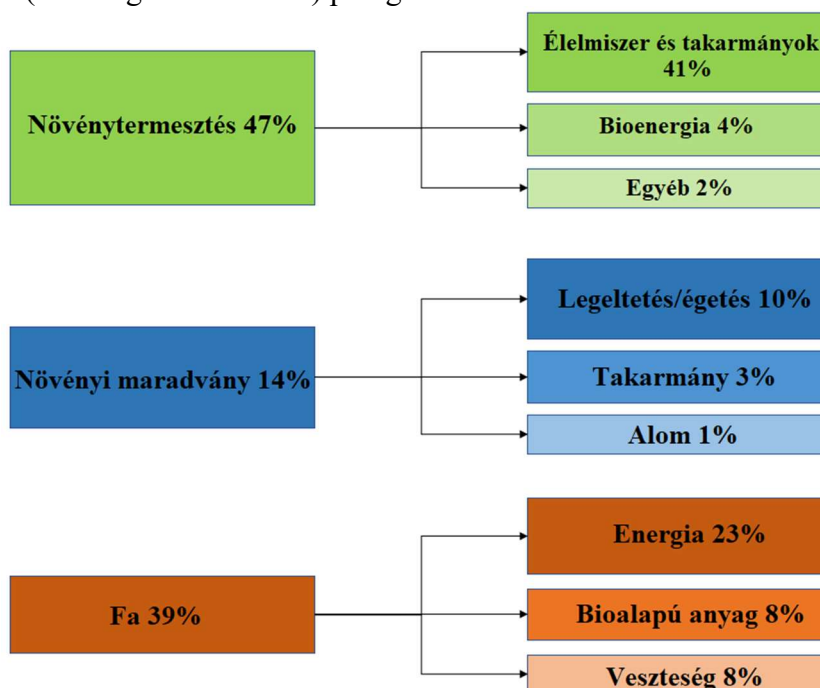
A hozamstabilitási mutatót (Yield Stability Index: YSI) azért dolgozták ki Vízvári és Bacsó (2002), hogy egy hozamsorozat (a biomasszából, gabonafélékből, vagy más mezőgazdasági termékből származó hozamok egyszerű idősorai) stabilitásának a szintjét mérjék. Ezzel a módszerrel először egyszerű lineáris trendet illesztünk az adott ország korábban normalizált adataira (az idősort elosztjuk annak átlagával). Ezután a különbséget (maradéknak is nevezünk) a tényleges hozam és a trendvonal (várható hozam) különbségeként képezzük. A maradékot az összes vizsgált ország esetében normális eloszlású hisztogrammal közelítjük. Ez azt jelenti, hogy a nulla körüli különbségek a leggyakoribbak, a nullánál magasabb különbségek egyre kisebb gyakorisággal fordulnak elő a normális eloszlásnak megfelelően. Adott ország YSI-je egy adott hozamsorozatra FD (favourable difference) - UD (unfavourable difference) képlettel számítható ki, ahol az FD a „kedvező”, az UD pedig az ország hozamsorozatának a normál eloszláshoz viszonyított „kedvezőtlen” eltéréseinek összege. Az FD kiszámításához a maradék és a normális eloszlásnak csak a középső 4 szegmensét kell figyelembe venni (vagyis csak a 0-hoz egészen közeli különbségeket), míg az UD esetén a szélső szegmenseket kell használni. A

pozitív értékek stabilabb trendvonalakat jeleznek az átlag körül, míg a negatív értékek nagyobb ingadozásokat mutatnak a trendvonal körül. Az Eurostat adatbázisát és az YSI indexet használtam az uniós tagállamok teljesítményének elemzésére a fő mutatók (bruttó belföldi energiafogyasztás, a hő- és áramtermelés fogyasztás és a végső energiafogyasztás) tekintetében a 2002 és 2016 közötti időszakban. E módszertan előnye, hogy képes meghatározni a trend körüli ingadozás mértékét. Az YSI indexeket és a regressziós egyenesek meredekségének kiszámítását az R statisztikai szoftver (verziószám 4.0.0 (Arbor Day) segítségével végeztem el (R Core Team, 2019).

3.3. Eredmények

3.3.1. A biomassza termelés és felhasználás alakulása

2015-ben a mezőgazdaság és az erdőgazdálkodás globális biomassza hozama évente mintegy 11,9 milliárd tonna (szárazanyagban kifejezve) volt, ennek 61%-át a mezőgazdaság és 39%-át erdőgazdálkodás adta (5. ábra). A mezőgazdasági biomasszából a növények 47%-ot, a betakarított növényi maradványok 14%-ot tettek ki. A hasznosított növényi maradványok körébe tartozik a legeltetés, a tarlóégetés, a takarmány és az alom. A növényi maradványok 50%-a (1,7 milliárd tonna) a talajban maradt széngazdálkodás céljából (van den Born és szerzőtársai, 2014). A fás biomassza termelés 23%-a tűzifa (az áramtermelést is beleértve), 8%-a elsődleges fás biomassza (ipari fa) és 8%-a veszteség volt. A mezőgazdasági növényekből élelmiszert és takarmányt (41%), energiát (4%) és egyéb terméket, például vetőmagot és hulladékot (2%) állítottak elő. A takarmányozási és almozási célra használt legelő és betakarított növényi maradványok 14%-ot tettek ki, ebből 10%-ot a legeltetés és tarlóégetés, 3%-ot a takarmányozás és 1%-ot az alom (fejlett országokban). A fás biomasszát tűzifaként elsősorban fűtésre és főzésre, valamint áramtermelésre használták (23%), másodsorban ipari fa formájában építőipari célra, bioalapú alapanyag-, papír- és cellulózgártásra (8%). A fa- és faipari hulladék (elsődleges fahulladék) pedig 8% volt.



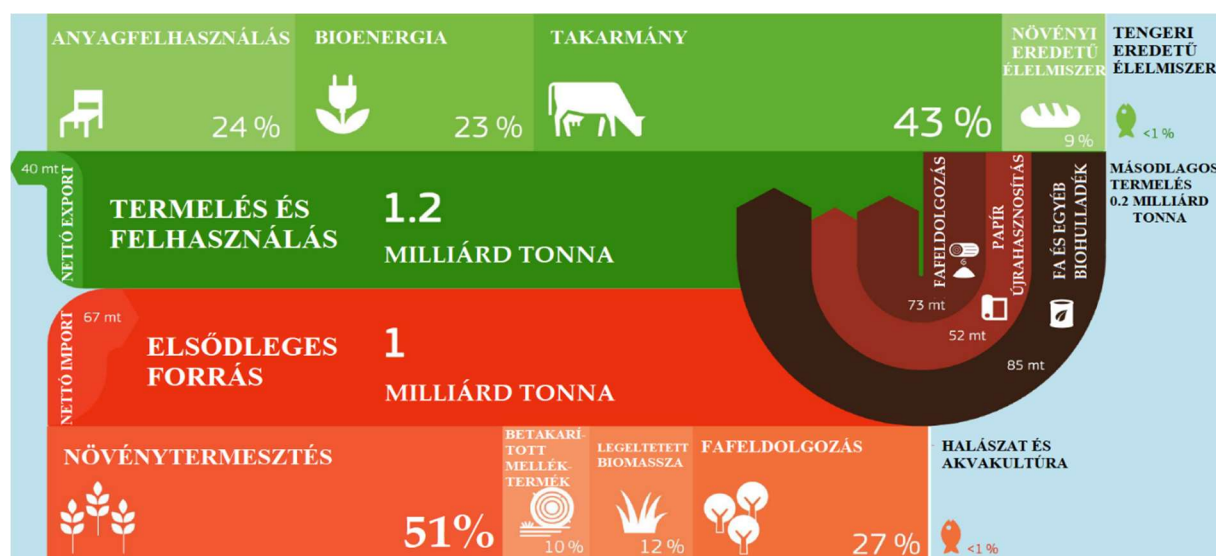
Összesen: 11,9 milliárd t (szárazanyagban kifejezve)

5. ábra: A globális biomassza termelése és felhasználása ágazatok szerint (%), 2015

Forrás: Saját szerkesztés, van den Born és szerzőtársai (2014) alapján

A **kék bioökonómia** egyre nagyobb szerepet játszik a biomassza előállításában. A földfelszín több mint kétharmadát a bolygó vízkészletének 97%-át tartalmazó óceánok borítják. A globális tengeri gazdaság 2,5%-kal részesedik a globális bruttó hozzáadott értékből (The Ocean Economy in 2030, 2016; OECD, 2018a). Az óceánok jelentős mértékben hozzájárulnak számos globális probléma megoldásához, mint az energiaellátás, környezet, klímaváltozás és élelmiszerellátás. Továbbra is gondot jelent a túlhalászat, ugyanakkor a halászat mellett az algákból kinyert biomassza jelentősége is nő, hiszen ez a forrás hatékony alternatívát kínálhat például a fehérjetermelés számára. Az algákat ma elsősorban az élelmiszer- és a vegyipar használja fel, de a jövőben a takarmány- és bioenergia termelés is komoly reményekkel kecsegtet. Az EU-ban az algatenyésztés egyelőre korai fázisban tart, de 2005 óta termelés csaknem megduplázódott.

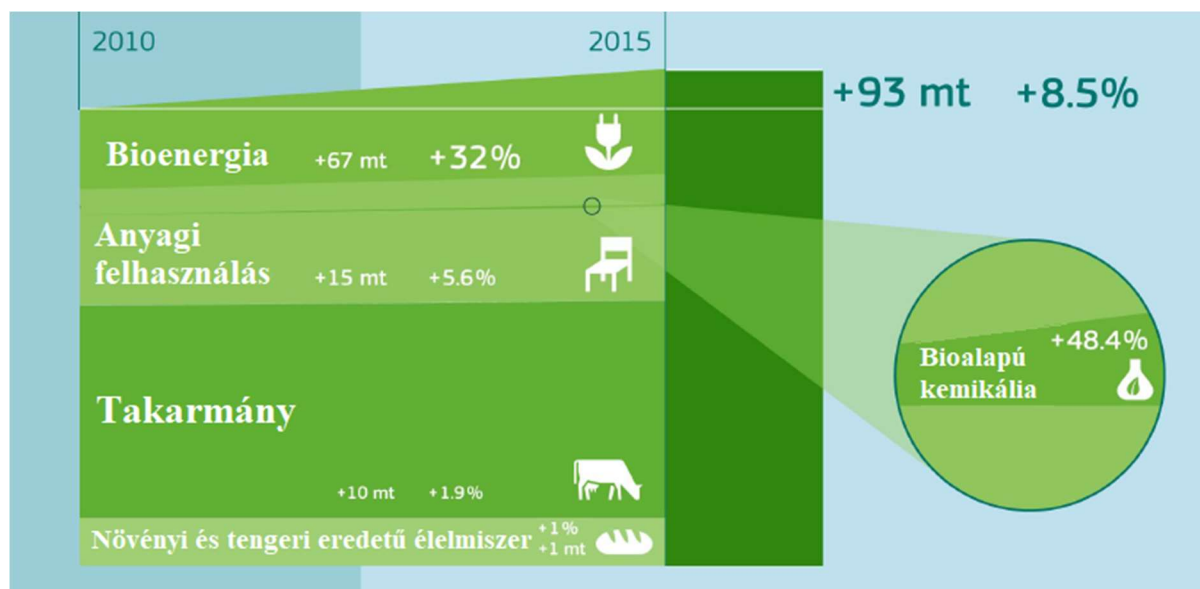
Az EU-ban a biomassza termelésében 67%-ot a mezőgazdaság és 33%-ot az erdőgazdaság képviselt 2015-ben. Az EU a bioalapú termékek külkereskedelmében nettó importőr volt (évi 28 millió tonna). Például az állati eredetű és a tömörfából készült termékek esetében a külkereskedelmi mérleg pozitív volt; míg a növényi eredetű élelmiszerek, halak és tenger gyümölcsei vonatkozásában negatív (European Commission, 2019b). 2015-ben az EU mezőgazdasági és erdészeti ágazatából származó biomassza termelése és felhasználása évi 1,2 milliárd tonna volt szárazanyagban kifejezve. Ez a globális biomassza előállítás megközelítőleg 9%-át tette ki. Ebből 1 milliárd tonna származott elsődleges és 0,2 milliárd tonna másodlagos forrásokból. Az elsődleges forrás a mezőgazdasági növények (51,5%) és begyűjtött melléktermékek (9,9%), a legeltetés (11,7%) és az erdőzet (26,6%), valamint a halászat és akvakultúra (0,3%) volt. A másodlagos forrást a papír újra hasznosítása, a fáfeldolgozásból származó melléktermék újra felhasználása és a fa- és egyéb biohulladék felhasználása volt. A biomassza 43,3%-a takarmányozási és almozási célt szolgál, 9,3%-ából növényi eredetű élelmiszer készült, 0,3%-át tették ki a tenger gyümölcsei, ugyanakkor ennél sokkal nagyobb a tengeri ágazatok relatív jelentősége a biomassza alapú gazdaságban (Camia és szerzőtársai, 2018). A biomassza 23,3%-át bioenergia (hő- és villamos energia, valamint bioüzemanyag) termelésre fordították, 23,8%-át pedig bioalapanyagok (faanyagok, bútor, textil és egyéb innovatív bioalapú kemikáliák) készítésére. A bioenergia a 30 millió tonna energianövényből (szárazanyagban kifejezve) előállított bioüzemanyagot (az összes biomassza 4%-a) is magában foglalja (6. ábra).



6. ábra: A biomassza termelése és felhasználása az EU-ban 2015-ben (milliárd tonna)

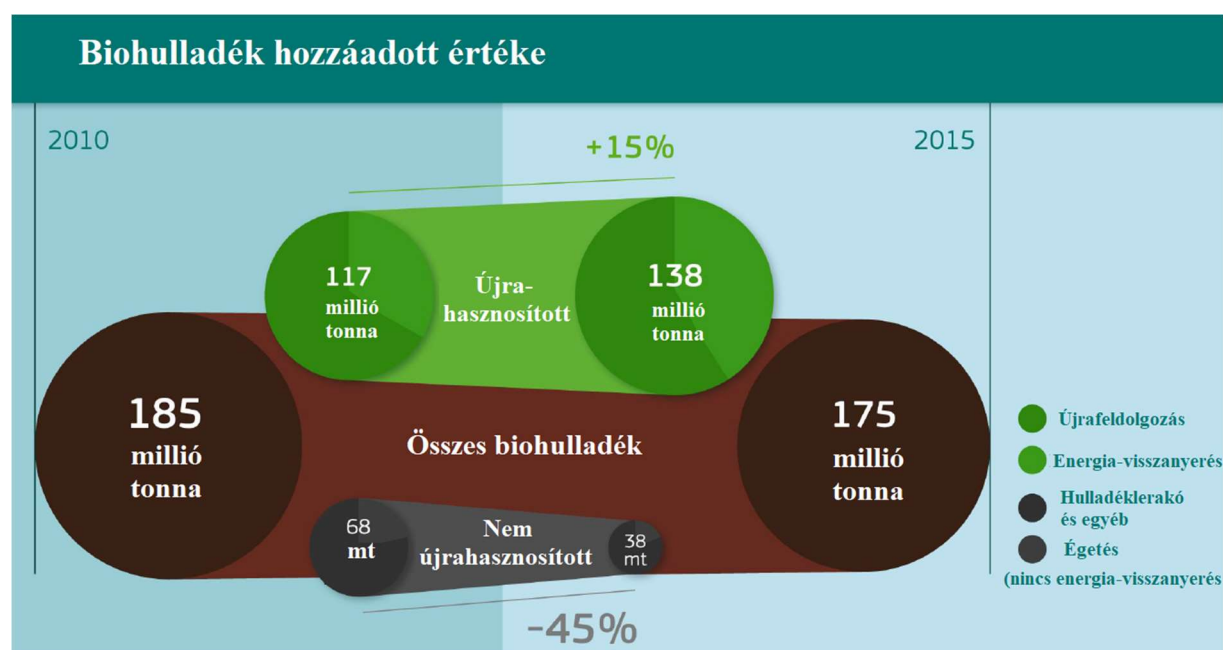
Forrás: Gurría és szerzőtársai (2017)

Az EU-ban a biomassza felhasználása 2010-2015 között 8,5%-kal emelkedett. Abszolút értékben a biomassza bioenergia célú felhasználása 67 millió tonnával nőtt, a bioalapanyag előállítására 15 millió tonnával, takarmányozásra és almozásra pedig 10 millió tonnával több biomasszát vettek igénybe (7. ábra). A hulladékból származó biomassza felhasználása folyamatosan nő, 2010 és 2015 között a fel nem újrahasznosított biohulladék mennyisége 45%-kal csökkent (8. ábra). Ez a körforgásos gazdaság növekvő jelentőségét mutatja. A vizsgált időszakban 32%-kal emelkedett a bioenergia és 5,6%-kal a bioalapanyag előállítására fordított biomassza mennyisége. A bioalapanyag termelésén belül 48,4%-kal nőtt a bioalapú kemikáliák gyártása, de abszolút értelemben a biomassza fogyasztás mindössze 0,1%-át jelenti.



7. ábra: A biomassza felhasználás növekedésének alakulása az EU-ban 2010-2015 között (millió tonna)

Forrás: Gurría és szerzőtársai (2017)

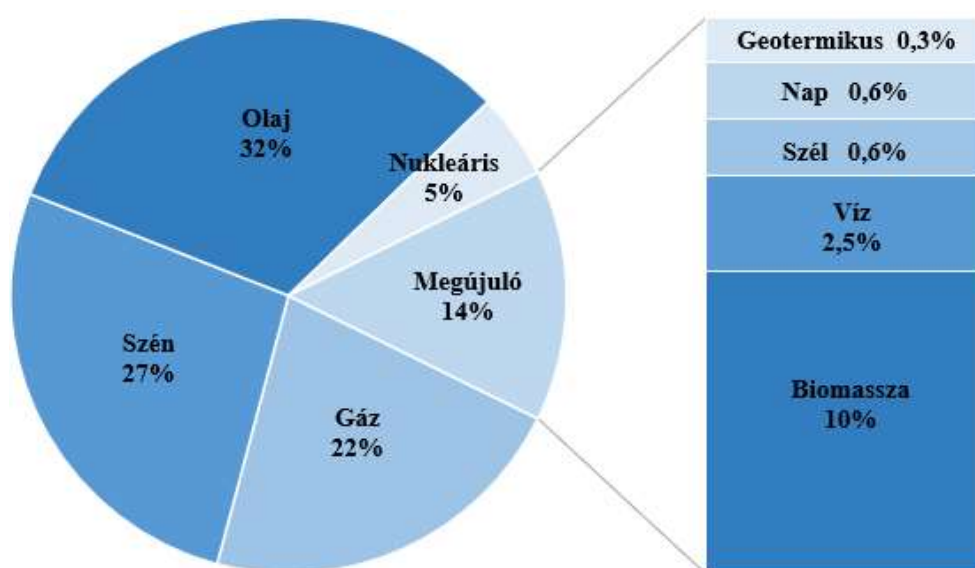


8. ábra: Biohulladék hozzáadott értéke 2010-2015 között (millió tonna)

Forrás: Gurría és szerzőtársai (2017)

3.3.2. A bioenergia szerepe az energiaellátásban

A bioenergia egyre nagyobb szerepet tölt be az energiaellátásban. A biomassza a világ energiaellátásának 10%-át és a globális energiafogyasztás 13%-át adja. 2016-ban a globális primer energiaellátás 13,8 milliárd tonna olajegyenérték (toe) volt, vagyis 576 exajoule (EJ). A fosszilis tüzelőanyagok (szén, kőolaj és földgáz) az összes primer energiaellátás 81%-át, az atomenergia 5%-át, a megújuló energiaforrások pedig 14%-át tették ki. 2016-ban 10%-os részesedéssel a biomassza volt a legnagyobb megújuló energiaforrás világszerte (az összes megújuló energiaforrás 70%-a), ezután következett a vízenergia 2,5%-os aránnyal, a többi megújuló energiaforrás (nap-, szél-, geotermikus, árapály energia stb.) mindössze 1,5%-ot képviselt (9. ábra). A megújuló energiaforrások termelése több mint 30%-kal nőtt 2000-2016 között, miközben részesedésük a globális energiaellátásban mindössze 1%-ponttal nőtt. Ebből következik, hogy a globális primer energiaellátás (fosszilis, nukleáris és megújuló energia) a megújuló energiatermeléssel szinte azonos ütemben növekszik.



Összesen: 13,8 milliárd toe

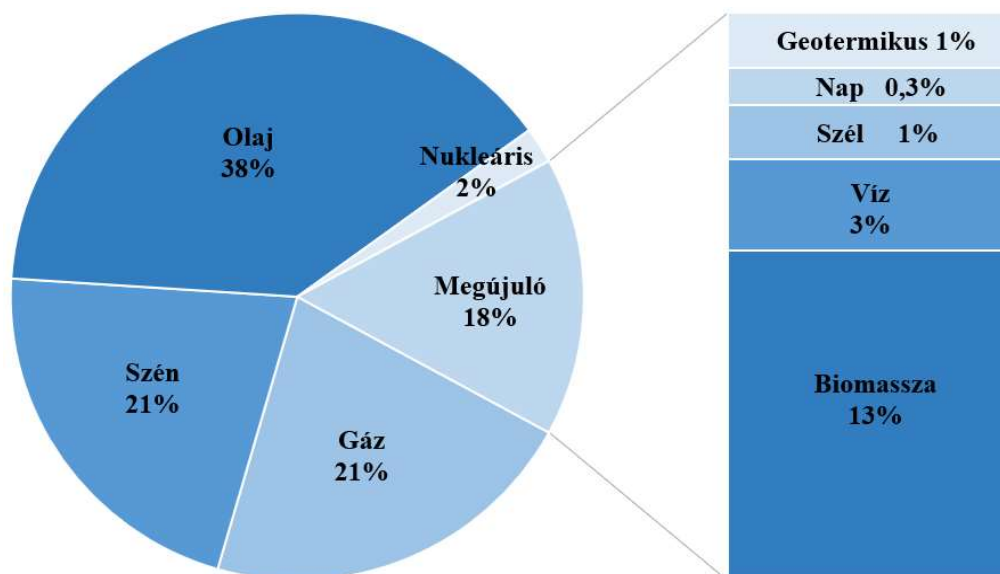
9. ábra: A globális primer energiaellátás alakulása tüzelőanyagok szerint (%), 2016

Forrás: REN21 (2019), WBA (2018), IEA (2018a), IEA (2018b)

A globális primer energiafogyasztás és a bruttó végső energiafogyasztás között mintegy 36% veszteség (transzformációs és disztribúciós) keletkezik az energiaellátási lánc mentén. 2016-ban a bruttó végső energiafogyasztás 8,8 milliárd toe vagy 367 EJ volt. A bruttó végső energiafogyasztásban a fosszilis tüzelőanyagok 80%-ot, a nukleáris energia 2%-ot és a megújuló energiaforrások 18%-ot képviseltek, amiből a biomassza 13%-ot, a vízenergia 3%-ot és az egyéb megújuló energiaforrások (nap-, szél-, geotermikus, árapály energia stb.) 2%-ot tettek ki (10. ábra).

2016-ban a primer energiatermelés az EU-ban 0,75 milliárd toe (a globális primer energiatermelés 5%-a) volt. A primer energiatermelésben az atomenergia 29%-ot, a megújuló energiaforrások 28%-ot, a szén 17%-ot, a földgáz 14%-ot, a kőolaj 10%-ot és a nem megújuló hulladék 2%-ot tett ki. A megújuló energiaforrásból a biomassza 18%-ot, az egyéb megújuló energiaforrások 10%-ot (vízenergia 4%; szélenergia 3,5%; napenergia 1,5% és geotermikus energia 1%) képviseltek. A primer energiatermelésben a megújuló energiaforrások aránya először haladta meg a szén arányát, sőt rövid távon várhatóan felülmúlják az atomenergia részesedését is (11. ábra). Az egyéb megújuló erőforrások, például a szél- és a napenergia gyors

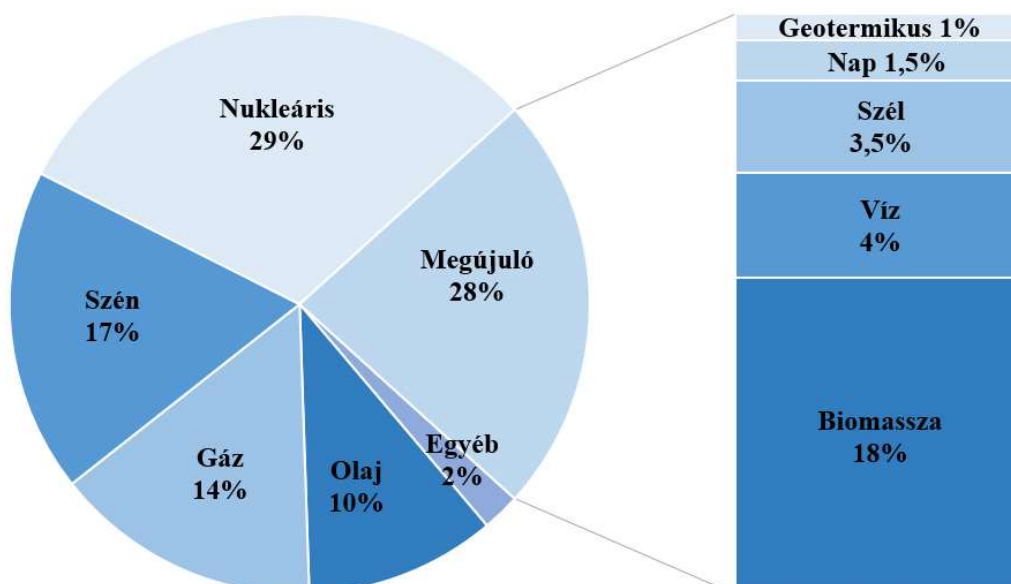
térhódítása ellenére a bioenergia hosszú távon valószínűleg továbbra is meghatározó szerepet játszik a megújuló energiaforrások összetételében. Ha az EU 2050-ig teljesíti a nulla nettó ÜHG-kibocsátás célkitűzését, akkor az energiaellátásban a fosszilis tüzelőanyag helyére fokozatosan a megújuló energiaforrás, ezen belül is a biomassza lép.



Összesen: 8,8 milliárd toe

10. ábra: A globális bruttó végső energiafogyasztása alakulása tüzelőanyagok szerint (%), 2016

Forrás: REN21 (2018), WBA (2018), IEA (2018a), IEA (2018b)

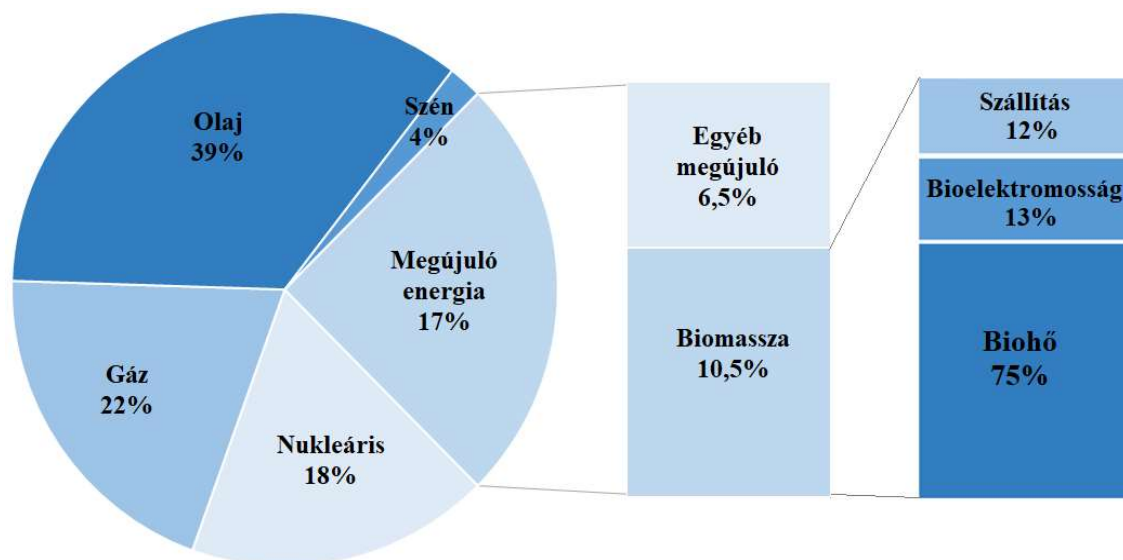


Összesen: 0,75 milliárd toe

11. ábra: Az EU-28 primer energiaellátásának alakulása tüzelőanyagok szerint (%), 2016

Forrás: Bioenergy Europe (2018), European Commission (2019e)

A nettó energiaimport és a bruttó végső energiafogyasztás aránya megmutatja, hogy egy ország vagy régió mennyiben függ az energiaimporttól. 2005-2016 között az EU fosszilis tüzelőanyagtól való importfüggése 52%-ról 54%-ra nőtt (European Commission, 2019e). A bruttó végső energiafogyasztás az EU-ban 2016-ban 1,1 milliárd toe volt (a globális bruttó végső energiafogyasztás 13%-a). A bruttó végső energiafogyasztásban a kőolaj részaránya 39%, a földgázé 22%, a megújuló energiaforrásé 17% a nukleáris energiáé 18% és a széné 4% volt. 1990 óta a szén részesedése folyamatosan csökkent, miközben a megújuló energiaforrások aránya jelentősen megnőtt (12. ábra).



Összesen: 1,11 milliárd toe

12. ábra: Az EU-28 bruttó végső energiafogyasztásának alakulása tüzelőanyagok szerint (%), 2016

Forrás: Bioenergy Europe (2018), Eurostat (2019a)

A megújuló energiaforrás egyre fontosabb és növekvő szerepet játszik az EU energiaellátásában. Az EU célkitűzése volt, hogy 2020-ra a megújuló energia aránya érje el a 20%-ot az energiafogyasztásban. 2018-ban a megújuló energia aránya a bruttó végső energiafogyasztásban már 18,9% volt, így 2020-ra teljesül a célkitűzés (Eurostat, 2020a).

3.3.3. A bioökonómia szerepe az EU gazdaságában

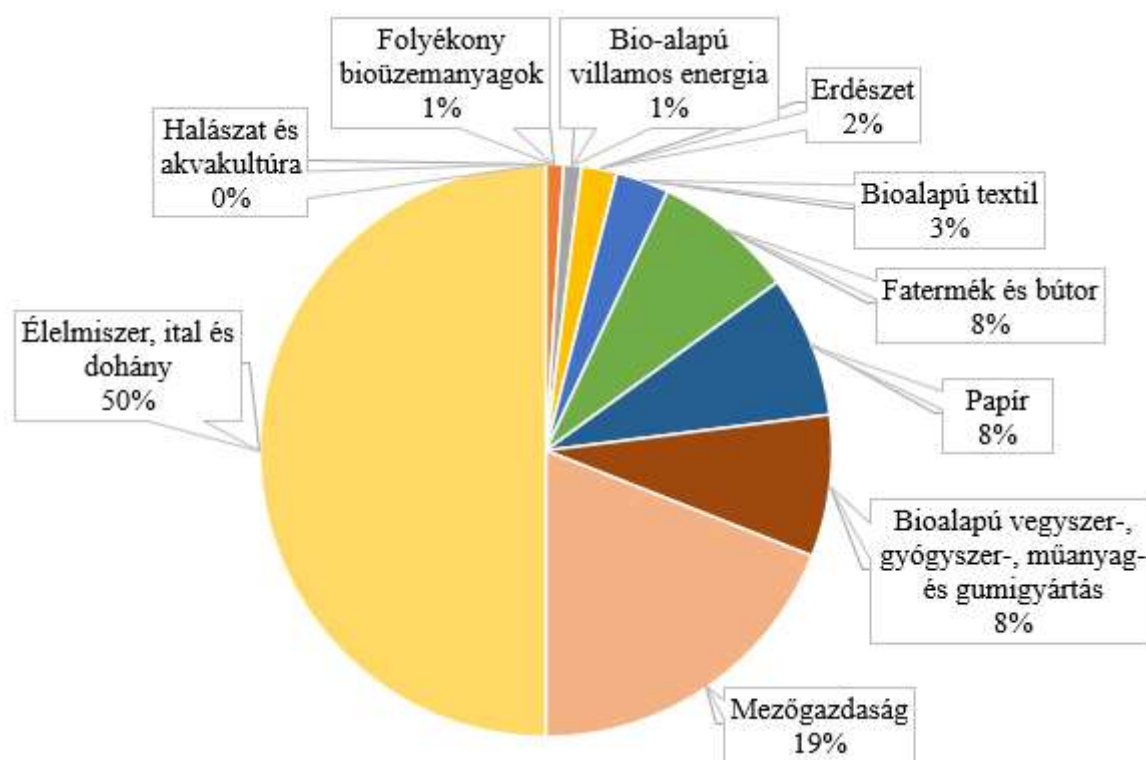
Az EU-ban az összes terület 50%-át és az összes munkaerő 4,2%-át képviseli a mezőgazdaság. A mezőgazdasági terület már kétharmadát az állattenyésztés hasznosítja (takarmányozás) a növekvő húsfogyasztásnak köszönhetően. Az összterület 43%-át teszik ki az erdők és egyéb fás területek, amelyek a fa és nem fa eredetű termékek forrása mellett ökoszisztéma szolgáltatások széles skáláját (széntárolás, szénmegkötés, élőhelyek és vízszabályozás) biztosítják. A széntárolás mértékének növelése az erdőkben költséghatékony eljárás, de az elmúlt években a széntárolás csökkenése volt megfigyelhető, elsősorban az erdők korszerkezetének változása miatt. Az EU-ban a fakitermelés sok éves átlaga a fa éves nettó növekményének mintegy 65%-a, bár ez az arány a tagállamokon belül széles skálán mozog. Ez idővel az erdei fás biomasszakészlet növekedéséhez vezet, ami évi 100 millió tonna szénrel egyenértékű. Az erdő tehát szénelnyelő funkciót is betölt, így szénmegkötő tevékenysége a fosszilis üzemanyag felhasználásából származó emisszió átlagosan 9%-át semlegesíti már hosszú évtizedek óta (European Commission, 2020a). A halászat (édesvízi és tengeri) is egyre nagyobb szerepet

játszik a biomassza termelésben, elsősorban a globális népesség élelmiszerellátásában. A haltenyésztésben az akvakultúra (édesvízi és tengeri) már megelőzi a tengeri halfogást. Globális viszonylatban az EU szerepe csekély a halászati szektorban, ahol a fenntartható halgazdálkodás sajátos problémákkal küzd. A biomassza egyre növekvő forrását jelentik a mező-, erdő- és halgazdasági szektorokból, valamint az élelmiszerláncból és háztartásokból származó melléktermékek és hulladékok (European Commission, 2020a).

A bioalapú szektorok megújuló nyersanyagokat termelnek és dolgoznak fel, vagy innovatív biológiai folyamatokat alkalmazva állítanak elő bioalapú terméket, szolgáltatást. A bioalapú termékek egy részét hagyományosan biomasszából (pl. fa, parafa, természetes gumi, papír, textil, építőanyagok stb.) állítják elő, de gyorsan terjed a közelmúltban kifejlesztett bioalapú vegyi anyagok és műanyagok forgalmazása is. A bioalapú termékek képesek a fosszilis alapú árucikkek helyettesítésére. Akár teljesen megegyezhetnek fosszilis alternatíváikkal („drop-in”), de folyamatosan nő az újszerű termékek piaci bevezetése is (pl. cellulóz-alapú termék, lebomló bioalapú műanyag, zöld” vegyi anyagok stb.). A bioalapú termékek skálája tehát messze túlnyúlik a biomassza feldolgozásán. A biomasszából a biomassza-feldolgozó üzemekben termelnek sokféle terméket, a termékek széles skáláját előállító feldolgozókat biofinomítónak nevezzük. A rost, papír és karton feldolgozásával cellulóz-alapú termékek készülnek a fosszilis alapú textilek és műanyagok helyettesítésére, de erős mikroszálas alapanyagokból bioalapú ragasztókat, rétegelt terméket, sőt 3D nyomtatású elektronikai terméket is gyártanak. A fa feldolgozásával a cellulózból nyert mikroszálas textilanyagok jelentik a textilipar újszerű alapanyagait, kiváltva ezzel a petrokémiai nyersanyagokat (European Commission, 2020b).

A számos végterméket előállító biofinomító üzemek piaci bevezetése komoly mértékben javítja a biomassza-felhasználás hatékonyságát a melléktermékek hasznosításával, a hulladék mennyiségének csökkentésével és/vagy újra felhasználásával a körforgásos gazdaság szellemében. A biomassza különböző iparágaiban (mező- és erdőgazdálkodás, faipar, rost- és papírfeldolgozás, élelmiszeripar, vízgazdálkodás és háztartás) keletkezett biohulladék összekapcsolásával számos magasabb hozzáadott értéket képviselő termék (élelmiszer, takarmány, biotextil, biopolimer, vegyipari bioanyag, bioműanyag és bioenergia/bioüzemanyag) állítható elő, miközben nő a bruttó hozzáadott érték, a munkahelyek száma, a fenntarthatóság és a versenyképesség (European Commission, 2020b).

Az EU biomassza alapú gazdaságának bruttó termelési értéke mintegy 2,2 billió euró volt 2017-ben, azaz az EU bruttó termelési értékének 9,1%-a. Becslések szerint az élelmiszer-, ital- és dohánygyártás képviselte a legnagyobb arányt (50%), majd a mezőgazdaság (19%), a papírgyártás (9%), a bioalapú vegyszer-, gyógyszer-, műanyag- és gumigyártás a bioüzemanyag nélkül (8%), fatermék, bútor (8%) és bioalapú textília (3%) előállítását következett. Más ágazatok, például az erdészet, a halászat és az akvakultúra, a folyékony bioüzemanyag és a zöld villamosenergia-termelés együttesen mindössze 4%-ot tettek ki. Az élelmiszer-, ital- és dohány-, mezőgazdasági, halászati és erdészeti ágazat részesedése együttesen a bruttó termelési érték 73%-át képviselte (13. ábra).

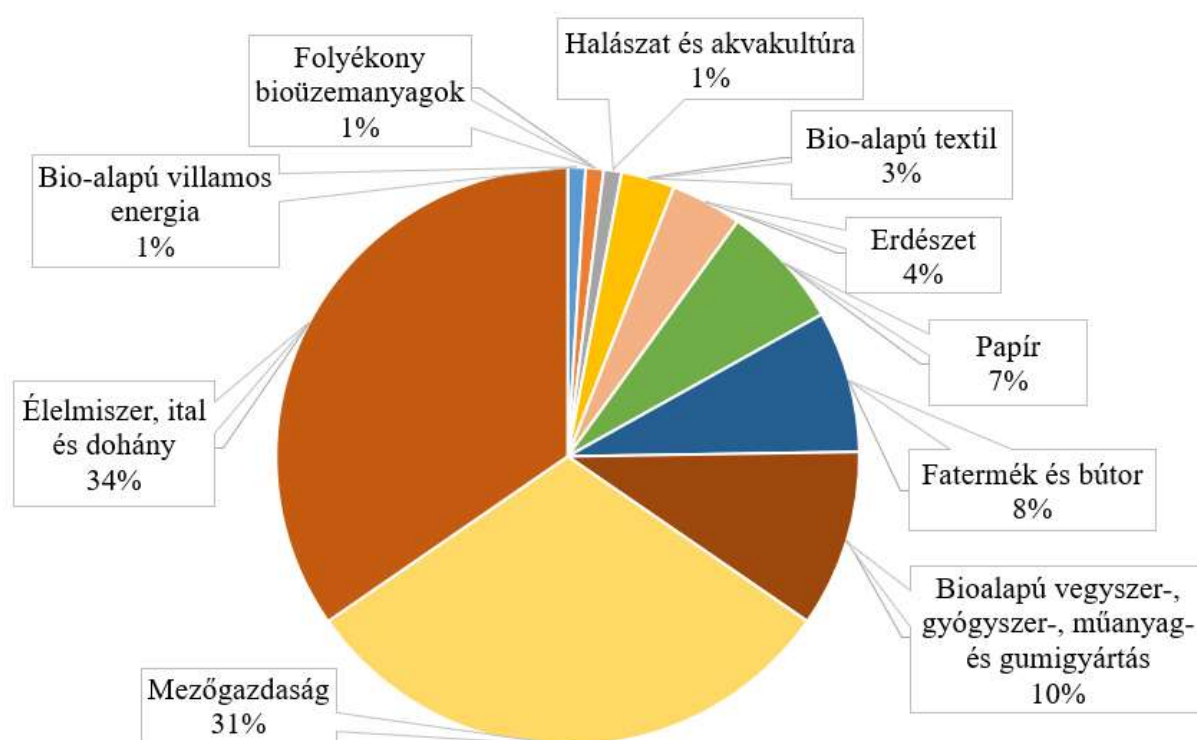


Összesen: 2,2 billió euró

13. ábra: A biomassza alapú gazdaság bruttó termelési értékének megoszlása ágazatok szerint az EU-ban (%), 2017

Forrás: Saját szerkesztés, Ronzon és szerzőtársai (2020) alapján

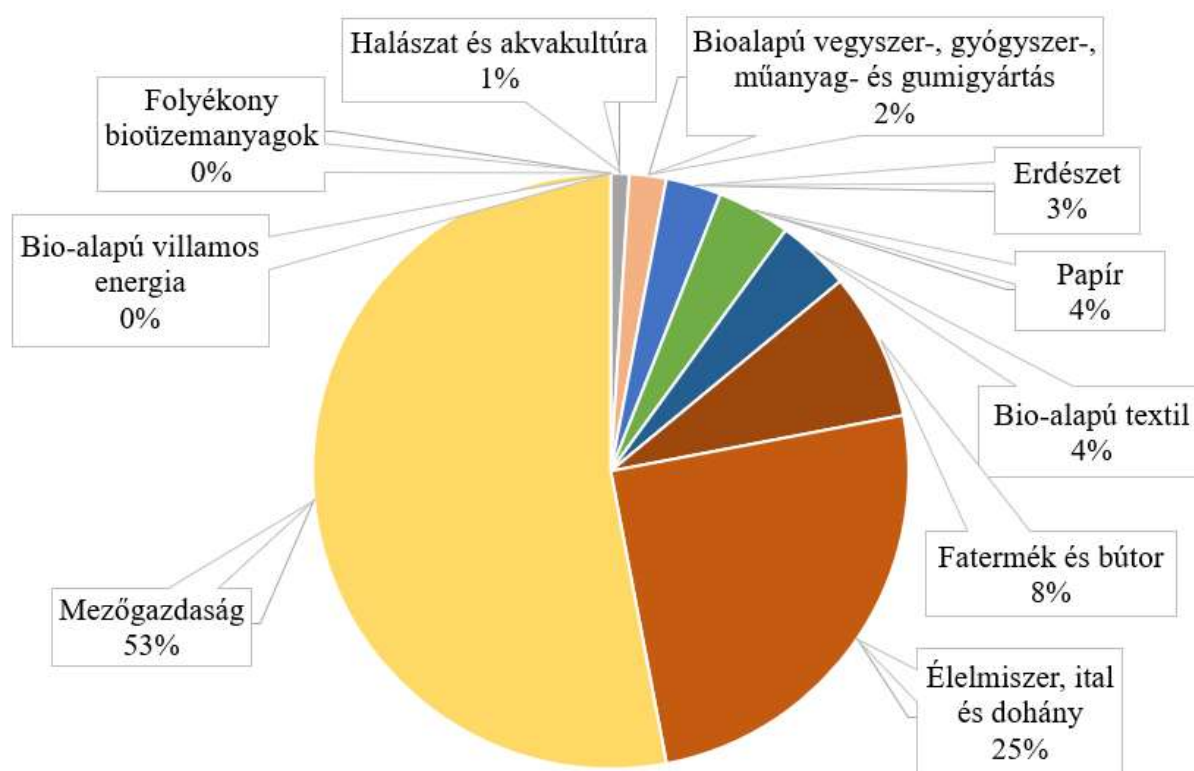
A biomassza alapú gazdaság bruttó hozzáadott értéke 614 milliárd euró volt 2017-ben, vagyis az EU teljes hozzáadott értékének mindössze 4,2%-át tette ki (14. ábra). A hozzáadott értékből az egyes ágazatok részesedése hasonló képet mutat a bruttó termelési érték megoszlásához. A bruttó hozzáadott érték kétharmadát a mezőgazdaság, az élelmiszer-, ital- és dohányágazat adta, ezután a bioalapú vegyipari alapanyag-, gyógyszer-, műanyag- és gumigyártás a bioüzemanyag nélkül (10%), a fatermék (8%), a papír (7%) és bioalapú textília (3%) előállítása következett. Más ágazatok (erdészet, halászat és akvakultúra, folyékony bioüzemanyag és zöld áram) termelése 7%-kal járult hozzá a bruttó hozzáadott értékhez. A hozzáadott érték legnagyobb növekedése a bioalapú vegyipari alapanyag és zöld elektromos áram termelésében volt megfigyelhető (14. ábra).



14. ábra: A biomassza alapú gazdaság bruttó hozzáadott értékének megoszlása az EU-ban ágazatok szerint (%), 2017

Forrás: Saját szerkesztés, Ronzon és szerzőtársai (2020) alapján

A biomassza alapú gazdaság 17,5 millió embernek (összes foglalkoztatott 8%-a) adott munkát 2017-ben (15. ábra). Ebből 82% a mezőgazdasági, az élelmiszer-, ital- és dohány-, valamint az erdészeti, halászati ágazatban dolgozott. A fa-, textil-, papír-, folyékony bioüzemanyagipar, továbbá a zöld áram, bioalapú vegyipari alapanyag, gyógyszer és műanyag, valamint a gumi termelése a munkaerő 18%-át foglalkoztatta. Említést érdemel, hogy a nyersanyagtermelés (például mezőgazdaság, erdészet, halászat) a foglalkoztatottak nagyobb arányát képviselte, mint a feldolgozóipar az élelmiszer-, ital- és dohányipar kivételével. A biomassza alapú gazdaságban foglalkoztatottak aránya az összes foglalkoztatottból (8%) közel duplája a GDP-hez való hozzájárulás arányához (4,2%) képest. Ennek oka, hogy a mezőgazdasági és élelmiszerfeldolgozási szektorokban a munkatermelékenység alacsonyabb, mint a gazdaság átlagában. A mezőgazdaság folyamatos szerkezetátalakítása az ágazatban foglalkoztatottak számának csökkenéséhez vezet. A mezőgazdaságban a foglalkoztatás csökken, mindazonáltal a biomassza alapú gazdaság 2030-ra egymillió új munkahelyet teremthet (Ronzon és M'Barek, 2018).



15. ábra: A biomassza alapú gazdaság foglalkoztatásának megoszlása ágazatok szerint az EU-ban (%), 2017

Forrás: Saját szerkesztés, Ronzon és szerzőtársai (2020) alapján

3.3.4. A vegyipar kilátásai az EU-ban

A globális vegyipar bruttó termelési értéke 2018-ban 3 347 milliárd euró volt, melyből az EU vegyipara 565 milliárd euró árbevétellel 17%-os részesedést ért el és Kína után a második helyen állt. Az EU gazdaságában a vegyipar a bruttó termelési érték 7,6%-ával és 3,3 millió alkalmazottal a negyedik legfontosabb ágazat volt.

A globális vegyipar bevétele háromszorosára növekedett 1998-2018 között, miközben az EU vegyiparának relatív részesedése felére csökkent a többi régió növekvő versenyének köszönhetően. Az EU a legnagyobb vegyipari exportőr és a harmadik legnagyobb importőr régió a világon, pozitív kereskedelmi mérleggel (European Chemical Industry Council, 2019). A bioalapú vegyipari alapanyagok fenntartható alternatívát kínálnak a fosszilis alapanyagokból előállított kemikáliák számára. A bioalapú vegyi anyagokat a finomkémiai ágazatban állítják elő biológiai alapanyagok és biotechnológiai folyamatok felhasználásával. A bioalapú vegyi anyagok termelése nagyon alacsony bázisról kezdett el növekedni. A bioalapú felületaktív anyagok és oldószerek a vegyipar legfontosabb bioalapú alapanyagai, de a biopolimerek és a bioalapú műanyagok előállítása várhatóan nagyobb ütemben nő. Ugyanakkor még gyorsabb műszaki fejlődés tapasztalható a bőséges a cukor- és keményítőtartalmú nyersanyagokkal rendelkező Egyesült Államokban, Braziliában és Ázsiában.

A biomassza feldolgozásból származó bioalapú vegyipari alapanyaggyártás (kemikália) hozzá létre a legtöbb munkahelyet a biomassza alapú gazdaságban. A vegyipar – hagyományosan az EU egyik vezető iparága – szempontjából a biomassza alapú gazdaság kritikus szerepet tölt be a globális versenyképesség alakulásában. Az EU-ban a vegyipar nem energia célú nyersanyag felhasználásának 90%-a fosszilis eredetű és csak 10%-a származik megújuló szénforrásokból. Jelenleg a vegyipar az összes fosszilis eredetű erőforrás 6%-át kizárólag műanyaggyártásra

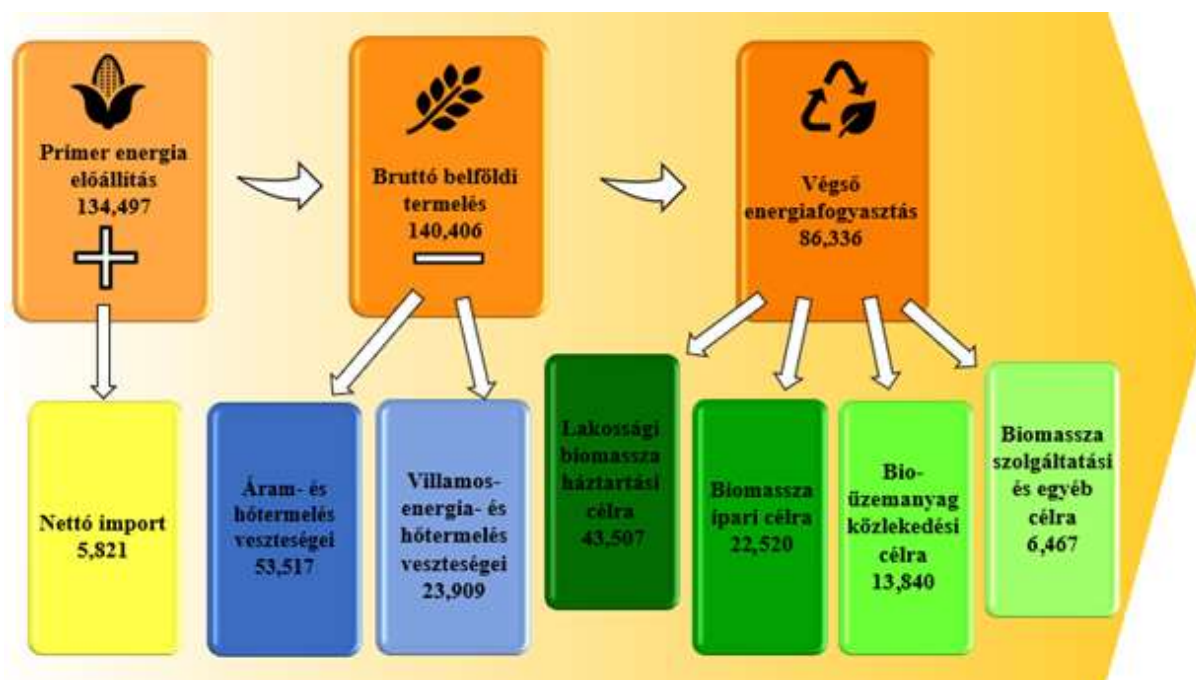
használja, a jövőben ez az arány akár a 30%-ot is elérhet a többi szektor (energia, közlekedés) egyre jelentősebb szénmentesítése mellett (European Chemical Industry Council, 2020). A 2050-re előirányzott nettó nulla károsanyag-kibocsátás a vegyiparban valószínűleg nem teljesíthető (Ellen MacArthur Foundation, 2016). A bioalapú nyersanyagok felhasználásának radikális növelése jelentős áttérést feltételez.

Az EU-ban a vegyi anyagok előállításához felhasznált nyersanyagok 10%-a bioalapú. A célkitűzés szerint a bioalapú alapanyag felhasználása 2030-ra eléri a 25%-ot. A szerves vegyiparban felhasznált összes nyersanyag 79 millió tonna, ennek 90%-át fosszilis anyagok (főleg ásványolaj-származékok és földgáz) és 10%-át megújuló alapanyagok, azaz mezőgazdasági nyersanyagok (keményítő, cukor, növényolaj, állati zsírok, cellulóz, etanol, glicerín és gumi) képezik. A vegyi termékek biomassza részaránya továbbra is alig haladja meg az 5%-ot az összes felhasznált nyersanyaghoz képest, mivel a vegyipar 50%-ban szerves (fosszilis és bioalapú) és 50%-ban szervetlen anyagokat (ásvány, fém stb.) használ fel. A becslések szerint a vegyipar évi 1,6 millió tonna keményítőt és cukrot, 1,6 tonna növényolajat, valamint 0,6 tonna bioetanol és természetes gumit, cellulózt és glicerint igényel a termelésben. Mezőgazdasági nyersanyagként évi 13,6 tonna búzát, 22,5 tonna takarmánygabonát, 3,9 tonna melaszt és 4,4 tonna olajos magot használnak fel ipari célra (az élelmiszer-, takarmány- és bioüzemanyag-gyártás kivételével). Ez a mennyiség meglehetősen alacsony ahhoz képest, hogy a teljes biomassza előállítás meghaladja az évi egymilliárd tonnát (szárazanyagban kifejezve), ebből a mezőgazdasági növények meghaladják az 500 millió tonnát (European Chemical Industry Council, 2020).

A bioalapú kemikáliák gyártásához szükséges bioalapú nyersanyag igény 2030-ban várhatóan évi 5-10 millió tonna lesz, vagyis még mindig jóval alacsonyabb, mint a bioenergia vagy a bioüzemanyagok előállításához felhasznált nyersanyagok mennyisége (Hoefnagels és szerzőtársai, 2018; Panchaksharam és szerzőtársai, 2019). Növényolajokat és állati zsírokat használnak felületaktív anyag, kenőanyag, bevonat/színezék és műanyag-adalékanyag készítéséhez, keményítőt a papír- és textil gyártásához, míg az etanolgyártásban nélkülözhetetlen a cukor és keményítő (oldószer), a gumiabroncs előállításához elengedhetetlen a természetes gumi, a cellulóz (textilipar) gyártásához pedig a papírpép. A vegyipar, a műanyag- és gyógyszeripar magában foglalja a teljes bioalapú (például enzimek, zsírsavak) és részben bioalapú termékeket. Az Eurostat szerint 2015-ig az 534 vegyipari termékből a teljesen vagy részben bioalapú termékek száma 110-re nőtt, azaz a szóban forgó termékek 80%-a nem bioalapú, 20%-a pedig teljes vagy részleges bioalapú (ebből a teljes bioalapú termékek részesedése mindössze 8%) termék volt. A bioalapú vegyi anyagok piaca még mindig marginális szerepet játszik, de folyamatosan növekszik (European Commission, 2017a; Panchaksharam és szerzőtársai, 2019).

3.3.5. A bionergia termelésének és felhasználásának mérlege az EU-ban

Az EU-ban a biomassza hosszú távon is meghatározó energiaforrás marad az egyéb megújuló energiaforrás növekvő előállítása ellenére. Az EU-ban az ÜHG-kibocsátást 2030-ra az 1990-es szint legalább 50%-ra kell csökkenteni. A nettó nulla ÜHG-kibocsátásról szóló célkitűzés pedig azt jelenti, hogy 2050-ig a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának fokozatosan kivezetésével, illetve a megújuló energiaforrásokkal (várhatóan a nukleáris energia is helyet kap az energiaellátásban) történő helyettesítésével elérhető a klímafüggetlenség. 2002-2016 között a bioenergia végső fogyasztása mintegy 50%-kal nőtt és elérte a 86,3 millió tonna olajjegyértéket (mtoe) (16. ábra).



16. ábra: A biomassza felhasználása energiatermelésre az EU-ban (mtoe), 2016

Forrás: Eurostat (2019b)

Meghatároztam a fő inputellátókat, termelőket és fogyasztókat, valamint a legjobban és a legrosszabban teljesítő uniós EU-tagállamokat a bioenergia szektorban. A bioenergia három fő mérlegmutatójának, nevezetesen a bruttó belföldi fogyasztás (Gross Inland Consumption: GIC), hő- és villamosenergia termelés (Transformation Input: TI), valamint a végso energiafogyasztás (Final Energy Consumption: FEC) tendenciáit és ingadozásait elemeztem tagállami szinten 2002 és 2016 között a hozamstabilitási index (Yield Stability Index: YSI) és a legkisebb négyzetek (Ordinary Least Squares: OLS) módszerével becsült regressziós egyenesek meredeksége segítségével.

Az EU-ban a 2002 és 2016 közötti időszak átlagos adatai alapján Németország volt a vezető tagállam, ezután Franciaország, Svédország, Finnország, Olaszország következett a biomassza-alapú energia előállításában. Ezzel szemben Málta, Ciprus és Luxemburg elhanyagolható szerepet játszott ezen a területen. Az „új” EU tagállamok közül Lengyelország, Románia és Csehország érdemel említést az elsődleges termelésben, valamint a bioenergia végso fogyasztásában. Németország, Hollandia és Lettország volt a legnagyobb bioenergia-exportőr, míg Olaszország és az Egyesült Királyság a legnagyobb importőr a vizsgált időszakban. Svédország és Finnország járt élen a bioenergia előállításában az elsődleges termelés és a végso energiafogyasztás tekintetében (Eurostat, 2019b).

A bioenergia három fő mérlegmutatójának, nevezetesen a bruttó belföldi fogyasztásnak (Gross Inland Consumption: GIC), a hő- és villamosenergia termelés fogyasztásának (Transformation Input: TI) és a végso energiafogyasztásnak (Final Energy Consumption: FEC) a tendenciáit és ingadozásait elemeztem tagállami szinten 2002 és 2016 között a hozamstabilitási index (Yield Stability Index: YSI) és a legkisebb négyzetek (Ordinary Least Squares: OLS) módszerével becsült regressziós egyenesek meredeksége segítségével (3. táblázat). A pozitív YSI azt jelzi, hogy egy adott ország rendelkezik az energiatermeléssel és -fogyasztással kapcsolatos megfelelő rendszerrel és technológiával, azaz jól alkalmazkodik a környezeti és egyéb változó körülményekhez. A negatív hozamstabilitási index pedig jól szemlélteti a termelés és a fogyasztás ingadozásának magas kockázatát.

3. táblázat: A bruttó belföldi fogyasztás, hő- és áramtermelés fogyasztá és a végső energiafogyasztás hozamstabilitási mutatói és regressziós becslései az EU-28-ban, (2002-2016)

	Bruttó belföldi fogyasztás (GIC)		Hő- és áramtermelés fogyasztása (TI)		Végső energiafogyasztás (FEC)	
Ország	Hozamstab. mutató	Reg. becslés	Hozamstab. mutató	Reg. becslés	Hozamstab. mutató	Reg. becslés
Belgium	0,40	1,60***	0,27	1,62***	-0,24	1,91***
Bulgária	0,27	0,91***	0,53	3,80***	0,47	1,02***
Csehország	0,40	1,12***	0,13	2,07***	0,59	1,06***
Dánia	0,40	0,84***	0,53	0,87***	0,59	1,03***
Németország	0,40	1,24***	0,53	1,76***	0,35	1,14***
Észtország	0,27	0,64***	0,40	1,97***	0,35	0,10
Írország	0,27	1,35***	0,27	2,33***	0,12	1,33***
Görögország	0,00	0,37**	0,53	1,38***	0,35	0,35**
Spanyolország	0,13	0,64***	0,67	0,94***	0,47	0,63***
Franciaország	0,40	0,61***	-0,13	1,33***	0,59	0,45***
Horvátország	0,53	0,15*	0,53	4,28***	0,71	0,12
Olaszország	0,40	1,35***	0,00	2,07***	0,00	1,54***
Ciprus	-0,13	1,65***	0,00	1,09***	-0,12	2,09***
Lettország	0,53	0,30***	0,40	1,37***	0,47	0,12
Litvánia	0,40	0,67***	0,53	2,05***	-0,35	0,15*
Luxemburg	0,27	1,81***	-0,40	1,67***	0,47	2,35***
Magyarország	0,40	1,35***	0,40	1,36***	0,35	1,63***
Málta	0,40	4,28***	0,27	4,16***	0,47	4,91***
Hollandia	0,53	0,77***	0,53	0,69**	0,00	1,17***
Ausztria	0,40	0,87***	0,53	1,34***	0,82	0,72***
Lengyelország	0,00	0,97***	0,40	2,48***	0,59	0,64***
Portugália	0,40	0,03	0,53	1,46***	0,47	-0,22*
Románia	0,00	0,43***	0,67	2,04**	0,00	0,55***
Szlovénia	-0,40	0,60***	0,53	1,13***	-0,12	0,57***
Szlovákia	0,27	1,58***	-0,13	2,69***	0,35	0,22***
Finnország	0,40	0,35***	0,53	0,49***	0,35	0,27***
Svédország	0,27	0,51***	0,40	0,53***	0,71	0,50***
Egyesült Királyság	-0,27	1,85***	0,40	1,56***	0,12	2,74***
EU28	0,13	0,89***	0,40	1,37***	0,00	0,80***

***p<0,001; **p<0,01; *p<0,05

Forrás: Saját kutatás Eurostat (2020b), Eurostat (2020c), Eurostat (2020d) alapján

A legjobb esetben az adott országnak alacsonyabb ingadozással (a magas pozitív hozamstabilitási index jelzi) és növekvő tendenciával (a magasabb regressziós meredekség

jelzi) kell rendelkeznie A GIC több tagállamban növekedett, különösen Máltán, az Egyesült Királyságban, Luxemburgban és Cipruson. A növekedési ütem elsősorban a vezető bioenergia exportőröknél (Hollandia és Lettország) volt fenntartható és stabil. Ezzel szemben Portugáliában csökkenő tendenciát mutatott a FEC. Szlovéniának, Litvániának, Ciprusnak és Belgiumnak célszerű fejlesztenie technológiáját a változó körülményekhez való alkalmazkodási kockázatok csökkentése érdekében. Erősebb trend és magasabb regressziós becslés figyelhető meg a TI esetében, különösen Horvátországban, Máltán és Bulgáriában. A növekedési üteme fenntartható volt a TI alakulásában a GIC és FEC változásához képest, elsősorban Romániában és Spanyolországban. A hozamstabilitási mutató alapján a GIC és FIC, valamint TI növekedési üteme fenntarthatónak bizonyult, a gyártástechnológia pedig jól illeszkedett a vizsgált tagország változó körülményeihez, az alkalmazott technológia pedig a legtöbb tagállamban alacsonyabb ingadozásokkal volt képes fenntartani a hozamtrendeket. A legnagyobb növekedés és a legalacsonyabb technológiai kockázat a TI esetében figyelhető meg.

3.4. Kilátások

A biomassa alapú gazdaság lehetővé teszi az emisszió-kibocsátás csökkentését, ezért a biomassa iránt mutatkozó kereslet világszerte nő. Az ökológiai szempontból fenntartható biomassa-potenciál becslésével kevés szakirodalom foglalkozik, ráadásul az egyes előrejelzések nagy különbséget mutatnak egymástól, de a biomassa energetikai potenciál felső határa nem haladja meg az évi 500 EJ-t. Az élelmiszerpiac továbbra is bioalapú marad, de az energia- és vegyipari ágazatok is fokozatosan növelik a végtermék bioalapú komponenseit, így ezek a piacok befektetési lehetőségeket kínálnak. A biomassa alapú gazdaság fejlesztése során figyelembe kell venni az ökoszisztéma szolgáltatásokat és a biohulladék újrahasznosítását az értéklánc hozzáadottérték-termelő képességének javítása érdekében a biomasszától kezdve a végtermékekig bezárólag. A biomassa energiatermelése vonzó lehetőséget kínál a fosszilis tüzelőanyagoktól való függőség és az ÜHG-kibocsátás csökkentésére, különösen az EU-ban. A bioalapú vegyipari alapanyagok piaca egyelőre még kismértékű, de gyorsan növekszik. A növekvő biomasszaigény a földhasználatot és földárakat is befolyásolja. Az élelmiszer, a bioenergia és a biokémiai és az egyéb alapanyagok termelése közötti kapcsolatrendszer a gazdasági tényezők (pl. ár és kereskedelem), a mezőgazdasági technológia (pl. a terméshozam, a biomassa-feldolgozás hatékonysága), a változó kereslet (pl. étrend, népesség alakulása) és a globális földhasználat függvénye.

A fel nem használt és elégetett növényi maradványok hozzájárulhatnak a bioenergia és bioalapú anyagok fenntartható előállításához. Az újabb generációs bioüzemanyagok tovább csökkentik az ÜHG kibocsátását, de a nem élelmiszer célú nyersanyagon alapuló bioüzemanyagok előállítása lassan halad előre. Gazdasági szempontból nem az energiaellátás jelent problémát, hanem a biomassa összegyűjtése és felhasználható formában történő szállítása a fő kérdés, ugyanis a növényi biomassa alacsony sűrűségű, alacsony értékű és nagy térfogatú anyag, ezért nagy távolságra történő szállítása drága. Az elsődleges fás biomassa maradványok és az elhalt fa növekvő felhasználása az energiatermelés bioalapú többletforrása, de a jövőben a hulladék (papír- fa- és építőipar, fűrészáru) szerepe is növekedhet energiatermelésben. A csökkenő biomassa hulladék és a biomassa kaszkád, többletcsős hasznosítása, különös tekintettel a hulladék energiatermelésre történő felhasználása hozzájárul a biomassa állomány növekedéséhez közvetett földhasználat-változás nélkül, így több bioenergia és egyéb bioalapú termékek előállításához. Ennek ellenére indokolt csökkenteni a fajlagos energia- és anyagfogyasztást, mindenekelőtt a fejlett országokban. A folyamatos növekedésen alapuló gazdaság átgondolásra szorul, ezért a szolgáltatások és termékek előállításánál az externális (társadalmi) költségeket is célszerű figyelembe venni.

A jelenlegi fosszilis energiaforrásokon alapuló gazdaság biomassza alapú gazdasággá történő átalakítását hátráltatja a korlátozottan rendelkezésre álló biomassza állomány, ezért az élelmezésbiztonság elsődleges prioritást élvez a biomassza minden egyéb célú felhasználásával szemben, ugyanakkor egyre nagyobb szerepet kap a vegyipar, az energiatermelés és az egyéb célú felhasználás is. Világszerte a biomassza 55%-át takarmányozásra és élelmiszertermelésre, 27%-át bioenergia és 8%-át a bioalapú termékek előállítására használják, az egyéb felhasználás és veszteség pedig 10%-ot tesz ki. Az EU-ban a biomassza 59%-át takarmányok és élelmiszer, 17%-át bioenergia, 4%-át bioüzemanyagok előállítására használják fel, 20%-át pedig bioalapú anyagok (például a fatermék és cellulóz) gyártására. A fosszilis eredetű tüzelőanyagok anyagfelhasználása helyettesíthető biomasszával, de az egyéb megújuló energiaforrásokkal nem, legalábbis rövid távon. A bioenergia és a bioalapú anyagok piaca már bővül, a bioalapú alapanyagok és termékek azonban még nem versenyképesek a fosszilis eredetű anyagokkal összehasonlítva. Az EU a biomasszából nettó importőr, elsősorban a növényi alapú élelmiszerekből, de ez a teljes biomassza felhasználás csupán 3%-át teszi ki. Az EU tehát majdnem önellátó a biomassza termelés és -felhasználás terén, de nagymértékben függ a fosszilis tüzelőanyagtól, ezért ösztönzik a megújuló energia és a bioalapú vegyipari anyagok előállítását. Nem beszélve arról, hogy 2050-re a nettó nulla ÜHG-kibocsátás elérése a cél.

Az EU részesedése a globális primer energiatermelésben csupán 5% és a bruttó végső energiafogyasztásban 13%, ami a fosszilis tüzelőanyagoktól való nagy importfüggőségét (50% feletti) jelzi. Az EU biomassza állománya a globális biomassza állomány 9%-át teszi ki. A biomassza részesedése a globális primer energia termelésében 10%, míg a globális energiafogyasztásban 13%, ezzel szemben az EU-ban a primer energiatermelés 18%-a és a végső energiafogyasztás 10%-a biomassza alapú. Ennek oka az, hogy az EU-ban a villamos- és hőerőművek biomassza fogyasztása viszonylag magas, de komoly veszteségek mellett. A biomassza növekvő felhasználása a primer energia előállításában azt is jelenti, hogy a biomassza aránya csökken a végső energiafogyasztásban. Az erdőgazdálkodásból, a mezőgazdaságból és a hulladékokból származó energia célú biomassza becsült potenciálja jóval meghaladja a biomassza primer energiatermelésben betöltött szerepét az EU-ban. A vegyipar pozitív külkereskedelmi mérleggel rendelkezik a fokozódó globális verseny ellenére. A bioalapú vegyipari anyagok tehát alternatívát kínálnak a fosszilis alapuló vegyipari nyersanyagokkal szemben, ehhez viszont bőséges bioalapú alapanyagokra (cukor, keményítő, növényolaj és etanol) van szükség.

Az EU-ban a mezőgazdasági termékek külkereskedelme csekély hiányt mutat, ezen belül a cukor külkereskedelmi egyenlege pozitív, de a takarmánygabona (keményítő), olajos magvak (növényolaj) és etanol esetében negatív. Becslések szerint a bioalapú vegyipari termékek alapanyagigénye 2030-ban sokkal alacsonyabb lesz a bioenergia vagy bioüzemanyag ágazaténál. A bőséges bioalapú alapanyagokkal rendelkező Észak- és Dél-Amerika, valamint Ázsia gyorsabban halad előre a biokémiai termékek előállításában, mint az EU.

4. Bioökonómia: élelmezés-biztonsági prioritás

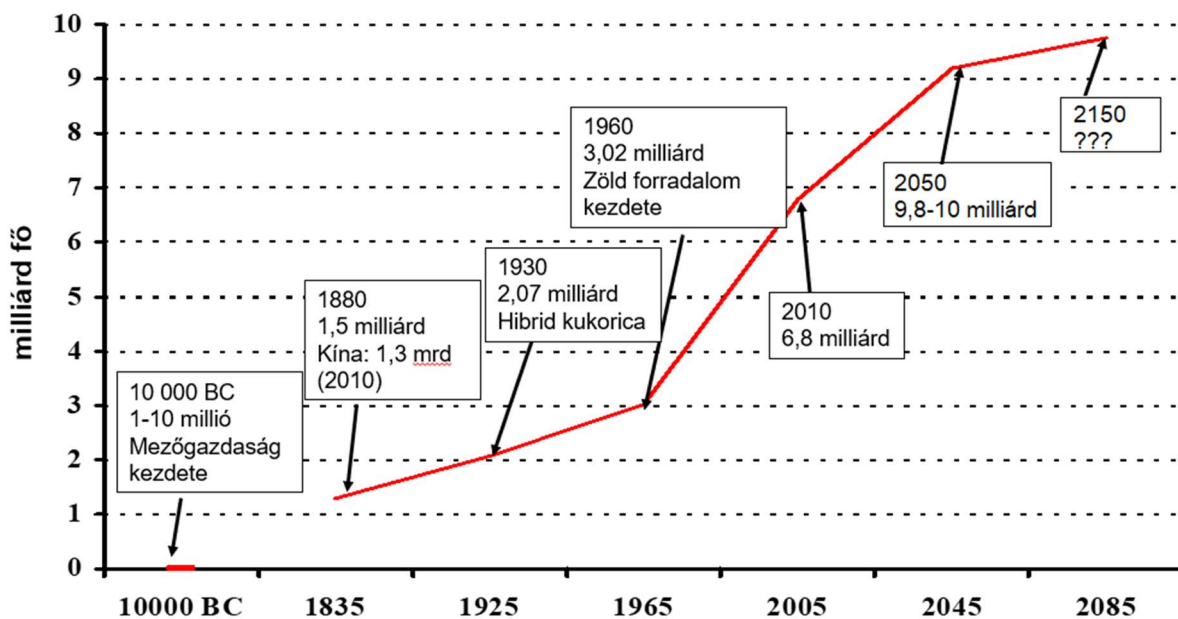
A globális élelmezésbiztonság helyzete az utóbbi évtizedekben jelentősen javult Dél-Amerikában és Ázsiában a „zöld forradalom” vívmányainak köszönhetően. Az élelmiszerhiány azonban továbbra is fennmaradt a szubszaharai régióban, ahol a népesség közel 30%-a alultáplált. Számos tudományos publikáció foglalkozik a jelenlegi krízis különböző okaival, az afrikai élelmiszergazdaság kilátásaival, az éghajlatváltozás és a gyorsan növekvő népesség hatásaival. Ugyanakkor kevés kutatás alkalmazta a holisztikus megközelítést Afrika fejlesztési lehetőségeinek elemzésére. A rendszerdinamikai szimulációk eredményei meglehetősen borús képet prognosztizálnak az élelmiszergazdaság kilátásairól Nigériában és Ugandában, ahol a történelmileg legmagasabb termelési szint sem tudja kielégíteni a növekvő élelmiszerigényt. Rendszerdinamikai elemzés alapján megállapítható, hogy radikális változások nélkül a két viszonylag gazdag afrikai országban a mezőgazdasági termelés jelenlegi fejlődési üteme sem képes kielégíteni az élelmiszer iránt mutatkozó fogyasztói keresletet. Nagymértékű és összehangolt erőfeszítésekre van szükség a fajlagos hozamok növelésére a mezőgazdasági erőforrások felhasználásának optimalizálásával, a földhasználat javításával, az élelmiszerlánc veszteségeinek csökkentésével és az étrendváltozás elősegítésével. Az elkövetkező évtizedekben még a relatíve stabil és fejlett afrikai országok sem lesznek önellátóak élelmiszerből. Ez még inkább előtérbe hozza az afrikai gazdaság globális értékláncba történő integrálódás szükségességét a piacképes áru és szolgáltatás előállítása érdekében. A vizsgált két afrikai ország (Nigéria és Uganda) legfontosabb rövid távú feladata a tőke kiáramlásának megállítása (Popp és szerzőtársai, 2019a).

Az Európai Akadémiák Tudományos Tanácsadó Testülete (European Academies' Science Advisory Council: EASAC) legújabb állásfoglalása szerint sürgős lépésekre van szükség az **élelmezés- és táplálkozásbiztonság** területén (von Braun és szerzőtársai, 2017). A klímaváltozás negatív hatással lesz az élelmiszertermelésre, ez pedig elengedhetetlenné teszi a klímatudatos mezőgazdaság bevezetését, például az szárazságtűrő növényfajták nemesítésével. A klímaváltozás mérséklése érdekében változtatni kell az európai élelmiszerfogyasztási szokásokon is, így például indokolt csökkenteni az állati eredetű fehérjék fogyasztását. Továbbá célszerű a magas kalóriatartalmú ételek fogyasztását visszaszorítani a megfizethető, egészséges táplálkozást ösztönző programok bevezetésével. Az élelmiszerfogyasztási szerkezetben meghatározó szerepet játszanak a magas növényolaj-, zsír- és cukortartalmú élelmiszerek, ráadásul ezek kivitele az egészségtelen európai étrend exportját is jelenti. Tehát nemcsak az európai lakosság étrendje egészségtelen, hanem az európai élelmiszereket importáló országok népességének élelmiszerfogyasztási szerkezete is.

Az egészséges étrendbe nehezen beilleszthető élelmiszerek termelése gyorsítja a klímaváltozást, ezért csökkenő fogyasztással párhuzamosan a klímaváltozás is mérséklődik. Ma globális szinten nem áll rendelkezésre tényleges mérésre alapozott adat az élelmiszergazdaságban keletkező élelmiszerpazarlás mennyiségének mértékéről, csupán becslések alapján tájékozódhatunk (a kevés helyi és regionális felmérés 5-30% közötti veszteségről számolnak be). Ezen felismerés nyomán az EU tagországaiban a 2018/851/EU irányelv alapján 2021-től tagállami szinten rendszeres méréseket kell végezni az élelmiszerpazarlásról egységes módszertan alapján az élelmiszerlánc minden szakaszában (Caldeira és szerzőtársai, 2019). Fontos szempont még az **élelmiszerpazarlás** helyi és regionális csökkentését szolgáló hatékony beavatkozások megvalósítása. Az élelmiszerpazarlás egyben energia- és vízpazarlást is jelent, ezért ennek csökkentése hozzájárul a klímaváltozás és hatásainak mérsékléséhez. A klímaváltozás növeli az élelmiszerbiztonsági kockázatot a kórokozók és kártevők globális terjedése révén is, így kiemelt feladat az élelmiszer-szennyezettség forrásainak pontos leírása és kezelése is (von Braun és szerzőtársai, 2017).

A **táplálkozási szokások** gyors változása többek között a globális urbanizációval is összefügg. A földműveléssel felhagyó emberek tömegei költöznek a városokba, ahol – részben az életszínvonal növekedésének köszönhetően – étkezési szokásaik megváltoznak. Strukturális természetű folyamatról van szó, amely összességében növeli a keresletet. De szélsőséges esetben az urbanizáció a mezőgazdasági munkaerő „elszívásával”, továbbá az infrastruktúra, az ipari parkok és lakónegyedek terjeszkedése a mezőgazdasági földterület rovására a mezőgazdasági termelést is korlátozhatja. Az urbanizációs és motorizációs folyamat is értékes termőföldet vesz el a mezőgazdaságtól. Egymillió fő városba vándorlása 40 ezer hektár területet igényel, a gépkocsiállomány egymillió darabszámmal való növekedése pedig mintegy 20 ezer hektár termőterületet vesz igénybe. Ma a világ népességének több mint fele városokban él, a jövőben pedig méginkább túlsúlyba kerül a városi lakosság (2050-re a világnépesség több mint 70%-a fog városban élni). Az urbanizációval – és a nemzetközi kereskedelem liberalizációjával – egyre távolabb kerülnek egymástól a termelés és fogyasztás földrajzi központjai, aminek következtében nő a szállítás, a raktározás és a hűtés jelentősége, így értelemszerűen az árukezelés költsége is, ami ugyancsak hozzájárul az élelmiszerárak emelkedéséhez (FAO, 2017).

A ma prognosztizálható érendváltás nagyobb gond az élelmiszertermelés szempontjából, mint a népesség növekedése. A **világ népessége ma mintegy 7,8 milliárd fő, 2050-ig várhatóan 10 milliárd főre nő, ami 25%-os népességnövekedést jelent** (17. ábra). Ezzel szemben az élelmiszer-kereslet 60%-kal fog nőni 2050-ig vagyis a mai fogyasztási szerkezet mellett annyi élelmiszert kell majd megtermelnünk, mintha 11,5 milliárd ember élne akkor a Földön (ENSZ 2019). Ennek oka, hogy a hús- és tejtermék fogyasztás irányába változik az érend: egyre többen engedhetik meg maguknak, hogy magas hozzáadott értékű élelmiszert, például húst és tejterméket egyenek. A **húsfogyasztás kétszer olyan gyorsan nő, mint a népesség** (Popp és szerzőtársai, 2018d; Oláh, 2019). Ma a Földön az egy főre jutó évi húsfogyasztása 42 kilogramm, 2050-ben ez várhatóan 52 kilogrammra emelkedik, miközben évi 140 millió új fogyasztó jelenik meg a piacon és 60 millió fő hal meg (World Economic Forum, 2016). Az Egyesült Nemzetek előrejelzése szerint Európában népesség száma 2050-ig a jelenlegi 740 millió főről 716 millió főre csökken (United Nations, 2017; United Nations, 2019).



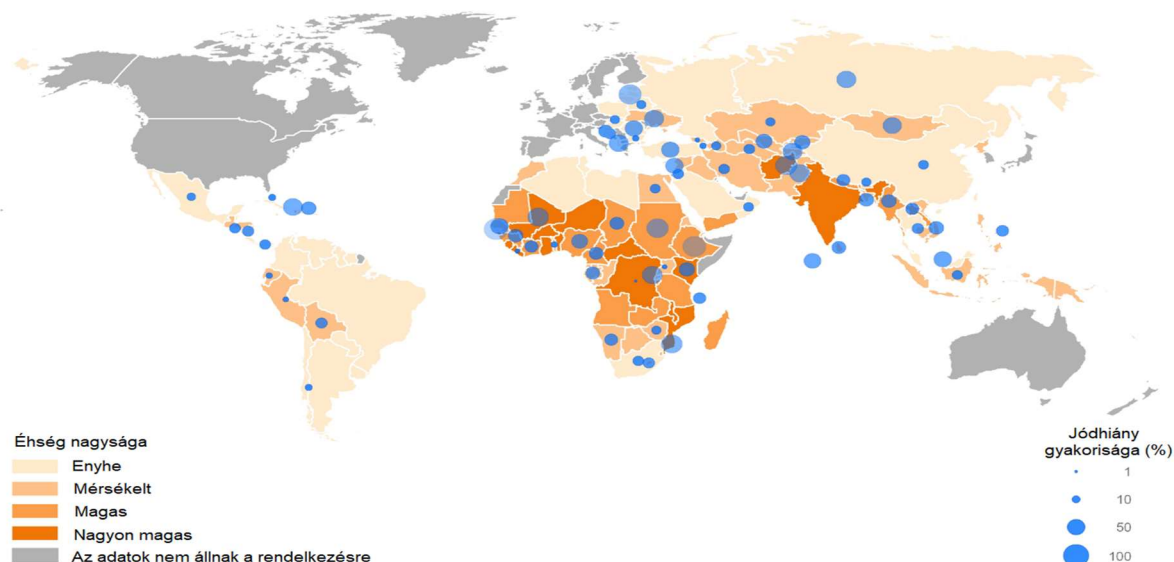
17. ábra: A világ népességének növekedése

Forrás: FAO (2017)

Az állati eredetű élelmiszer iránt növekvő kereslettel együtt a földhasználat is változik, ugyanis a hús- és tejtermék fogyasztásának növekedése egyre több takarmányt igényel. Ez a tendencia már most is megfigyelhető: 1960-2010 között az egy főre jutó globális szántóterület 0,45 hektárról 0,25-re csökkent, 2050-re pedig már a 0,2 hektárt sem éri el. Az EU-ban az állattenyésztés használja a mezőgazdasági terület 66%-át, de globális szinten is 60%-körül alakul ez az arány. **Az étváltozás (ha így marad) nagyobb hatással lesz a földhasználatra, mint a népességnövekedés.** Az állattenyésztésben a takarmányozás transzformációs hatékonysága alacsony, kalóriaértékben kifejezve mindössze 10-15%-os. Említést érdemel még az állattenyésztés ÜHG-kibocsátásban és a vízfogyasztásban játszott szerepe (FAO, 2017).

4.1. Túltápláltság, alultápláltság

A Body Mass Index (BMI), azaz testtömeg index értékei alapján határozható meg, hogy valaki túlsúlyos (25-29,9%) vagy elhízott (>30%). A világnépesség 33%-a túlsúlyos, ebből 30% elhízott, az EU-ban a felnőttek 17%-a elhízott, Magyarországon pedig 28,5%-a (Eurostat, 2016; von Braun és szerzőtársai, 2017). Mindez jelentős többletterhet jelent a társadalombiztosítási rendszer számára (Rurik és szerzőtársai, 2015). Az elhízást az Egészségügyi Világszervezet (World Health Organisation: WHO) „globális járválynak” nevezi, ráadásul a 2,3 milliárd túlsúlyos népességgel szemben 0,8 milliárd fő éhezik a világon (Hengeveld és szerzőtársai, 2018). A COVID-19 vilájárvány tovább növeli az éhező népesség létszámát. Ez is bizonyítja, hogy globális szinten az éhezés és az elhízás, valamint az alul- és túltápláltság egymással párhuzamosan fordul elő. Továbbá komoly probléma még, hogy **2 milliárd ember „rejtett éhségben”,** azaz nem kalória-hiányban, hanem **mikrotápanyag-hiányban (vitamin, ásványi anyag és nyomelem) szenved,** sőt, a túlsúlyos emberek egyharmada is ebbe a kategóriába tartozik. Ez azt jelenti, hogy a **túltápláltság (kalóriában) alultápláltsággal (mikrotápanyagban) is párosul** (Oláh, 2019). **A jövő nagy kihívása lesz, hogy a Föld növekvő népességének élelmiszerellátása (kalóriában, azaz energiában kifejezve) mellett a táplálék megfelelő minőségéről (mikrotápanyag kifejezve) is gondoskodjunk** (World Health Organisation, 2018a).



Megjegyzés: A lakosságarányos „rejtett éhség” alakulása 136 országban: vas-, A vitamin- és cinkhiányban szenvedő lakosság száma 100 000 főre vetítve.

18. ábra: A „rejtett éhség” alakulása világszerte

Forrás: Muthayya és szerzőtársai (2013)

A krónikus, nem fertőző betegségek megjelenésével (pl. az elhízással összefüggő betegségek) párhuzamosan a gyermekek és serdülőkorú fiatalok nem megfelelő étrendje és étkezési szokásai Európában is kiemelt probléma (Grasgruber és szerzőtársai, 2018). A kutatások kiemelt területe, hogy mely intézmények, intézményrendszerek képesek leginkább befolyásolni a fogyasztói attitűdot és magatartást. Az iskolai közétkeztetésnek meghatározó szerepe van a táplálkozási magatartás kialakulásában, még akkor is, ha ennek az elhízás megelőzésében játszott szerepét nem bizonyították hosszú idősorú elemzésekkel (Brown és Summerbell, 2009; Meiklejohn és szerzőtársai, 2016).

Magyarországon 2014-ben jelent meg a közétkeztetésre vonatkozó táplálkozás-egészségügyi előírás és az iskolai közétkeztetési sztenderdek bevezetése szerepet játszik a fiatal generáció táplálkozási szokásainak megváltoztatásában. Az EU tagállamaiban általában szabályozott az iskolai közétkeztetés, így hazánkban is születtek intézkedések az iskolai közétkeztetés minőségének javítása érdekében. Kutatásom eredményei rámutatnak az új szabályozás bevezetését megelőző előkészületek hiányára és a nem megfelelő kommunikációra a különböző érdekelt felek között. Kimutatható, hogy az egészséges gyermekétkeztetés érdekében komplex táplálkozási oktatóprogramra és folyamatos párbeszédre van szükség a tanárok, a szülők, valamint az iskolai közétkeztetésben dolgozó szakemberek és a kormány között. Hozzá kell tenni, hogy a gyermekek a magyar iskolai közétkeztetés kulcsszereplői, de csekély befolyásuk van a rendszer működésére. Magyarországon még nem készült országos felmérés és elemzés a gyermekek közétkeztetéssel kapcsolatos preferenciarendszeréről (Kiss és szerzőtársai, 2019).

A személyi edzők meghatározó szerepet játszanak a táplálkozási tanácsadásban, vagyis a táplálkozási szokások megváltoztatásában. Magyarországon mintegy ezer személyi edzőt tartanak nyilván és egyre többen kínálnak ügyfelek számára táplálkozási tanácsadást. A személyi edzők táplálkozási tanácsadási gyakorlatáról fókuszcsoportos interjú és kérdőíves adatfelvétel készült kvalitatív és kvantitatív kutatási módszerek alkalmazásával. Az eredményből kiderül, hogy elméletben az edzők és a dietetikusok elismerik az együttműködés fontos szerepét az edzés hatékonyságának optimalizálásában, a tanácsadói munkában azonban bizonyos „szakmai féltékenység” tapasztalható a szakmai háttér különbsége miatt, így nehéz megtalálni az együttműködés közös platformját. A szabályozás hiánya miatt az edzők szakmai, de különösen táplálkozási kompetenciái magas heterogenitást mutatnak, ráadásul az edzők többségének nincs objektív képe táplálkozási ismereteiről (pl. táplálkozási tanácsadás krónikus betegségben szenvedő ügyfelek számára). Elengedhetetlen az edzők szakmai szintjének javítása, folyamatos továbbfejlesztése hatékony ösztönzőrendszer kidolgozásával. Az OKOSTÁNYÉR® az egyetlen hivatalos hazai táplálkozási ajánlás az egészséges felnőtt lakosság számára. Ezenkívül nincs más hivatalos platform, ahol az edzők megbízható információkat találnának vagy oktatásban részesülnének a krónikus betegségekben szenvedő ügyfelek helyes táplálkozási tanácsadásáról. Az edzők többségének képzettségi szintje túl alacsony a professzionális táplálkozási tanácsadáshoz, az oktatási forma pedig nem ad megfelelő információt arról, hogy milyen mértékben korlátozott az edzők táplálkozási tanácsadási kompetenciája (Kiss és szerzőtársai, 2020).

Az állami vagy uniós támogatással megvalósítható **automatizált adatgyűjtés hozzájárulna** a fogyasztói magatartás megváltozásához és a **személyre (vagy csoportra) szabott táplálkozás bevezetéséhez**. A tápanyagszükséglet és a fogyasztó genetikai felépítése között fennálló összefüggés figyelembevételével egyénre szabott tápanyagbeviteli ajánlás is kidolgozható, sőt a tápanyagellátottság megállapításának standardizált módszereivel az optimalizált tápanyagbevitel egyénre vagy csoportra is alkalmazható. Csak ilyen eszközök segítségével valósítható meg az egészségtudatos táplálkozás megfizethető áron. Fontos kiemelni, hogy az egészség és a táplálkozás kapcsolatát vizsgáló fogyasztói kutatások eredményeinek

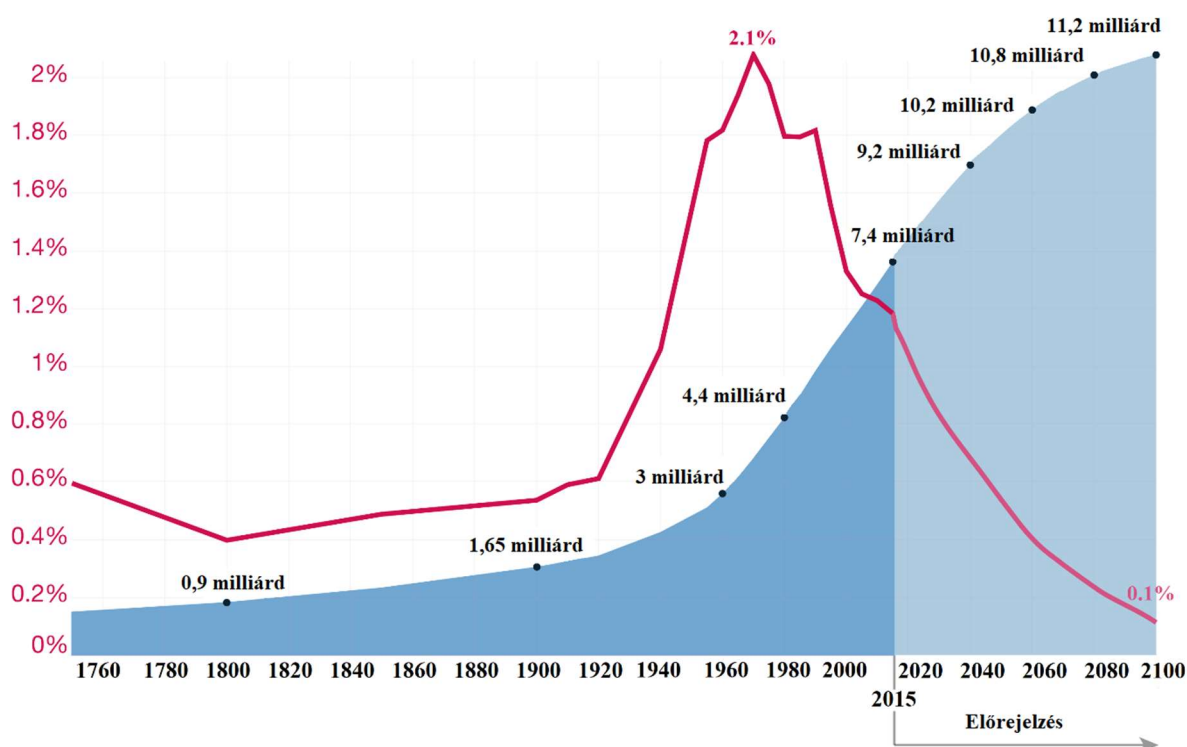
hasznosításához szükségesek a hatékony szakpolitikai intézkedések (Szakos és szerzőtársai, 2020).

4.2. Élelmiszerpazarlás, különös tekintettel a gabona ellátási láncra

1798-ban Malthus azt állította, hogy a globális népesség gyorsabban növekszik, mint a globális élelmiszer-ellátás, annak ellenére, hogy a háború, a betegség és éhínség fékezi a népességnövekedést. A túlnépesedés törvényéről Malthus (1978) írt tanulmányának nagy befolyása volt, de később egyértelműen kiderült, hogy bár előrejelzései az adott formában (a technikai, technológiai fejlődés előre nem látása miatt) nem állták meg a helyüket, de a túlnépesedés és a korlátozott erőforrások ellentmondására való figyelemfelhívása máig élő problémát tárt fel. Malthus téves előrejelzései nem gátoltak meg másokat hasonló scénáriók vizionálásában. Például Paddock (1967) világszerte éhínségre számított 1975-re, mert szerinte rövid távon lehetetlen táplálni a lakosságot. Ehrlich és Ehrlich (2009) a túlnépesedés miatt az 1970-es és 1980-as években világszerte éhínséget prognosztizált és sürgette a népességnövekedés ellenőrzését. Sem Malthus, sem Paddock, sem Ehrlich és Ehrlich nem értékelték az emberiség kreativitását. Romer (1992) viszont kiemelte, hogy a jövőben bevezethető a fenntartható gazdaság. Tehát a zöld forradalom időszakában elterjedtek a korszerű mezőgazdasági technológiák, melyeknek köszönhetően világszerte megduplázódott a gabonatermelés. Több mint 50 év telt el Paddock és Ehrlich előrejelzései óta, de a tömeges éhezés nem következett be, ugyanakkor nőtt az alultáplált és éhező népesség száma.

Mindezek ellenére Ehrlich és Ehrlich (2009) az erőforrások szűkösségével kapcsolatos érvei közel állnak a valósághoz, mivel a természeti erőforrások korlátozott mértékben állnak rendelkezésre. Ebből kiindulva Diamond (2005) és más szakértők a természeti erőforrások túlzott mértékű felhasználásáért a „népesség” helyett a „fogyasztást” tették felelőssé. 50 évvel ezelőtt az egyre növekvő népességet tekintették az emberiség legnagyobb kihívásának. **Ma viszont a termelés és fogyasztás idézi elő a természeti erőforrások gyors apadását, vagyis nem önmagában a népesség növekedése, hanem a globális fogyasztás, nevezetesen az egy főre jutó élelmiszerfogyasztás nagysága és szerkezete, valamint az élelmiszerpazarlás növekvő aránya a fő kihívás.** Több kutatás megerősíti, hogy természeti erőforrások ésszerű használatával kerülhetjük el az élelmiszer-, energia- és környezetbiztonság globális összeomlását. Az igazi probléma ennél mélyebb, a globális scénáriók mellett ezért regionként is hatékony megoldásokat vagy módszereket igényel az élelmezésbiztonság javítása.

A globális gazdasági expanzió és a népesség folytatódó, noha lassuló ütemű növekedése révén tovább élénkül az élelmiszerek iránti kereslet. A történelem folyamán lassan növekedett a globális népesség, a Föld lakóinak száma Jézus Krisztus születésekor 100 millió fő körül alakult és csak 1804-ben érte el az egymilliárdot. Ezután felgyorsult a népességszaporulat, mert 1927-ben a Föld népessége elérte a második milliárdot, 1960-ban pedig már a hárommilliárdot, 1999-ben átlépte a hatmilliárd, 2011. október végén pedig a hétmilliárd főt. 1962-ben volt a legmagasabb népességnövekedési üteme, nevezetesen 2,1%, 2015-re ez fokozatosan 1,1%-ra csökkent, azaz évente 82 millió fővel gyarapszik a világnépesség létszáma. A globális népesség 2100-ig 11,2 milliárd főre növekszik, de a növekedés üteme fokozatosan 0,1%-ra esik vissza (FAO, 2017). A világ népessége 2020-2050 között 25%-kal, közel 10 milliárd főre bővül, ráadásul a magas hozzáadott-értékű élelmiszerek (hús- és tejtermékek) fogyasztása tovább nő, így értékben kifejezve 60%-kal emelkedik az élelmiszerek iránti kereslet (19. ábra). Felvetődik a kérdés, hogy képesek leszünk-e kielégíteni a világnépesség élelmiszerigényét?



19. ábra: A világnépessége alakulása és növekedési üteme 1750-2015 között (előrejelzés 2100-ig)

Forrás: Roser és Ortiz-Ospina (2017)

Az élelmezésbiztonságot az élelmiszerlánc fázisaiban keletkező hulladék és veszteség is befolyásolja. Az élelmiszer-pazarlás az élelmiszer-ellátási lánc teljes egészén jelentkezik, vagyis a lánc minden szakaszán. Az élelmiszer-pazarlás azt jelenti, hogy az elsődleges termeléstől a lakossági fogyasztásig az élelmiszer-ellátási lánc minden fázisában biztonságos és tápláló, emberi fogyasztásra alkalmas élelmiszert kidobnak vagy nem élelmezési célra használnak fel. A hangsúlyt a megelőzésre kell fektetni, mivel a pazarlás elkerülése nagyobb előnyökkel jár, mint annak későbbi kezelése. Ugyanakkor nincs megfelelő tudományos bizonyíték az élelmiszer-pazarlás mértékéről a világon. Az élelmiszerhulladék (ÉH) általában emberi magatartás függvénye, például állatok elhullása, állatbetegség által okozott veszteség, betakarítás elmaradása, szavatossági idő lejárása, többletkészlet, termékek kiselejtezése esztétikai előírások miatt, tárolási hulladék, többletétel, ételmaradék, megromlott élelmiszer.

Ezzel szemben az élelmiszerveszteség (ÉV) főleg a technológia függvénye, például betakarítási, szállítási, tárolási és feldolgozási (hámozás, szeletelés, mosás stb.), valamint csomagolási veszteség (FAO, 2015). **Az élelmiszer-veszteség (ÉV) és - hulladék (ÉH) együtt jelenti az élelmiszer-pazarlást (ÉP).** Különböző becslések alapján az élelmiszer-pazarlás súly alapján mérve eléri az évi 1,2-2,0 milliárd tonnát. A mennyiség helyett egyébként az energia- és tápanyagvesztést célszerű mérni. Abban egyetérthetünk, hogy a fejlődő országokban alacsonyabb az élelmiszer-pazarlás, mert a háztartási jövedelem jelentős részét költik élelmiszerre. A fogyasztói hulladékot indokolt gyorsan csökkenteni, mert ez a fogyasztói magatartás kérdése, a többi veszteség főleg a technológián múlik, azon pedig nehezebb változtatni, mert a mostaninál jóval magasabb színvonalat feltételez.

Az Év és ÉH különböző módon értékelhető és mérhető, meghatározására számos meghatározás létezik annak függvényében, hogy a betakarítás előtti és/vagy a betakarítás utáni fázisokat, a felhasználás célját (élelmiszer és/vagy takarmány, bioenergia stb.), az élelmiszernövény ehető

és/vagy nem ehető komponensét vagy az ÉV és ÉH tápértékét vesszük-e figyelembe (Chaboud és Daviron, 2016). Fontos szempont a betakarítás előtti fázis veszteségének számszerűsítése, mivel a betakarítás előtti fázis gondos kezelése növeli például a paradicsom mennyiségét és minőségét az értéklánc mentén (Chaboud, 2017). Az ÉV és ÉH negatív élelmiszerbiztonsági, gazdasági és környezeti hatásokkal jár, mert ezzel párhuzamosan a termeléshez felhasznált erőforrásokat (víz, talaj, energia és egyéb input) is pazaroljuk. Az ÉP csökkentése hozzájárul a mezőgazdaság ÜHG-kibocsátás mérsékléséhez és a globális élelmiszerellátás javulásához (FAO, 2015). **Világszerte az emberi fogyasztásra előállított élelmiszer körülbelül egyharmada kárba vész**, ami súlyban mérve évente 1,3 milliárd tonnát jelent (Gustavsson és szerzőtársai, 2011). Az élelmiszer-pazarlás gazdasági és környezeti költségét az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) évi mintegy 1,7 billió dollárra becsüli (FAO, 2015). Az ENSZ globális fenntarthatósági célkitűzései (Agenda 2030 program) között szerepel az egy főre jutó ÉP csökkentése világszinten. Az ÉP a termeléshez felhasznált erőforrások (pl. föld, víz, energia, talaj, vetőmag, növényvédő szerek stb.) pazarlását is jelenti; emellett hozzájárul az üvegházhatású gázok (ÜHG)-kibocsátás növekedéséhez (United Nations, 2015).

A világnépessége növekedésénél gyorsabban változik az étrend, azaz a magas hozzáadott-értékű fehérjében gazdag élelmiszerek (pl. hús- és tejtermékek) fogyasztása (FAO, 2017). Az élelmiszerhiány megszüntetéséhez mérsékelni kell az élelmiszer iránti kereslet növekedését, az élelmiszerpazarlást, ezzel együtt a mezőgazdasági ÜHG-kibocsátást. Továbbá fontos szempont még az innováció, a születési ráta (önkéntes) csökkentése Afrikában és a húsalapú étrend növényi alapú étrenddel történő részbeni helyettesítése (Searchinger és szerzőtársai, 2019). A legújabb alternatív élelmiszerfehérje piaci bevezetése is gyorsan bővül világszerte, mint például a vegahús fogyasztása.

A Boston Consulting Group (2018) szerint a globális ÉP 2015-ben elérte az 1,6 milliárd tonnát mintegy 1,2 billió USA dollár értékben, 2030-ra pedig ez az érték 2,1 milliárd tonnára emelkedik 1,5 billió USA dollár értékben. Az évi ÉP a globális élelmiszertermelés egyharmadát és az ÜHG-kibocsátás 8%-át teszi ki, ugyanakkor világszerte több mint 800 millió ember alultáplált vagy éhezik. Az ÉP az élelmiszerlánc elején és a végén a legnagyobb, nevezetesen a fejlődő régiókban a termelés és értékesítés közötti fázisokban, míg a fejlett régiókban a kiskereskedelem és fogyasztás fázisaiban. Az értéklánc minden szereplője komoly szerepet játszhat az ÉP csökkentésében (Hegnsholt és szerzőtársai, 2018).

Az USA-ban, Kanadában és Mexikóban az évi ÉP mennyisége 168 millió tonnát tesz ki. Számos lehetőség van az ÉP visszaszorítására, többek között az értéklánc szereplői közötti együttműködés erősítésével, a dátumjelölés egységesítésével, a hűtőlánc javításával, valamint a feldolgozási és csomagolási innováció elősegítésével (Popp és szerzőtársai, 2018d; CEC Technical Report, 2019; Gao, 2019). Az ÉP elsődleges oka az elégtelen infrastruktúra és technológia, a szennyeződés, a hámozási és darabolási veszteség, a megtevesztő dátumjelölés (lejárati/szavatossági idő), az élelmiszer-biztonsági (hűtőlánc) problémák (Popp és szerzőtársai, 2018d; Gao, 2019; CEC Technical Report, 2019). Az USA-ban az ÉP az élelmiszer-előállítás csaknem 40%-át éri el, ezért szorosabb együttműködésre van szükség az élelmiszerlánc érdekelt felei között. Korlátozott adatbázis áll rendelkezésre az ÉP mértékéről, a hiányos infrastruktúra is akadályozza az ÉP visszaszorítását és az élelmiszerlánc szereplői (vállalkozások és fogyasztók) részéről hiányzik az ÉP-sal kapcsolatos tudatosság. Az USA 2015. évi célkitűzése szerint 2030-ig a felére csökkentik az ÉP mértékét (Gao, 2019).

Az EU-ban 2015-ben az ÉP az élelmiszertermelés 20%-át tette ki 143 milliárd euró értékben (European Commission, 2019f). A háztartások élelmiszeri célú kiadásai is szerepet játszanak abban, hogy mennyire is értékelik az élelmiszereket a különböző országokban. A háztartási jövedelem élelmiszerekre fordított aránya az EU-ban alacsony, átlagosan 13%. Ezzel szemben számos afrikai országban a jövedelem csaknem 50%-át költik élelmiszerre. Az ÉP részesedése

Európában csupán néhány százalék volt az 1930-as években, de azóta hirtelen megnövekedett, ma eléri az egyharmadot. Az EU-ban a viszonylag olcsó élelmiszerek nemigen ösztönzik a fogyasztókat az ÉP csökkentésére. Az ÉP mellett a műanyag hulladék is jelentős gazdasági, környezeti és társadalmi kihívást jelent. A műanyag csomagolószerek túlnyomó többségét csak egyszer használjuk fel. Az élelmiszerellátásban a műanyagcsomagolás csökkentése mellett ösztönözni kell az újrafelhasználást és újrahasznosítást a körforgásos gazdaság bevezetésével (Schweitzer és szerzőtársai, 2018).

Egy piackutatás szerint az EU-ban évente keletkező ÉP mintegy 10%-a a lejáratí/szavatossági idővel kapcsolatos dátumjelölésnek tulajdonítható, habár a piaci felmérés a jelölésnél magas szintű megfelelést mutatott. A dátumjelöléshez kapcsolódó ÉP csökkenthető az egyértelmű és olvasható jelöléssel, ezáltal a fogyasztók különbséget tehetnek a „fogyaszthatóság időtartama” (élelmiszerbiztonsági indikátor) és a „szavatosság dátuma” (minőségi indikátor) között. Egyértelmű dátumjelöléssel jelentős mértékben csökkenthető az ÉP a tejtermékek, a friss gyümölcslevek, a hűtött hús és a hal esetében (European Commission, 2018b). A jelölésnél a dátumok téves értelmezése az egyik kulcsfontosságú tényező az ÉP visszaszorításában. Az USA-ban a jelölésnél használt dátumok nagyon sokféle formát mutatnak, mint például a „fogyasztható”, „lejáratí”, „értékesíthető” és „élvezhető” dátumjelölés, amelyeket a fogyasztók rosszul értelmeznek. Ezt a gyakorlatot indokolt megváltoztatni, ehhez megfelelő intézkedések bevezetésére van szükség (Leib és szerzőtársai, 2013).

Az olaszországi felmérés három fő tényezőt emel ki a háztartási ÉP mértéke tekintetében, nevezetesen a társadalmi-demográfiai jellemzőket (a háztartási jövedelem élelmiszerekre fordított aránya), az élelmiszer-vásárlási szokásokat és a fogyasztói magatartást. Több oktatásra és információra van szükség a háztartási ÉP megelőzéséhez (Fanelli, 2019a). Egy másik tanulmány az ÉP elleni küzdelem intézkedéseit azonosította Barcelona nagyvárosi régiójában és kihangsúlyozta a további kutatások fontosságát, mivel az érdekelt felek ellenzik új rendeletek és élelmiszerpolitika bevezetését. Az új szabályozás hatásának elemzése elengedhetetlen, beleértve az ÉP erőteljes csökkentését célzó intézkedéseket is, mert az ellátási lánc szereplői között csak így érhető el konszenzus és hajlandóság az új élelmiszerpolitika (rendeletek) végrehajtásához (Díaz-Ruiz és szerzőtársai, 2019).

Magyarországon a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH) „Maradék nélkül” programjának keretében végzett tényleges háztartási hulladékmérésen alapuló kutatás szerint **fejenként mintegy 68 kilogramm élelmiszerhulladék keletkezik évente Magyarországon** (Szabó-Bódi és szerzőtársai, 2018). A 2016-os kutatással azonos módszertan szerint 2019-ben is felmérték a háztartások élelmiszerpazarlását, amelynek eredménye alapján az egy főre jutó elkerülhető élelmiszerhulladék mennyisége 65,5 kilogramm volt (Kasza és szerzőtársai, 2020). A „Maradék nélkül” program kutatóinak szakértői becslése alapján az elkerülhető élelmiszerhulladék mennyisége további 400-450 ezer ember étkeztetésére lenne elegendő. Számításaik szerint az ország 15 milliárd forintot, egy átlagos magyar család 50 ezer forintot takaríthatna meg a feleslegesen megvásárolt élelmiszereken. A háztartási élelmiszerpazarlás elsősorban a tervezés hiányára, a rutinszerű szokásokra vezethető vissza, amelyek végigkísérik a fogyasztókat a vásárlás, az ételkészítés és az éttermi étkezés során egyaránt (Szakos és szerzőtársai, 2020).

Az élelmiszer-adományozás jogszerű és létező gyakorlat Magyarországon. Az elosztási folyamatban szerepe van a jótékonyági szervezetek mellett az adományozásra ösztönző intézkedéseknek is. Magyarországon a kiskereskedelmi láncok többsége együttműködik a Magyar Élelmiszerbank Egyesülettel. A Magyar Élelmiszerbank Egyesület adatai szerint a megmentett élelmiszer mennyisége évente több ezer tonna, értéke pedig több milliárd forint. Az Élelmiszerbank a gyártóktól, a kereskedőktől, valamint a termelőktől is elfogad élelmiszert,

amelyet partnerszervezeteken keresztül osztanak ki évente több százezer rászorulóknak (Magyar Élelmiszer Bank, 2017).

Az élelmiszerhulladék csökken a lejáratí és szavatossági idő egységesítésével, az eltarthatóság idejének növelésével és az el nem adott élelmiszer élelmiszerbanknak, jótékonyági szervezeteknek történő felajánlásával. Az adományozás esetében természetesen maradéktalanul érvényesülnie kell az élelmiszerbiztonsági alapelveknek (Szakos és szerzőtársai, 2019). **De szükség van post-harvest veszteség csökkentésére, valamint a háztartási és éttermi élelmiszerhulladék visszaszorítására is.** A genetika javításával az eltarthatósági idő növelhető, a csomagolás és a logisztika fejlesztésével pedig csökken az élelmiszer- és a csomagolóanyag hulladék (lebomló csomagolóanyagnál) mennyisége. A tápanyagszükséglet és az ember genetikai felépítése között fennálló összefüggés figyelembevételével az egyénre szabott tápanyagbevitel is hozzájárul a pazarlás csökkenéséhez. Az automatizált adatgyűjtés például jó példa a fogyasztói magatartás megváltozásához és a személyre (vagy csoportra) szabott táplálkozás bevezetéséhez. A tápanyagellátottság megállapításának standardizált módszereivel az optimalizált tápanyagbevitel egyénre vagy csoportra is alkalmazható lesz a jövőben.

Conrad és szerzőtársai (2018) elemezték az ÉP, az étrend minősége, a tápanyag veszteség és a fenntarthatóság közötti kapcsolatot az USA-ban. A jobb minőségű étrend magasabb fogyasztáshoz vezet, de hozzájárul az öntözővíz és növényvédő szerek pazarlásához is csökkenő ÉP mellett, mivel növekszik a jobb minőségű étrendbe bevont gyümölcsök és zöldségek fogyasztása, amelyek fajlagosan alacsonyabb termőterületet és magasabb inputellátást igényelnek, mint más élelmiszernövények. A tanulmány eredményei azt mutatják, hogy az étrend minőségének javítása, ezzel együtt az ÉP csökkentése összetett kérdés. Fanelli (2019a) hasonló megállapításokat tett az élelmiszerellátás fogyasztói struktúrájában, különösen az állati eredetű termékek fogyasztása tükrében. **A mezőgazdaság termelés környezetre gyakorolt hatása elsősorban az élelmiszerellátás szerkezetétől és az alkalmazott mezőgazdasági gyakorlattól függ az EU különböző tagállamaiban.** Következésképpen nagy különbségeket lehet kimutatni az állati eredetű termékek előállítása és az állattenyésztés ÜHG-kibocsátás intenzitása között. Fanelli (2019a) megvizsgálta a mezőgazdasági tevékenységeknek a környezetre gyakorolt hatását az EU tagállamaiban. Arra a következtetésre jutott, hogy több tagállam is olyan termelési módszereket alkalmaz, amelyek komoly hatást gyakorolnak a környezetre; habár a földközi-tengeri és észak-európai térségben található tagállamok előnyben részesítik a hagyományos termelési módszereket, beleértve az állatállomány legeltetését is. Hozzáteszi, hogy a környezetet nagymértékben befolyásoló termelési módszereket a fenntartható intenzifikáció módszerével célszerű helyettesíteni.

Az ÉP megelőzése globális kérdéssé vált. E cél elérése érdekében a fejlődő országokban nagyobb költségvetést igényel az oktatás, a képzés és a kommunikáció, valamint a technológia és infrastruktúra fejlesztése. Az élelmiszerellátási lánc gazdasági szereplői között az együttműködés és a párbeszéd kulcskérdés. Ezenkívül a különböző országokban adatgyűjtésre és összehasonlítható adatokra is szükség van (Swedish International Agricultural Network, 2017). Ishangulyyev és szerzőtársai (2019) kiemelték, hogy az ÉV és az ÉH bonyolult kérdés, amely az élelmiszerellátási lánc egészében nagyon sok gazdasági szereplőt érint, ezért több kutatásra, együttműködésre és tudatosságra van szükség az ÉV és ÉH megelőzéséhez. A szerzők az ÉP hatásainak tudatosítására összpontosítanak, mert csak ez vezethet a fogyasztók hozzáállásának és viselkedésének megváltoztatásához.

Kínában Gao (2019) a rizs, a búza és a kukorica évi 7,9 millió tonna veszteségéről számolt be, de a fejlett raktározási technológiával jelentősen csökkenthető a veszteség. Indiában az éves veszteségeket 12-16 millió tonnára becsülik. A veszteség azonban sokkal magasabb a hagyományos gazdaságokban, ahol a betakarított gabona 60-70%-át rövid távú raktározásra

alkalmas létesítményekben tárolják (Nagpal és Kumar, 2012). A FAO becslései szerint Indiában az általános ÉV és ÉH 40% körül van, a gabonafélék esetében pedig 30% (National Academy of Agricultural Sciences, 2019). A fejlődő országokban a betakarítást megelőző és a betakarítást követő összes munkaműveletet manuálisan végzik, tehát a betakarítás utáni veszteségek a szántóföldön 15%-ot, a feldolgozásnál 13-20%-ot és a tárolás során 15-25%-ot tesznek ki (Abass és szerzőtársai, 2014). A kistermelők általában hagyományos gabonátároló létesítményeket használnak, amelyek nem hatékonyak a rovarok és a penészgombák ellen. E hagyományos tárolási rendszer fejlett raktározással történő felváltásával megőrizhető a gabonafélék minősége, csökkenthető a gabonaveszteség és javulhat az élelmezésbiztonság (Manandhar és szerzőtársai, 2018). A hagyományos gabonátárolással gabonafélék 50-60%-a elveszik a raktározás során. A modern raktározás ezeket a veszteségeket nagymértékben csökkentheti az élelmezésbiztonság növelése mellett (Kumar és Kalita, 2017). Jordániában a búza ellátási lánc fázisaiban a teljes ÉP eléri a 34%-ot, ezzel párhuzamosan a természeti erőforrások vesztesége is jelentős. A betakarítás utáni veszteség és fogyasztói pazarlás 13%-ot tesz ki (Khader és szerzőtársai, 2019).

A gabona értékláncban megfigyelhető élelmiszer-pazarlásról és annak csökkentéséről készült kalkulációk hozzájárulnak a hatékony gabonatermelés és -fogyasztás lehetőségeinek feltárásához. A betakarítás előtti és a raktározás során felmerülő mikotoxin szennyezés óriási veszteséget okoz a gabonafélék termelésében és felhasználásában. A gabona értéklánc pazarlása magában foglalja a szántóföldi, a betakarítási, raktározási, forgalmazási és fogyasztói hulladékot és veszteséget. **A termelésben azonban kitüntetett szerepe van az integrált növényvédelemnek, a növénynemesítésnek és agronómiának is.** A pazarlás minimalizálása a **gabona értéklánc mentén** tehát összetett feladat, ahol a **pazarlás elérheti a 60-70%-ot!** A hozamstabilitást és rezisztenciát célzó nemesítés fejlett növényvédelmi stratégiával, agronómiával és tárolással kombinálva a veszteség és hulladék 50%-os csökkentése lehetségesnek tűnik a gabona ellátási lánc mentén, így világszerte további 3-4 milliárd ember gabonaigényét tudjuk kielégíteni fenntartható módon a növényfajták genetikai hozamának növelése nélkül. Ehhez hosszú távú gondolkodásra és a gondolkodásmód megváltoztatására, nem pedig rövid távú profithajszára van szükség (Mesterházy és szerzőtársai, 2020).

4.2.1. Anyag és módszer

Számos módszertani megközelítés alkalmazható az ÉP meghatározására. Többek között többváltozós statisztikai technikát (leíró statisztika, főkomponens-elemzés és hierarchikus klaszteranalízis) alkalmaztak a hasonlóságok és különbségek tanulmányozására, nevezetesen az élelmiszer-ellátás szerkezete és a mezőgazdasági gyakorlat környezetre gyakorolt hatása közötti kapcsolat elemzésére az EU-tagállamok között (Diaz-Ruiz szerzőtársai, 2019). Egy másik tanulmány feltáró online felmérést végzett az ÉP-ra vonatkozó kérdőív felhasználásával (Fanelli, 2019b). Ezenkívül többváltozós elemzést végeztek a különböző mezőgazdasági rendszerekkel rendelkező EU-tagállamok környezeti jellemzőinek összehasonlítása céljából (Conrad és szerzőtársai, 2018).

A gabona ellátási láncban a veszteség, a hulladék okait és annak megelőzését a releváns szakirodalom áttekintésével, valamint a tanulmányok és a globális modellek eredményeinek összesítésével mutattam be. A termeléssel és a pazarlással kapcsolatos élelmezésbiztonsági szempontokat sem vették figyelembe a korábbi vizsgálatok. A veszteségek kiszámításához felhasznált adatok szakirodalmi becsléseken alapulnak. A különböző források összehasonlítható számokat publikáltak, de ezeknél a kalkulációknál alacsonyabb értéket használtam a nagyobb megbízhatóság érdekében. Az élelmezésbiztonsággal kapcsolatos szakirodalmak száma jelentős, de a gabona ellátási lánc mentén keletkező veszteségekről és hulladékokról nem készült részletes elemzés. Ezenkívül kevés publikáció tért ki a betakarítás

előtti és betakarítás utáni gabonaveszteség okaira. A gabona termeléséről, felhasználásáról, kereskedelméről és árak alakulásáról főleg a Food and Agriculture Organization (FAO) – Élelmészügyi és Mezőgazdasági Szervezete (ENSZ) –, az Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) – Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet –, az International Grains Council (IGC) – Nemzetközi Gabonatanács, az European Union (EU) – és számos más intézmény publikál adatsorokat. Egyéb nemzetközi források pedig becslő adatokat szolgáltatnak a gabonabetakarítás előtt és után keletkező veszteségről. Ezeket az adatokat és információkat azonban nem összesítették, továbbá nem készült részletes kalkuláció a globális gabonatermelés és -pazarlás mértékéről sem.

4.2.2. Eredmények

A búza, a kukorica és a rizs a legfontosabb gabonaféle, a szójabab pedig a fő olajnövény világszerte. A gabonafélék termelésének mennyisége és várható hozamnövekedése szorosan kapcsolódik az élelmiszerbiztonsághoz. A gabonafogyasztás az előrejelzések szerint meghaladja a kínálatot, bár középtávon a kínálat várhatóan gyorsabban növekszik a keresletnél (4. táblázat). Borlaug (1979) is beszámolt arról, hogy a gabonatermelés nem tud lépést tartani a fogyasztás növekedésével, elsősorban a fejlődő országokban. Az International Grains Council (2019) előrejelzése szerint a gabona és szójatermelés növekedése évi 0,8%-ról 1,5% -ra változik 2013/2018 és 2020/2024 közötti időszak átlagában. Ugyanakkor a fogyasztás növekedése az előrejelzések szerint átlagosan 2,1%-ról 1,0%-ra csökken a vizsgált időszakban.

A kínálat és kereslet közötti különbség fokozatosan csökken 2017/18 és 2023/24 között, sőt 2023/2024-ben már kiegyenlített lesz. A kínálat növekedésének csökkenő üteme következményeként a készlet/felhalmozás aránya 29%-ról 21%-ra esik vissza a vizsgált időszakban, ami a kritikus években történő ellátást veszélyeztetheti (4. táblázat). A csökkenő készlet hatására növekvő gabonaárakkal számolhatunk a jövőben reál- és folyóáron egyaránt. Ez azt is jelenti, hogy nem számíthatunk a termelés komoly növekedésére, ezért indokolt elemezni, hogy képesek vagyunk-e ellátni a globális népességet élelmiszerrel a jövőben. Az előrejelzések szerint a következő években a termelés évi 1,5%-kal, a fogyasztás 1,0%-kal és az export 1,5%-kal nő, miközben a zárókészletek csökkennek. Ebből következik, hogy a korábbi időszakhoz képest sokkal nagyobb figyelmet kell fordítani az élelmiszerlánc mentén keletkező veszteség és pazarlás alakulására.

4. táblázat: A globális gabona*- és szójatermelés (búza, kukorica, rizs és szójabab) előrejelzése, 2017/2018 - 2023/2024 (millió tonna - M t)

Teljes gabonatermelés	17/18	18/19	19/20	20/21	21/22	22/23	23/24	5 évi átlag	év/év változás, %
								2013/2018	2020/2024
Termelés (M t)	2,102	2,089	2,120	2,149	2,181	2,213	2,246	0,8%	1,5%
Fogyasztás (M t)	2,07	2,37	2,156	2,179	2,201	2,226	2,249	2,0%	1,0%
Export (júl/jún, M t)	367	368	371	377	383	390	396	5,5%	1,5%
Zárókészlet (M t)	614	566	530	500	480	168	465	3,2%	-3,8
év/év változás	-5	-48	-36	-30	-20	-12	-3	-	-
Készlet/felhasználás aránya, %	29%	26%	25%	23%	22%	21%	21%		

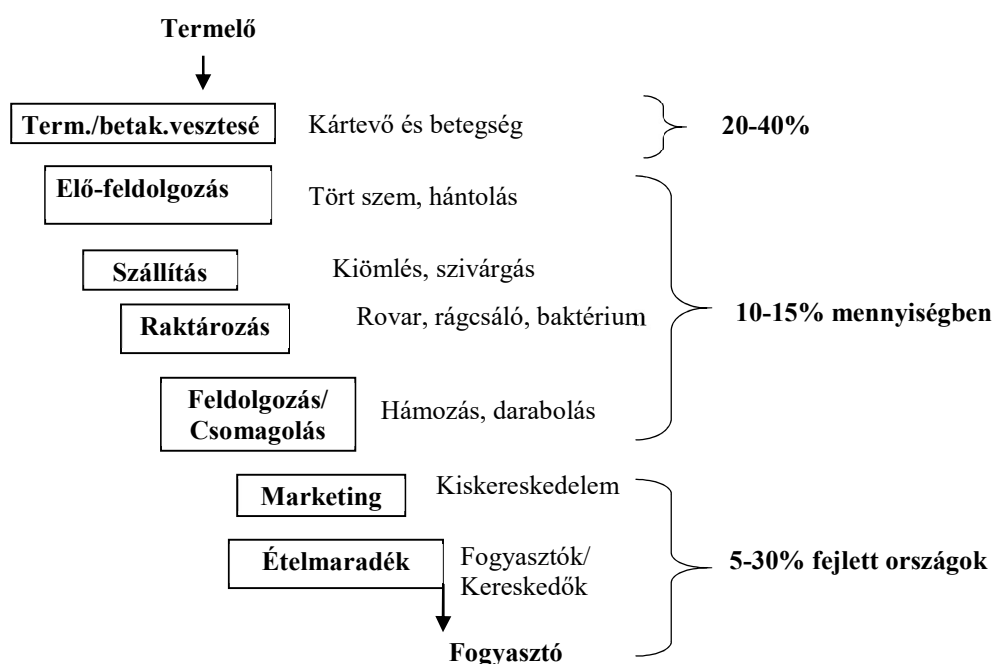
*Gabona: búza, kukorica, rizs

Forrás: International Grains Council (2019)

A termelés további lényeges növekedése korlátozott. Nyilvánvaló, hogy a technológia, a növénynemesítés, az agronómia javítása és az új termelési módszerek bevezetése bizonyos mértékben hozzájárulnak a hozamok emelkedéséhez. A piacon a magasabb hozamú fajták tényleges hozamra gyakorolt hatása mérsékelt, mivel az említett fajták genetikai képességét csak részben tudjuk kihasználni. A hosszú távú globális gabonaellátást más szemszögből célszerű megközelíteni, vagyis a gabona ellátási láncban tapasztalt pazarlás okaira és megelőzésére indokolt összpontosítani.

Az élelmiszerláncban a pazarlás mérséklésével változatlan feltételek mellett egyrészt növelhető az élelmiszer kínálata, másrészt csökkenthető a fajlagos víz-, energia-, termőföld- és egyéb inputigény. Az élelmiszerlánc vesztesége a termelési és betakarítási szakaszban 35%-ot tesz ki (20-40% között mozog világszerte) a növényvédelem ellenére (Oerke, 2006). A szállítási, raktározási, feldolgozási és csomagolási fázisok összes vesztesége/hulladéka mennyiségben 10-15%, értékben 25-50% között alakul. A kiskereskedelmi, éttermi és fogyasztói veszteség és hulladék 5-30%-ra rúg (20. ábra). A gabonapazarlás csökkentése a biotikus tényezők (kártévők, kórokozók és gyomnövények) miatt az élelmiszerellátás legnagyobb kihívása (Popp és szerzőtársai, 2013). A pazarlás csökkentése magasabb bevételt eredményez, mint a genetikai hozamképesség növekedése (Mesterházy és szerzőtársai, 2020).

Az Európai Bizottság 2011. évi célkitűzése szerint az élelmiszer-pazarlást 2020-ra felére kellett volna csökkenteni (nem teljesült). 2012-ben jelent meg az Európai Parlament állásfoglalása az élelmiszer-pazarlás 2025-ig történő 50%-os csökkentéséről (irreális célkitűzés). 2014-et pedig az élelmiszer-pazarlás elleni küzdelem európai évének nyilvánították (European Commission, 2011a; European Parlament, 2020). Meg kell jegyezni, hogy az EU csak az élelmezési célú termékek pazarlását említi kizárva például a takarmányozás során keletkezett veszteséget és hulladékot (például a bioenergia termelés is ide tartozik). Az EU-ban a szabályozás is akadályozza a veszteség/hulladék hasznosítását takarmányként, mert például Koreában, Japánban és Tajvanon a hulladék egyharmadát újrahasznosítják takarmányként. A gabonaellátási lánc minden fázisában képződik veszteség és hulladék, de eltérő arányban. Ez is hozzájárul a ténylegesen fogyasztott termék magasabb költségéhez.



20. ábra: Veszteségek az élelmiszerlánc mentén

Forrás: IWMI (2007)

2018-ban a globális gabonatermelés 2,102 milliárd tonna volt (International Grains Council, 2019). A veszteségek kiszámításához felhasznált adatok a szakirodalom becslésein alapulnak. A különböző források összehasonlítható számokat publikáltak, de ezeknél a kalkulációknál alacsonyabb értéket használtam a nagyobb megbízhatóság érdekében. A potenciális termés hozam mintegy egyharmada kárba vész a betakarítás előtt a kártevők, kórokozók és gyomok által okozott veszteség következtében. Az elméleti hozam évi 3,153 milliárd tonna, a betakarítás előtti veszteség pedig 1,051 milliárd tonna. A betakarítási veszteség a becslések szerint általában 3% (évi 60 millió tonna) nagy regionális különbségek mellett, valamint birtokméret szerint a kis- és a nagy gazdaságok között. A betakarítás előtt keletkezett veszteség a betakarítási veszteségekkel együtt évi mintegy 1,110 milliárd tonnára rúg. Ezen túlmenően a tárolás során 421 millió tonna gabona veszik kárba, 210 millió tonna pedig a szántóföld mikotoxin-szennyeződés miatt. Végül a fogyasztói hulladék évi 286 millió tonnát tesz ki. Megállapítható, hogy a potenciális hozam egyharmada elveszik a betakarítás előtt, további 20% veszteség a tárolásnak és szántóföldi mikotoxin-szennyezésnek tulajdonítható, további közel 10%-ot a fogyasztói hulladék tesz ki. Összességében a gabona termelési potenciáljának csak egyharmada kerül ténylegesen felhasználásra (5. táblázat).

5. táblázat: A gabona ellátási lánc vesztesége/hulladéka 2018-ban (millió tonna)

Tényezők	Millió tonna	Termelési kapacitás %	Betakarítás %
Termelési kapacitás	3 153	100,00	
Betakarított mennyiség	2 102	66,67	100,00
Biotikus/abiotikus tényezők által okozott veszteség	1 051	33,33	50,00
Betakarítási veszteség (3%)	60	1,90	2,85
Tárolási veszteség	421	13,35	20,03
Szántóföldi mikotoxin-szennyeződés	210	6,67	9,99
Fogyasztói hulladék	286	9,07	13,61
Összes veszteség	2 028	64,32	96,50
Összes felhasználás	1 125	35,68	53,52

Forrás: Mesterházy és szerzőtársai (2020) az International Grains Council adatai alapján (2019)

Szántóföldi (betakarítás előtt) veszteségek

A kártevők, kórokozók és gyomnövények okozta termésveszteség a növénytermesztés legnagyobb kihívása. A növényvédelem fokozott használatával a termés hozam 1965 és 1990 között az elméleti hozam 42%-áról 70%-ra nőtt; de az elméleti hozam legalább 30%-a továbbra is kárba vészett a világ számos régiójában alkalmazott kevésbé hatékony növényvédelmi módszereknek köszönhetően. Növényvédelem nélkül a veszteség elérte volna a termés hozam 70%-át (Oerke, 2006). Közismert, hogy a növények a szárazság időszakában bizonyos csapadékmennyiség alatt nem tudnak megbirkózni a vízhiánnyal. Magyarországon aszályos időszakokban a kukorica és búza hozamcsökkenése akár 50%-ot is elérhet (Erdélyi, 2008).

Integrált növénytermesztés

Az integrált növénytermesztés (Integrated Crop Management: ICM) környezettudatos és gazdaságilag életképes termelési rendszer, amely a legújabb technológiát alkalmazza a magas minőségű élelmiszerek hatékony előállításához (Bradley, 2002). A kártevők és kórokozók természetes ellenségeinek felhasználásával, fajtaválasztékkal, alternatív növényvédő szerek alkalmazásával stb. csökkenthető a növényvédelmi költség és növényvédő szerek használata. A mezőgazdasági termelők számára az integrált növénytermesztés legfőbb előnye a csökkenő

növényvédőszer felhasználás, bár a legtöbb program továbbra is erősen függ növényvédőszerek alkalmazásától (Popp és szerzőtársai, 2013). A fő cél nem is növényvédelmi költségek csökkentése, hanem az egészséges élelmiszer előállítása. A jelenlegi termelési szint a növényvédő szerek felhasználásának köszönhető, de a növényvédelem ellenére keletkező veszteségek azt mutatják, hogy jelentős fejlesztésre van szükség. Barzman és szerzőtársai (2015) összefoglalták a legfontosabb alapelveket a növényvédelem optimalizálása érdekében, de nem tettek említést a rezisztenciáról, mint lehetséges befolyásoló tényezőről, csak a felhasznált növényvédő szer csökkentését vették figyelembe. Mesterházy és szerzőtársai (2018a 2018b) az elsők között mutatták ki a rezisztenciaszint meghatározó szerepét, amely növeli a gombaölő szerek hatását a búzát károsító *Fusarium* ellen. Az intelligens szántóföldi növénytermesztés (Intelligent Field Crop Management: IFCM) bevezetésével a teljes termelési folyamat ellenőrizhető.

Tárolási veszteségek

A tárolás központi szerepet játszik a gabona ellátási láncban. A tárolási veszteséget számos tényező befolyásolja, beleértve a közvetlen és közvetett veszteségeket egyaránt. A közvetlen veszteség a gabona fizikai vesztesége, a közvetett veszteség pedig a minőség és tápanyag vesztesége (Kumar és Kalita, 2017). A tárolási veszteségek biotikus tényezőkre (rovar, kórokozó, rágcsáló, gomba) és abiotikus tényezőkre (hőmérséklet, páratartalom, eső) vezethető vissza. A nedvességtartalom és a hőmérséklet döntő szerepet játszik a termény állagmegővésében, így a tárolás időtartamát (tartós vagy nem tartós tárolás) is befolyásolja. Például a tárolás során a penészgomba gyorsan terjed magasabb hőmérséklet és páratartalom mellett. A rovarok és rágcsálók által okozott gazdasági kár és veszteség körébe tartozik a gabona mennyiségi (fizikai) vesztesége (pl. lyukak a gabonaszemekben) és a minőségromlás (értékcsökkenés). A fejlődő országokban óriási közvetlen és közvetett tárolási veszteségek keletkeznek. Jayas (2012) becslései szerint a fémilót használó fejlett országokban a veszteség csupán 1-2%-ot tesz ki, ezzel szemben a fejlődő országokban 20-50%-ot is eléri, ahol a gabonaféléket általában családi gazdaságokban tárolják hagyományos tárolókban. Manandhar és szerzőtársai (2018) szerint fejlődő ország többségében a gabonafélék hozzávetőleg 80%-át kis családi gazdaságok termelik, ahol a gabonaveszteség 43-60% között változik, ebből a szántóföldi veszteség 15%-ot, a tárolási 15-25%-ot és a feldolgozási veszteség 13-20%-ot tesz ki. Az átlagos tárolási veszteség a világszinten tárolt gabona 20%-a körül alakul, vagyis évi körülbelül 420 millió tonna gabona vész kárba a tárolás során.

A tárolási és kezelési módszerekkel célszerű minimalizálni a veszteségeket. Tárolás előtt a gabonát tisztítani kell a szennyeződések eltávolításával (por, rovar, szalma, pelyva, gyommag stb.). Továbbá a toxinvizsgálat kötelező a tárolás előtt, az alacsony, közepes és magas szennyezettségű gabonaszemeket egymástól különválasztva indokolt tárolni. A kritikus élettani tényezők (nedvességtartalom és hőmérséklet) befolyásolják a gabona tárolhatóságát, mivel a magas nedvességtartalom és hőmérséklet gomba- és rovarkárokat idéz elő, ezért kiemelt szerepe van a páratartalom, hőmérséklet és a CO₂ szabályozásának.

Mikotoxinszennyezés

A mikotoxinok károsító méreganyagok, amelyek nem alkalmasak takarmányozási és élelmezési célú felhasználásra. Az aflatoxin magas koncentrációja súlyos egészségügyi kockázatot jelenthet mind az emberekre, mind az állatokra. A mikotoxin fertőződés elsődleges veszélyforrása a gabonafajták magas fogékonysága. A WHO (2018b) becslése szerint a világon a haszonnövények 25%-át szennyezik a mikotoxinok. A gabonafélék 25-40%-a fertőződik meg mikotoxinokkal (Kumar és Kalita, 2007). A betakarított termés magas toxinszennyeződése minőségromlást is előidézik, ami a piaci árak jelentős csökkenését vonja maga után. A termésveszteség önmagában nem jelzi a probléma jelentőségét, mert a tárolás során a toxinok

által okozott legalább 10%-os veszteség évi 210 millió tonna gabonát jelent. Ez a veszteség a tárolt gabonafélékre vonatkozik és nem tartalmazza a kombájn által a betakarításkor eltávolított fertőzött (és könnyű) szemeket, amely nem mérhető, de létező probléma. A toxinra vonatkozó szigorú szabályozásnak köszönhetően a fejlett országok lakossága védelemmel élve, de számos országban nem ez a helyzet, ahol a fertőzött gabonát általában az állattenyésztés használja fel. A veszteségek minimalizálása érdekében a gombák képződését célszerű megakadályozni a tárolásnál.

Fogyasztói hulladék

Az ételmaradék akár 5-20% is lehet. A fejlődő országokban az ÉV és ÉH magasabb, mint a fejlett országokban. Az ÉV és az ÉH mértéke az alkalmazott technológiától és a fogyasztói magatartástól függ. Évente 1,5 milliárd tonna élelmiszer, vagyis az emberi fogyasztásra előállított összes élelmiszer 1/3-a vész kárba a betakarítástól a fogyasztásig az állattenyésztés takarmányvesztése nélkül kalkulálva (Alexander és szerzőtársai, 2017; BCG, 2018). A bizonyítékokon alapuló ÉV és ÉH kalkulációja továbbra is kihívást jelent. Az ÉH becslése a kutatás legkritikusabb pontja a világos definíció és harmonizált számviteli módszertan hiánya miatt (Caldeira és szerzőtársai, 2017). A fejlett országokban a fogyasztók évi 286 millió tonna gabonatermékeket dobnak ki (FAO, 2019).

Növénynemesítés versus (kontra) élelmiszer-pazarlás

A kutatások világossá tették, hogy a rezisztencia a legfontosabb toxinszabályozó (Mesterházy és szerzőtársai, 2018b). Ugyanakkor nagy rezisztencia-különbségek (akár 10-20-szoros) fordulnak elő a búza fuzáriumos betegségénél (Mesterházy és szerzőtársai, 2015). A rezisztencia befolyásolja a gombaölő szerek hatékonyságát és csökkenti a növények fogékonyságát az előző évben termesztett magas patogén populációval rendelkező növényekkel szemben (Edwards és Jennings, 2018). A betegségek és toxinok előrejelzése jobb lesz, ha figyelembe vesszük a rezisztencia szinteket (Cowger és szerzőtársai, 2016). A nem kielégítő nemesítési erőfeszítések hozzájárulnak a toxinszennyezés által okozott 210 millió tonna veszteségéhez. A tárolás során tapasztalt gombafertőzés nagy része szántóföldi eredetű, így a rezisztencia hiánya részben felelős lehet a tárolási veszteségekért. Rossz tárolási körülmények között magasak a tárolási veszteségek, de ezek nagy része megakadályozható a fejlett tárolási technológia alkalmazásával. A tárolás során képződő mikrobák az évi 210 millió tonna tárolási veszteség 50%-áért felelnek, ezért a szántóföldi és raktári mikotoxint indokolt külön kezelni, mivel eltérő megközelítésre van szükség a probléma megoldásához. A nemesítés és az agronómia közötti kapcsolat kiaknázása is fontos tényező, amely szintén hozzájárul(t) az új fajták nagyobb termőképességéhez.

4.2.3. Következtetések

Malthus (1978) elmélete túlnépesedésre figyelmeztetett. Kiemelte, hogy az élelmiszertermelés és egyéb létfenntartási cikkek gyártása nem tud lépést tartani a népesség növekedésével, ezért az életszínvonal folyamatosan csökken, a nyomor és az éhezés pedig fokozódik. Nem vette figyelembe azt a tényt, hogy a tudományos és technológiai fejlődéssel egyre több élelmiszer állítható elő. Végül Malthus előrejelzése a tömeges éhezéssel eddig nem következett be, bár az éhezés és annak csökkentése ma is az ENSZ fenntartható fejlődési céljai között kiemelt szerepet játszik. Diamond (2005) a fogyasztást hibáztatta, különösen a túlzott fogyasztást a fejlett régiókban. A jelenlegi globális élelmiszer-termelés nem fenntartható, ugyanis az ellátási lánc mentén óriási pazarlást tapasztalunk.

A teljes gabonavesztés fele, évi mintegy egymilliárd tonna, a betakarítás előtt keletkezik a növényvédelem ellenére, ezzel párhuzamosan drágább lesz a gabonafogyasztás. A veszteség

okai között az alapkutatás, az alkalmazott kutatás és a nemesítés között tapasztalt szűk keresztmetszet emelhető ki. Következésképpen a helyi és a regionális nemesítésre, agronómiára stb. adaptált tudás és ismeret kombinációjának és hasznosításának hatékonysága nagyon alacsony, az eredmény pedig elmarad a várakozásoktól. További fajtaszintű ismeretekre van szükség a betegségekkel szembeni rezisztencia, a hozamképesség, a növényvédelem és agronómia hatékonysága közötti kapcsolatokról, hogy az egyes régiók számára optimális megoldás szülessen.

A termőföldi veszteségek legalább kétharmadát, nevezetesen 700 millió tonnát a biotikus stressz okozza, ennek egyharmadáért (230 millió tonna) a növény-nemesítés felel. Ugyanakkor lehetetlen a rezisztencia nemesítése a gabonafélék 200 betegségével szemben. A növényeket általában a 4-5 legfontosabb betegség ellen kezelik, ezért indokolt a rezisztencia nemesítést a növényvédelemmel kombinálni. A további veszteség (mintegy 500 millió tonna) megelőzéséhez a megfelelő növényvédelem és agronómiai intézkedések együttes alkalmazása szükséges.

A jövőben a gabonatermelés bővülése várhatóan jóval elmarad az elmúlt évtizedek növekedési ütemétől, ami veszélyezteti a globális élelmezésbiztonságot. A következő évek várható többlettermelésének és a gabonalánc mentén keletkező veszteség/hulladék mennyiségének összehasonlításából kiderül, hogy a gabonaveszteség és -hulladék csökkentése hatékonyabban szolgálja az élelmezésbiztonság javítását, mint a hozamnövelés. A globális élelmezésbiztonság fő kihívása a gabonafélék évi hozamnövekedési ütemének lassulása, ugyanis a kukorica, a rizs, a búza és a szójabab együttesen a globális mezőgazdasági kalóriaérték 64%-át (ebből a kukorica, rizs és búza 57%-át) képviselik.

Az éghajlatváltozással kapcsolatos hőstressz, az öntözéshez szükséges vízhiány, a talaj termékenységének kimerülése és a szikesedés, a talajerózió, a kórokozók és a betegségek terjedése, valamint a tőkehiány nagyobb hatással lesz a hozamnövekedésre, mint a gabonafajták genetikai javulása. A mezőgazdasági támogatások a környezetterhelés és a mezőgazdasági inputok csökkentéséhez kapcsolódnak, ami a hozamok stagnálásához vezet. A gabonaveszteség és -hulladék csökkentése a legfontosabb tényező az élelmezésbiztonság növelésében, mert sokkal nagyobb hatással van az élelmezési és takarmány célú gabonaellátásra, mint a magasabb hozamú gabonafajták termesztésében rejlő lehetőségek. A hozamstabilitást és rezisztenciát célzó nemesítés fejlett növényvédelmi stratégiával, agronómiával és tárolással kombinálva legalább 50%-kal csökkentheti a gabonaveszteséget és -hulladékot, így globálisan további 3-4 milliárd ember gabonaigényét elégíti ki.

4.3. Alternatív fehérjeforrások

4.3.1. Levélfehérje

A fű/lucerna fehérjehozama magas, értéke 2,0-2,5 t/ha között változik, ugyanakkor alacsony a biológiai értéke és a fehérjeliszt gyártása energiaigényes (szárítás) folyamat, vagyis magas a szénlábnyma. A levélfehérjével kapcsolatos kutatások között első helyen egy magyar szellemi örökségnek tekinthető eljárást, a lucerna levélfehérje koncentrátumot (Leaf Protein Concentrate: LPC) indokolt kiemelni. Az LPC technológia első szabadalmaztatója Ereky Károly magyar gépészmérnök, a biotechnológia fogalom megalkotójának az atyja volt. Ereky Károly az 1920-as években szabadalmaztatta a zöldmalom eljárást, amellyel értékes fehérjedús takarmányokat állított elő friss növényekből, ezzel újtára indítva a levélfehérje feldolgozás iparágát (Popp és Oláh, 2018).

Az USA-ban végzett vizsgálatok szerint a lucerna környezeti hatása a hazánkban termesztett valamennyi szántóföldi növénynél kedvezőbb. Az 1970-es években a „zöld atombombának” is nevezett levélfehérje koncentrátum technológia világszerte kutatás-fejlesztés tárgyát képezte, különböző intenzitással. Magyarországon 1970-1974 között két lucerna biofinomító üzem épült fel, a három szabadalommal is védett VEPEX (VEgetable Protein EXtract) technológia néven. Ez a technológia magában foglalta a barnaléből (növényi savó) tovább tenyésztett élesztő előállítását Single-Cell-Protein néven. Az eljárás a később bekövetkezett energiaár-robbanás miatt nem volt gazdaságos. Kína lucernafehérjét gyártó üzemét épített a kanadai Terrace városában (British Columbia). A lucernát Saskatchewanban termesztik, British Columbia-ban dolgozzák fel és Kínába exportálják. Kína lucernafehérje iránti igénye mind takarmányozási, mind élelmezési célra folyamatosan nő. A lucernaszéna importja nagy probléma a szigorú kínai növény-egészségügyi előírásoknak köszönhetően. A feldolgozott lucernát sokkal könnyebb importálni. Az eljárás természetes préseléssel kezdődik, majd a kipréselt lé szűrésével és centrifugálásával folytatódik, végül a csomagolt fehérje a végtermék, a melléktermék pedig a pellet. A fehérjét természetes préseléssel vonják ki a lucerna leveléből, kémiai szintézis nélkül, így kémiai emisszió sincs. Az üzemben keletkező kis mennyiségű szennyvíz sem ártalmas a környezetre. Az üzem kapacitása évi 10 000 tonna takarmányfehérje és 2 000 tonna élelmiszer célú fehérje (Popp és szerzőtársai, 2016a).

4.3.2. Akvakultúra eredetű fehérjeforrás

Az akvakultúra eredetű fehérjeforrás (alga, békalencse, krill) is szóba jöhet alternatívaként hosszabb távon az alacsony földhasználat és a jó fajlagos fehérjehozam alapján, ehhez viszont nélkülözhetetlen a tápláléérték meghatározása és a szárítási költségek csökkentése. Az algák a leggyorsabban növekedő élőlények a természetben. Számos projekt vizsgálja a termelési eljárásokat és az algák alkalmazási lehetőségeit a sertéstakarmányokban. A fototróf (fotoszintézisre képes, kékeszöld és zöld) algákat mesterségesen létrehozott tavakban termesztik. Betakarítás után megszáritják és lisztet készítenek belőle, ami 45% fehérjetartalmú és a hasznos esszenciális aminosavakkal együtt értékes fehérjetakarmányt jelent (Popp és szerzőtársai, 2016b). Az algatenyésztésnek két technológiája létezik az autotróf (napfény és CO₂) és a heterotróf (fermentáció) eljárás. Heterotróf eljárással ma hozzávetőleg évi 1 500 tonna algaolajat, azaz táplálékkiegészítőt termelnek magas értékű humán élelmezési célra. Autotróf eljárással elsősorban biodízelgyártáshoz termelnek algaolajat, de kudarcba fulladt a kísérlet. Sok vállalkozás csődbe ment vagy átállt az omega olaj gyártására. Évente a Spirulina fajból 15 ezer tonna, a Chlorella fajból pedig 5 ezer tonna speciális élelmiszer és takarmány készül. A jövőben várható az alga takarmányozási célú felhasználása, mert a termelési költségek jelentős csökkenésével az élelmiszer helyett a takarmány előállítására összpontosítanak majd (Popp és Oláh, 2018; Popp és szerzőtársai, 2018e; Popp és szerzőtársai, 2018f).

A békalencsét hagyományosan állati takarmány alapanyagként használják a világ számos régiójában. A békalencse gyorsan növekvő vízinövény, nagyon magas, 35-45% fehérjetartalommal. Termesztési rendszerekben szaporítják, betakarítják és megszáritják. További feldolgozással növelhető a fehérjetartalma, így biztosítva a megbízható termékminőséget. Egyelőre nem játszik komoly szerepet fehérjeforrásként a takarmányozásban. Az antarktiszi vörösrák (krill) tömegét 300-500 millió tonnára becsülik. A környezetvédelmi problémák azonban behatárolják a lehetséges felhasználását. Kína célja a krill humán élelmezési célra történő felhasználása. Az engedélyezett fogás ma évi 620 ezer tonna, ami 15 ezer tonna fehérjelisztnak felel meg. Az AKER MARINE norvég cég is érdekelt a krillfogásban. A feldolgozás fő terméke a krill olaj (táplálékkiegészítő), mellékterméke a liszt (akvakultúra takarmány). A jövőben a fogás az engedélyezett mennyiségtől függ, de a liszttermelés

mindenképpen évi 200 ezer tonna alatt marad. A kifogott mennyiséget a krill olaj iránti kereslet is befolyásolja, ugyanakkor versenyezni kell az élelmiszer célú felhasználással is. A legkönnyebben tenyésztethető a ragadozó tengeri kukac, ezért magas a fehérjeigénye. Természetes körülmények között a hallisztgyártás során képződött halhulladékkal táplálkozik. A kísérleti üzemek mind a mai napig nem bizonyultak gazdaságilag életképesnek. Lehetségesnek tűnik az intenzív haltenyésztéssel kombinálni a tengeri kukac előállítását halürülék táptalajon, habár a szennyező anyagok testükben koncentrálnak, ez pedig szabályozási kérdéseket vet fel (Popp és Oláh, 2018; Popp és szerzőtársai, 2018e; Popp és szerzőtársai, 2018f).

Összességében megállapítható, hogy az algafehérje előállításának piaci bevezetése a közeljövőben esedékes lehet az omega-3 zsírsav termelésével kombinálva. Ez a kombináció az akvakultúra (lazac) takarmányozására is ideális megoldást nyújthat. A többi akvakultúra eredetű fehérjeforrás előállítás mennyisége szerény mértékű marad a jövőben és legfeljebb réspiaci igényeket elégít ki. Hosszú távon a rovarok élelmiszerként és takarmányként is alternatívát kínálnak, mert alacsony a földhasználat, ráadásul szerves hulladékot hasznosítanak. Ehhez szükség van a fajlagos termelési költség radikális csökkentésére, a táplálóérték meghatározására, de a takarmány célú felhasználás engedélyezése is lassú és nehézkes (Popp és Oláh, 2018; Popp és szerzőtársai, 2018e; Popp és szerzőtársai, 2018f).

4.3.3. Rovarfehérje

A fenntartható élelmiszertermelés megoldásainak keresése az elmúlt években egyre égetőbb feladattá vált. Ennek egy lehetséges vonala a hagyományostól eltérő alapanyagok, erőforrások kiaknázása, így például az ehető rovarok élelmiszerként és takarmányként történő alkalmazása (van Huis, 2013). A rovarok hatékonyan hasznosítják a szerves hulladékot (pl. trágya, ipari és növényi eredetű hulladék, háztartási hulladék) biomassza termelésre. Továbbá a ragadozó halak és szabad tartású baromfi étrendjének természetes komponense és a rovarfehérje emészthetősége (68-89%), a legtöbb olajnövényből kinyert fehérjeforrásnál magasabb. Kísérletek bizonyították, hogy a rovarok kitűnő fehérjeforrást jelentenek az együregű gyomrú haszonállatok, a halak és a garnélarákok számára. A rovarok nyersfehérje tartalma magas, 30-80% között változik, zsírtartalma (4-60%) és rosttartalma (5-60%) is magas, ráadásul kedvező az aminosav összetétele is. A rovarfehérje termelésben a földhasználat csökkentése is komoly tényezőnek számít. Míg a szója évi hektáronkénti 2,5 tonna terméshozam mellett alig 1 tonna proteint termel (90% szárazanyag-tömeg és 40% nyersfehérje), a légy lárváé hektáronként évi (petéből 8-10 nap alatt kell ki a lárvá, hozama 25 t/ha) 1000 tonna összhozam elérével 150 tonna proteint termel (25% szárazanyag-tömeg és 60% fehérje kalkulálásával). Mindez a földhasználat közel 150-szeres csökkentését is jelenti.

Kínában elterjedt a közönséges lisztbogár tenyésztése, ahol évi több millió tonna szárított lárvát exportálnak hobbiállat- és madáreleség céljára. A lisztbogár a biohulladékot fehérjetakarmánnyá transzformálja. A melléktermék szerves trágyaként vagy komposztként hasznosítható. Ehhez hasonlóan foglalkoznak a házi légy tenyésztésével is, évi több százezer tonna szárított lárvát termelnek. A lárvá az állati eredetű trágyát takarmánnyá transzformálja, a melléktermék pedig szerves trágyaként hasznosítható. Nyugat-Afrikában főleg önellátó farmokon (baromfi- és haltartás) használják fel a természetes, amelyeket a szabadban összegyűjtenek vagy csalival befognak azokat a farmon. A légylárvá termelése is fejlődik, de a bemutató farmok mellett széles körben még nem terjedt el. Hosszú távon a rovarok is alternatívát kínálnak. Ehhez szükség van a fajlagos termelési költség radikális csökkentésére, a táplálóérték meghatározására, de a takarmány célú felhasználás engedélyezése is várta magára (Popp és Oláh, 2018; Popp és szerzőtársai, 2018g).

Az Egyesült Királyság már rendelkezik tapasztalatokkal a légylárvá tenyésztésével kapcsolatban, mert mintegy 20 telephelyen állítanak elő heti 20 ezer tonna lárvát a rekreációs horgászat számára. Dongólegyet tenyésztnek vágóhídi melléktermék hasznosításával. A termelési folyamat munkaintenzív, de a lárvatermelés magas megtérülése ellensúlyozza a befektetett munkát. Közöséges lisztbogár-tenyésztésben is tapasztalatot szereztek, mert a madár- és hullőleség előállítás jó piacot jelent. Számos európai országban (Norvégia, Dánia, Franciaország, Svájc) folytatnak rovartenyésztési kísérleteket. Az eddigi tapasztalatok alapján a trágya is alkalmas a házi légy lárváinak tenyésztéséhez. Az előzetes kísérletek azt sugallják, hogy egyéb szerves hulladékok is megfelelnek táptalajnak, de a kevert szerves hulladékok és különleges szerves melléktermékek hozzákeverése növelheti a fajlagos hozamot. A kifejlesztett feldolgozási módszer alkalmas lárvaszárításra és csökkenti a potenciális mikrobiológiai kockázatokat is. A feldolgozott nyers lárvá kitűnő táplálóértékkel rendelkezik az együregű gyomrú állatok takarmányozásában: az aminosav-összetétel a hallisztéhoz, a zsírprofil pedig a palmaolajéhoz hasonlóak (Popp és Oláh, 2018).

A tűzhelyen szárított, full-fat házi légy lárvá aminosav emészthetősége nem különbözik jelentősen a halliszt tápértékeitől, a metabolizálható energia pedig jóval nagyobb. A technológia továbbfejlesztése nélkülözhetetlen a termelési költség csökkentése érdekében. Ehhez a termelési méret növelése, a rovartenyésztés hatékonyságának javítása (pl. gépesítéssel) és a feldolgozási költségek visszaszorítása szükséges. További feladat a rovarfajoknak megfelelő táptalaj készítése és a rovar eredetű fehérjetermékek szavatossági idejének növelése. A rovarfehérjelist bekeverése például a broilertápba a mindenkori ár függvénye. Az összes broilertáp esetében a rovarliszt 2%-os bekeverése az EU-ban 610 ezer tonna, globális szinten 3,4 millió tonna rovarfehérjelist mennyiséget jelent. Az élelmiszer-hulladék és trágya kitűnő táptalaj a házi légy lárváinak tenyésztéséhez. Világszerte kialakítottak tenyésztési rendszereket. A lárvá táplálóértéke kiváló (a hallisztéhoz hasonló) és alkalmas a haszonállatok és a hal takarmányozására. A kiterjedt biztonsági vizsgálatok minimális kockázatot mutattak ki, a potenciális kockázat (pl. mikroba és nehézfém) pedig a feldolgozással tovább csökkenthető. (Popp és Oláh, 2018).

A magas protein- és alacsony zsírtartalmú rovar eredetű takarmányt a tilápia, az édesvízi garnélarák és afrikai harcsa etetésére vásárolják meg. A lárvák a ragadozó halak (pl. szivárványos pisztráng és sügér) takarmányozását szolgálja. Jelenleg kísérleteket folytatnak a halliszt lárvá eredetű fehérjelisttel történő kiváltására. Állatkertek és kereskedők számára is értékesítenek rovarfehérjelistet, valamint élő- és szárított lárvát egyaránt. Kanada is elkezdte a fekete katonalégy tenyésztését élelmiszeripari és zöldségesbolti melléktermékek, valamint lejárt szavatossági idejű élelmiszerek (gyümölcs, zöldség, kenyér, hal és a tenger gyümölcsei) hasznosításával. Többféle takarmányt is előállítanak és forgalmaznak. A szárított lárvá (és rovar) elsősorban a ragadozó halak, a madarak, a halak, a hullók és a kételtűek takarmánykiegészítését szolgálja. A hal- és baromfitápban a halliszt helyettesítésére használják a 65%-os protein- és 15%-os zsírtartalmú rovarfehérjelistet. A mellékterméket szerves trágyaként értékesítik talajjavítási célra a mezőgazdági termelők számára, de a kertészet, az üvegházak és a háztartások is megvásárolják. A termelés szűk keresztmetszete a légytenyésztés alapanyagának (élelmiszerhulladék) a beszerzése (Popp és szerzőtársai, 2018g).

A rovarok ökológiai lábnyoma tényleg kicsi. Míg egy vegának 500 négyzetméterre, egy húsból gazdag táplálkozásnál viszont 7 000 négyzetméter földterületre van szükség egy felnőtt ember ellátásához. A rovaroknál egységnyi fehérje előállítása jóval kisebb területet igényel. A rovarok szárazságtűrő élőlények, ezért kicsi a vízigénye, takarmányhasznosítási rátája pedig jó, ráadásul telítetlen zsírsavakban, ásványi anyagokban (főleg vas, kalcium, cink) és E-vitaminban gazdag magas minőségű állati eredetű proteint termel. A kitin kis mennyiségben még immunrendszer-erősítő hatású is. Ugyanakkor a nem ellenőrzött tenyésztési és kezelési módok miatt a

mikrobiológiai veszélyek jelentősek. Például a toxikus anyagok, mint a nehézfémek, mikotoxinok, peszticidek és a rovar saját méreganyagai. Fizikai veszélyt jelent a kitingpáncél, de allergiás reakciókat is kiválthat a rovarrevés (Popp és Oláh, 2018; Popp és szerzőtársai, 2018g).

Az EU-ban a rovarok vagy rovarlárvák takarmány-alapanyagként való felhasználása jelenleg még csak társállatok és halak esetében engedélyezett (2017/893/EU rendelet), de ott is azzal a megkötéssel, hogy a rovar eredetű fehérje mennyisége nem haladhatja meg a takarmány teljes nyersfehérje tartalmának 50%-át. A baromfi és a sertések takarmányozásában a rovarok és rovarlárvák felhasználása viszont jelenleg még annak ellenére sem engedélyezett, hogy a rovarok, valamint azok lárvái, ezeknek az állatfajoknak a természetes környezetben is táplálékul szolgálnak. A rovarlárvákból kivont és hidrolizált fehérje azonban már jelenleg is használható minden gazdasági állatfaj takarmányozásában, amennyiben az adott rovarfaj tartása és takarmányozása (2069/2009/EU rendelet 24(1)(a) pont), valamint a fehérjekivonás és a feldolgozás technológiája (142/2011/EU rendelet X. melléklet 2. fejezet 1. szakasz) megfelel az előírásoknak.

Az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (European Food Safety Authority: EFSA) 2021 elején emberi fogyasztásra alkalmasnak minősítette a közönséges lisztbogár (*Tenebrio molitor*) lárvájából készített élelmiszereket. Az EFSA szerint a rovarlárvából származó készítmények meghatározott tenyésztési és elkészítési feltételek mellett biztonságosak, egészségesek és mindezt magas fehérjetartalom mellett. A lisztbogár lárvája egészben vagy por formájában emberi fogyasztásra alkalmas. A rovarlárvák széleskörű élelmiszeripari alkalmazása környezeti és gazdasági előnyökkel jár, ha a hagyományos állati fehérjeforrásokat olyanok helyettesítik, amelyek kevesebb takarmányt igényelnek, kevesebb hulladékot termelnek és kevesebb üvegházhatásúgáz-kibocsátást eredményeznek. Az alacsonyabb költségek és árak növelhetik az élelmiszerbiztonságot is. Ez az első vélemény az EFSA-hoz beadott tizenöt fajta rovarlárvára élelmiszeripari felhasználására vonatkozó kérelmek közül. Az EFSA ajánlását követően az Európai Bizottság és az EU tagállamainak feladata a lisztbogár lárvájának uniós szintű élelmiszeripari felhasználására vonatkozó jóváhagyás megadása (EFSA, 2021).

A fenntartható életmód gyökerei már hazánkban is megjelentek, elsősorban a fiatalok körében (15-24 évesek) rajzolódik ki a legkarakteresebben. A fenntartható fogyasztás kritériumait kisebb-nagyobb mértékben szem előtt tartó „trendkövető” fogyasztók, azaz a potenciális piac aránya ma Magyarországon 21%. A rovarrevés, vagy más néven entomofágia csak a fejlett Nyugaton számít tabunak, kuriózumnak. A rovarfogyasztás nyugati elterjesztése főleg marketing és reklámok segítségével képzelhető el. A modern Nyugaton a rovarrevés egyelőre tabu, ráadásul ez a tabu kizárólag pszichológiai jellegű, ennek legyőzése elég komoly nehézségekbe ütközik. A rovar eredetű élelmiszerkészletekben a rovarok felismerhetetlenek: húsgombócban, előre gyártott tésztákban (pl. tücsöklisztból is készül tortillachips) próbálják eladni a rovarokat (Popp és szerzőtársai, 2018g).

A rovarok fogyasztásával kapcsolatos fogyasztói attitűdök számos formát öltenek a kíváncsiságtól az undorig. A rovarfogyasztás legtöbbször undort, félelmet vált ki. Kutatások szerint a nyugat-európai fogyasztók esetében feldolgozott formában nagyobb az elfogadás. Kiseb az elutasítás aránya, ha takarmánycélú a rovarfehérje felhasználása. Kemenczei és szerzőtársai (2016) azt vizsgálták, hogy a magyar fogyasztók hogyan viszonyulnak rovarfogyasztáshoz. Kutatásuk legfontosabb megállapítása, hogy bár a lakosság 70%-a kategorikusan elutasítja a rovarrevést, 30% ugyanakkor kipróbálná, s ebből 4,5% kifejezetten örülne a rovarokból készült élelmiszerek forgalmazásának. Az eredmények arra is rámutattak, hogy a fiatalabb korosztály sokkal nyitottabb ebben a kérdésben, a férfiak pedig szignifikánsan érdeklődőbbek, mint a nők. A rovarok élelmiszerként történő fogyasztása történhet egész rovarok formájában, de bizonyos összetevők kivonásával, vagy éppen egyes rovarrészek

porításával az adott élelmiszerfehérje tartalmának dúsítására is felhasználható. Egyes régiókban, ahol a rovarok az általános étrend részét képezik (pl. Afrika, Ázsia egyes részei), más attitűd jellemzi az embereket, más-más fajokat tartanak elfogadottnak (Tan és szerzőtársai, 2009). A nyugati társadalmak rovarfogyasztásra való hajlamát felmérő kutatásban megállapították, hogy a neofóbia – vagyis az új, ismeretlen élelmiszerek elutasítása önmagában is komoly hatással van a hozzáállásra (Verbeke, 2015).

4.3.4. Egysejtű fehérjeforrások (élesztő)

Az egysejtű fehérje termelése újra előtérbe került. Az egysejtű proteinek emészthető egysejtű mikroorganizmusok (alga, élesztő, gomba és baktérium), amelyek élelmezési és takarmányozási célra is felhasználhatók. Mezőgazdasági, emberi és állati hulladékkal is előállítható, de autotróf eljárással is. Sok élesztőfaj létezik. Az élesztő jó fehérjeforrás, habár az összetétel a fajok, a táptalaj és a feldolgozás függvényében változik, így a feldolgozás optimalizálására és a termék standardizálására van szükség. Az aminosavak relatív mennyisége az élesztő-, halliszt- és szójadarafehérjében hasonló képet mutat, alacsonyabb érték az élesztőfehérjében csak a metionin és cisztin esetében tapasztalható. Az élesztő emészthetősége kiváló, 80-90% között változik. A sörélesztő piaca perspektivikus és dinamikusan nő. Az egyes piaci elemzések nagyon eltérő értékesítési eredményeket közölnek, ennek függvényében az évi értékesített mennyiség 151-700 ezer tonna között szóródik. Az értékesítés évi növekedése a becslések szerint évi 9,5%-kal nő. A biztonságos és standard terméknek magas ára van, mert a piac garantáltan biztonságos terméket igényel. Egyrészt az elsődleges élesztőtörzsek (fermentáció) termelési költségeit indokolt optimalizálni, másrészt magas értékű termék kifejlesztésére van szükség. A termelés költsége nagymértékben függ a táptalaj (melasz) költségétől. A mikroalga (spirulina) is kitűnő fehérjeforrás, amelyből fehérjeliszt állítható elő. Jelenleg több projekt (Nutrisync, Unibio, Freekind) is fut, ebből kettő a hallisztpiacot célozza meg, de a magas költségek miatt a mikroalgából készült fehérje piaci bevezetése egyelőre nem aktuális (Popp és Oláh, 2018).

Az EU takarmányról szóló szabályozása (EC) No. 183/2005 kitér az egysejtű proteinekre is. A mikroorganizmusokból származó (mellék)termékek fermentációjának körébe tartozik a baktérium, élesztők, gomba és a fermentációból származó melléktermékek (a felsorolás egyébként nagyszámú élesztőfajt tartalmaz). A vélelmezetten biztonságos (Qualified Presumption of Safety: QPS) az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság - European Food Safety Authority (EFSA)-n belül egy kockázatbecslési megközelítés. Ez nem jelent EFSA engedélyezést, de még szabályozási státuszt sem. A QPS megközelítést ma a mikroorganizmusok, többek között számos élesztőfaj esetében alkalmazzák. A fermentációból származó melléktermékekre korlátozások vonatkoznak a GM takarmány és élelmiszerszabályozással összhangban (R1929/2003), ha a fermentációs eljárás GM mikroorganizmusokat is magában foglal. Ez mit jelent a termelők számára? A gyártó felel a termék biztonságáért, így a kockázatbecslés és ellenőrzés alkalmazásáért is (R 186/2005). Az élesztő (*Saccharomyces cerevisiae*), mint elsődleges termelés a takarmány- és élelmiszeriparhoz tartozik (Popp és Oláh, 2018).

4.4. Alternatív élelmiszerek fogyasztása

4.4.1. Fenntartható-e az élelmiszertermelés?

A fogyasztói kereslet az élelmiszer iránt a jövőben jelentősen emelkedhet a következő három tényező miatt: a globális népességszám növekedése, az egy főre jutó jövedelmek emelkedése és a fogyasztói kosár szerkezetének változása (FAO, 2018). Az egy főre jutó jövedelem

emelkedésével párhuzamosan kezdetben nő az élelmiszerek súlya a fogyasztásban, majd a jövedelem további bővülésével együtt csökken. A jövedelmek bővülése a fogyasztói kosarat is átalakítja, ugyanis az élelmiszerfogyasztási preferenciákon belül emelkedik a fehérjében gazdag (hús, tej és tojás) táplálék aránya (FAO, 2018). Az állati eredetű élelmiszerek előállítása ugyanakkor több természeti erőforrást igényel és nagyobb ökológiai lábnyommal jár. Az **élelmiszertermelést kínálati oldalról** korlátozhatja a rendelkezésre álló erőforrás (termőföld és víz) minősége és szűkösége. A mezőgazdasági termelés több mint háromszorosára emelkedett 1960-2015 között OECD/FAO (2019), ezzel együtt a környezetterhelés is nőtt az erdők pusztításával és a felszíni és felszín alatti vizek szennyezésével (műtrágya, növényvédelem). A mezőgazdaság a vízkészletek legnagyobb fogyasztója, a rendelkezésre álló víz 70%-át használja fel az agrárszektor (FAO, 2018).

A jelenlegi élelmiszertermelés módja hosszú távon nem fenntartható. Többek között azért, mert csökken az öntözővíz mennyisége, vagy például a hústermelés környezetterhelést okoz. A Föld népességének gyarapodása a bolygó jelenlegi eltartóképességét is fenyegeti, miközben a **globális húsfogyasztás kétszer akkora ütemben nő, ami fenntarthatatlannak tűnik** (Oláh, 2019). Az állattenyésztésnek ugyanis jelentős szerepe van az ÜHG-kibocsátásban, nem beszélve arról a hatalmas mennyiségű ivóvízről, amit az iparág igényel. Napjainkban a világ vízfelhasználásának 70%-át a mezőgazdaság emészti fel, beleértve a növénytermesztést, ezen belül az állattenyésztést szolgáló takarmánynövényeket is (az EU-ban ez az arány 44%). Az **előttünk álló évtizedek egyik legfontosabb kihívása éppen az ivóvízhiány és klímaváltozás mérséklése.** Ehhez az állattenyésztésben bevezetett környezetbarát lépések is hozzájárul(hat)nak, az igazi fordulathoz nélkülözhetetlen az állati termékek növekvő fogyasztásának visszaszorítása, például a „hagyományos” állati eredetű fehérje részbeni helyettesítése alternatív fehérjeforrásokkal (Popp és szerzőtársai, 2018d).

A növekvő hústermelés feltétele a fehérjetakarmány előállításának bővülése (Popp és szerzőtársai, 2018d; Popp és szerzőtársai, 2018e). Ma a legfontosabb és legolcsóbb fehérjeforrás a szója. Szójatöbblettel elsősorban az USA, Brazília, Argentína és Paraguay rendelkezik, ugyanis a globális szójatermelés és külkereskedelem 80-90%-át képviselik. A szójahiány elsősorban Ázsiára és Európára jellemző. A globális szójabab kereskedelem kétharmadát Kína importálja, az EU továbbra is a világ második legnagyobb szójabab importőre marad, szójaliszt esetében megtartja vezető helyét. A szója és szójaliszt nagyobb arányú kiváltásához nincs elégséges alternatív – növényi eredetű (olajnövény és fehérjenövény) és állati eredetű (halliszt, hús- és csontliszt) – fehérjeforrás a nemzetközi piacon. Szóba jöhet még az ipari melléktermék, a levélfehérje, az akvakultúra eredetű fehérjeforrás, a rovarfehérje, a mikrobiális fehérjeforrás és a szintetikus aminosav (Popp és szerzőtársai, 2016b; Popp és Oláh, 2018).

Ugyanakkor az egyes fehérjeforrások világpiaci árainak összehasonlításából kiderül, hogy a szójaliszt még mindig magasan a legolcsóbb fehérjetakarmány. Ez azt is jelenti, hogy az egyéb, vagy alternatív fehérjeforrások belátható időn belül nem váltják ki a szójafehérjét. Az Európai Unió évi mintegy 33 millió tonna szójababot és szójalisztet importál, miközben alig 3 millió tonna szójababot termel. A behozatal forrásai tekintetében ma nincs igazán alternatíva. Az EU-ban a keveréktakarmány-gyártáshoz szükséges évi 44 millió tonna nyersfehérjéből 17 millió tonna, azaz 39% az import, ebből 13 millió tonna szójaalapú, vagyis a felhasznált szójatermék 95%-át teszi ki a behozatal. A keveréktakarmány-gyártásban a közel évi 45 millió tonna nyersfehérje szükséglet 61%-át termeli meg az EU, 39%-át importálják. A szójadara esetében az önellátottsági szint csupán 5% és a napraforgódara esetében is csak 42%. A fehérjehordozó takarmány önellátottsága 61%, de kukoricából és repcedarából is importra szorul az EU (Popp és szerzőtársai, 2018e; Popp és szerzőtársai, 2018f) (6. táblázat).

6. táblázat **Fehérjehordozó takarmány mérlege az EU-28-ban, 2017**

	Összes takarmány (millió t protein)	EU-ból származó takarmány (millió t protein)	Önellátottság (%)
Termények, ebből	18,30	16,60	91
búza	5,76	5,40	94
árpa	4,12	4,12	100
kukorica	4,22	3,24	77
olajnövények	0,50	0,50	100
hüvelyes növények	0,77	0,71	92
Melléktermék, ebből	25,57	9,77	38
szójadara	13,37	0,67	5
repcedara	4,36	3,43	79
napraforgódara	2,43	1,02	42
Egyéb, ebből	0,92	0,86	93
halliszt	0,36	0,31	86
sovány tejpor	0,06	0,06	100
Teljes	44,79	27,21	61

Forrás: Federation of European Compound Feed Manufacturers (2017)

4.4.2. Laboratóriumi hús

Amennyiben az egyre **növekvő húsfogyasztással** már nem tud lépést tartani a haszonállattenyésztés, akkor a laboratóriumban előállított húsok is előtérbe kerülhetnek (Popp és szerzőtársai, 2018d). Egy biopsziaszerű mintavétellel több ezer olyan sejtet lehet kinyerni az állatokból, amelyek normál esetben az izmok regenerálódását és növekedését biztosítják. Nem szintetikus, hanem élő sejtéből oldatban, tápanyag hozzáadásával 10-20 nap alatt elkészült többszörös sejttömeg, amely osztódik. Az előállításához összejtet vesznek ki a marhából. Egy állatból vett sejtszámból annyi izomszövetet, húsmennyiséget állítanak elő, mint tízezer levágott marhából. Ugyanúgy készül a hús, mint ahogyan a szarvasmarha a saját létfenntartásával állítja elő, csak gyorsabban, igaz még nagyon drágán. Egy kiló még több száz dollár. Nagy technológiai áttörés kell az előállítás minden fázisában, hogy a laboratóriumi hús ára elfogadható legyen az állati eredetű fehérje részbeni kiváltásához. A cégek már ilyen magas áron is vásárolnak „laborhúst”, ezzel is mutatva a „zöld” elkötelezettséget (Oláh, 2019).

A sejtekből tenyésztett hús előállításának legismertebb vállalata az amerikai Memphis Meats és a holland Mosa Meat. A Mosa Meat 2021-től tervezi első termékeinek (marhahús) piaci bevezetését, majd két-három év múlva az ipari méretű termelés beindítását. A Memphis Meats kísérleti jelleggel már előállít mesterséges csirke-, marha- és kacsahúst, ráadásul ezek tápanyagértéke és szerkezete azonos a hagyományos húséval. Az eljárás 90%-kal kevesebb üvegházhatású gáz kibocsátásával jár, mint a hagyományos állattenyésztés (Popp, 2020).

Meg kell jegyezni, hogy a laboratóriumi hús gyorsan növekvő előállítása nagy energiaigénnyel is jár, így például a szénalapú tüzelőanyagok használatával nem csökkenne az ÜHG-kibocsátás. A laboratóriumi húsok előállítása tehát akkor jelenthet választ a környezeti problémákra, ha megújuló energiára váltanak ott, ahol a szénre alapozott energiafelhasználás dominál. A laboratóriumban tenyésztett hús fogyasztását jelenleg az EU tiltja (ahogy egyébként a klónozott állatokét is). Ezen túlmenően az EU-ban az élelmiszeripar területén a politika nem túl fogékony a tudományos innovációk gyakorlati alkalmazására. De a fogyasztók jelentős része is távolságtartó mindennel szemben, ami mesterséges, „nem természetes”, mert inkább a

hagyományos utakat választja mindaddig, amíg a klímaváltozás, illetve a szélsőséges időjárás és az ezzel járó élelmiszerárrobbanás rá nem kényszeríti jól bevett szokásaik megváltoztatására (Popp, 2020).

4.4.3. Vegetáriánus (vega) étrend

A világ élelmezési problémájához hozzájárulhat, ha egyre több fogyasztó a vegetáriánus étrendre térne át. Ugyanakkor szinte tudományos alapossággal kell(ene) összeállítania a vegetáriánus étrendet, hogy minden szükséges tápanyagot, fehérjét, vitamint és ásványi anyagokat megkapja szervezetünk a növényi eredetű élelmiszerekből. Az esszenciális aminosavak csak egy részét tartalmazzák a növények néhány zöldség és a szója kivételével, ráadásul az esszenciális aminosavak egymáshoz viszonyított aránya is fontos szempont. Emellett a kényelmi terméknek számító félkész- és késztermékek (melyek pár perc alatt elkészíthetők) a „vegák” számára sokkal kevésbé elérhetők (Oláh, 2019).

Ugyanakkor gyorsan bővül a „vegahús” piaci bevezetése is. A laboratóriumi hústermelés mellett kizárólag növényi alapanyagokból (szója, borsó, búza, burgonya, kókuszolaj, cékla stb.) állítanak elő húsízű és -kinézetű vegahúst. A McDonald's Németországban dobta piacra a Big Vegan TS burgert, a Burger King pedig az USA-ban forgalmazza Impossible Whoppert. The Good Food Institute nonprofit szervezet több millió dollárt adott a témával foglalkozó tudományos projektek támogatására. A Beyond Meat és az Impossible Foods cégekbe több száz millió dollárt fektettek be olyan hírességek, mint például Bill Gates és Leonardo DiCaprio. A Beyond Meat tőzsdei cég küldetése, hogy „az emberek első generációja végre leválasztja a húst az állatokról”. A Beyond Meat legfontosabb alapanyaga a borsó, amiből vegahús hamburgert gyártanak. A növényi alapú vegahús gyártása olcsóbb, mint az állati eredetű laboratóriumi húsé, ráadásul azokat a fogyasztókat is megnyerik, akik a húsfogyasztást vallási vagy lelkiismereti okok miatt utasítják el. Az Impossible Foods vegahús termékeinek gyártásához a növényi alapanyagok mellett *Pichia pastoris* nevű élesztőgombát is használnak, mert ennek segítségével állítják elő a húsízért felelős fehérjét, amelyhez szója- és búzaproteineket keverve készül a hamburgerpogácsa és egyéb vegahús készítmények. Franciaországban Ares városban található ONA vegán étterem elsőként a világon (vegán étteremként) Michelin-csillagot kapott 2021-ben (The Guardian, 2021).

A vegetáriánus étrendet követő fogyasztók nem esznek húst, de minden más állati eredetű terméket igen. A vegán filozófia az állatok érdekeit és életét tartja tiszteletben, ezért a vegánok növényi étrendet követnek. A távol-keleti fiatalok ugyanakkor szintén elfordulnak saját nemzeti és kulturális hagyományaiktól és európai szokásokat, divatot és az egészségromboló nyugati táplálkozást követik. A keleti kultúra részét képező keleti gyógyászat és a vegetáriánizmus európai terjedése elsősorban társadalmi, szociológiai, mintsem természettudományi és biológiai jelenség.

Növényi alapú termékekkel helyettesíthető a hús, a tej és a tojás is. A Beyond Meat a hús alapvető elemeit közvetlenül növényekből (borsó, cékla, kókuszolaj, burgonyakeményítő stb) vonja ki. A hús aminosavakból, lipidekből, ásványi anyagokból és vízből áll. Az állatok az emésztő -és izomrendszerüket használják arra, hogy a növényeket vízzé és hússá alakítsák. A Beyond Meat növényi forrásból közvetlen módon állít elő „húst”. A technológia fejlődésével a fogyasztók számára is vonzóbb lesz ez az opció. A jövőben a vásárlók olcsóbban fognak hozzájutni az egyre inkább húsrá hasonlító növényi alapú fehérjéhez. Az igazi hús luxustermék lehet, a vegán hús fogyasztása pedig általánossá válhat. A növényi alapú fehérjék eladása az elmúlt években gyorsabban emelkedett (évi 8-10%-kal), mint a hagyományos húsé (évi 2-3%).

A húsiparnak nem tetszik, hogy egyre több ember a növény alapú táplálkozás felé fordul, főleg a fiatalok. A húsipari gazdaság szereplői kifogásolják, hogy a vegetáriánus ételek gyártói olyan

szavakat használjanak a termékleírásban, mint a húst tartalmazó ételeknél. Ilyen például a steak, a virsli, a burger és a hamburger. Ezek a szavak már a nevükben hordozzák a húst, ezért félrevezető a húsmentes ételek elnevezése. Az EU-ban forgalmazott élelmiszerekre vonatkozó kereskedelmi szabályozás általában a közös piaci szervezetek (Common Market Organisations: CMOs) kompetenciájába tartozik. Az élelmiszerek jelölését (címkézését) az 1990-es évek eleje óta az uniós jogszabályok szabályozzák. 2017-ben az Európai Bíróság döntésével új alapelvet is rögzített az uniós jogban, miszerint a tej, a vaj és a joghurt kifejezés használatával csak „valódi” tejet tartalmazó termékek forgalmazhatók.

Franciaország már értesítette Brüsszelt az élelmiszerek címkézésére vonatkozó jogszabályok felülvizsgálatáról. Biztosra vehető, hogy az Európai Bizottság 2020 után foglalkozik a húsról vonatkozó jelölés/címkézés szabályozásával. Ez nem pusztán jogi kérdés, hanem a fogyasztóknak szóló tájékoztatásról is szó van. Az Európai Fogyasztói Szervezet felmérése szerint a fogyasztók túlnyomó többsége nem aggódik a zöldségburger elnevezés miatt, amennyiben a jelölés egyértelműen vegetáriánus vagy vegán. Az új szabályok tiltják az állati eredetű élelmiszerekhez kapcsolódó elnevezések használatát a növényi eredetű fehérjéket tartalmazó termékek, mint a vegetáriánus hamburgerek vagy a vegán kolbász forgalmazásakor. Várhatóan meghatározzák a növényi fehérjék maximális arányát a „húsos” elnevezés használatához. A nemzeti szabályozás jogi szempontból továbbra is ellentmondásos. Ehhez hasonló példával találkozunk Spanyolországban is.

4.5. Élelmezés- és táplálkozásbiztonság az EU-ban

A jelenleg előre jelezhető étrend megváltoztatását a **Közös Agrárpolitika (KAP) átalakítása is elősegíthetné**, ha a gazdálkodóknak nyújtott **egyszerű területalapú és állattartási átalánytámogatás helyett inkább az innovatív megoldásokat támogatnák**. Az állattenyésztésben bevezetett támogatások megváltoztatása (főleg kérődző állatok esetében) hozzájárulhat az ÜHG-kibocsátás és a vízfogyasztás csökkentéséhez (Popp és Oláh szerk., 2016a). Az élelmiszertudomány és élelmiszergyártás kutatása háttérbe szorul a mezőgazdasági fenntarthatósággal, az étrenddel és az egészséggel kapcsolatos kutatások mellett. Az **élelmiszertudomány és -technológia „low tech” szakterületnek számít**, ezért nem vonzó a tudományos életpályára készülő PhD hallgatók számára. A piaci kilátások a mezőgazdasági termelékenység, hatékonyság kilátásaival foglalkoznak, ezzel szemben a feldolgozási technológia és kiskereskedelem fejlődése csak marginális szerepet kap. Az EU-ban az élelmiszeripari innováció 70-80%-a megbukik és csupán 20-30%-a jut el a piaci bevezetés szakaszába. A fogyasztói magatartás kutatása nem terjed ki a táplálkozási magatartás elemzésére. A táplálkozásban az éhezés és elhízás, valamint az alul- és túltápláltság egymással párhuzamosan fordul elő az EU-ban is, sőt a **túltápláltság (kalóriában) alultápláltsággal (mikrotápanyagban) is párosul** (WHO, 2018a; 2018b).

Az EU-ban **stratégiai prioritás a globális élelmezés- és táplálkozásbiztonság, ugyanakkor hiányzik az uniós élelmiszerpolitika**, arról nem is beszélve, hogy az élelmiszersegély program az EU-n kívüli régiókra vonatkozik. A jövő szempontjából fontos szerepet játszó személyre szabott táplálkozás (és egészség) nincs az Európai Bizottság napirendjén. Ennek oka részben az, hogy az egészségügyi szolgáltatások és gyógyszerek fogyasztása a GDP jelentős hányadát (8-12%-át) teszi ki a tagországokban. Ezzel szemben az egészségesebb munkaerő a becslések szerint maximum 3%-kal járulna hozzá a GDP növekedéséhez. Márpedig az EU politikailag nem meri megkockáztatni, hogy ebből kifolyólag csökkenjen a GDP (Popp és szerzőtársai, 2018d). Nem véletlen, hogy az **élelmiszergyártás és -tudomány kutatása háttérbe szorul a mezőgazdaság fenntarthatóságának kutatásával szemben**. Úgy is mondhatjuk, azt a pénzt, amit a magas hozzáadott értékű élelmiszerekre kellene költeni, a mezőgazdasági termelők

kapják meg. Az EU az egészséges étkezéssel kapcsolatos hitvallása sem változott évtizedek óta: az egészséges életmód folytatásában továbbra is a sok zöldség- és gyümölcs, valamint az alacsony zsírtartalmú hús- és tejtermékek fogyasztása játszik fontos szerepet az aktív mozgás mellett (Tilman és Clark, 2014).

Az **élelmiszerek minőségét elsősorban dúsítással lehet javítani, például** vitamin, ásványi anyagok hozzáadásával. Példa erre gyümölcslé, de ide sorolható a jódozott só, a D-vitaminnal dúsított tej, vagy az omega 3-zsírsavat tartalmazó margarin is. Az Egyesült Államokban vagy a harmadik világban ez nagyon komoly területe az élelmiszeriparnak, gyakran szabályozott és államilag támogatott is. Az USA-ban az élelmiszer-segélyezési program célja, hogy a szegények minél több dúsított élelmiszerhez jussanak hozzá. Ily módon nem a mennyiség növelésével, hanem a minőség javításával próbálnak az érintetteknek segíteni, ami pénzben kifejezve is költséghatékony. Az Európai Unióban azonban egyáltalán nem kezelik kellő súllyal ezt a lehetőséget, mert főleg a piacra bízzák az ételdúsítás alkalmazását. Mivel a dúsítás növeli az érintett élelmiszer előállítási költségét, a gazdagabb réteg tudja csak megfizetni a terméket, vagyis éppen azok a fogyasztók nem jutnak hozzá, akik erre leginkább rászorulnak (Popp és szerzőtársai, 2018d).

Az **ételdúsítás az élelmiszeripar önkéntes döntése, de mintegy 50 ország az alapvető élelmiszerek mikrotápanyaggal történő dúsítását előírja** (például a folsavval dúsított liszt). Azt is meghatározzák, hogy milyen élelmiszereknél alkalmazható a dúsítás: nem engedélyezik a friss és/vagy fel nem dolgozott termékek és húsok esetében, megtilthatják az egészségesnek nem tekinthető cukor tartalmú és snack ételek dúsítását is. Továbbá az ételdúsítás mértékét is szabályozzák a mikrotápanyagok maximalizálásával, de az ételdúsítás az élelmiszerek ízét is befolyásolhatja, ami szintén behatárolja a dúsítás arányát: például vassal dúsított étel fémízű, barna színű és így gyorsabban romlandó (Popp és szerzőtársai, 2018d). A WHO (2018a) számításai szerint az alultápláltságból származó évi globális gazdasági veszteség a GDP 2,65%-át teszi ki. A kiterjedt élelmiszerdúsítás az alultápláltság csökkentésének fenntartható és költséghatékony módja. A beruházás megvalósítása mellett a világnépesség figyelembe vételével az egy főre jutó működő költség évi 0,1-1,0 USD között mozog, 1 USD befektetés hozama eléri a 17 USD-t az egészségügyi kiadások csökkentésével és a gazdasági növekedés javulásával.

Az EU eddig nem élt a genomika eredményeinek alkalmazásával sem. Az élelmiszer, a nyersanyag vagy az energia, mint termékek alapját az élőszerkezetek tulajdonságai adják, amelyek a gének által irányított fiziológiai folyamatok során a fejlődési program szerint, a környezeti tényezők befolyása alatt alakulnak ki. Míg a gének összességét, a genomot a fajtaelőállító nemesítő alakítja, tulajdonságait javítja, addig a gazda munkájától függ az, hogy az agrotechnológiai műveletek, mint környezeti tényezők miként alakítják a termést. Mind a fajta, mind az agronómia jelentősége nagy a hozamok biztosításában. A nemesítés hagyományos módszerei, mint a szelekció, a keresztezés, vagy akár a poliploidizáció is jelentős hozamnövekedést tettek lehetővé.

A nemesítés hatékonyságának javításában igen jelentős előrelépést jelentett a génsebészeti, rekombináns DNS módszerek alkalmazása. Egy agronómiai gént a kémiai valóságában lehet izolálni, kémcsőben ezt a DNS molekulát átprogramozhatjuk úgy, hogy ha a gént visszaültetjük a nemesítendő növényekbe, akkor a kívánt tulajdonság jelenjék meg (Dudits és Popp, 2017). A tudomány egészen új dimenzióba helyezte a nemesítést azzal, hogy az ún. genomszerkesztési módszerek kidolgozásával lehetővé vált egy kiválasztott célgén egyetlen molekulájának, nukleotidjának a kicserélése, ami a kívánt új tulajdonság megjelenését biztosítja. Lényegében megvalósíthatóvá vált a célzott mutációk létrehozása, akár idegen gén beépítése nélkül is. **A precíziós nemesítés jelenleg kutatási és fejlesztési fázisban van.** Most még korai lenne

számszerűsíteni a hasznosítás eredményeit, de az biztos, hogy ezzel a technológiával a fajta-előállítók versenye új szakaszba kerül (Popp és szerzőtársai, 2018d).

A géntechnológiával módosított szervezetekkel (Genetically Modified Organism: GMO) szembeni ellenállás Európában kivételesen erős. A technológia támogatói képviselik a tudományos racionalitást, mivel alkalmazása elősegíti a fenntartható intenzifikációt a mezőgazdaságban. Az ellenkező álláspontot képviselő emberek számára a GMO a természetfeletti tudományos kontrollt jelképezi, továbbá az iparosodás és a globalizáció szimbólumát. Európában a közvélemény erősen ellenzi a géntechnológia gyakorlati alkalmazását. Ezt az ellenállást a GMO-val szemben főleg az egészségügyi, környezeti és társadalmi-gazdasági veszélyekkel kapcsolatos aggodalmak váltották ki (Lewandowsky és szerzőtársai, 2013). A közvélemény jelentősen befolyásolja a GMO-k fejlődését és forgalmazását Európában, ezért a különböző országok hozzáállása a biotechnológiával szemben elősegíti a lakossági félelmek megértését (Boccia és Sarnacchiaro, 2015; Popp és szerzőtársai, 2018b). A GMO-szabályozás korlátozásának fő tényezői a komparatív előnyök hiánya a mezőgazdasági ágazatban, a vidéki térségben élő lakosság magas aránya, a szigorú környezetvédelmi szabályok és az intézményi környezet. Továbbá az „információs piacon” a tömegkommunikáció szerkezete (közösségi média és magánmédia) is szerepet játszik a GMO-szabályozás megítélésében (Vigani és Olper, 2013). A géntechnológiával kapcsolatos viták túl gyakran a termelési eljárásokról szólnak az élelmezésbiztonság helyett (Qaim és Kouser, 2013). A géntechnológia beépítése a szabadkereskedelmi megállapodásokról szóló tárgyalásokba régi stratégia az EU-ban, ugyanis a környezet védelmére és a fogyasztók érdekeire hivatkozva az EU további előnyökre próbál(t) szert tenni más termékkel szemben a kereskedelmi tárgyalásokon (Balázs és szerzőtársai, 2006).

Az új technológiák és általában a géntechnológiával módosított növények társadalmi elfogadottsága jelentős vitát váltott ki és a legtöbb országban társadalmi ellenállásba ütközött (Lusser és Davies, 2013), de a hazai GMO-szabályozás különösen szigorúnak tekinthető. Magyarország alaptörvényében kategorikus tilalmat hirdetett a géntechnológiával módosított szervezetek alkalmazására. Ezen ellentmondás okát igyekezett feltárni a „GM-szabályozási játék Magyarországon” című kutatásunk (Popp és szerzőtársai, 2018b). A személyes interjúk a GM szabályozásról szóló vita kulcsszereplőivel készültek. Az elemzés eredményei hangsúlyozzák, hogy a GMO-t ellenző gazdasági, politikai és társadalmi szereplők között széles körű együttműködés alakult ki, beleértve a kutatókat, a civil szervezeteket, az általános iskolai tanárokat, a tanúsító rendszerek képviselőit, a médiát és a parlamenti pártokat. A fogyasztók jóléte marginális kérdésnek számított a válaszadók számára, azaz a jelenlegi biotechnológiai környezet nem kínál olyan hosszú távú megoldást, amely a fogyasztók valódi érdekeit veszi figyelembe. A géntechnológiát ellenző politikai elit és média közötti koalíció elég erősnek tűnik ahhoz, hogy a jelenlegi negatív megítélést hosszú ideig fenntartsák. Az EASAC szerint is a genomszerkesztés és más genetikai kutatások terén elért áttörések meghatározzák a mezőgazdasági- és élelmiszertermelés jövőjét. **A genomika tudományos eredményeit az EU-ban is indokolt felhasználni az állategészségügyben, az állattenyésztésben és a növénytermesztésben.** Az EU nem mondhat le a genomikai kutatások folytatásáról, a genetikai forrásokban rejlő növénytermesztési és állattenyésztési lehetőségek feltárásáról (Popp és szerzőtársai, 2018d).

4.5.1. Akvakultúra-rendszerek fejlődése Magyarországon

A kék bioökonómia, ezen belül az akvakultúra jelentősége az élelmiszer és egyéb biomassza termelésében folyamatosan növekszik. Erre jó példát szolgáltatnak az integrált, multifunkcionális haltenyésztés kitörési lehetőségei Magyarországon (Popp és szerzőtársai, 2018d). A globális haltermelés (természetesvízi fogás és akvakultúra) 2007 és 2018 között

27%-kal nőtt, 2018-ban elérte a 179 millió tonnát, 2030-ra várhatóan eléri a 204 millió tonnát. Az akvakultúra 2018-ban a globális termelés 46%-át tette ki, 2030-ban ez az arány várhatóan 53%-ra emelkedik (FAO, 2020). Az elmúlt 20 évben a haltermelés növekedése a termelési technológiák fejlesztésének köszönhető. Ma az akvakultúra-gazdaságok specializálódása és a monokultúrák állományok dominanciája a jellemző, az integrált tenyésztés pedig hanyatlóban van (Edwards, 2015; Varga és szerzőtársai, 2020). Mivel a nagyüzemi monokultúrák termelés egyre nagyobb és koncentráltabb piacokat szolgál ki homogén termékekkel, környezeti fenntarthatósági problémák lépnek fel (Gyalog és szerzőtársai, 2017).

Az integrált haltenyésztés hazai fejlődése összhangban van a globális trendekkel. Az előző évezredben a tápanyagok minél hatékonyabb felhasználása volt az integráció fő célja Magyarországon. Ennek klasszikus példája a különböző táplálkozási (trofitási) szinten élő szervezetek termelése (pl. alga, makrofita vízi halastavi kacsanefelnevelés, vagy a halastó melletti sertéstelep friss hígtrágyájának a tóba juttatása, vagy a halas/rizses kombinált termelés). Az integrált és polikulturális rendszerek biztosítják az összes erőforrás, például a talaj, víz és takarmány okszerű felhasználását a hulladék minimalizálása mellett. Az új évezredben a tápanyag hasznosítás hatékonysága helyett a környezet tápanyagterhelésének minimalizálása és a vízkészlethasznosítás hatékonyságának növelése került előtérbe, így például az intenzív haltenyésztés létesített vizes élőhelyekkel (wetland) való összekapcsolása. Az új típusú integrált multitrofikus akvakultúra (Integrated Multi-Trophic Aquaculture: IMTA) rendszerek hozzájárulnak a fenntartható intenzifikációhoz, vagyis a fajlagos hozamok növeléséhez pozitív környezeti hatás és ökológiai szolgáltatás mellett (Popp és szerzőtársai, 2018d). Az IMTA alapelve a körforgásos gazdálkodási forma megteremtése az energiaáramlás, a veszteség és környezetszennyezés minimalizálásával, ugyanakkor elősegíti a fenntartható gazdasági növekedést és a társadalmi haladást.

A tavi recirkulációs akvakultúra-rendszerek és a multifunkcionális tógazdálkodási modellek bizonyították életképességüket. Az új típusú integrált édesvízi akvakultúra-rendszerek, például az intenzív-extenzív kombinált rendszerek és a multifunkcionális halastó-rendszerek hozzájárulhatnak a halastavak, mint értékes vizes élőhelyek fenntartható felhasználásához. Az intenzív K+F-tevékenység és az innováció eredményeként létrejött édesvízi akvakultúra-rendszerek alkalmazása hozzájárulhat a fajlagos hozam növekedéséhez környezetkárosítás nélkül, valamint ökoszisztéma és turisztikai szolgáltatások nyújtásához, miközben elősegíti a vidéki régiók foglalkoztatását is. Magyarországnak továbbra is aktív szerepet kell vállalnia az EU és az EU-n kívüli kelet-európai országok, valamint Ázsia közötti együttműködés fejlesztésében. Az édesvízi akvakultúra fejlesztésének egyik ígéretes területe az IMTA rendszerek szélesebb körű használata a tavi haltenyésztés korszerűsítése során. E programok közös jellemzője az együttműködés keretében az integrált édesvízi akvakultúra-rendszerek fejlesztésének és gyakorlati alkalmazásának elősegítése (Popp és szerzőtársai, 2018d).

A magyar ökológiai akvakultúra-termelés csupán évi néhány ezer tonna hal, a potenciális növekedést korlátozza az ökológiai termékek iránt mutatkozó mérsékelt piaci igény, habár a halastó-alapú IMTA-rendszerek jó alapfeltételeket biztosítanak ehhez (Popp et al., 2019b). Az akvapóniát nagyon ígéretes és összetett élelmiszertermelési technológiának tekintik, ugyanakkor a visszaáramló víz kémiai összetételének folyamatos monitorozására van szükség a tápanyagok megfelelő koncentrációjának és arányának meghatározásához, különös tekintettel a potenciálisan mérgező ammóniumra. Az akvapónia jelenleg nem tartozik az akvakultúra-ágazatba Magyarországon és hiányosak az akvapónia rendszerek fejlesztésére irányuló kutatási eredmények is.

Az akvakultúra tehát a magyar mezőgazdasági szektor különleges alágazata és a tógazdálkodás más mezőgazdasági tevékenységekkel történő integrálása régóta jelentős hagyományokkal bír. A hagyományos integráció (a tavakban szerves trágyát használtak a természetes hozam

fokozására) mellett speciális integrált rendszereket is kifejlesztettek (mint a kacsahal vagy rizshal rendszer). Az integrált akvakultúra fejlesztésének hagyományai, az új ismeretek, a modern felszerelések és létesítmények, valamint a nemzeti és uniós támogatások új típusú integrált édesvízi akvakultúra-rendszerek kifejlesztését tették lehetővé Magyarországon. Ilyen például az összekapcsolt intenzív-extenzív haltermelő rendszer és a multifunkciós tógazdaság. Megfigyelhető, hogy kezdetben az integrált akvakultúra-rendszerek fejlesztésének mozgatórugója az erőforrások, különösen a tápanyag és a víz hatékony felhasználása volt; később azonban a természeti környezet védelme, a közelmúltban pedig a társadalmi igények kielégítése került középpontba az integrált édesvízi rendszerek fejlesztése során. Indokolt folytatni az édesvízi integrált akvakultúra-rendszerek fejlesztését célzó innovációt, ugyanakkor növelni kell e rendszerek alkalmazkodóképességét a változó éghajlati és időjárási viszonyokhoz, amihez további gyakorlat-orientált kutatás szükséges. További lehetőséget kínál a még nem termelt vízi szervezetek integrálása (pl. kagylók, rákfélék, vízinövények) a tápanyag-felhasználás javítása érdekében (Popp és szerzőtársai, 2018d).

A több szempontú döntési módszer (Analytic Hierarchy Process: AHP) alkalmazásával kimutattam, hogy a multifunkcionális tógazdálkodás az édesvízi akvakultúra olyan szegmense, amelyik jól illeszkedik az édesvízi erőforrások fenntartható hasznosítására irányuló folyamatokba. Szakirodalmi adatok, interjúk és elemzések alapján megállapítottam, hogy a hal iránti növekvő igényt egyre inkább nem az olyan extenzív és félintenzív termelési technológiák fogják kielégíteni, mint a hagyományos tógazdálkodás, fontos azonban, hogy a tógazdaságok az édesvizek fenntartható hasznosításának, a vidéki régiók fejlesztésének fontos szereplői maradjanak. Ezt a célt tudják teljesíteni a multifunkcionális tógazdaságok. Továbbá az AHP elemzés azt is bizonyította, hogy a tógazdálkodás területén a vállalkozók próbálnak tudatosan alkalmazkodni a változó körülményekhez, illetve kihasználni az új, így a multifunkcionális tógazdálkodás adta lehetőségeket. A vállalkozói döntések azonban sok esetben ellentmondásosak, ami szükségessé teszi a kommunikáció javítását a kutatási és a vállalkozói szféra között. Kutatásom tapasztalatai alapján megállapítható, hogy szükség van a multifunkcionális tógazdálkodás fejlesztését szolgáló specifikus kutatásokra is, amelyek közül kiemelhető a halastavak ökoszisztéma szolgáltatási értékeinek meghatározására irányuló, illetve célirányos szocioökonómiai kutatások (Popp és szerzőtársai, 2019f).

5. Bioökonómia: fenntarthatósági prioritás

5.1. Környezetbiztonság

A környezetbiztonság azt jelenti, hogy élelmiszert és energiát elkerülhető környezeti károk nélkül állítsunk elő. Sokan nincsenek tisztában azzal, hogy milyen gyorsan használjuk fel az egyelőre még olcsó természeti erőforrásokat (exponenciális erőforrás-felhasználás) és sokkal gyorsabban termeljük a hulladékot, mint amennyi idő alatt hasznos erőforrást tudunk nyerni belőle. Az emberek beszűkült tér- és időbelisége is a természeti erőforrások pusztításához vezet. Az ember térben és időben kiterjedten él és gondolkodik. A tér távlatai azt jelentik, hogy nemcsak arra a helyre korlátozódik a felelősség, ahol élünk, hanem tágabb értelemben kell figyelembe vennünk a tér fogalmát. Az időbeliséget pedig az utódok felé mutatott magatartáson, az ő jövőjük megőrzésén keresztül érthetjük meg. Ha az emberek úgy élnek, hogy életük nyoma (ökológiai lábnyom) elég teret hagy leszármazottainak (időbeli távlat), valamint másoknak (térbeli távlat), akkor tágabban szemléli a világot.

Az ökológiai lábnyom azt méri, hogy egy adott népességnek mekkora mennyiségű földre és vízre van szüksége önmaga fenntartásához és a megtermelt hulladék elnyeléséhez. Napjaink népesedési folyamatai és fogyasztási szokásai mellett jóval a fenntarthatósági küszöbérték fölötti területet használ átlagosan egy ember. Az ökológiai lábnyom mértéke alátámasztja, hogy a jelenlegi globális növekedés olyan mértékben károsítja a kimerülő erőforrásainkat, ami hosszú távon nem folytatódhat, azaz nem fenntartható (Magyar Nemzeti Bank, 2019). Az ökológiai lábnyom alapján meghatározott fenntarthatósági küszöbérték 1 lenne, ez esetben pont annyi erőforrást használna fel az emberiség, mint amennyit a bolygó nyújtani tud, azonban a jelenlegi emberi tevékenység fenntartásához annyi erőforrásra lenne szükség, amennyit egy 1,7-szer nagyobb Föld tudna biztosítani.

5.1.1. Éghajlatváltozás

Az időjárás és az éghajlat elemei a napsugárzás, hőmérséklet, szél és csapadék. Az időjárás egy régió légköri folyamatainak rövid, míg az éghajlat hosszú időtartamú állapotát jelenti. Megfigyelhető, hogy a szélsőséges jelenségek – viharok, hőhullámok, aszályos/csapadékos időszakok – gyakorisága és intenzitása időben és térben nő. A hőmérséklet, így a globális felmelegedés is az éghajlat legfontosabb eleme. A légkörben 20,95% (209 500 ppm) oxigén, CO₂-koncentráció pedig 0,04% (405 ppm), azaz 500-szor alacsonyabb az oxigénnél (100 évvel ezelőtt 280 ppm volt a CO₂-koncentráció, vagyis egy évszázad alatt közel másfélszeresére emelkedett ez az érték. A kutatók 97%-a szerint a globális felmelegedés oka a légköri CO₂-koncentráció emelkedése. 1990 óta a CO₂-szint évi 0,50-0,75%-kal emelkedik, a légköri O₂-szint 0,005%-kal csökken, tehát a CO₂-koncentráció változása sokkal nagyobb, mint az O₂-é (Takács, 2015). Miskolczi (2014) szerint az egyetlen igazi hőfok-szabályozó tényező a vízgőz/víz halmazállapot változásai. A talajszintről párolgó víz ugyanis növeli az üvegházhatást, de a felhőképződéssel a vízgőz hűtő tényezőként szerepel, ezért az üvegházhatás nem emelkedik bizonyos szint fölé függetlenül attól, hogy mennyi CO₂ van a levegőben.

Az **éghajlatváltozás** a világ minden részét érintő globális probléma. A globális felmelegedés üteme az emberi tevékenység hatására mindinkább gyorsul, aminek legfőbb oka az ÜHG koncentrációjának növekedése (European Commission, 2016). A népesség- és gazdasági növekedés hatására az ÜHG koncentrációja jelentős mértékben megnőtt, döntően a fosszilis tüzelőanyagok elégetése során keletkező szén-dioxid és dinitrogén-oxid miatt, de emellett az erdőirtás, az állattenyésztés, a nitrogént tartalmazó műtrágyák használata, a fluortartalmú gázok szintén hozzájárultak az emelkedéshez (Kemény és szerzőtársai, 2019). A CO₂-kibocsátás 1970

és 2010 között közel 78%-ban járult hozzá a teljes ÜHG-kibocsátás növekedéséhez (IPCC, 2014). Az agrárgazdasági értékláncok termeléséből a metán, a dinitrogén-oxid és a szén-dioxid tekinthetők a legfontosabb üvegházhatású gázoknak, amelyek elsősorban a haszonállatok tartása során termelődnek (Gerber és szerzőtársai, 2013). Stern már 2008-ban megjelent jelentésében bemutatta, hogy a felmelegedés gyorsabb lehet, mint ahogy azt az IPCC korábbi jelentéseiben jósolták (Stern, 2008). Ezt több azóta bekövetkezett és felgyorsuló természeti folyamat is alátámasztja. Például az északi, jelenleg fagyos tundrán hatalmas mennyiségű metán tárolódik a befagyott mocsarakban. Ha a felmelegedés hatására a tundra olvadni kezd, a megrekedt metán kiszabadul. Mivel a metán erőteljes ÜHG, így tovább növeli a felmelegedést és a klímaváltozást a Föld légkörében (Titenberg és Lewis, 2012).

A folyamatos **gazdasági növekedés is káros hatással volt az éghajlatváltozásra** és a környezetvédelemre egyaránt (Mikayilov és szerzőtársai, 2018). Az utóbbi években a környezetszennyezés és a gazdasági növekedés közötti kapcsolat továbbra is vitatott téma. A kutatók körében általános egyetértés van abban, hogy az éghajlatváltozás és a környezetszennyezés emberi tevékenység következménye (Li és szerzőtársai, 2015). A gazdasági növekedés hajszolása felgyorsítja a globális felmelegedést, ugyanakkor egyre nagyobb figyelmet fordítottak CO₂-kibocsátás kérdéseire is (Haghirí és szerzőtársai, 2019; Li és szerzőtársai, 2015).

1692-től kezdve a CO₂-kibocsátás és a gazdasági növekedés közötti lineáris kapcsolat görbe alakú lett, sőt a görbe irányú kapcsolat elmélyült a folyamatos gazdasági növekedés mellett (Antweiler és szerzőtársai, 2001). Az egyes országok fejlettsége és az ökológiai lábnyom között pozitív kapcsolat figyelhető meg. A környezetszennyezés és a gazdasági fejlettség közötti összefüggést elsőként Grossman és Krueger (1991) vizsgálta az ÜHG-kibocsátás alapján. Arra a megállapításra jutottak, hogy fordított U-alakú összefüggés van az egy főre eső jövedelem és a környezetszennyezés között, melyet Környezeti Kuznets-görbeként (Environmental Kuznets Curve: EKC) jellemeztek. A Kuznets-görbe alakját három tényező (a skálahatás, a termelési szerkezet és a technológia) együttes hatása befolyásolja. A termelés bővülésével arányosan nő a környezetszennyezés, ezért a görbe emelkedik. Egy bizonyos fejlettségi szintet követően tetőzik az ÜHG-kibocsátás.

A gazdaságok strukturális átalakulásával, vagyis a szolgáltató szektor bővülésével a görbe visszafordul, de ugyanezt a hatást fejti ki a technológiai fejlődés, beruházás és innováció is. Ha a bizonyítékok alátámasztják a „Kuznets” görbe létjogosultságát, akkor a jelenlegi fejlődés hosszú távon környezetvédelmi szempontból is kedvező (Ahmed és szerzőtársai, 2017). Kihívást jelent a korszerű eljárások és stratégiák elterjedésének felgyorsítása, hogy a gazdasági termelés a környezeti fenntarthatóság figyelembe vételével valósuljon meg. Így a technológia transzfer (abszorpciós kapacitás) és az innováció egyrészt fokozza a gazdasági növekedést, másrészt a környezeti fenntarthatóság irányába mozdítja a termelési rendszert. Dasgupta és szerzőtársai (2002) szerint a globalizáció hatására a globális versenyben a termelés kiszervezése során a minimális környezeti előírásokat veszik figyelembe, aminek hatására a görbe visszaforduló vége eltűnik. A zöld technológiák növekvő alkalmazásával csökken a környezetkárosítás, így a Kuznets-görbe lefelé tolódhat el, ehhez azonban szükség van a környezetpolitika globális koordinációjára és a technológia transzferre.

Egyes fejlődő országokban a hazai, de különösen a közvetlen külföldi tőkebefektetés radikálisan javult az elmúlt két évtizedben. A közvetlen külföldi tőkebefektetés a technológia transzfer révén hozzájárul az innovációhoz, a munkahelyteremtéshez és a növekvő versenyképességhez. A technológia transzfer különösen hatékony, ha a fogadó ország képes megtanulni és elfogadni a külföldi innovációt, ismeretet és készséget. Kiemelt szerepet játszik a fogadó ország abszorpciós képessége az új technológiák megismeréséhez, integrálásához és

megvalósításához, mivel ez meghatározó tényező a környezeti fenntarthatóság szempontjából (Ahmed és szerzőtársai, 2017).

Néhány tanulmány azonban szkeptikus abban a tekintetben, hogy a technológia és az innováció valóban csökkenti-e a CO₂-kibocsátást az energiahatékonyság javítása mellett, mivel valószínűleg nem jelent végleges megoldást a fenntartható gazdasági növekedésre és környezetvédelemre (Agustin és szerzőtársai, 2017; Dauda és szerzőtársai, 2019). Ennek ellenére a legújabb irodalom meghatározza a technológiai fejlődést és környezetvédelmet szolgáló innovációs módszereket (Severo és szerzőtársai, 2017). Ehhez hasonlóan Agustin és szerzőtársai (2017) is megerősíti az energiahatékonyságot javító innovációs folyamatok és a megújuló energiaforrások környezeti fenntarthatóságra gyakorolt pozitív hatását. A technológia és az innováció létfontosságú szerepet játszhat a CO₂-kibocsátás csökkentésében a gazdasági növekedés ellenére (Severo és szerzőtársai, 2017). A magas hozzáadott-értékű gazdasági tevékenység növekvő energiafogyasztást eredményezhet, így magasabb CO₂-kibocsátást is, az innovációs tevékenység viszont csökkentheti a környezetszennyeződést (Gilli és szerzőtársai, 2014). Ebből következik, hogy a technológiai fejlődés által előidézett gazdasági növekedés hozzájárul a környezetvédelemhez. A termelési folyamat fejlesztésével a szennyező erőforrások környezetbarát erőforrásokkal helyettesíthetők (Fernández és szerzőtársai, 2018). Ez a modell olyan társadalmi kultúrán alapul, ahol több jövedelmet fordítanak környezetvédelemre, ha nő a jövedelem.

1997-2015 között az USA abszolút és relatív részesedése az ÜHG globális kibocsátásában egyaránt csökkent, ezzel párhuzamosan a GDP globális részesedése is visszaesett (28%-ról 25%-ra), pedig abszolút értékben jelentős mértékben nőtt. Ugyanebben az időszakban Kína relatív és abszolút részesedése az ÜHG és GDP globális kibocsátásában folyamatosan emelkedett. Mindkét ország 2014-ben közös nyilatkozatban vállalta, hogy fellépnek az éghajlatváltozás ellen (Milkoreit, 2019). Kína ígéretet tett arra, hogy CO₂-kibocsátás 2030-ban éri el a csúcst, miközben a kibocsátás 60-65%-kal csökken.

Az ipari forradalom után a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásával gyorsan nőtt a CO₂-kibocsátás, majd a globális felmelegedés. Az éghajlatváltozás a környezeti, a fizikai és egészségügyi hatás mellett szélsőséges időjárást eredményez, mint például árvízet, aszályt és tengerszint emelkedését (Ritchie és Roser, 2017). A gazdasági növekedés növekvő CO₂-kibocsátással jár, mégis különbözik az egyes országokban egy főre eső kibocsátás szintje, abban az esetben is, ha az egy főre eső GDP szintje hasonló. Ezt az ellentmondást részben megvilágítja a gazdasági szerkezet és a CO₂-kibocsátás intenzitásának változása a különböző országokban. Ha visszamegyünk 1750-ig, akkor az Egyesült Királyság volt az ipari méretű CO₂-kibocsátás vezető országa a világon, majd Európa és Észak-Amerika következett. A világ egyéb régióiban, mint például Dél-Amerikában, Ázsiában és Afrikában sokkal később, nagyrészt a 20. és 21. századra korlátozódik a nagy volumenű CO₂-kibocsátás. A halmozott CO₂-kibocsátás tekintetében az USA és Európa áll az élen, de Kína a gyorsan növekvő kibocsátás eredményeképpen az elmúlt néhány évtizedben a világ második legnagyobb környezetszennyező országa lett, habár halmozott CO₂- és ÜHG-kibocsátása az USA értékének kevesebb mint 50%-át éri el (21. és 22. ábra).

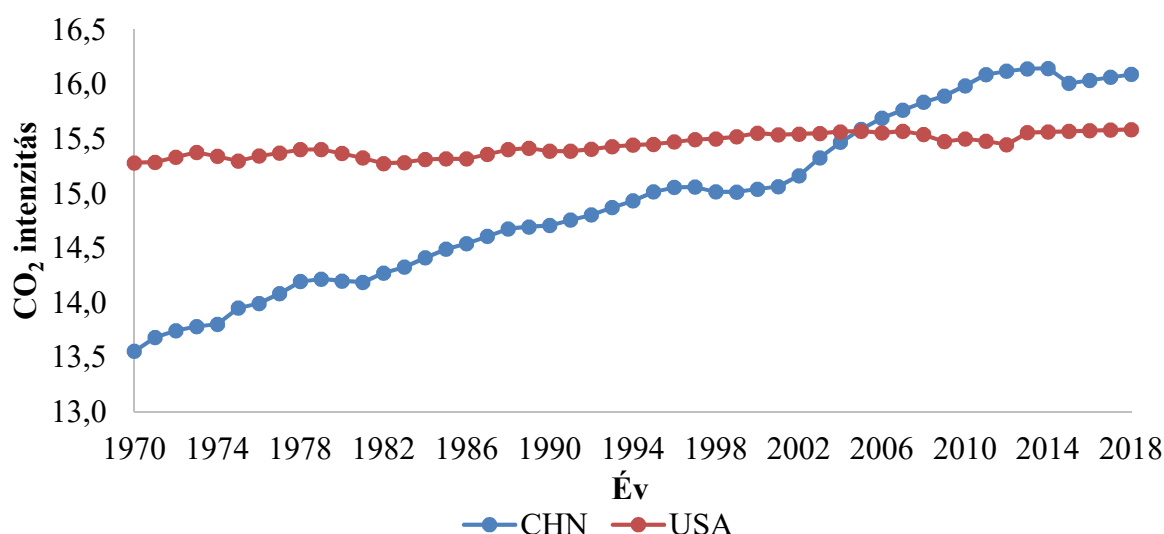
A fajlagos GDP-re jutó CO₂-kibocsátást befolyásolja az energiahatékonyság a technológia transzfer és az infrastruktúra függvényében (Ritchie és Roser, 2017). A termelékenység és a technológiai hatékonyság tehát nagy szerepet játszik a CO₂-kibocsátás intenzitásában. A termelési, feldolgozási és szolgáltatási szektor aránya a gazdaságon belül szintén meghatározza a CO₂-kibocsátás intenzitását. Ezt leginkább a használt technológia hatékonysága és a termelékenység szintje befolyásolja. Ez szintén társul a gazdasági ágazat típusához és az output alapjául szolgáló tevékenységhez, de gyakran kapcsolódik, kapcsolódhat a termelés alapjául szolgáló gazdasági tevékenység típusához is. Ha az adott ország gazdaságában a szolgáltató

szektor aránya nő a termelési és feldolgozóipari szektorral szemben, akkor a fajlagos GDP előállításához kevesebb energiára van szükség. A fosszilis energia felhasználására épülő gazdaságban nagyobb a fajlagos GDP-re jutó CO₂-kibocsátás, mint a növekvő arányban megújuló energiát felhasználó gazdaságban (Dones és szerzőtársai 2004). Amennyiben az adott ország GDP termelése átmenetileg csökken, akkor változatlan CO₂-kibocsátás mellett is nő a kibocsátás intenzitása, mert a fajlagos GDP-re jutó CO₂-kibocsátás nő (Ritchie és Roser, 2017).

Az **abszorpciós kapacitásnak a CO₂-kibocsátására gyakorolt szerepét** vizsgáltam az USA és Kína példája alapján (Mariyakhan és szerzőtársai, 2020). Ez az elemzés azt feltételezi, hogy a növekvő innováció hatására Kínában és az USA-ban egyaránt visszaesik a CO₂-kibocsátás, de a gazdasági növekedést nem befolyásolja. Az endogén gazdasági növekedés elmélete szerint a K+F és humán tőke előmozdítja a technológiai innovációt.

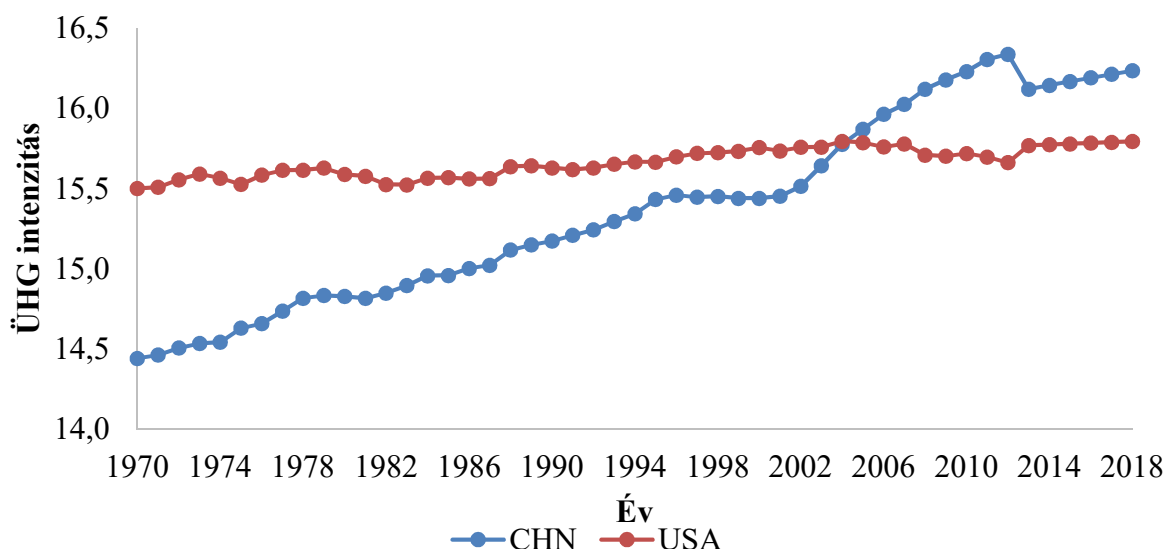
Az elmúlt években széles körű egyetértés született abban, hogy az innováció komoly hatást gyakorol a fenntartható gazdasági fejlődésre (Fernández és szerzőtársai, 2018; Feng és Peng, 2019). Az abszorpciós kapacitás és az innováció megkönnyítheti a környezetbarát gazdasági fejlődést biztonságos és megfizethető energiaellátás mellett (Mariyakhan és szerzőtársai, 2020).

A kutatás célja a K+F és az abszorpciós képesség, valamint a CO₂-kibocsátás hosszú távú kapcsolatának bemutatására irányult a nemlineáris autoregresszív osztott késleltetési modell alkalmazásával az 1970-2018 közötti időszakban az USA és Kína példája alapján (Mariyakhan és szerzőtársai, 2020). Kínában a CO₂- és ÜHG-kibocsátás intenzitása az 1970-es évek óta folyamatosan nő, ezzel szemben az USA-ban változatlan értéket mutat (21. és 22. ábra). Kínában a kibocsátás növekvő intenzitását a gyors gazdasági növekedés és a fosszilis energia (elsősorban szén) bővülő felhasználása idézte elő. Az USA-ban a CO₂- és ÜHG-kibocsátás intenzitásának trendje folyamatosan javult Kínához képest (van Vuuren és Riahi, 2008).



21. ábra: A CO₂-kibocsátás intenzitásának alakulása Kínában és az USA-ban

Forrás: Mariyakhan és szerzőtársai (2020)



22. ábra: Az ÜHG-kibocsátás intenzitásának alakulása Kínában és az USA-ban

Forrás: Mariyakhan és szerzőtársai (2020)

A kutatás megállapítja, hogy hosszú távon a növekvő innováció és technológia transzfer hozzájárul a fenntartható gazdasági fejlődéshez és a CO₂-kibocsátás csökkentéséhez Kínában és az USA-ban egyaránt. Az eredmények robusztusak az ÜHG-kibocsátás intenzitása alapján. Ezért a politikai döntéshozóknak és a kutatóknak egyaránt indokolt figyelembe venni, hogy az innováció és technológia transzfer abszorpciós képessége kulcsszerepet játszik a fenntartható fejlődés elősegítésében (Mariyakhan és szerzőtársai, 2020).

Smalley (2003) Nobel-díjas tudós a következő 50 évre vonatkozóan meghatározta az emberiség tíz meghatározó problémáját: energiaellátás, vízellátás, élelmiszerellátás, a természeti környezet megvédése, a szegénység felszámolása, a terrorizmus és háború elkerülése, a betegségek elleni küzdelem, az oktatás korszerűsítése, a demokrácia biztosítása, a túlnépesedés megállítása. Véleménye szerint az emberiség egyik legnagyobb kihívása az energiaellátás alakulása. Az elmúlt 50 év tendenciája igazolja a fentebb leírt tíz probléma egyre erősödő jelenlétét, melyek leginkább a Föld népességének növekedésében s ennek a folyamatnak a természeti környezet állapotára gyakorolt negatív hatásaiban érhető tetten. A fosszilis energiakészletek korlátossága, a készletek kimerülésére vonatkozó előrejelzések, valamint a növekvő kitermelési költség új energiaellátási innovációt feltételez, ezért kiemelt kérdés a megújuló energia előállításához és felhasználáshoz kapcsolódó technológia fejlesztése. Ezzel párhuzamosan csökken a CO₂-kibocsátás, az energiaár és javul az energiabiztonság. A megújuló energia alkalmazásával az energiaellátás folyamatos biztosítása révén valósul meg az energiafüggőség csökkentése.

A klímaváltozás befolyásolja az előállított termények beltartalmát is. Ha 2050-ben a CO₂ globális légköri átlagkoncentrációja eléri az 550 ppm értéket, a gabonafélék fehérje-, vas- és cinktartalma 3-17%-kal csökken a mai 400 ppm értékhez viszonyítva (Wang és szerzőtársai, 2013). Az EU számára élelmiszerbiztonsági kockázatot jelent, hogy a pozitív élelmiszer gazdasági külkereskedelmi mérleg mellett az élelmiszerimport 70%-a a klímaváltozás által sújtott fejlődő országokból származik. Az emelkedő hőmérséklet migrációval jár olyan országok esetében, ahol a gazdaságban a mezőgazdaság súlya meghatározó és a klímaváltozással hozamcsökkenés várható. A klímaváltozás által kiváltott migráció tovább növeli a menekültválságot a már kialakított migrációs útvonalakon, ez pedig továbbra is kihívást jelent az EU-nak.

A mérések kezdete óta az elmúlt két évtizedben lehettünk tanúi a 18 legmelegebb évnek, ráadásul mind Európában, mind más régiókban egyre gyakoribbak a szélsőséges időjárási események, így például az erdőtüzek, a hőhullámok és az árvizek. A tudósok arra figyelmeztetnek, hogy ha nem lépünk fel sürgősen, a globális felmelegedés következtében az átlaghőmérséklet 2060-ra valószínűleg több mint 2°C -kal fogja meghaladni az iparosodás előtti szintet, sőt az évszázad végére akár 5°C -os emelkedés is elképzelhető. Egy ilyen mértékű globális felmelegedés pusztító hatást gyakorolna a természetre: számos ökoszisztémában visszafordíthatatlan változásokat idézne elő és ezáltal jelentősen csökkentené a biológiai sokféleséget. A magasabb hőmérsékletek és az intenzívebbé váló időjárási események emellett hatalmas költségekkel járnak majd az EU gazdasága számára, valamint világszerte megnehezítik az országok számára az élelmiszertermelést. Az éghajlatváltozás globális probléma, amely globális fellépést igényel. Az EU elkötelezett a globális együttműködés növelése mellett és élen jár a példamutatásban e téren. Az EU részese a Párizsi Megállapodásnak, amelynek célja a globális felmelegedés 2°C alatt tartása, illetve lehetőleg $1,5^{\circ}\text{C}$ -ra korlátozása. Az uniós országok jóváhagyták azt a célkitűzést, hogy a Párizsi Megállapodással összhangban 2050-re el kell érni a klímasemlegességet.

Napjainkban az energiafelhasználás több mint 80%-át a fosszilis energiahordozók adják. Aengenheyster és szerzőtársai (2018) számításai szerint ahhoz, hogy a globális átlaghőmérséklet emelkedése ne haladja meg a $1,5^{\circ}\text{C}$ 2100-re, a megújuló energiaforrások arányának évente 2 százalékponttal kellene növekednie, az energiafelhasználás felét pedig megújuló erőforrásokból kellene biztosítani 2038-ra. Az elmúlt évtizedekben azonban átlagosan csak 0,1 százalékpontos növekedés volt megfigyelhető. A globális felmelegedés mértéke $1,5^{\circ}\text{C}$ alatt úgy tartható, hogy a 21. század közepére nullára csökken a CO_2 -kibocsátás (Borunda, 2018), ami azt jelenti, hogy az aktuális emisszió szintjének a felére kell csökkennie 2030-ig. A jelenlegi előrejelzések alapján egyik ország sem képes ezt teljesíteni (Economist, 2019). A nullás emisszió sem eredményezi a légkörben található CO_2 visszaesését, ehhez ugyanis olyan technológiákra lenne szükség, melyek képesek kivonni a CO_2 -t az atmoszférából (Magyar Nemzeti Bank, 2019). Az ÜHG, elsősorban a CO_2 , valamint a légkörbe kerülő por és egyéb szennyezőanyagok kibocsátásának csökkentése nem lehetséges az energiafelhasználás átalakítása nélkül.

Az energiából származó globális CO_2 -kibocsátás 2018-ban évi 37 milliárd tonna volt, ebből a közlekedésre 8,5 milliárd tonna jutott, azaz 23%. A világon a ma közlekedő 1,3 milliárd személygépjármű száma 2035-re 2 milliárdra nő, ezért a közlekedési szektor CO_2 -kibocsátása folyamatosan emelkedik a szigorodó szabályozás ellenére is. A gépkocsik számának emelkedése mellett a másik nagy probléma, hogy azok 96%-a fosszilis üzemanyaggal közlekedik. A közlekedés várható energiaigényének meghatározása igen sok bizonytalansági tényezőt rejt magában, ami befolyásolja a bioüzemanyagok felhasználását is. Ilyen az olajár alakulása, az autógyártási technológiák fejlődése, az energia-hatékonyság javulása, illetve az elöregedett autópark és a közösségi közlekedés modernizációja (IEA, 2020a).

A kibocsátáscsökkentés és a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodás fontosságát jól mutatja, hogy az üvegházhatású gázok kibocsátását korlátozó, az ENSZ keretein belül 2015-ben megkötött **Párizsi Klímaegyezményt** 195 ország írta alá. Az EU klímavédelmi erőfeszítéseit jól jelzi, hogy már 2005-ben elindította az üvegházhatású gázok kereskedelmi rendszerét, amelynek célja, hogy piaci eszközökkel is támogassa az ÜHG-kibocsátás csökkentését (Kemény és szerzőtársai, 2019). Az EU nagyratörő intézkedéseket és célokat irányzott elő az ÜHG-kibocsátás csökkentésére, így kibocsátási célértékeket határozott meg gazdaságának kulcságazataira vonatkozóan. A 2008-ban elfogadott első uniós éghajlat- és energiapolitikai intézkedéscsomagban 2020-ig megvalósítandó célértékek szerepelnek (European Parliament, 2009):

- az ÜHG-kibocsátás 20%-kal való csökkentése (az 1990-es szinthez képest),
- a megújuló energia arányának növelése 20%-ra,
- az energiahatékonyság fokozása 20%-kal.

E célok érdekében az EU létrehozta, majd megreformálta az Unió Kibocsátáskereskedelmi Rendszerét (Emissions Trading System: ETS), amelynek célja az ÜHG-kibocsátás, ezen belül is elsősorban az energiaigényes iparágakból és az erőművekből származó kibocsátás csökkentése. Továbbá nemzeti kibocsátási célértékeket határozott meg az építőipari, a közlekedési és a mezőgazdasági ágazatra vonatkozóan. Az EU már 2020 előtt teljesítette ezeket a célértékeket. 2018-ra az ÜHG-kibocsátás 23%-kal csökkent. A megújuló energia arányának 20%-ra történő növelése is teljesült.

2014-ben az EU elfogadta a 2030-ig tartó időszakra vonatkozó éghajlat- és energiapolitikai keretmegállapodást, amely értelmében 2030-ig az 1990-es szinthez képes legalább 40%-kal csökkenti az ÜHG-kibocsátást (European Commission, 2014a). E cél eléréséhez a megújuló energia arányát legalább 32%-ra, az energiahatékonyságot pedig 32,5%-ra kell növelni. A cél elérésének legfontosabb eszköze egy jól működő, megújított uniós kibocsátáskereskedelmi rendszer.

A Tanács 2020-ban elfogadta az EU-nak és tagállamainak a hosszú távú ÜHG-kibocsátás fokozatos csökkentésére vonatkozó fejlesztési stratégiáját. Az Európai Tanács 2019 végén jóváhagyta azt a célt, hogy az EU 2050-re klímasegessé váljon. Annak érdekében, hogy a klímasegességre való áttérés költséghatékony, valamint társadalmilag kiegyensúlyozott és igazságos módon menjen végbe, támogató pénzügyi keretet kell létrehozni az eltérő nemzeti körülményekre való tekintettel. A méltányos átállást támogató mechanizmus azoknak a régióknak és ágazatoknak a támogatása érdekében jön majd létre, amelyeket a leginkább érint az átmenet. Az uniós vezetők ugyanakkor hangsúlyozták, hogy garantálni kell az energiabiztonságot, és tiszteletben kell tartani minden uniós ország azon jogát, hogy saját energiaszerkezetéről, valamint a legmegfelelőbb technológiai megoldásokról is maga döntsön. Ráműtattak továbbá, hogy a klímasegességi célkitűzést az EU versenyképességét elősegítő módon kell megvalósítani. A tagállamoknak külön is ki kell dolgozniuk és az ENSZ-hez be kell nyújtaniuk saját nemzeti stratégiájukat (European Commission, 2019a). Az európai zöld megállapodás részeként a Bizottság 2020 szeptemberében 2050-re legalább 55%-kal javasolja csökkenteni az ÜHG-kibocsátást. A megújuló energia arányára és az energiahatékonyságra vonatkozó célértéket 2021-ben határozzák meg (European Commission, 2020c).

A célértékek elfogadását követően az EU olyan intézkedéseket hozott és olyan tevékenységekbe kezdett, amelyek a célértékek teljesülését hivatottak elősegíteni. Az alábbiakban néhány, a közelmúltban elfogadott jogszabályt ismertetek. A körforgásos gazdaság jegyében 2019 májusában az EU betiltotta az egyszer használatos műanyagtermékeket. E tilalommal az EU szigorúbb szabályokat határozott meg azon termék- és csomagolástípusok esetében, amelyek az európai tengerpartokat szennyező tíz leggyakoribb hulladékfajtát képezik. Az új szabályok tiltják egyes olyan eldobható műanyagtermékek használatát, amelyek alternatív termékekkel helyettesíthetők. 2018 májusában az EU új szabályokat fogadott el a hulladékgazdálkodásra vonatkozóan, és jogilag kötelező erejű célértékeket állapított meg az újrafeldolgozást illetően. Ezek a célértékek a települési hulladéokra, a csomagolóanyagok újrafeldolgozására, valamint a hulladéklerakókra vonatkoznak.

2019 áprilisában az EU a közlekedésből származó CO₂-kibocsátásra szigorú határértékek bevezetéséről döntött. 2030-tól kezdődően az új személygépkocsik esetében a 2021. évi szinthez képest átlagosan 37,5%-kal, az új kisteherautók esetében 31%-kal, a tehergépjárműveknél pedig 30%-kal kell csökkennie szén-dioxid-kibocsátásnak. Az EU a tiszta energiáról szóló csomag keretében új jogszabályokat fogadott el, nevezetesen az

energiahatékonyságról szóló módosított irányelvet, a megújuló energiáról szóló módosított irányelvet és az irányításról szóló rendeletet. Ez az intézkedéscsomag kulcsfontosságú a 2030-ra kitűzött éghajlat- és energiapolitikai célok megvalósítása szempontjából, ezért az uniós tagállamok energiaágazataiban alkalmazandó együttműködési és ellenőrzési mechanizmusokat határoz meg.

2018 februárjában az EU módosított szabályokat fogadott el az uniós kibocsátáskereskedelmi rendszerre vonatkozóan. A 2005-ben létrehozott rendszer a világ első jelentős CO₂-piaca volt, mind a mai napig a legnagyobb ilyen piac. A kibocsátáskereskedelmi rendszer keretében felső határérték vonatkozik a nehézipar és az erőművek CO₂-kibocsátására. Az engedélyezett teljes kibocsátásmennyiség engedélyek formájában kerül szétosztásra a vállalkozások között, amelyekkel azok kereskedhetnek (EB, 2018). 2019 decemberében az EU és Svájc megállapodott abban, hogy összekapcsolják kibocsátáskereskedelmi rendszereiket. Ez a megállapodás kölcsönösen előnyös lesz az EU és Svájc számára, mivel a korlátozási és kereskedelmi rendszerek összekapcsolásának köszönhetően több kibocsátáscsökkentési lehetőség állhat majd rendelkezésre, a kibocsátáskereskedelem pedig költséghatékonyabbá válhat. 2018 májusában megállapodás született arról az új rendeletről, amellyel az EU hatékonyabbá kívánja tenni a földek és az erdők védelmét és a velük való gazdálkodást. E rendelet révén a földhasználatból, földhasználat-megváltoztatásból és erdőgazdálkodásból származó ÜHG-kibocsátás bekerült a 2030-ig tartó időszakra szóló éghajlat- és energiapolitikai keretbe.

Az emisszió korlátozásáról és kereskedelméről szóló programok a környezetvédelmi szolgáltatással kapcsolatos piaci javakat hoznak létre. Ez azt jelenti, hogy a vállalatok számára kiosztott kvótával megszabják az engedélyezett szennyezőanyag-kibocsátást. A szabályozott vállalatok az EU kibocsátás-kereskedelmi rendszerében az érvényes Európai Unió kibocsátási kvóta (European Union Allowanced: EUA) mellett a Kiotóban elfogadott hitelesített kibocsátás-csökkentési egységekkel (Certified Emission Reduction: CER) is teljesíthetik vállalatukat (ez utóbbi olcsóbb a piacon). Továbbá hitelesített önkéntes kibocsátás-csökkentési egységekkel kereskedik például a Chicago Climate Exchange mellett számos egyéb emisszió-kereskedelmi tőzsde is. Ezek a lehetőségek környezetbarát termelésre ösztönöznek, mert az emisszió (szén-dioxid vagy nitrogén) csökkentésére vonatkozó kvóták adás-vétel tárgyát képezik a piacon.

Németország a közelmúltban komoly klímavédelmi csomagot jelentett be. A vállalatok termelésének károsanyag-kibocsátását célozza, hogy az EU CO₂-kibocsátás kereskedelmi rendszeréhez hasonló lokális kvótakereskedelmi rendszert is létrehoznak a káros termelés „megadóztatására”. Ez alapján minden vállalat a saját károsanyag-kibocsátásának megfelelően a rá vonatkozó kvóták kihasználása alapján a fel nem használt kvótáit eladhatja, vagy szükség esetén további kvótákat vásárolhat a piacon. A CO₂-kibocsátás egységára várhatóan folyamatosan emelkedő rendszerben az európai árakhoz fog igazodni, 2021-ben tonnánként 10 euróról indulva 2025-re lépcsős rendszerben tonnánként 35 euróra nő. Ezt követően a piaci viszonyoknak megfelelően tonnánként 35-60 euró között alakulhatnak. A program alapján 2030-ra a német energiamix 65%-a megújuló erőforrásból származna, ezért az állam támogatja a tiszta technológiák térnyerését, így például jelentős állami támogatást nyújt a megújuló energia elterjedésére, a nagy teljesítményű szél-erőművek és naperőművek létesítéséhez (EUROACTIV, 2020).

A piac képes megoldani a klímaváltozás problémáját, de lassan árazza be az externáliákat. Az externáliák kezelésének legfőbb módja a károsanyag-kibocsátás költségeinek internalizálása, így például a CO₂-kibocsátás esetében a szén globális társadalmi költségéből a piaci szereplők adott egységár mellett az általuk kibocsátott mennyiségnek megfelelően értékarányosan adóznak (Magyar Nemzeti Bank, 2019). A szennyező iparágak lokális megadóztatásának

ugyanakkor számos nemzetközi vonatkozása van, hiszen az egyedileg bevezetett adó eredményeként a káros termelés könnyen áttelepülhet egy másik, szabályozási rendszerrel nem rendelkező országba. Nem elegendő, ha pusztán a fejlett gazdaságok (USA, EU stb.) kötelezik el magukat a zöld innováció fellendítésének irányába. A globális sikerességéhez a Párizsi Klímaegyezményt aláíró országok többségének részt kell vennie, mert az országok méretéből fakadóan csak így érhető el olyan gazdasági lefedettség, amely biztosítja a fenntartható zöld növekedést (Magyar Nemzeti Bank, 2019). A világ kevésbé fejlett államai ugyanakkor jelenleg még a károsanyag-kibocsátás intenzív növekedési szakaszában vannak, mely megnehezíti a klímavédelemre adott egységes globális választ.

Az irányított technológiai fejlődést szolgálja a káros technológiák megadóztatása és a zöld innovációk támogatása. A smart grid vagy okos hálózat olyan elektromos hálózat, mely az információs és kommunikációs technológiák segítségével információkat gyűjt a szolgáltatók és a fogyasztók energiafogyasztási szokásairól, ennek megfelelően alkalmazkodik az energiaellátás és -igény változásaihoz, ráadásul hozzájárul az energiainport csökkentéséhez (Office of Electricity, 2019). Ennek segítségével automatikusan növeli a hálózat hatékonyságát, megbízhatóságát, gazdaságosságát és fenntarthatóságát, valamint a teljes nemzetgazdaság energiafelhasználásának tervezhetőségét. A smart grid alkalmazásával a fogyasztók keresletüknek megfelelően alakítják az energiafelhasználást és energiaköltséget, így a túlfogyasztás visszaszorításával háztartási jövedelmük emelkedik (Pricewaterhouse Coopers, 2018). A közműveknek, szolgáltatóknak is előnye származik a korszerűsített hálózathoz. A megújuló energiaforrások (elsősorban szél- és napenergia) folyamatos integrációjának köszönhetően csökken a hálózat túlterhelése, a modern technológia pedig nagyobb ellátásbiztonságot nyújt alacsonyabb költségek mellett (Munuera, 2019). Az Eurostat (2016) számításai alapján az okos fogyasztásmérő (smart meter) és az okos hálózat (smart grid) üzembe helyezése akár 9%-kal csökkentheti az Európai Unióban a CO₂-kibocsátás mennyiségét és ehhez hasonló mértékben a háztartások éves energiafogyasztását is. A big data alkalmazásával javul az energiadiverzitás és csökken a villamosenergia-ellátás költsége (Mordor Intelligence, 2019).

A car sharing (autómegosztás) rendszer lényege, hogy a városok különböző pontjain elhelyezett, többségében elektromos autókat internetes regisztráció, majd foglalás után használatba vehetik a fogyasztók. Ezzel a jármű fenntartásával kapcsolatos költségek csökkentése mellett a környezetszennyezés is visszaesik (Magyar Nemzeti Bank, 2019). Újszerű, személyre szabott közösségi közlekedési mód, mely a nap bármelyik szakaszában igénybe vehető, ráadásul egy autót akár többen is használhatnak (Economist, 2016). Az autómegosztás előnye, hogy csökken az autótulajdonosok és balesetek száma, a gépkocsiforgalom és parkolási igény, ezáltal a károsanyag kibocsátás és környezetterhelést is (Schreier és szerzőtársai, 2018).

A klímaváltozás elsősorban a fejlődő országokat érinti, ahol továbbra is fő kérdés az urbanizáció, a növekvő vízhiány és a technológiai lemaradás alakulása. A technológia-transzfer eddig nemigen nyújtott segítséget a fejlődő országok számára a megfelelő birtokméret és szakértelem hiánya miatt. A vidéknek hozzáférési lehetőséget kell adni a modern élet hálózatahoz (pl. közművek, egészségügy, villamosítás, oktatás) az ott élő lakosság életfeltételeinek javítása érdekében. Így a nettó agrárexportőr országoknak még több élelmiszert kell a nettó importőr országokba szállítani, hogy olcsó élelemhez jussanak. Ettől eltér az EU álláspontja, mert a fejlődő országokat inkább támogatja, annak érdekében, hogy ott a mezőgazdasági termelők olcsóbban jussanak vetőmaghoz és műtrágyához a fajlagos hozamok növelése érdekében. Ez is a migrációs hajlam visszaszorításának egyik eszköze. Kérdés ugyanakkor, hogy e támogatás segítségével a fejlődő országokban nagyobb eredményt érnek-e el, mint ugyanekkora támogatással az EU tagországaiban.

5.1.2. Vízbiztonság

A világ számos térségében egyre élesebb verseny folyik a rendelkezésre álló **vízforrások hasznosításaért** a mezőgazdaság és az ipar, valamint a háztartások/közösségek között. Az elmúlt években a szárazság okozta termés kiesések jelzik, milyen komoly mértékben függ a mezőgazdaság a vízkészletek alakulásától. A hektárhozamok növelését, stabilizálását az öntözésre alkalmas földterületek rohamos csökkenése is korlátozza. A víz egyre inkább behatárolt szerepet játszik a termelékenység fokozásában. A mezőgazdaság 70%-os részesedésével jelenleg a legnagyobb vízfogyasztó. Egyes térségekben, mint pl. Észak-Kínában vagy Indiában már olyan mértékű a vízhiány, hogy a földterület egy része nem művelhető. Ez döntően arra vezethető vissza, hogy a sokmillióra duzzadt nagyvárosok megnövekedett vízfogyasztása miatt a talajvízszint több méterrel apadt és nagy területek elsivatagosodtak. A globális vízkéréslet kielégítése erőteljesen függ a felszín alatti vízkészletek nem fenntartható módon történő kiaknázásától is. A túlzott mértékű vízfelhasználás veszélyeztetheti a víztartó rétegeket, és növelheti a sós víz-beszivárgást az édesvizekbe a partmenti területeken, melynek hatására a víz minőségének radikális romlásával lehet számolni. A vízkészletek csökkenésével összhangban a nemzeti és globális konfliktusok (akár háborúk) gyakorisága nőhet (Economist, 2019).

A „vízbuborék” törékeny és nem fenntartható: ma 7,8 milliárd ember ugyanannyi vízmennyiségen osztozik, mint a 300 millió fős globális népesség a Római Birodalom idején. A Föld vízkészletének 97,5%-a a tengervíz, 2,5%-a édesvíz, ebből csupán 0,3%-ot tesznek ki az emberi vízellátását szolgáló folyók és tavak. Jelenleg az élelmiszer-termelés vízfelhasználásának 78%-a esőből származik, ugyanakkor a vízfelhasználás egyre nagyobb részét az öntözés biztosítja (7. táblázat). Az emberiséget vízválság fenyegeti, sőt a jövőben a víz lehet az új „olaj” (Ausztráliában működik már víztőzsde is). A vízhiány már napjainkban is komoly kihívást jelent a Föld számos pontján (Oláh, 2019). A WHO és az UNICEF adatai alapján a globális népesség több mint negyede nem fér hozzá tiszta ivóvízhez. Bár jelentős fejlődést sikerült elérni, azonban 2,2 milliárd ember tiszta ivóvízzel történő ellátása továbbra sem biztosított (Ritter, 2019).

7. táblázat: **Háztartási és mezőgazdasági vízhasználat alakulása**

Felhasználás	Liter
Ivóvíz	2-5 liter/fő/nap
Háztartás	20-500 liter/fő/nap
Búza	500-4 000 literes per kilo
Hús	5 000-15 000 liter/kg
Bioüzemanyag	1 000-3 500 liter/liter
Póló (pamut)	2 000-3 000 liter
Mezőgazdaság	3 000 liter/fő/nap, 1 liter/kalória

Forrás: IWMI (2007)

A klímaváltozás hatására csökken a **biodiverzitás**, pedig egykori működésének eredménye a mai energiabőség. A biológiai sokszínűség jelentős csökkenése súlyos ökológiai, gazdasági és társadalmi következményekkel jár, ugyanis az emberiség létezése nagymértékben függ a biológiai folyamatoktól (Ceballos és szerzőtársai, 2017). A biodiverzitás stabilitást, rugalmasságot és hatékonyságot nyújt az atmoszféra szabályozásban, a klímaszabályozásban, továbbá a hidrológiai, anyagciklusok és kártevők szabályozásában, valamint a beporzásban és talajképzésben. A biodiverzitás garantálja a gazdálkodás hosszú távú fenntartását ökoszisztéma szolgáltatások nyújtásával (pl. beporzás, talajképződés). A mezőgazdasági termelésben a fenntartható intenzifikáció jelenti a biodiverzitás védelmét a nitrogén-gazdálkodás hatékonyságának növelésével és a hozam és nitrogénműtrágyázás közötti kapcsolat szétválasztásával.

A fenntartható intenzifikáció gyakorlatilag tápanyag-gazdálkodást jelent, azaz a nitrogénműtrágya hatékony felhasználásával nő a hozam csökkenő környezetterhelés mellett. A fenntartható intenzifikáció a fajlagos hozamnöveléssel csökkenti az ÜHG-kibocsátás mértékét, mert az így „megtakarított” területen hozzájárul a biodiverzitás növeléséhez, azaz a természetes élőhelyek helyreállításához. A jövőben megkerülhetetlen lesz az informatika használata az agráriumban, a legtöbb helyen már eleve digitálisan kérik az adatokat, így sokkal gyorsabban, pontosabban és naprakész(ebb)en lehet azokat elemezni. A mezőgazdasági munkaerő nagy része azonban fél a technológia fejlesztésétől, nem beszélve a robotokról, holott ez a folyamat, noha sok kihívással is együtt jár, egyben lehetőséget is jelent. A programozható számítógép korszakát felváltja a mesterséges intelligencia korszaka. Nem kell félni a precíziós gazdálkodástól, mert mindig is létezett.

5.2. Energiabiztonság

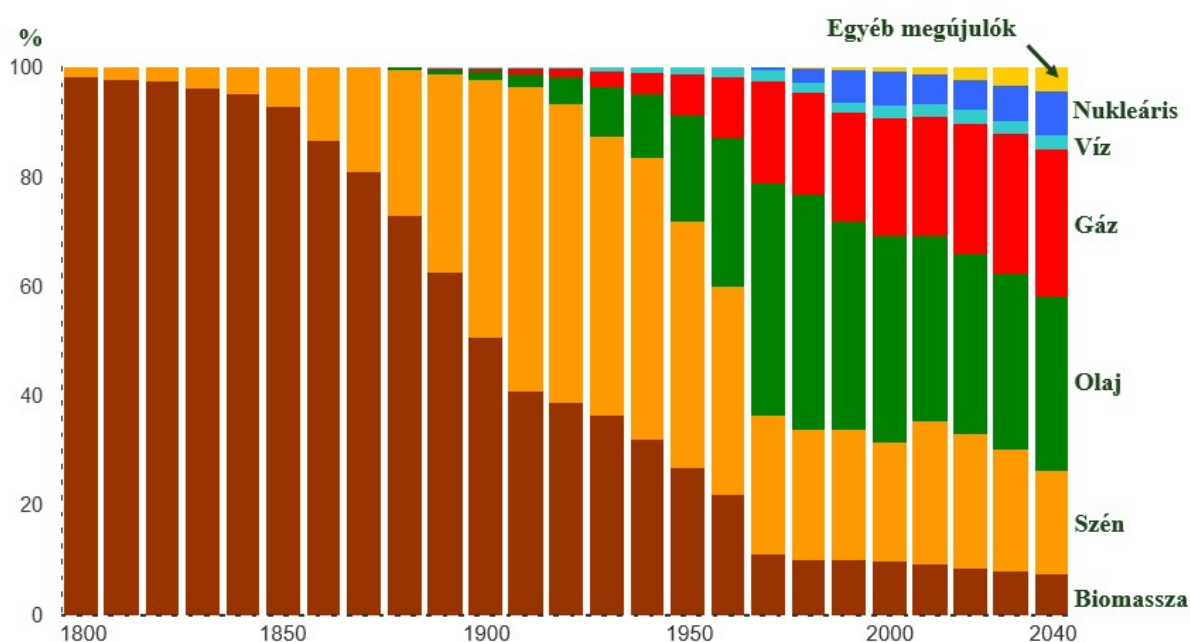
5.2.1. A globális energiabiztonság alakulása

A népességnövekedés gyorsulása ráirányítja a figyelmet a fosszilis energiaforrások kimerülésére. A fosszilis erőforrások okozta geopolitikai konfliktusok és a környezeti károk radikális technológiaváltás nélkül globális válságot okozhatnak. Az elmúlt évtizedek óriási gazdasági növekedését egyszerűen annak köszönhetjük, hogy rendkívül olcsón tudtuk a természeti erőforrásokat felhasználni a termeléshez, szállításhoz vagy a kényelmesebb életmódhoz. A Földön a lélekszám emelkedésével közel párhuzamosan nőtt az energiafogyasztás is. A kőolajfüggőség, a magas kőolajár, a mezőgazdasági termelés inputköltségeinek és a szállítási költségek emelkedése, valamint a környezetvédelmi szempontok az alternatív, megújuló energiaforrások kínálta lehetőségekre irányították a

politikai döntéshozók figyelmét. Nagyon kevés régió rendelkezik fosszilis energiakészlettel (kőolaj, gáz, szén) a világon, ráadásul többségében politikailag megbízhatatlan országokról és régiókról van szó, amelyek gyakran a politikai zsarolás eszközeként, stratégiai fegyverként is használják az energiaexportot. Ennek pozitív hozadéka, hogy a fejlett országokban az energiahatékonyság javulása mérsékeli a növekvő energiaigényt és ezzel együtt a megújuló energiaforrás gyorsabban helyettesíti a fosszilis energiát.

A megújuló erőforrások állandóan újratermelődő anyag- és energiaforrások, amelyek hozzájárulnak az energiaellátás biztonságának javításához, a környezetterhelés, különösen a CO₂-kibocsátás csökkentéséhez, a vidékfejlesztéshez és a nemzetközi kereskedelem bővítéséhez. A megújuló energiaforrások növekvő felhasználása mellett az energiahatékonyság és -takarékoság növelése is fontos szempont a fosszilis energia felhasználásának mérsékléséhez, ezzel párhuzamosan az energiaimport-függőségből származó politikai és gazdasági kockázatok csökkentésében is kiemelt szerepük van (Harangi-Rákos szerzőtársai, 2017a; Harangi-Rákos és szerzőtársai, 2017b).

Míg a 19. század elejéig a globális energiafelhasználás közel 100%-át a biomassza adta, addig a gőzgép térhódításával a 20. század elején az összes energiaigény felét már a szén szolgáltatta. Ugyanakkor a belső égésű robbanómotor feltalálásával (személygépkocsi, repülőgép) fokozatosan emelkedett a kőolaj iránti kereslet, s ezzel párhuzamosan a földgáz-felhasználás is (23. ábra).

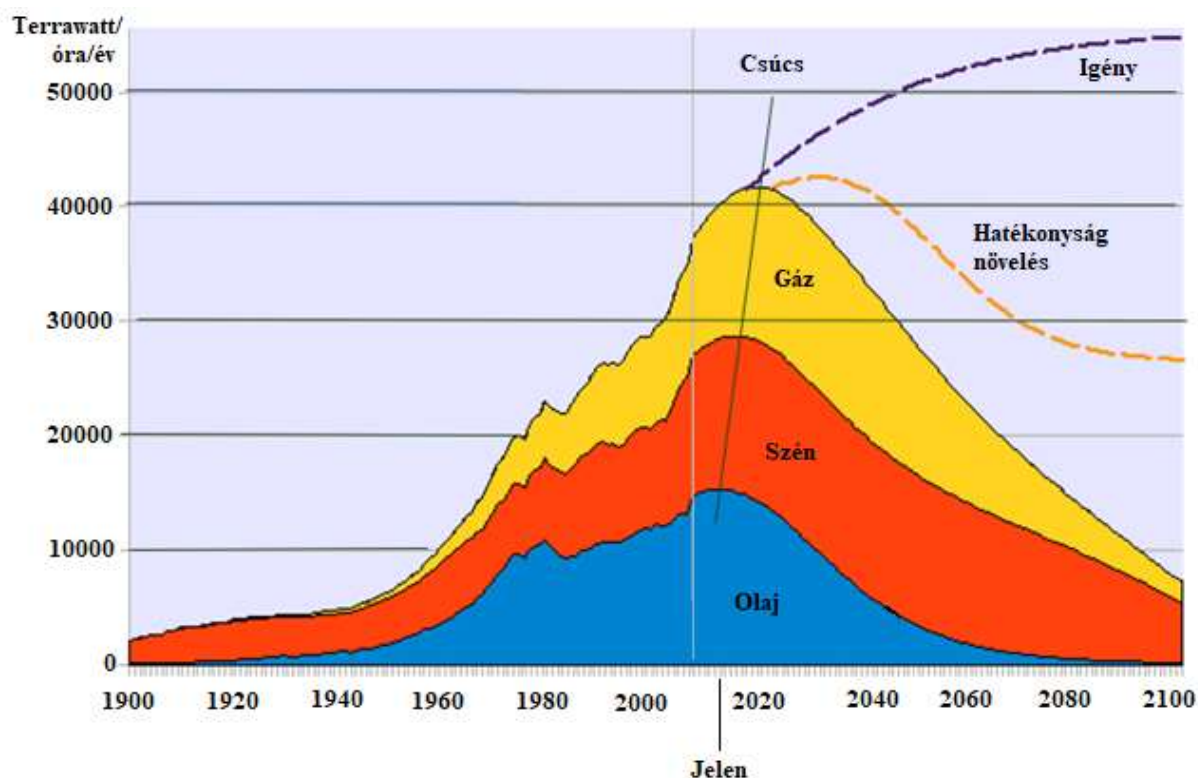


23. ábra: Az energia-felhasználás alakulása a tüzelőanyagok %-ában

Forrás: Smil (2000)

A globális népességnövekedés mellett az életmódváltozás miatt (urbanizáció és motorizáció), az emberek átlagos energiafogyasztása is emelkedik. A fejlett országokban az energiahatékonyság javulása mérsékelheti ezt a folyamatot (Popp és szerzőtársai, 2017). A növekvő világnépesség tehát hatványozódó (exponenciális) erőforrás-felhasználást eredményez, a fosszilis készletek viszont végesek. Az olajcsúcs (peak oil) akkor következik be, amikor a Föld teljes kitermelhető olajkészletének a felét kitermelik. A kitermelés globálisan és az egyes olajmezők szintjén egy haranggörbét követ (Anderson, 2009), a csúcs eléréséig fokozatosan nő a kitermelt mennyiség, a csúcs után csökken (24. ábra). Nem a teljes kimerülésről van szó, hanem a kitermelt mennyiség csúcspontjának eléréséről, azaz az olajcsúcs elérésével már nem

fokozható tovább az évente kitermelhető mennyiség, hanem egy ideig állandó szinten marad, majd csökkenni kezd, miközben a világgazdaság kőolajigénye folyamatosan nő, de a csökkenő készletek nem tudják kielégíteni a keresletet. Egy növekedésorientált, de fenntarthatatlan világgazdasági rendszerben már az energiatermelés stagnálása is válságot jelent, a csökkenés pedig akár katasztrófát is okozhat (Popp és szerzőtársai, 2017).



24. ábra: A világ fosszilis energiafogyasztása

Forrás: Anderson (2009)

Kérdés azonban, hogy csupán néhány évtizedig vagy néhány évszázadig elegendő az olajkészlet? A tényleges készlet véges, ugyanakkor a megismert készlet az olajkutatás fejlődésével folyamatosan nő, de erről nem közölnek pontos adatokat. Az Olajkitermelő és -Exportáló Országok (Oil Producing and -Exporting Countries: OPEC) a profit maximalizálása érdekében egymás között felosztott kvóták alapján végzik az olajkitermelést. A kitermelhetőség és termelési kapacitás alakulása a technológiai fejlesztés, a tőkeberuházás alakulásának függvénye is. A piaci hozzáférhetőséget viszont nagyban befolyásolja a terrorizmus és a háború kitörésének veszélye. A kőolaj iránti keresletet továbbá meghatározza a megújuló energia előállításának fejlesztési üteme, a környezetvédelemmel, illetve CO₂-kibocsátással összefüggő társadalmi tudat és az életszínvonal alakulása, valamint Kína és India CO₂-kibocsátás csökkentésével kapcsolatos magatartása (Harangi-Rákos és szerzőtársai, 2017a; Harangi-Rákos és szerzőtársai, 2017b; Popp és szerzőtársai, 2017).

Az elmúlt évtizedekben a kőolaj világpiaci árának emelkedése mindenekelőtt Kína és India ipari termelésének gyors bővülésével magyarázható, habár az utóbbi években csökkenő árak mellett komoly ingadozás jellemezte a kőolaj áralakulását. A kőolaj kereslete többek között a földgáz és nitrogénműtrágya árának alakulását is befolyásolja. Igaz, hogy a földgáz és a kőolaj piaca közötti kapcsolat manapság lényegesen gyengébb, ami a földgáz keresletének számottevő növekedésével és a földgázkereskedelem liberalizációjával magyarázható. A földgáz nehezebben szállítható, ezért kínálata kevésbé rugalmas. Hosszabb távon azonban a földgáz ára

igazodik a kőolajéhoz, ugyanis a nagy földgázimportőr országok jelentős kapacitásokat építettek ki a cseppfolyósított földgáz (Liquid Natural Gas: LNG) fogadására és tárolására.

5.2.2. Folyékony bioüzemanyag

A bioenergia-előállításban a biomassza felhasználásért egymással versenyez a hőenergia- és bioüzemanyag-termelés. Az élelmiszer-növények felhasználása azonban döntően a bioüzemanyag-gyártást érinti. A bioüzemanyag ma a globális üzemanyag-fogyasztás 3%-át teszi ki. A biomassza alapú üzemanyag iránt jelentkező keresletet befolyásolja, hogy miképpen alakul a közlekedésben az energiahatékonyság és a közlekedésben felhasznált energiaforrás szerkezete. Belátható időn belül a bioüzemanyagok nem váltják ki a hagyományos folyékony motorhajtóanyagokat, hanem a fosszilis eredetű motorhajtóanyagokhoz keverve játszanak szerepet a közlekedés energiaellátásában (Popp és szerzőtársai, 2018e). A folyékony bioüzemanyagok előállításának hatékonyságát indokolt növelni, hogy a jövőben versenytársai legyenek a hagyományos motorhajtóanyagoknak. A jövőben a bioüzemanyag gyártásnál előtérbe kerül a mezőgazdasági melléktermékek felhasználása, de a lágy- és fásszárú növények is szóba jöhetnek nyersanyagként (Popp és szerzőtársai, 2017). A biogáz motorhajtóanyag célú felhasználását korlátozza egyrészt az egyes uniós tagországok ezzel kapcsolatos szabályozása, másrészt az energianövények biogáz célú felhasználására vonatkozó fenntarthatósági előírások, ezért ennek elemzése nem képezi a dolgozat tárgyát.

Anyag és módszer

A bioetanol- és biodízelgyártás termelésének, nyersanyagigényének és élelmiszerpiaci hatásainak feldolgozása során az elemzéshez szorosan kapcsolódó nemzetközi és hazai szakirodalmakat vettem figyelembe. Először a biomassza-alapanyagok három generációjának csoportosítását, majd a folyékony bioüzemanyagok globális termelésének alakulását szemléltettem. A bioetanol- és biodízelgyártás gabona- és növényolajpiacra gyakorolt hatása mellett vizsgáltam az USA és az EU élelmiszer- és takarmánynövényekből előállítható bioüzemanyag termelésének korlátozására vonatkozó szabályozását, ezzel összefüggésben pedig a bioüzemanyagipar globális szántó- és ültetvényterület igényét. Összehasonlító- és idősozelemzéssel elemeztem az üzemanyag célú bioetanol és a biodízel termelésének alakulását, elsősorban az OECD-FAO és a Renewable Fuels Association (RFA) adatbázisa alapján. Továbbá felhasználtam a bioüzemanyag előállítás témaköréhez tartozó releváns nemzetközi és hazai szakirodalmakat.

Eredmények

A végső energiafogyasztásban a közlekedési szektor aránya 33%, amely a kőolaj több mint 50%-át használja fel. A közlekedési szektorban a kőolajon alapuló üzemanyag-felhasználás aránya 96%, további 3%-ot a bioüzemanyag és 1%a villamos energia tesz ki (REN21, 2019). A világon ma 1,3 milliárd személygépkocsi közlekedik. Ez a szám 2035-re várhatóan 2,0 milliárdra emelkedik. A bioüzemanyag használata, bekeverése a fosszilis üzemanyagba számos országban ajánlott, előírányzott vagy kötelező (REN21, 2019). A bioüzemanyag nem tekinthető környezetvédelmi csodaszernek, de a létező technikák körültekintő alkalmazásával elért és elérhető eredményeket nem szabad lebecsülni.

A bioüzemanyag-előállítás szempontjából a biomassza-alapanyagok három generációját különböztetjük meg. Az **első generációs** üzemanyagcélú bioetanol előállításának alapanyagai elsősorban a gabonafélék (főleg a kukorica, esetleg a búza), másodsorban a gyökér- és gumós növények (pl. a cukorrépa vagy a burgonya) lehetnek. Az első generációs biodízel termelésére a nagy olajtartalmú növények (például repce, napraforgó, szója, olajpálma) a legalkalmasabbak, de ezek közül Európában nagyobb területen csak a repce és a napraforgó termesztethető. A

hagyományos bioüzemanyagokkal szemben a **második generációs bioüzemanyagok** alapanyagai már nem élelmiszer- és takarmánynövények, nem feltétlenül versenyeznek a jó minőségű termőföldekért, ezért – megfelelő technológia alkalmazása mellett – sikeresebben és hatékonyabban járulhatnak hozzá az ÜHG-kibocsátás csökkentéséhez. A második generációs bioüzemanyagok alapvetően biokémiai és termokémiai eljárással állíthatók elő. A biokémiai eljárások közé tartozik az alkoholos erjedés, amikor az enzimes hidrolízist követően nyert erjeszhető cukrokból kémiai reakció útján etanol keletkezik. A cellulóz alapú bioetanol előállításához az alapanyagok széles köre, kukoricaszár, gabonaszalma, erdészeti melléktermékek, faipari hulladékok használhatók fel. A hidrogénezett biodízel termeléséhez növényi olaj és állati zsír szükséges (8. táblázat).

Harmadik generációs bioüzemanyagoknak azokat a bioüzemanyagokat tekintik, amelyek előállításához kizárólag bioüzemanyag-gyártás céljából termelt alapanyagokat (lágý- és fásszárú energianövényeket, algákat) használnak fel. Az algák a növekedési és olajtermelési képessége tekintetében a leghatékonyabb organizmusok. Hektárra vetített olajhozamuk jóval nagyobb, mint a termelésben lévő, ismert olajnövényeké¹, ezért területigényük lényegesen kisebb. Az olajtermelő algák tenyésztése azonban még egy sor kihívással néz szembe. Ilyen pl. a megfelelő algafajok szelekciója, a termeléstechológia – ezen belül főleg a betakarítás, víztelenítés, szárítás –, valamint a lipidek kivonásához, átalakításához szükséges technológia kidolgozása. A legfőbb probléma azonban – ha nem az egyébként kisebb hozamú nyílttavi termelésről van szó – a megfelelő berendezések magas ára és bioreaktor csöveiben növekvő algatelep energiaigényes keverése, ami megkérdőjelezi a biodízel ily módon történő előállítását. Megjegyzendő, hogy az algák tenyésztése némi tápanyag és a víz mellett – ami lehet édes, sós vagy akár szennyvíz is – nagy mennyiségű széndioxidot, intenzív megvilágítást és fagymentes környezetet igényel, ezért a kísérleteket főként erőművek közelében végzik.

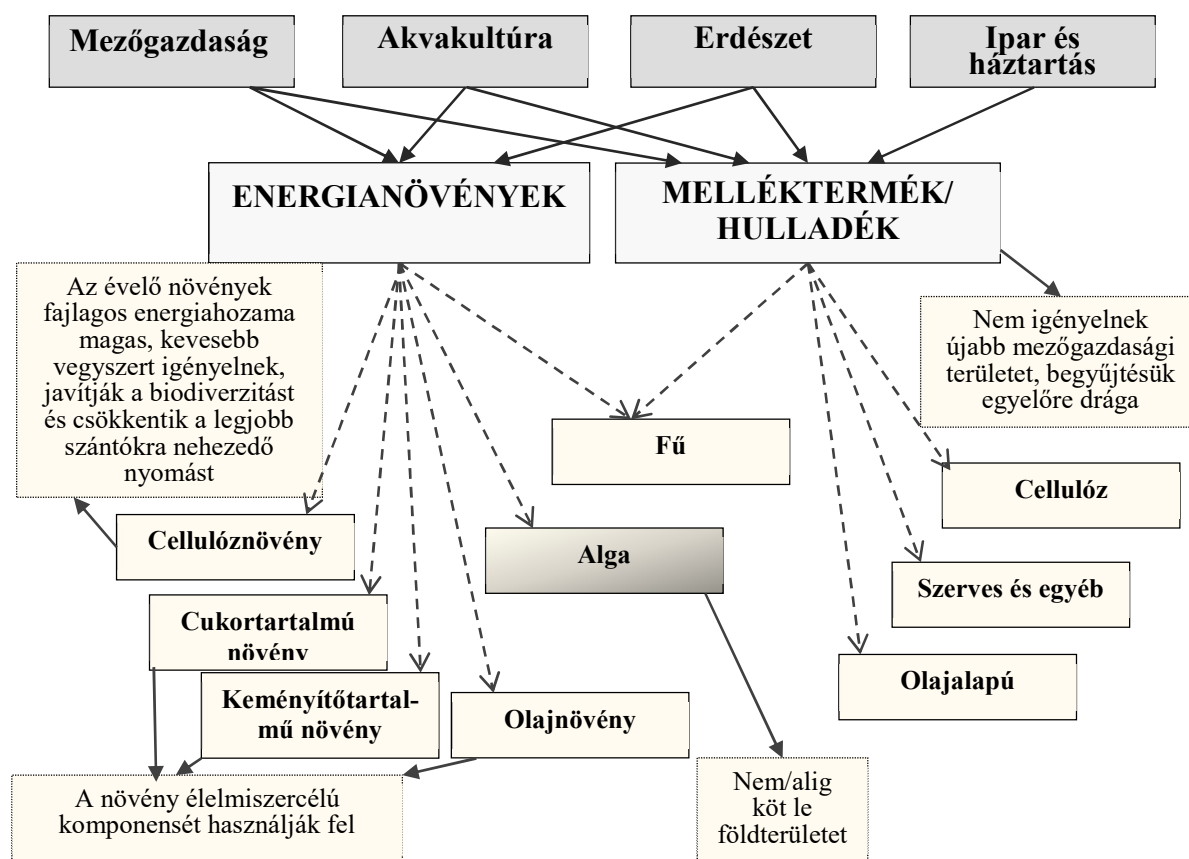
¹ Az algákból évente 2 000 gallon (7 600 liter), az olajpálmából 650 gallon (2 470 liter), a szójából 50 gallon (190 liter) üzemanyag nyerhető hektáronként (EURACTIV, 2011).

8. táblázat: Az első és második generációs bioüzemanyagok típusainak áttekintése alapanyag és termelési eljárás szerint

Bioüzemanyag típusa	Egyéb elnevezés	Alapanyag	Termelési eljárás
Első generációs bioüzemanyagok			
Bioetanol	konvencionális bioetanol	gabonafélék, cukorrépa	hidrolízis és fermentáció
Növényi olajok	tiszta növényi olaj (pure plant oil: PPO)	olajnövények	hidegsajtolás/extrakció
Biodízel	biodízel energianövényekből repce-metil-észter (RME) zsírsav-metil/etil-észter (FAME/FAEE)	olajnövények	hidegsajtolás/extrakció és átészterezés
Biodízel	biodízel hulladékokból (FAME/FAEE)	használt sütóolaj, állati zsír	átészterezés
Biogáz	tisztított biogáz	nedves biomassza	anaerob fermentáció
Bio-ETBE		bioetanol	kémiai szintézis
Második generációs bioüzemanyagok			
Bioetanol	cellulóz alapú etanol	lignocellulóz	előkezelés, fejlettebb technológiát képviselő hidrolízis és fermentáció
Szintetikus bioüzemanyagok	biomass to liquids (BtL) - biomasszából nyert bioüzemanyag Fischer–Tropsch-eljárással bio-dimetil-éter (bio-DME)	lignocellulóz	gázosítás és szintézis
Biodízel	hidrogénezett biodízel	növényi olajok, állati zsír	hidrogénezés
Biogáz	SNG (synthetic natural gas) szintetikus földgáz	lignocellulóz	gázosítás és szintézis
Biohidrogén		lignocellulóz	gázosítás és szintézis/biológiai eljárás

Forrás: Biofuels Research Advisory Council (2006)

A második generációs technológiák magas cellulóztartalmú mezőgazdasági és erdészeti mellékterméket, valamint hulladékokat hasznosítanak. A harmadik generációs technológiák speciális energianövények (lágý- és fásszárú energianövények, algák) felhasználásával javítják a bioüzemanyag-ipar versenyképességét és gazdaságosságát (25. ábra).



25. ábra: A bioüzemanyagtermelés nyersanyagai

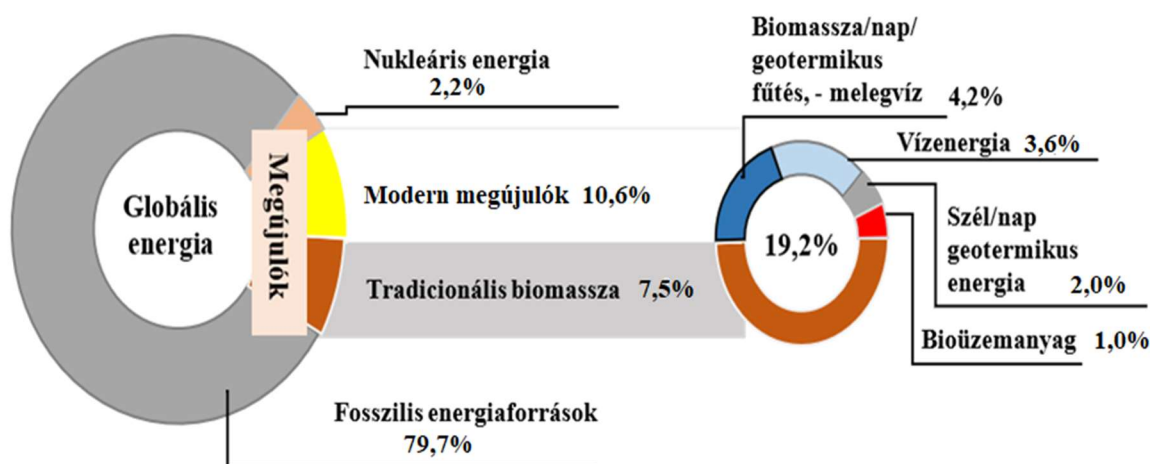
Forrás: Popp és szerzőtársai (2018c)

A második és harmadik generációs technológiák elterjedésével jelentősen csökken az alapanyagok előállításához használt földterület, habár piaci bevezetésük időpontja bizonytalan a magas beruházási költségek miatt. A bioüzemanyagok legújabb generációját azok az üzemanyagok jelenthetik, amelyek molekulaszervezete a legközelebb áll a fosszilis hajtóanyagokéhoz. Ezek az ún. „drop-in” vagy más néven „petroleum equivalent” bioüzemanyagok, amelyek bármely arányban keverhetők össze és a benzinnel a gázolajat és a kerozint is helyettesíthetik. A bioüzemanyagok használata mellett szükség van az energiahatékonyság javítására is. A folyékony üzemanyagok kerültek a figyelem középpontjába, pedig a biomassza elenyésző hányadát használják fel bioüzemanyag előállításra, de élelmiszernövényekről van szó. A közlekedés várható energiaigényének meghatározása igen sok bizonytalansági tényezőt rejt magában, ami befolyásolja a bioüzemanyagok felhasználását is. Ilyen az olajár alakulása, az autógyártási technológiák fejlődése, az energiahatékonyság javulása, illetve az előregedett autópark és a közlekedés modernizációja (Popp és szerzőtársai, 2018c).

A globális primer energiaellátás 586 exajoule (EJ) volt 2017-ban, 2012-2017 között átlagban évi 1,2%-kal nőtt. Az elsődleges energiafogyasztás nagyjából 31%-a veszteségeket szenved az energiaipar igényeinek, valamint a különböző feldolgozás és elosztási folyamatoknak köszönhetően. A globális végső energiafogyasztás így már csak 400 EJ volt. A globális végső energiafogyasztásban az épületek részesedése 30%-ot (ennek háromnegyedét lakossági épületek, a fennmaradó egynegyedét pedig a kereskedelmi- és középületek), ipar és közlekedési szektor pedig 29%-29%-ot tett ki. A fennmaradó 11%-ot egyéb szektorok (mezőgazdaság és erdészet 2% és a nem energiacélú, vegyipari alapanyagok 9%) fogyasztották el. A közlekedési

ágazat tehát a globális végső energiaigény 29%-át használja fel a globális energiához kapcsolódó CO₂-kibocsátás 23%-áért felelős. A közlekedési szektor globális energiaigényének mintegy 96%-át kőolaj és kőolajtermékek, 3%-át bioüzemanyagok és 1%-át az elektromos áram (csupán 0,3% zöld áram) fedezi, ezért a megújuló energiaforrások fokozott felhasználása a közlekedési ágazatban kiemelt prioritást élvez a közlekedési ágazat CO₂-kibocsátás mérséklésében (REN21, 2019).

A végső energiafogyasztásban a fosszilis energia (kőolaj, szén, földgáz) aránya 2017-ben az 79,7%-ot, a megújuló energiaforrások 18,1%-ot és a nukleáris energia 2,2%-ot tett ki. A megújuló energia a világ negyedik legnagyobb energiaforrását jelenti a kőolaj, szén és földgáz után, ebből a „modern” megújulók 10,6%-ot (szél-, nap-, víz-, geotermikus-energia, bioüzemanyagok stb.), a tradicionális biomassa 7,5%-ot képvisel (26. ábra). A biomassa hagyományos és modern megújuló felhasználását is beleértve, a bioenergia 12,7%-kal járult hozzá a globális energiaellátáshoz (IEA, 2018a; IEA, 2018b; REN21, 2019). A biomassa hagyományos felhasználása az elmúlt években stabil volt, de részesedése a globális végső energiaellátásban fokozatosan csökkent, miközben a „modern megújuló tüzelőanyagok” részesedése az 1990-es évek vége óta növekszik. A múltban a biomassa energiacélú felhasználása fás nyersanyagokon alapult, de ma az energiatermelést szolgáló bioenergia a növényi és állati eredetű hulladékoktól kezdve az élelmiszeripar melléktermékein át egészen az energianövényekig, a lakossági szerves hulladékokig és a vízi biomassaig terjed.

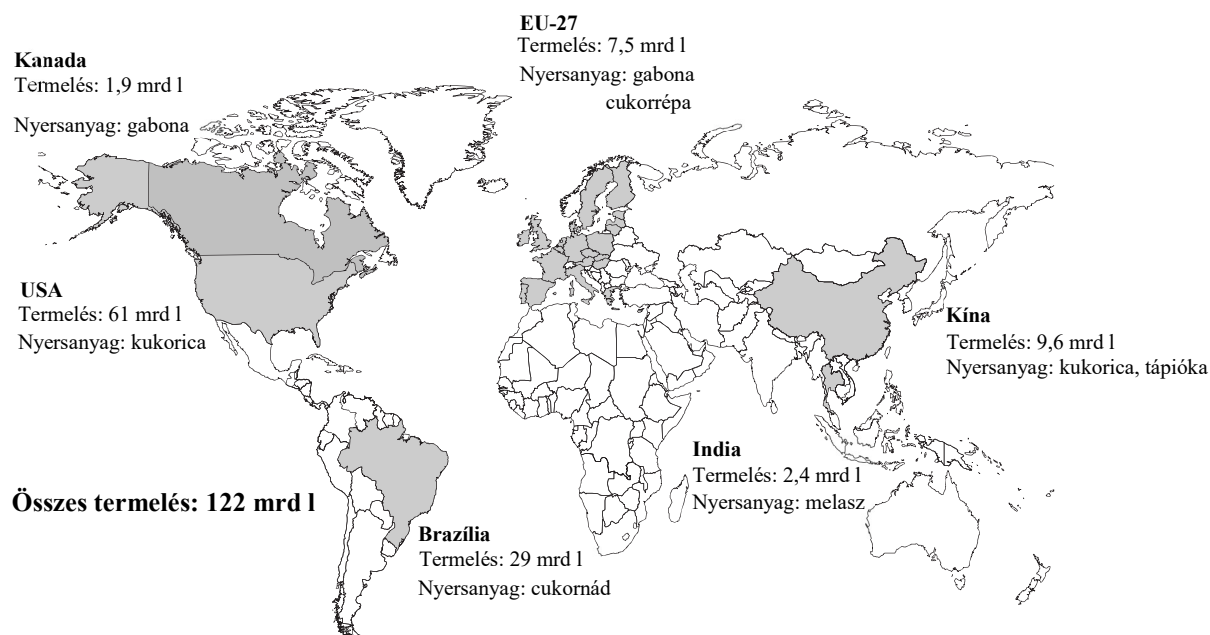


26. ábra: A megújuló energia aránya a globális végső energiafogyasztásban, 2017

Forrás: REN21 (2019)

A folyékony bioüzemanyagok globális termelésének mintegy 77%-át az **etanol** adja. A globális etanol-termelés 112 milliárd literre nőtt a 2016-2018 közötti időszak évi átlagában. A globális etanoltermelés várhatóan tovább nő a jövőben (OECD/FAO, 2019). Az USA a világ vezető etanolgyártója, Brazíliával együtt a teljes termelés 84%-át képviseli. A bioüzemanyag-termelés globális növekedése az előrejelzések szerint a következő évtizedben folytatódni fog, bár az előző évtizedhez képest lassabb ütemben. Az USA várhatóan továbbra is a legnagyobb etanolgyártó és -exportőr ország marad a világon, Brazília pedig megtartja második helyét. Az üzemanyag célú etanoltermelés az USA-ban elérte a 61 milliárd liter mennyiséget, ennek 11%-át exportálták a vizsgált időszak évi átlagában. Brazíliában az etanoltermelés 29 milliárd literre nőtt. Kína 9,6 milliárd liter termelésével Ázsia legnagyobb etanolgyártója maradt. Az EU-28-ban az üzemanyag célú etanol-előállítás 7,5 milliárd litert ért el 2016-2018 közötti időszak

átlagában, míg India 2,4 milliárd liter és Kanada 1,9 milliárd liter termelésével továbbra is jelentős etanolgyártó országoknak számítanak (27. ábra).



27. ábra: Globális üzemanyag célú bioetanolgyártás, (évi átlag 2016-2018)

Forrás: OECD/FAO (2019), RFA (2019)

A **bioetanol szektor különféle szempontjainak azonosítását** a PRISMA (Preferred Reporting Elements for Systematic Review and Meta-Analyses) ajánlás alapján végeztem el. A bioetanol szektor elemzésében a szakirodalom általában a rendszerdinamikai modellt alkalmazza. A kutatás feltárta a feldolgozott szakirodalom erősségeit és korlátait, valamint a rendszerdinamikai modellezés alkalmazását. Bár a modellek, a háttér adatok és az eredmények egymással összefüggnek és nem lehet szigorú kategóriákba csoportosítani, a kutatás integritása érdekében a szisztematikus áttekintés módszerét alkalmaztam. Rámutattam a vizsgált közlemények közötti ellentmondásra és a felhasznált modelleszközök hiányosságaira. A PRISMA ajánlás alkalmazása úttörő szerepet játszhat a megújuló energia alaposabb és sokrétű elemzéséhez. Országoként változik a bioetanolgyártás ideális alapanyaga, termelési mennyisége és felhasználása. Egy modell kidolgozásával az adott ország vagy régió meghatározhatja a megfelelő alapanyagot, termelési és felhasználási paramétereit. A rendszerdinamika tehát hasznos eszköz a komplex rendszerek megismerésében (Oláh és szerzőtársai, 2020).

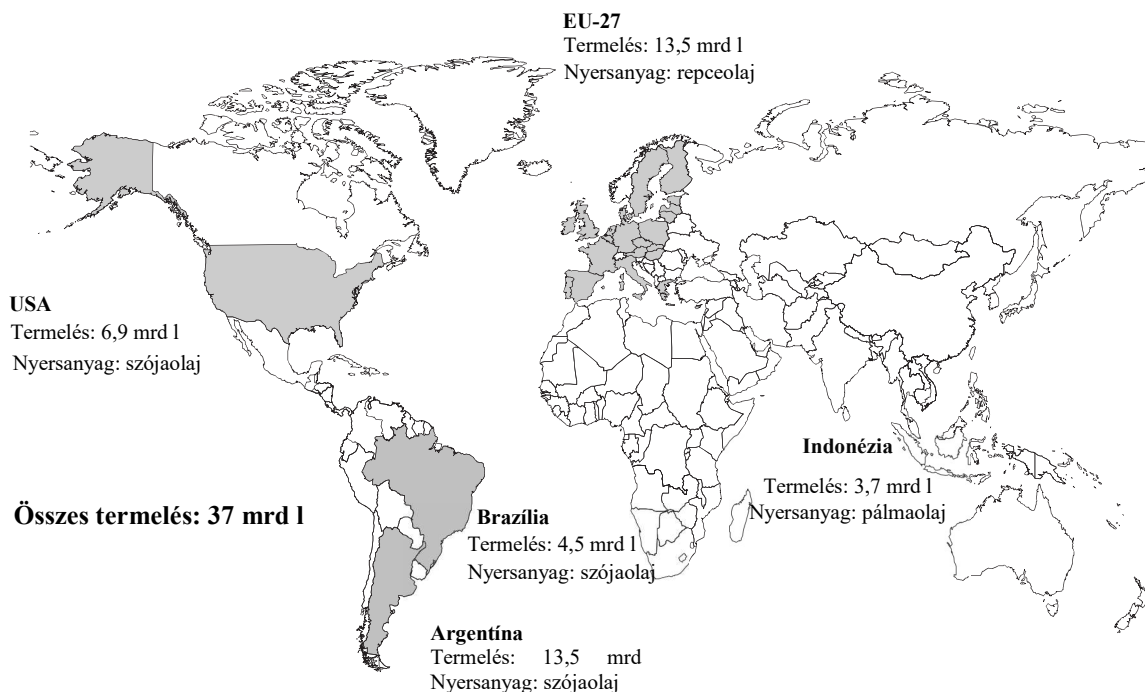
Összességében a bioüzemanyaggyártás lehetőséget kínál a nagy mezőgazdasági területtel rendelkező fejlődő országok számára, mert a munkahelyteremtés mellett hozzájárul az importfüggőség csökkentéséhez. Az élelmezésbiztonság szempontjából felmerülő fő kérdés az élelmiszerárak emelkedésének kockázata a növekvő bioetanolgyártásnak köszönhetően, továbbá aggasztó tényező a változásának problémaköre (Popp és szerzőtársai, 2018h). Számos szakértő támogatja a rendszerdinamikai modellezés alkalmazását a zöld gazdaság irányába történő átmenet elemzéséhez, mivel a modell átláthatóságot és optimalizálási megközelítést biztosít komplex és ágazati kutatásokhoz. A kritikus sikertényezők meghatározásával a modell biztosítja az előírt követelmények teljesítését (Newes 2017). A zöld gazdaság bevezetésének átmeneti időszakában alternatív megoldást jelenthet a helyben előállított biomassa bioetanol célú felhasználásának támogatás mellett és a marginális parlagterület művelésbe vonása (Jonker

és szerzőtársai, 2015). Noha a technológia innovációja vezérli a termékek fejlesztését, a fenntartható termelés elkerülhetetlen (Strapasson, 2016).

Országoként változik a bioetanolgyártás ideális alapanyaga, termelési mennyisége és felhasználása. Egy modell kidolgozásával az adott ország vagy régió meghatározhatja a megfelelő alapanyagot, termelési és felhasználási paramétereit. A rendszerdinamika hasznos eszköz a komplex rendszerek megismerésében (Oláh és szerzőtársai, 2020).

A **biodízel** globális előállítás 37 milliárd liter volt a 2016-2018 közötti időszak évi átlagában, ebből a hidrogénezett növényi olaj (Hydrogenated Vegetable Oil: HVO) 6 milliárd litert tett ki, ráadásul nem károsítja a motort, a kipufogócsövet és mérsékeli kipufogógáz-kibocsátást.

A globális biodízel termelése továbbra is bővül, elsősorban az Egyesült Államokra vonatkozó biodízel mandátum növekedésével. A globális biodízelgyártás bővülését az USA-ban, az EU-ban, Braziliában, Indonéziában és Argentínában a bioüzemanyagra érvényes szabályozások mozgatják. A biodízelgyártás sokkal kevésbé koncentrált, mint az etanolgyártás. Az Európai Unió továbbra is a globális biodízelgyártás középpontjában állt, 13,5 milliárd liter termelésével 36%-át képviseli a globális termelésből, majd az USA és Brazília követi 6,9 milliárd liter, illetve 4,5 milliárd liter biodízel előállítással a vizsgált időszak évi átlagában. Indonéziában a termelés időközben évi 3,7 milliárd literre nőtt, Argentínában azonban a termelés 2,7 milliárd literre esett vissza az USA-ban bevezetett dömpingellenes vámok miatt. Az EU továbbra is a legnagyobb biodízelgyártó marad a világon, de jelentős világpiaci szereplő lesz az USA, Brazília, Indonézia és Argentína is. A biodízelfogyasztás az EU-ban a csökkenő gázolajfogyasztás miatt várhatóan visszaesik. Az USA-ban a biodízelgyártás várhatóan növekedni fog, Brazília pedig várhatóan megtartja pozícióját harmadik legnagyobb biodízelgyártóként. Indonéziában a biodízelgyártás elsősorban a növekvő belföldi bekeverési igények kielégítésére szolgál (OECD/FAO, 2019).



28. ábra: A globális biodízelgyártás alakulása, (évi átlag 2016-2018)

Forrás: OECD/FAO (2019), REN21 (2019)

A megújuló energia felhasználása a közlekedési ágazatban továbbra is alacsony: 3,0% bioüzemanyag és 0,3% zöld áram. A bioüzemanyagok részesedése a közlekedési szektorban felhasznált összes megújuló energiaforrásból továbbra is 90% az elektromos autók gyors bővülése ellenére. A közlekedésben felhasznált villamos energia aránya a globális végső energiaigény 1,1%-a, ebből 0,3% megújuló és 0,8% nem megújuló villamos energia (IEA, 2018a; IEA, 2018b; REN21, 2019). A bioüzemanyagok részesedése a közlekedési ágazatban csak Brazíliában haladja meg a 10%-ot. A bioüzemanyagok nemzetközi kereskedelme a közelmúltban bővült, de a kereskedelmi akadályok (vámok, adminisztrációs akadályok) hatására továbbra is korlátozott marad. A biodízel és az etanol globális kereskedelme ritkán haladta meg a globális termelés 10%-át, ráadásul csupán néhány országra koncentrálódik. A globális etanolkereskedelem a világtermelés 8-9%-a körül fog alakulni. Az USA a jövőben is a kukoricaalapú etanol nettó exportőre és a cukornádból készült etanol nettó importőre marad a Kaliforniában érvényes szigorú szabványoknak köszönhetően (OECD/FAO, 2019; REN21, 2019).

Az etanolgyártásnál a gabona, a cukornád és a melasz (Indiában) lesz a jövőben is a fő alapanyag, a biodízelgyártás meghatározó alapanyaga a növényi olaj marad. Az etanol 60%-át kukoricából, 25%-át cukornádból, 7%-át melaszból, a fennmaradó részt egyéb gabonafélékből, maniókából és cukorrépából állítják elő. Az USA-ban az etanol előállításához nyersanyagként az összes kukoricatermelés egyharmadát használják fel. A biodízelgyártás alapanyagának 80%-át a növényi olajok, 20%-át a használt étolaj és állati zsírok teszik ki. A globális cukornádkészítés 20%-a és a globális gabonatermelés 10-11%-a szolgálja az etanolgyártást. A biodízelgyártás a globális növényolaj termelés 11-12%-át használja fel. A közelmúltban növekedett a biodízel előállítása a használt étolajból és az állati zsírokból az EU-ban, Kanadában és az Egyesült Államokban, miközben a cellulóz alapú etanolgyártás piaci bevezetése várat magára (OECD/FAO, 2019; REN21, 2019).

Az **első generációs bioüzemanyagokat** súlyosan kritizálták a környezetre, az élelmezésbiztonságra és a földhasználatra gyakorolt negatív hatásuk miatt. A kihívás a fejlett bioüzemanyaggyártás modern technológiai fejlesztésének a támogatása, amely ökológiai szempontból fenntartható és kereskedelmi szempontból megvalósítható (Abideen és szerzőtársai, 2014). Több ország és régió szabványokat fogadott el a bioüzemanyagok fenntartható termelésének és felhasználásának előmozdítása érdekében, mindenekelőtt az EU, az Egyesült Államok és Brazília. Az EU megújuló energiára vonatkozó célkitűzései elvben hasonlóak az USA-ban bevezetett szabályozáshoz, ahol a legtöbb állam kötelező vagy nem kötelező érvényű szabványokat vezetett be. Az USA a megújuló üzemanyag szabványa (Renewable Fuel Standard: RFS) az életciklus során az ÜHG meghatározott szintjének csökkentését írja elő a fosszilis tüzelőanyag fogyasztáshoz képest. Az amerikai szabvány jelenleg csak az ÜHG-kibocsátására irányul, de Kalifornia a folyékony bioüzemanyagokkal kapcsolatos fenntarthatósági kérdésekkel is foglalkozik. 2009-ben Brazília új fenntarthatósági szabályozást fogadott el az etanol célú cukornád termelése vonatkozásában, beleértve a cukornád előállítás térségi (övezeti) előírásait (Popp és szerzőtársai, 2017).

A nemzetközi bioüzemanyag szektort erősen befolyásolja a nemzeti politika, amelynek három fő célja van: **a mezőgazdasági termelők támogatása, az ÜHG-kibocsátás és az energiafüggőség csökkentése.** A cellulóz alapú fejlettebb technológiák még alig járulnak hozzá bioüzemanyag gyártáshoz, de a jövőben várhatóan csökkentik az élelmiszer bioüzemanyag célú felhasználását és az ÜHG-kibocsátást. Nagyon sok ország kötelező bekeverési előírásokkal rendelkezik. Ennek ellenére az iparág jövője nagymértékben függ a technikai fejlődés sebességétől és a bioüzemanyagok környezeti és társadalmi hatását vizsgáló kutatások eredményétől. Egyes előrejelzések szerint a jövőben a közúti közlekedés energiaigényének jelentős részét nem az ásványolaj- vagy biomassza-alapú hajtóanyagok

fogják kielégíteni, hanem a leginkább környezetbarátnak tekintett hidrogéncellák, illetve elektromos akkumulátorok, amelyek töltéséhez az áramot részben víz-, nap-, szél- és árapályerőmű állítja elő. E fejlett rendszerek azonban technológiailag még nem kiforrottak, így egyelőre a bioüzemanyagoknak van a gyakorlatban létjogosultsága (IEA, 2018). A bioüzemanyagok korlátozott mértékben képesek helyettesíteni a fosszilis tüzelőanyagokat, mégis csökkentik a közlekedési ágazat fosszilis üzemanyagoktól való függőségét, így a kőolajárakat is. A bioüzemanyagok előállításához szükséges mezőgazdasági terület a globális szántó és ültetvényterület mintegy 2%-a (30-35 millió hektár), habár az egyes országok és régiók között nagy különbségek vannak (Langeveld és szerzőtársai, 2014).

Összességében elmondható, hogy a bioüzemanyaggyártás a földhasználat változás alakulásához nagyon kis mértékben járul hozzá. A felhasznált nyersanyag egy része viszont takarmányként visszakerül az állattenyésztéshez, ezért így energianövények globális nettó földhasználata 2%-ról mintegy 0,5%-ponttal, azaz 1,5%-ra csökken (Oláh és szerzőtársai, 2020). Ugyanakkor egyes országok néhány mezőgazdasági ágazatában komoly arányt képvisel a bioüzemanyag-gyártás számára termelt nyersanyag. Brazíliában a cukornádtermelés mintegy 50%-át használja fel az etanolipar, az USA-ban a kukorica- és szójaterület 20-40%-a szolgálja a bioüzemanyag-gyártást, az EU-ban a repceterület 50-60%-a biztosít nyersanyagot a biodízeliparnak. A gabonafélék globális hozamai 2000 óta folyamatosan növekedtek a jobb fajtáknak, talajgazdálkodásnak, gyomirtásnak és a gazdák növekvő szakértelmének köszönhetően. A bioüzemanyag-gyártás legfontosabb melléktermékei, a szárított gabonatrörköly oldható anyagokkal (Distillers Dried Grains with Solubles: DDGS), a kukorica glutén liszt (Corn Gluten Meal: CGM) és a kukorica glutén takarmány (Corn Gluten Feed: CGF), valamint a szója- és repcedara fontos fehérjehordozó takarmányt jelent az állattenyésztés számára. A globális bioüzemanyag-gyártáshoz az etanolipar évente 45 millió tonna szárított gabonatrörköly: DDG, DDGS, CGM és CGF előállításával járul hozzá, a biodízelipar pedig a növényolaj felhasználásával közvetve évi 13 millió tonna repcedarát és 28 millió tonna szójadarát állít elő, vagyis szójafehérje-egyenértékben ez 65-70 millió tonna szójadarának felel meg, ez az évente világszerte előállított szójadara 30%-a (Popp és szerzőtársai, 2016b; OECD/FAO, 2019; RFA, 2019). A bioüzemanyag-gyártás melléktermékének hozzájárulása a takarmányozáshoz viszonylag magas az Egyesült Államokban, Kínában és az EU-ban, mivel az etanoliparban a szárított gabonatrörköly előállítása jelentős. Brazíliában az etanoltermelés alapanyaga a cukornád, így nem termelnek takarmánycélú mellékterméket.

Technológiai és jövedelmezőségi problémák miatt az USA kormányzatának a bioüzemanyag-program hosszú távú célértékeit vissza kellett vágnia, ráadásul korlátozza a kukorica felhasználását az etanoltermelésben (legfeljebb 15 milliárd gallon etanol állítható elő, ehhez mintegy 130 millió tonna kukorica szükséges), hogy ne veszélyeztesse az élelmiszer- és takarmányipar nyersanyagellátását (US EPA, 2017).

A bioüzemanyagok még hosszú ideig a hagyományos folyékony motorhajtóanyagokba bekeverve azok kiegészítői, nem pedig versenytársai lesznek, ez pedig ösztönzőleg hat a vegyes üzemelésű gépjárművek gyártására. Ebben Brazília és az USA vezet, de az EU-ban a gépkocsigyártók nem álltak rá a vegyes üzemelésű gépjárművek (Flex Fuel Vehicle: FFV) előállítására a drágán kiépíthető üzemanyag-elosztó hálózat hiánya miatt. Az USA-ban a rugalmas üzemelésű gépjárművek általában benzinnel üzemelnek, mert az etanol drágább a benzinnél, az üzemanyagkutak jelentős hányada pedig nem értékesít benzin-etanol keveréket, ráadásul a fogyasztók zöme nem is tudja, hogy járműve E85-ös bioüzemanyaggal is üzemel (Oláh és szerzőtársai, 2020). Svédországban a vegyes üzemeltetésű gépjárművek elterjedését egyéb kedvezménnyel – például ingyenes parkolási lehetőség, a belvárosba történő behajtás adómentessége – is elősegítik. Hogy milyen mértékben környezetbarát a vegyes üzemelésű gépjármű, attól függ, hogy E85-öt, tiszta benzint vagy benzin-etanol keveréket fogyaszt-e.

Ennek ellenőrzése gyakorlatilag szinte megoldhatatlan, így a kedvezmény alapja a vegyes üzemelésű gépjármű E85-ös üzemanyag-fogyasztásának képessége és nem a ténylegesen elfogyasztott üzemanyag etanol tartalma (Popp, 2013).

Az elképzelések szerint a megújuló energiaforrásokból termelt villamos energia közvetlenül, illetve közvetve az árammal előállított hidrogéncella jelenti majd a távolabbi jövő közlekedésének energiaforrását, üzemanyagát (Popp és szerzőtársai, 2018c). A jövőbeni rendszer kialakítása azonban hosszú folyamat eredménye lesz, a technológiai, a pénzügyi és az infrastrukturális hiányosságok miatt még több évtizedig többnyire a hagyományosnak tekinthető módokon, belsőégésű motorokkal és folyékony üzemanyagokkal kell közlekednünk, ezért elengedhetetlen ezek hatékonyságának fejlesztése. Ebből következően a biomassa alapú üzemanyagok felhasználására közép- és hosszú távon a helyközi és távolsági szállításban, továbbá a repüléstechnikában lehet számítani (Popp, 2013).

Az USA-ban és az EU-ban a jövőben elsősorban a mezőgazdasági melléktermékek – szalma, kukoricaszár, erdészeti, faipari hulladék – felhasználása jöhet szóba a lágy- és fásszárú növények mellett. A cellulóz tartalmú nyersanyag jelenleg még sokkal olcsóbb, de etanollá történő átalakítása drágább a kukoricánál a cellulóz lebontásához szükséges enzimek magas ára miatt. Továbbá gondot okoz a cellulóz alapú nyersanyag betakarítása, tárolása és szállítása, a nagy volumen (2-4-szer nagyobb, mint a gabonafélék és olajnövények szemtermése esetében) és a rövid tárolási lehetőség (kártevők és kórokozók jelenléte) miatt. Ennek költséghatékony logisztikája még hiányzik. Az USA sokkal több pénzt költ a második generációs üzemanyagok kutatására és fejlesztésére, mint az EU. Cellulóz alapú folyékony hajtóanyagokból a kísérleti üzemek világszerte elenyésző mennyiséget állítanak elő, csupán néhány milliárd litert (REN21, 2019).

Az EU-ban mintegy 5 millió hektár földterületre van szükség bioüzemanyag-alapanyagok előállításához, ideértve a harmadik országokban található területeket is, amelyek részesedése 25%. A bioüzemanyaggyártás alapanyagainak előállításához felhasznált terület az EU szántóterületének 3%-a. Az EU-ban az etanoltermelést mintegy 2 millió hektár szántóföld szolgálja az EU-n belül és kívül. A biodízelgyártás 3 millió hektár területet igényel, beleértve az importot is. A bioüzemanyag-gyártás melléktermékeit figyelembe véve az alapanyagelőállítás nettó földhasználata a bruttó 5 millió hektárról 2,8 millió hektárra csökken. Továbbá a takarmánként hasznosított melléktermékek csökkentik az EU fehérjetakarmány importját is (European Commission, 2019d).

Az olajkorszak végére készülnek a vezető olajvállalatok. Az Exxon a zöld energiaforrások fejlesztésére koncentrál, a total akvizíciókkal erősíti pozícióit ezen a területen, a Royal Dutch Shell pedig a tengeri olajfúró tornyok építésében és üzemeltetésében szerzett tapasztalatait északi-tengeri szélfarmok fejlesztésében kamatoztatja. A világ legnagyobb tőzsdén jegyzett olajvállalata, az ExxonMobil több milliárd dollárt fordít zöld, megújuló energiaforrások kutatására. Száznál is több környezetbarát technológiák fejlesztését finanszírozza, például alga alapú bioüzemanyagokkal vagy a szén-dioxidot megkötő, majd üzemanyaggá alakító cellák kifejlesztésével kísérletezik. A forradalmi megoldások kereskedelmi forgalomba kerüléséig még várni kell, de a vezető olajvállalat megújuló energiaforrásokra költött pénzüsszege jelzi, hogy a jövőben fosszilis üzemanyagok szerepe jóval kisebb lesz a mainál.

Az Exxon 2009 óta dolgozik az alga alapú technológia kifejlesztésén, óceánokból vagy külön erre a célra létrehozott tavakban tervezi előállítani az algát bioüzemanyag-gyártáshoz. Az alga alapú bioüzemanyagot először a dízelhez és kerozinhoz adagolt keverékként, végül 100%-ban hozná forgalomba (Oláh és szerzőtársai, 2020). Az olajvállalat a Renewable Energy Group nevű társasággal azon dolgozik, hogy mikrobákat alkalmazva az élelmiszeripari célokra nem használható növényi melléktermékből, mint például a kukoricaszárból bioüzemanyagot

készítsen. Ma a legtöbb üzemanyagcella földgázzal vagy hidrogénnel kémiai reakcióba lépve állít elő villamos energiát. Az Exxon és a FuelCell Energy nevű céggel a karbon üzemanyagcella kutatási projekten dolgoznak, vagyis a földgáz és hidrogén helyett CO₂-t használnak fel energiatermelésre jelentős mennyiségű CO₂ megkötése és raktározása mellett. A Georgia Institute of Technology-val közösen végzett kutatásaival az Exxon a mainál jóval hatékonyabb eljárással készít nyersolajból műanyagot. Ezzel a módszerrel komoly mennyiségű hőenergiát takarítanak meg membrán és az ozmózis alkalmazásával a CO₂-kibocsátás 50%-os csökkenése mellett. A nagy olajvállalatokat nem a rövid távú profitkilátások vezérlik, hanem hosszú távra rendezkednek be az új technológiák fejlesztésével, alkalmazásával (REN21, 2019).

Fenntartható folyékony bioüzemanyag

A bioüzemanyaggyártás bővítése negatív környezeti hatásokhoz vezethet és megnehezítheti a nemzetközi környezetvédelmi megállapodások előírásainak teljesítését. Például a bioüzemanyaggyártáshoz különböző alapanyagokat állítanak elő számos régióban adott talaj- és vízviszonyok mellett, míg a társadalmi szempontok (például a munkakörülmények vagy a megfelelő ételmezőgazdaság) figyelembevétele még bonyolultabb feladat (Denruyter és Earley, 2006). Luzadis és szerzőtársai (2008) a legújabb tudományos ismereteket és társadalmi értékeket magában foglaló rendszert dolgoztak ki a bioenergia fenntarthatóságának becslésére. Groom és szerzőtársai (2008) 12 szakpolitikai ajánlást fogalmazott meg a bioüzemanyagokra vonatkozó tanúsítási szabványok kidolgozásának elősegítéséhez, beleértve a három általános alapvető: a fenntartható, környezetkímélő alapanyagok előállítására kis ökológiai lábnyom mellett, az őshonos és alapvető ételmezőnövények élőhelyeinek fenntartása, valamint a karbonsemleges bioüzemanyagok termelése. A **fenntartható bioüzemanyagok** széles körben elfogadott definíciója, valamint a tanúsítás és a jelölés (címkézés) globális rendszere még mindig hiányzik, habár bizonyos fokú egyetértés már mutatkozik ökológiai kérdésekben, mint például az ÜHG-kibocsátás, az energiamérleg, a csökkenő biodiverzitás és speciális környezeti károk (talajállapot, vízfelhasználás stb.).

A bioüzemanyaggyártás globális terjedése komoly vitákat váltott ki, elsősorban a környezeti és társadalmi fenntarthatóság kérdésében, mint például az ételmezőtermelésre, a földhasználat változására, a biodiverzitásra, az energiahatékonyságra és az éghajlatváltozásra gyakorolt hatása (Searchinger és Heimlich, 2015; Wang és Dunn, 2015; Correa és szerzőtársai, 2019). A bioüzemanyagok előállításához kapcsolódó gazdasági, társadalmi és környezeti problémákat számos tudományos közlemény tárgyalta (Ramcilovic-Suominen és Püzl, 2018). A gazdasági, társadalmi és környezeti problémák összetettsége holisztikus perspektívát feltételez a potenciális szinergia hatás előnyeinek érvényesítése érdekében. A tanúsítási rendszerek alkalmazása a legjobb eszköz a fenntartható bioenergetikai rendszerek fejlesztéséhez (Ladanai és Vinterbäck, 2009). A bioüzemanyagok fenntarthatósági értékeléséhez multikritérium elemzés szükséges (Lora és szerzőtársai, 2011). A bioüzemanyagok fenntarthatósága tulajdonképpen a gazdasági, társadalmi és környezeti dimenziók közötti optimalizálásról szól (Mangoyana és szerzőtársai, 2013).

A **bioüzemanyagok** kevesebb ÜHG-t, különösen CO₂-t bocsátanak ki, mint a fosszilis üzemanyagok, mivel a bioüzemanyag égése során kibocsátott CO₂ mennyisége megegyezik az alapanyag növekedése során lekötött mennyiséggel. Ez csak abban az esetben igaz, ha nem képződik további CO₂-kibocsátás a földhasználat-változás során. A földhasználat-változás lehet közvetlen (pl. erdőterület átalakítása mezőgazdasági területté a tárolt szén elvesztésével), vagy közvetett (pl. az ételmezőnövényeket bioüzemanyagok gyártására használják fel), ennek ellentételezésére pedig máshol (marginális terület, gyepterület stb.) kell több termőföldet megművelni), vagyis a bioüzemanyag-gyártáshoz felhasznált növények ÜHG-kibocsátása mellett további emisszióval jár az ételmezőnövények termesztésébe bevont új területek

művelése. A termőföldért folytatott verseny a bioüzemanyag- és élelmiszeripar között megszűnik, ha a bioüzemanyagot nem élelmezési célú biomasszából állítják elő. A bioüzemanyagok gyártásával kapcsolatban leggyakoribb kritika a földhasználat-változásra és az élelmezésbiztonságra gyakorolt negatív hatások. Emellett a bioüzemanyag-termelés a biodiverzitásra, a vízkészletre, a vízminőségre és a talajminőségre is hátrányos lehet. A bioüzemanyagok fosszilis üzemanyagokhoz viszonyított alacsonyabb ÜHG kibocsátása csak akkor érvényesül, ha azok előállítása nem jár **földhasználat-változással előidézett további emisszióval**.

A multifunkcionalitás kritériumai érvényesek a többfunkciós folyékony bioüzemanyagokra is, mivel a multifunkcionális bioüzemanyag előállítása csökkentheti a földhasználat változásra nehezedő nyomást (Ignaciuk, 2006). A **fenntartható bioüzemanyagok** szakirodalma hosszú ideig egyetlen kérdésre összpontosított, például az alapanyagok marginális területen történő előállítására a magas termőképességű terület helyett annak érdekében, hogy csökkenjen az élelmiszer-termeléssel folytatott verseny (Campbell és szerzőtársai, 2008). Ezenkívül a marginális területek jelentős inputokat (tápanyag és víz) igényelnek a termelékenység fenntartása céljából. A növekvő biomassza előállítás megköveteli az összes erőforrás optimalizálását az erőforrásigényekkel járó kockázatok minimalizálása érdekében (Gopalakrishnan és szerzőtársai, 2009). Az értéklánc fázisaiban érdekelt gazdasági szereplők részvétele kritikus tényezőnek számít a bioenergetikai rendszer fenntarthatósága szempontjából (Buchholz és szerzőtársai, 2007). Mind a környezeti, mind a gazdasági célkitűzések megvalósíthatók a gazdasági és környezeti hatások optimalizálásával (Srivastava, 2007). Az újabb generációs bioüzemanyagok fejlesztése enyhítheti az élelmiszer, a takarmány és a bioüzemanyagok előállítása közötti versenyt, de az alapanyagok iparszerű termesztése hatást gyakorol a többi erőforrásra és a földhasználatra (Kazamia és Smith, 2014).

A **környezeti fenntarthatóság** egyik kulcseleme a bioüzemanyagoknak az a képessége, hogy enyhítsék az ÜHG-kibocsátást (Britz és Hertel, 2011). A bioüzemanyagok életciklusa során kibocsátott nettó ÜHG fontos szempont. A hagyományos üzemanyagok ÜHG-kibocsátásával összehasonlítva a bioetanol (kukorica-, cukornád- és cellulóزالapú) és biodízel kibocsátása 10-95% között alakul (de Oliveira és szerzőtársai, 2005). A bioüzemanyaggyártás alapanyagainak termesztése környezetbarát mezőgazdasági gyakorlatot feltételez. Az alapanyagok fenntarthatósága a helyes környezetvédelmi gyakorlat függvénye az üzemanyaggyártás teljes életciklusa során. Továbbá indokolt minimalizálni a bioüzemanyag ökológiai lábnyomát, így az alapanyagok előállításához szükséges földterület nagyságát is (Groom és szerzőtársai, 2008). A bioüzemanyagokra jellemző környezeti fenntarthatósági mutatók hat nagy kategóriába sorolhatók, nevezetesen a talaj minősége, a víz minősége és mennyisége, a levegő minősége, az éghajlatváltozás, a biológiai sokféleség és a növények fajlagos hozama (McBride és szerzőtársai, 2011).

Számos tanulmány feltárta a **bioüzemanyag előállításának a biodiverzitásra** gyakorolt hatását. A bioetanol termelés környezeti hatása csökkenthető a technológia és az új ismeretek fejlesztésével. Hellmann és Verburg (2010) kimutatták, hogy a Megújuló Energia Irányelv (Renewable Energy Directive: RED) bioüzemanyagra vonatkozó célkitűzés közvetlen földhasználat-változásra gyakorolt hatása csekély, míg a közvetett földhasználat-változásra kifejtett hatása 8% is lehet a célkitűzés nélküli szcenárióval összehasonlítva. Eggers és szerzőtársai (2009) szerint a bioüzemanyag előállítás növekedésével több faj élőhelye tovább szűkül, habár az EU-ban a növekvő bioüzemanyaggyártással járó élőhely-vesztesség sokkal kisebb a demográfiai, gazdasági, politikai és technológiai fejlődés által okozott veszteségeknél. A megújuló energia, ideértve a bioüzemanyagokat is, lehetőséget teremt az éghajlatváltozás mérséklésére az ÜHG-kibocsátás csökkentésével, ráadásul csökkenti az alacsony és közepes jövedelmű országok energiaimportjának számláját (Khan és szerzőtársai, 2010).

A bioenergia fenntarthatóságának **gazdasági szempontjai** között szerepel az alapanyagok rövid és hosszú távú jövedelmezősége, a különböző tüzelőanyagok gyártási, szállítási és disztribúciós költségei. Gazdasági szempontból a bioüzemanyagok támogatási politikájának a költséghatékonysága gyakran megkérdőjelezhető (OECD, 2008). A gazdasági tényezőket befolyásolják az állami támogatások, az energia, ezen belül a bioüzemanyag előállításához szükséges alapanyagok piaci ára, a diverzifikált energiafelhasználás iránt mutatkozó kereslet és a környezetre gyakorolt hatás (Dale és szerzőtársai, 2013). A piacszerkezet is befolyásoló tényező, mert a támogatások „elszívároghatnak” más piaci szereplőkhöz a termelőkön kívül. Ezen túlmenően a beruházási költségek és annak megtérülése, a bioüzemanyagok és egyéb mezőgazdasági termékek ára, valamint a foglalkoztatás szintén nagy jelentőséggel bírnak (Mangoyana és szerzőtársai, 2013).

A fenntartható bioenergia **társadalmi szempontjai** magukban foglalják az élelmezés- és energiabiztonságot, valamint a lakosság és az érintett régiók megélhetésének biztosítását. Ide tartozik az emberi jogok tiszteletben tartása és a hosszú távú fenntarthatósági célok teljesítése rendszeres monitoring mellett (Dale és szerzőtársai, 2013). A bioüzemanyagok társadalmi fenntarthatóságáról szóló szakirodalom a szegénység elleni küzdelemre összpontosított a világ kevésbé fejlett régióiban a bioüzemanyaggyártó vállalkozások foglalkoztatásra, jövedelemtermelésre, helyi tulajdonjogra és energiaellátásra, valamint élelmiszertermelésre gyakorolt hatásait vizsgálva (Mangoyana, 2009). Társadalmi szempontból a gyorsan növekvő bioüzemanyag előállítás az élelmiszerárakra és az élelmezésbiztonságra gyakorolt hatása a 2007/2008-as globális pénzügyi és gazdasági válság idején különösen ellentmondásos volt. Számos tanulmány elemezte a bioüzemanyaggyártás élelmiszerárakra gyakorolt hatását és a becslések széles sávban mozogtak, az alapvető élelmiszerek árainak növekedését 3-75%-kal befolyásolta. Az emberi jólét egyéb mutatóinak, mint például a bioüzemanyagok felhasználásával kapcsolatos társadalmi tőke fejlődése, a bizalom és kulturális értékek kutatása továbbra is korlátozott (Mangoyana és szerzőtársai, 2013).

A biomassa alapú erőforrások széles körű termelésének köszönhetően a biomassa alapú tüzelőanyaggyártás potenciálisan több embert foglalkoztat, mint a fosszilis tüzelőanyagok előállítása (Karthäusler és Larson, 2000). Számos országban a bioüzemanyagipar pozitívan befolyásolta a vidék gazdaságát és a mezőgazdasági kistermelőket (Rajagopal és Zilberman, 2007). A bioüzemanyaggyártás abszolút értelemben a fajlagos tőkebefektetésre vetítve munkaintenzívebb ágazat, mint a kőolajfeldolgozás. A tanúsítási rendszerek elterjedése hozzájárulhat a kisüzemi bioüzemanyaggyártás előnyeinek garantálásához (Lewandowski és Faaij, 2006). Ezenkívül a folyékony bioüzemanyaggyártás fejlesztési lehetőségeket kínál kis- és közepes méretű elektromos hálózatok kiépítésére a vidéki közösségek számára. Neuwahl és szerzőtársai (2008) általánosságban pozitív nettó foglalkoztatási hatásokat mutattak ki a mezőgazdaságban, az élelmiszeriparban és az iparban. Solomon (2008) szerint a helyi gazdasági hatás számos vidéki mezőgazdasági térségben viszonylag jelentős és pozitív lehet. A politikai döntéshozók a bioenergia kutatási, fejlesztési és felhasználási támogatásának foglalkoztatási hatását emelték ki (Dale és szerzőtársai, 2013).

A helyi gazdaságokban a bioüzemanyagok előállításának hajtóereje gyakran a munkahelyteremtés és a gazdasági növekedés, míg a környezetvédelem és az energiabiztonság „ráadásnak” tekinthető. A közvetett foglalkoztatást képviselő munkahelyeket az inputellátók (alapanyag- és technológia) és a magasabb vásárlóerő eredményezi. A bioenergiaiparban foglalkoztatottak háztartási jövedelme a jólét mutatója (Dale és szerzőtársai, 2013).

Az élelmiszernövényekből előállított bioüzemanyag élelmezésbiztonsági aggodalmat keltett. Számos tanulmány elemezte a növénytermesztést és az árak alakulását. A vizsgálatok arra a következtetésre jutottak, hogy a bioüzemanyaggyártás a kezdeti becslésekhez képest sokkal kisebb hatást gyakorol az élelmiszerárakra és az USA gabonaexportjára (Oladosu és

szerzőtársai, 2011). Továbbá az élelmiszerárak növekedése elmaradt a kőolaj globális árát követő tőzsdei nyersanyagok áremelkedésétől. A társadalmi mutatók többségét nem integrálják a biofizikai és gazdasági folyamatokba a rendszerek fenntarthatóságának holisztikus megértése érdekében, ezért a környezeti és gazdasági folyamatokba integrálható társadalmi mutatók kidolgozására van szükség (Mangoyana és szerzőtársai, 2013).

Számos nemzetközi együttműködés segíti a fenntartható bioüzemanyagok termelését és kereskedelmét. 2011-ben a fenntartható bioüzemanyagokkal foglalkozó kerekasztal (Roundtable on Sustainable Biofuels: RSB) elindította az RSB tanúsítási rendszert. A fenntarthatósági kritériumokat, valamint a biomasszára és a bioüzemanyagokra vonatkozó önkéntes vagy kötelező tanúsítási rendszert vezettek be az utóbbi időszakban, de ezek a kritériumok nem vonatkoznak a hagyományos fosszilis tüzelőanyagokra. Ha a fenntarthatósági kritériumokat kölcsönösen nem ismerik el az egyes országok globális szinten, akkor jelentős mértékben akadályozhatják a bioenergia nemzetközi kereskedelmét, ezzel együtt a fenntartható bioüzemanyag előállítás előmozdítását (van Dam és szerzőtársai 2008). Eddig még nem kezdtek tárgyalásokat a bioüzemanyagok tanúsításáról szóló kétoldalú megállapodásokról, annak ellenére, hogy ezt a lehetőséget megemlítették a Megújuló Energia Irányelvben (Renewable Energy Directive: RED) (European Union, 2015).

Az USA-ban az Energiafüggetlenségről és -Biztonságról szóló Törvény (Energy Independence and Security Act: EISA) a bioüzemanyagokra kötelező évi mennyiséget határozott meg 2022-ig annak függvényében, hogy azok az ÜHG-kibocsátást legalább 20%, 50% és 60%-kal csökkentik. Amennyiben a bioüzemanyag az ÜHG-kibocsátást legalább 50%-kal csökkenti, akkor „fejlett bioüzemanyag” kategóriába esik, az ÜHG-kibocsátás legalább 60%-os csökkentése esetében „cellulóz alapú bioüzemanyagnak” tekinthető, végül az ÜHG-kibocsátás legalább 50%-os csökkentésénél „biomassza alapú biodízel alapanyagokról” van szó. Az új létesítményekből származó bioüzemanyagnak legalább 20%-kal kell csökkennie az ÜHG-kibocsátást, hogy általános megújuló tüzelőanyagnak lehessen minősíteni. Az a bioüzemanyag, amely nem felel meg ezeknek a konkrét megbízásoknak, továbbra is beleszámíthat a megújuló üzemanyagok általános szabványába (Renewable Fuel Standard: RFS). Az utóbbi kategóriába tartozó bioüzemanyag éves mennyiségét a teljes RFS és a fejlett bioüzemanyag termelés maradványaként számolják ki, amely gyakran „nem fejlett” vagy „hagyományos” bioüzemanyagnak neveznek és főleg a kukoricából előállított etanolt foglalja magában.

Az USA-ban az RFS korlátozza az élelmiszer- és takarmánynövényekből előállítható bioüzemanyag termelését. Ezekből legfeljebb 15 milliárd gallon etanol állítható (mintegy 130 millió tonna kukorica szükséges, vagyis kukoricatermelés 35%-a), hogy ne veszélyeztesse az élelmiszer- és takarmányipar nyersanyagellátását. 2019-ben a célértéket tovább növelték: a fejlett bioüzemanyagra 4,92 milliárd gallonra, a cellulóz alapú bioüzemanyagra 418 millió gallonra, a biomassza alapú dízelre pedig 2,1 milliárd gallonra (US EPA, 2019). A Brazíliából származó cukornád alapú etanol és az Argentínából származó szójaolaj alapú biodízel jogosult a fejlett bioüzemanyag jelölésre.

A cukornádalapú bioüzemanyagokra vonatkozó kerekasztal-kezdemenyvezést (Bonsucro) 2008-ban hozták létre a fenntartható cukornádtermelés, -feldolgozás és -kereskedelem előmozdítása érdekében. A Bonsucro célja a fenntarthatósági előírások érvényesítésével a cukornádtermelés környezeti és társadalmi hatásainak csökkentése és a cukornádból készült termékek (etanol, a cukor és melasz) tanúsítása. 2009-ben Brazília új fenntarthatósági politikákat is bevezetett, beleértve a termelés övezetek kijelölését a cukornád termeléséhez. Brazília az egyetlen feltörekvő ország, amely az erdőirtás és a közvetett földhasználat változás megakadályozása érdekében kezdeményezte a cukornádra vonatkozó agro-ökológiai termelési övezetek meghatározását (ZAE Cana). A földhasználat gondos feltérképezésére és megtervezésére volt szükség annak eldöntéséhez, hogy mely területeken engedélyezik a cukornád termelését

(UNICA, 2010). A program korlátozza a fejlesztési alapok igénybevételét azon cukornádtermelő gazdaság és cukor-/etanolfeldolgozó számára, amely nem tartja be a fenntarthatósági rendeletet.

A Bonsucro által kidolgozott intézkedések az EU megújuló energiaforrásokról szóló irányelvnek való megfelelés igazolására is szolgálnak. A Bonsucro tanúsítási rendszer két tanúsítási lehetőséget tartalmaz, nevezetesen a „Bonsucro” (megfelel a Bonsucro követelményeknek) és a „Bonsucro EU”, azaz további követelményeket, amelyek szükségesek az EU RED megfeleléséhez (a RED 28/2009/EK, 30/2009/EK és a 2015/1513 irányelvben megállapított módosítások alapján). A Bonsucro két szabványt fejlesztett ki. Az egyik a „Bonsucro termelési szabvány” (Bonsucro Production Standard), amely magában foglalja a cukornád és az összes cukornádból származó termékek fenntartható előállításának kritériumait a gazdasági, társadalmi és környezeti szempontok figyelembevételével. A másik a „Bonsucro terméklánc szabvány” (Bonsucro Chain of Custody Standard), amely kiterjed az értéklánc összes fázisára az alapanyag-termeléstől kezdve a fogyasztásig bezárólag (Bonsucro, 2014). A „Bonsucro EU” rendszer tehát a cukornád alapú termékekre vonatkozik földrajzi hely szerinti megkötés nélkül. Az elismert rendszer a 2009/28/EK irányelvvel létrehozott átláthatósági platformon érhető el. A Bizottság figyelembe veszi a rendszer adatainak esetleges üzleti érzékenységet, ezért esetenként azoknak csak egy részét teszi közzé.

Az EU megújuló energiára vonatkozó politikáját a 2009-ben elfogadott éghajlat- és energiapolitikai intézkedéscsomag (Climate Change Package: CCP) határozta meg, ugyanakkor a Megújuló Energiák Irányelv (Renewable Energy Directive: RED) is ennek a csomagnak a része. Az Európa 2020 stratégia kiemelt fontosságot tulajdonított a „20/20/20” éghajlat-energiaügyi cél teljesítésének, amelyben az EU tagállamai vállalták, hogy 2020-ig uniós szinten legalább 20%-kal (kedvező feltételek esetén 30%-kal) csökkentik az ÜHG-kibocsátást, 20%-ra emelik a megújuló energiaforrások részarányát, továbbá 20%-kal növelik az energiahatékonyságot az 1990-es szinthez képest. Az egyes tagállamokra bízta, hogy a különböző megújuló források milyen kombinációjával kívánják elérni a kitűzött és kötelezően teljesítendő célokat. Azt nem határozták meg, hogy milyen legyen a megújuló energiamérleg, de az Irányelv szektorokra lebontott célokat sem tartalmaz, vagyis nem szabja meg, hogy a villamos energia vagy a hűtés és a fűtés hány százalékát kell zöldenergiából előállítani. Az egyetlen kivétel a közúti szállítási szektor, ahol minden tagállam számára egységesen 10% volt a cél, mivel az ÜHG-kibocsátás itt növekszik a leggyorsabban.

A megújuló energiaforrások részarányára vonatkozó 20%-os célkitűzés az Európai Unió egészére vonatkozott, a tagállamokra a jogszabály melléklete azonban egyedi célértékeket is megfogalmazott azok gazdasági teljesítőképessége, megújuló energia potenciálja és kiotói vállalásainak figyelembevételével. A nemzeti célkitűzések jelentős mértékben eltértek az egyes tagállamok között. A célkitűzés jogilag kötelező jellege nyilvánvalóan azt eredményezi, hogy amennyiben egy tagállam nem teljesíti a célértéket, úgy az Európai Bizottság jogsértési eljárást kezdeményezhet ellene. Mivel a cél megvalósulásának tényével azonban csak 2020-ban szembesülhettünk, az utólagos jogsértési eljárás nem tekinthető hatékony megoldásnak.

Az EU megújuló energiára vonatkozó célkitűzései elvben hasonlóak az USA megújuló energiaforrásokra vonatkozó szabványaihoz, ahol a legtöbb állam kötelező vagy nem kötelező érvényű szabványokkal rendelkezik. A RED-ben a fenntarthatósági követelményeket a hagyományos folyékony bioüzemanyagokra is meghatározzák. A bioüzemanyagok nem állíthatók elő a biológiai sokféleség szempontjából nagy értéket képviselő földterületeken (elsődleges erdő és egyéb erdős terület, nagy biodiverzitású gyepterület és természetvédelmi célokra kijelölt terület), valamint magas szénkészlettel rendelkező területeken (vizes élőhely, tőzegláp és összefüggő erdőterület). Ezen kívül az üzemanyag minőségéről szóló irányelv (Fuel

Quality Directive: FQD) előírja, hogy az üzemanyaggyártók 2020-ig kötelesek 6%-kal csökkenteni a közlekedési üzemanyagok ÜHG-kibocsátás intenzitását. Az FQD és a RED együtt a bioüzemanyagok fenntarthatóságát is szabályozza (European Commission, 2009a; European Commission, 2009b).

Searchinger és szerzőtársai (2019) bevezették a földhasználat közvetett megváltozásának (Indirect Land Use Change: ILUC) fogalmát. Ennek lényege, hogy egy természetes földterület mezőgazdasági művelésbe történő bevonása CO₂ többletkibocsátással jár. A népesség növekedésének köszönhetően bővül az élelmiszerek és a bioüzemanyagok iránti igény, ezzel együtt a mezőgazdasági művelésbe bevont területek nagysága is. A művelés alá vett területek általában magas kötöttszén-készletekkel rendelkeznek, ami a mezőgazdasági művelés megkezdése után folyamatosan csökken. Ez a jelenség vezet a járulékos CO₂-kibocsátáshoz. Ennek megfelelően az ILUC hatásának becslésére számos modell született.

Mindkét irányelvet (RED, FQD) 2015-ben módosították a közvetett földhasználat változás (ILUC) irányelvvel, ennek értelmében az élelmiszer- és takarmánynövényekből előállítható bioüzemanyag termelésére 7%-os felső határt vezettek be. A közlekedési ágazatra vonatkozó megújuló energiaforrások célértéke 10%, de ebből maximum 7% fedezhető élelmiszer- és takarmány-növényekből készített bioüzemanyagból. Továbbá a tagállamokra 0,5%-os célérték került bevezetésre (nem kötelező jelleggel) a nem élelmezési célú alapanyagokból előállított fejlett bioüzemanyagra. Olaszország volt az első EU-tagállam, amely célértéket határozott meg a fejlett bioüzemanyagok előállítására (2018-ban 0,1%, 2019-ben 0,2% és 2020-ban 1%). Mivel a hulladékból, maradékanyagokból (pl. állati zsír, használt étolaj) előállított bioüzemanyagok energiatartalmát kétszeresen, a közúti járművek által felhasznált megújuló energiaforrásból származó villamos energiát 2,5-szeresen kell figyelembe venni, a 7%-os felső határ bevezetése nem befolyásolta az élelmiszernövényből készült bioüzemanyagok előállítását.

Kizárólag a RED-ben megállapított fenntarthatósági kritériumoknak megfelelő bioüzemanyag számít bele a 10%-os célkitűzésbe. Az Európai Unió a közlekedési ágazatban a bioüzemanyagok, illetve más megújuló üzemanyagok használatának előmozdításáról szóló 2003. május 8-i 2003/30/EK európai parlamenti és tanácsi irányelvvel (a továbbiakban 2003/30/EK irányelv), valamint a megújuló energiaforrásból előállított energia támogatásáról, a 2001/77/EK és a 2003/30/EK irányelv módosításáról és azt követő hatályon kívül helyezéséről szóló 2009. április 23-i 2009/28/EK európai parlamenti és tanácsi irányelvvel világviszonylatban is egyedülálló színvonalú, a tagállamokra kötelező fenntarthatósági rendszert vezetett be. A biomassza előállításnak mind az EU-ban, mind pedig a harmadik országokban termesztett nyersanyagok esetén fenntarthatónak kell lennie. Ezért a direktíva úgynevezett fenntarthatósági kritériumokat is megfogalmaz annak érdekében, hogy a természetvédelmi területeket és értékes erdőket megóvja, illetve, hogy ne az ÜHG-kibocsátás növelését előidéző alapanyagok termelését ösztönözze.

A bioüzemanyagok csak abban az esetben számítanak bele a kötelezettségek teljesítésébe és csak akkor támogathatók 2011 óta (a 2008 előtt beüzemelt gyárak esetében 2013-tól), ha előállításuk és felhasználásuk a fosszilis energiahordozókéhoz képest legalább 35%-kal csökkenti az ÜHG-kibocsátást. Az ÜHG-kibocsátást 2015 után már 50%-kal kellett csökkenteni. 2018 óta 60%-ra emelkedett az ÜHG-kibocsátás kötelező csökkentése a 2015. október 5 után üzembe helyezett gyárak esetében (a korábban üzembe helyezett gyárak számára 50% az előírás). A nyersanyagok előállítására is fenntarthatósági kritériumokat határoztak meg, beleértve a földhasználat változásából eredő ÜHG-kibocsátás változását is. Összességében a termesztésből, feldolgozásból és szállításból származó ÜHG-kibocsátást veszik figyelembe. Sőt, szociális (munkavédelmi) kritériumokat is előírtak, ami az exportőr országok (pl.: Brazília) számára nehezíti meg a bioüzemanyag kivitelét az EU-ba. Meghatározták továbbá, hogy az összes bioüzemanyag egyre nagyobb hányada (konkrét mérték nélkül) az ún. második

generációs bioüzemanyag legyen, amelyek energiatartalmát kétszeresen számítják be a tagállami kötelezettségekbe (European Union, 2015; European Commission, 2019d).

2017 februárjában megjelent a RED felülvizsgálatának (REDII) javaslata, amely 2030 után 3,8%-ra tervezte csökkenteni az élelmiszer- és takarmánynövényekből előállított bioüzemanyag bekeverési arányát (European Commission, 2017c). Az EU-ban a bioüzemanyag előállító vállalatok tiltakoztak a Bizottság javaslata ellen, mivel az szerintük a tudományos tényekkel és gazdasági racionalitással egyaránt szembe megy. A felülvizsgálat keretében a Bizottság végül is azt határozta meg, hogy a mai viszonyokhoz képest 2030 után milyen energiaellátási szerkezetet tervez az EU-ban a klímavédelmi vállalások teljesítése és új munkahelyek teremtése érdekében. A hatályos szabályozás felülvizsgálata arról szól, hogy az első generációs bioüzemanyagokkal szemben a fejlettebb generációs bioüzemanyagokat részesítik előnyben. A fejlettebb generációstechnológiát nem az első generációs technológia rovására, hanem annak kiegészítéseként indokolt elterjeszteni.

A RED II ambíciózus célokat tűzött ki a cellulóz alapanyagból előállított bioüzemanyagokra, de ezeknek a fejlett bioüzemanyagoknak a piaci bevezetése eddig korlátozott volt (1%). A RED II fenntarthatósági kritériumai 2023-ig a 2019. évi szinten befagyasztották a magas kockázatú ILUC területeken (ahol a közelmúltban erdőirtás történt vagy a gyepterületeket szántóterületként hasznosítják) előállított pálmaolajból készült biodízel felhasználásának beszámítását a célérték teljesítésében, sőt 2030-ig fokozatosan nullára csökkentik ezt a lehetőséget. Az ILUC pálmaolaj vagy abból készült biodízel behozatala az EU-ba tehát továbbra is lehetséges, de az nem számítható be a RED II célkitűzéseinek teljesítéséhez. A biodízelgyártásban tehát a pálmaolaj alacsony ILUC-kockázatú alapanyagként való felhasználása tanúsítást igényel. Ez befolyásolja a pálmaolaj és ezzel együtt egyes szójatermékek (helyettesítő termék) iránti kereslet alakulását. Az elektromos autók növekvő részesedése csökkentheti az összes folyékony üzemanyagfogyasztást, ezzel párhuzamosan a bioüzemanyag felhasználást is (European Commission, 2019d; OECD/FAO 2019).

2019-ben a Bizottság felhatalmazáson alapuló jogi aktust fogadott el a magas és alacsony ILUC-kockázatú bioüzemanyagokról annak érdekében, hogy előmozdítsa a fejlett bioüzemanyagok és más alacsony ÜHG-kibocsátású üzemanyagok (megújuló villamos energia, nem biológiai alapú folyékony és gáznemű közlekedési üzemanyagok) termelését. A fejlett bioüzemanyagok nagyon kis piaci részesedéssel rendelkeznek (1%) az EU-ban, de jelentős a termelésnövelés lehetősége. A REDII azt is megállapítja, hogy tudományos értékelésre van szükség a fejlett bioüzemanyagok alapanyagbázisának kibővítéséhez (European Commission, 2019d).

A *RED II előírja*, hogy 2030-ban a tagállamokban együttesen az EU teljes bruttó energiafogyasztásának legalább 32%-át megújuló energia képezze. A Bizottság e célkitűzés értékelése alapján 2023-ig jogalkotási javaslatot terjeszt elő annak esetleges növelése céljából a termelési költségek, az uniós energiafogyasztás és az ÜHG-kibocsátásra vonatkozó nemzetközi kötelezettségteljesítés alakulásának függvényében. A közlekedési szektorra 14%-os célértéket határoztak meg (a RED I 10%-os célértékével szemben). 2030-ra az élelmiszer- és takarmánynövényekből előállítható bioüzemanyag termelésére bevezetett 7%-os felső határ érvényben marad (eredeti javaslat a 7% felső határ 3,8%-ra való csökkentése volt), vagyis a 14%-os célérték fele teljesíthető élelmiszer célú növényekből. Ugyanakkor a 14%-os célértéken belül 3,5%-os részarányt kell elérni a fejlett bioüzemanyagoknak, de ezen bioüzemanyagok energiatartalmát kétszeresen veszik figyelembe. A lignocellulóz alapú bioüzemanyag (bioetanol) célértéke legalább 1,75% (kalkulált energiatartalom 3,5%), a hulladékból (használt étolaj és állati zsírok) előállított bioüzemanyag (biodízel) célértéke pedig legalább 1,7% (kalkulált energiatartalom 3,4%). Ez azt jelenti, hogy a fejlett bioüzemanyag tényleges részaránya 3,5% lesz a kalkulált 7% helyett. A zöld áram a közúti közlekedésben 4,0-szeresen,

a vasúti közlekedésben 1,2-szeresen számolható el. További követelmény, hogy a 2021. január 1 után üzembe helyezett bioüzemanyaggyárak esetében 65%-ra emelkedett az ÜHG-kibocsátás kötelező csökkentése. 2018 óta a 2015. október 5 után üzembe helyezett gyárakra 60% vonatkozik (European Commission, 2018c).

Az EU tagállamai arra kötelezték a bioüzemanyag szolgáltatókat, hogy a bioüzemanyaggyártók az érintett tüzelőanyag életciklusa alatt elért ÜHG-kibocsátást akár 10%-kal (kötelezően 6%-kal) csökkentsék a 2010. évi alapértékhez képest. Az EU célja, hogy 2050-ig a közlekedés ÜHG kibocsátása 60%-kal csökkenjen az 1990-es szinthez viszonyítva. Időközben az EU a nettó nulla ÜHG-kibocsátás célértéket határozott meg 2050-re, vagyis tovább szigorította az ÜHG kibocsátására vonatkozó célokat, ráadásul a közlekedés ÜHG kibocsátása továbbra is folyamatosan nő (van Grinsven és Kampman, 2015).

Egyes tagállamok teljes mértékben átültették az ILUC-irányelvet (bioüzemanyag-előállítás okozta közvetett földhasználat-változás) és 2020-ig 0,5% célértéket határoztak meg a fejlett bioüzemanyagokra, míg más tagállamok 0,5%-ot meghaladó vagy annál alacsonyabb célkitűzést írtak elő. Magyarország, Svédország és az Egyesült Királyság nem állapított meg célértéket a fejlett bioüzemanyagokra. Az üzemanyag minőségéről szóló irányelv (FQD) az EU valamennyi tagállamában megvalósult. Büntetést szabhatnak ki, ha a bioüzemanyaggyártók nem teljesítik kötelezettségüket, de Lettországon és Dániában nincs érvényben büntetőrendszer (ePure, 2018).

Ha a bioüzemanyagok átlagos ÜHG kibocsátásának intenzitása az ILUC irányelv hatására csökken, az FQD célkitűzés elméletileg könnyebben teljesíthető is. Az EU tagállamai vállalták, hogy 2020-ig uniós szinten 20%-kal csökkentik az 1990-es szinthez képest az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását, továbbá 20%-ra növelik a megújuló energiaforrások részarányát. A megújuló energiákra vonatkozó uniós irányelv (Renewable Energy Directive: RED) előírta, hogy 2020-ra az EU-ban el kell érni a 10%-os megújuló energia részarányt a közlekedési szektorban. Az Európai Bizottság nem változtatta meg a közlekedésben a megújuló energiaforrások 2020-ig elérendő (10%-os) részarányát a teljesítésben, de ebből a 10%-ból maximum 7% fedezhető élelmiszer- és takarmánynövényekből készített bioüzemanyagból (European Commission, 2017b). Ennek segítségével tehát az EU-ban is korlátozzák az élelmisznövényekből (főleg gabonából, cukorrépából és olajnövényekből) előállított bioüzemanyag mennyiségét. Az előzetes kalkulációk alapján az EU és tagállamai 20%-ra növelték a megújuló energiaforrások részarányát, ezen belül 10%-ra a közlekedési szektorban. Ehhez hozzájárult az is, hogy 2020-ban a COVID-19 hatására visszaesett a globális energiafogyasztás.

A RED elfogadása óta több mezőgazdasági földterületet vontak ki a termelésből, mint amennyi területre szükség lenne az EU-ban az összes bioüzemanyag előállításához. Az élelmezési célú alapanyagokból előállított első generációs bioüzemanyagok hatása a földhasználat változásra alacsonyabb, ha figyelembe vesszük a bioüzemanyaggyártás melléktermékeit, elsősorban a fehérjetakarmányt, mert így csökken a nettó földhasználat (Langeveld és szerzőtársai, 2014). A bioüzemanyagipar alapanyagainak termesztése potenciálisan negatív környezeti hatást eredményezhet, amely helyspecifikus és az alkalmazott mezőgazdasági gyakorlattól függ, de sem a helyspecifikus adatok, sem pedig a bioüzemanyag előállításához felhasznált alapanyagok termesztésének helyi környezeti hatásaival kapcsolatos adatok nem állnak rendelkezésre. A bioüzemanyagipar által felhasznált alapanyagok a teljes mezőgazdasági tevékenység kis hányadát teszik ki, ezért az ehhez kapcsolódó környezeti hatások jelentéktelenek (European Commission, 2019d).

Az EU célkitűzése, hogy a bioüzemanyagokhoz kapcsolódó termelési és ellátási lánc egésze fenntartható legyen, ezért vezette be a világon a legszigorúbb fenntarthatósági előírásokat. A

Bizottság által elismert rendszerek biztosítják e szigorú előírások betartását. Az állami támogatás megszerzéséhez vagy a megújuló energiaforrásokra vonatkozó nemzeti célkitűzésekbe való beszámításhoz az EU-ban használt bioüzemanyagoknak – helyileg előállított vagy importált üzemanyagok – meg kell felelniük a fenntarthatósági kritériumoknak. Az EU néhány tagállama nemzeti önkéntes rendszert hozott létre, míg más tagállamok az Európai Bizottság által elfogadott önkéntes rendszerekre támaszkodnak. A fenntarthatósági kritériumok sikeresen csökkentik a bioüzemanyagokhoz kapcsolódó közvetlen környezeti hatások kockázatát, függetlenül attól, hogy azokat az EU-ban állítják elő, vagy harmadik országokból importálják-e. Az önkéntes rendszerek váltak a fő eszközzé az EU bioüzemanyag-fenntarthatósági kritériumainak való megfelelés bizonyítására. A bioüzemanyagok fenntarthatóságáról meg kell bizonyosodni a tagállamok által végzett ellenőrzések vagy az Európai Bizottság által elfogadott önkéntes rendszerek segítségével. 2019-ben az EU-ban már több mint egy tucat önkéntes rendszert ismertek el a RED I fenntarthatósági kritériumainak való megfeleléséhez (European Commission, 2019d).

A szóban forgó rendszerek keretében ellenőrzik, hogy a bioüzemanyagokat hol és hogyan állították elő. Ha egy termék esetében teljesülnek az önkéntes rendszer szabályai, a termék a rendszer keretében tanúsítványt kaphat. A Bizottság által elvégzett aprólékos értékelés után az alábbi fő rendszerek részesültek elismerésben: Nemzetközi Fenntarthatósági és Szén-dioxid-kibocsátási Tanúsítvány (International Sustainability Carbon Certification: ISCC) államilag finanszírozott német rendszer (valamennyi bioüzemanyag-típusra kiterjed), Bonsucro EU (a cukornádalapú bioüzemanyagokra vonatkozó kerekasztal-kezdemenyezés, amely Brazíliára helyezi a hangsúlyt) RTRS EU RED (a szójaalapú bioüzemanyagokra vonatkozó kerekasztal-kezdemenyezés, amely Brazíliára és Argentínára helyezi a hangsúlyt) RSB EU RED (valamennyi bioüzemanyag-típusra kiterjedő kerekasztal-kezdemenyezés) Biomass Biofuel Sustainability voluntary scheme (2BSvs) (biomasszára és bioüzemanyagra vonatkozó önkéntes fenntarthatósági rendszer) RSBA (az Abengoa spanyol feldolgozó ellátási láncát lefedő ipari rendszer) Greenergy (a Greenergy brit társaság rendszere, amely a Brazíliából származó cukornádból előállított etanolra vonatkozik). A RED II további szigorítást is magában foglal a fenntarthatóság vonatkozásában (European Commission, 2019d).

Kilátások

Az élelmiszerválság elsődleges oka a kereslet növekedése és a kínálat fluktuációja, mivel az élelmiszer iránti kereslet jövedelem-rugalmassága csekély, de termékenként változik. A kínálati oldalon az időjárási tényezők (vízhiány, áradás) ellátási zavarokhoz vezethetnek. Az élelmiszer kínálatának változását elsősorban a szélsőséges időjárás (vízhiány, árvíz, belvíz stb.) alakulása határozza meg. A spekuláció fontos szerepet tölt be a piaci likviditás szempontjából, ugyanakkor növelheti az árak volatilitását is. Ugyanakkor növekvő olajáraknál egyre inkább előtérbe került az energiabiztonság kérdése, ami a bioüzemanyaggyártás további növelését eredményezte. A bioüzemanyaggyártás világszerte egyelőre a nemzeti energiapolitikáknak megfelelően elsősorban a belső piac igényeit elégíti ki, ennek ellenére az utóbbi évtizedben megfigyelhető volt a külföldi befektetések növekedése is. A világ két legnagyobb bioüzemanyagpiaca az USA és Brazília, a nemzetközi beruházások fő kedvezményezettjei pedig Brazília és Európa. Brazília azért vonzó befektetői célpont, mert bőséges nyersanyaggal és feldolgozóipari kapacitással, valamint potenciális exportpiaccal rendelkezik. Az USA és Brazília komoly nettó exportőr a bioüzemanyagipar által felhasznált nyersanyagokból, ezzel szemben az EU a világ első számú biodízelgyártója, pedig nettó importőr olajnövényekből és növényolajból.

Globális szempontból aligha lehet szó komoly konfliktusról az élelmiszer- és energiatermelés között. Brazíliában ma a szántóterület 2,5%-án állítanak elő cukornádat, annak mintegy 55%-ából etanolt. Így az etanoltermelés területlekötése a szántó alig 1,5%-át teszi ki. Az USA-ban a

2022 évi kötelező bioenergiafelhasználás kötelezettségének teljesítése a szántóterület 15%-át veszi igénybe. Ugyanez vonatkozik az EU-ra is 2020-ra, ha a felhasznált bioüzemanyag 30%-a importból származik. A globális biodízelgyártásban továbbra is a repce és szója lesz a meghatározó nyersanyag. Európa, Észak- és Dél-Amerika maradnak a biodízelgyártás vezető régiói, ugyanis a világ fő repce- és szójatermelő országairól van szó. A növekvő biodízelgyártás több szójaolajat igényel, ugyanakkor Európában a növényolaj kínálata egyre korlátozottabb lesz. Európa marad a növényolaj/olajnövény fő importőre. Az alternatív nyersanyagok, mint a jatropha és a manioka jelentősége nő, különösen a nyersanyagellátási problémával küszködő Kínában és Indiában.

Brazília és az USA bioüzemanyag-előállításának szabályozását ambiciózus célkitűzések jellemzik. Brazília az egyetlen ország, ahol víztartalmú (hydrous) és tiszta (anhydrous) etanolt használnak. Az USA az egyetlen ország a világon, ahol a második és harmadik generációs üzemanyagokra is meghatároztak célértéket (térfogatra vonatkoztatva). Ezzel szemben az EU-ban a megújuló energiaforrások irányelve szigorú környezetvédelmi és fenntarthatósági feltételeket ír elő a bioüzemanyag-gyártásra (elsősorban a nyersanyagok fenntartható termelésére és az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére). Az EU az egyetlen országcsoporthat a világon, ahol az ÜHG-kibocsátás csökkentésére célértéket határoztak meg.

Mivel a tagállamok eltérő potenciállal rendelkeznek a megújuló energiaforrások terén, az Európai Bizottság önkéntes alapon engedélyezi a megújuló energiák uniós kereskedelmét. Ez egyrészt lehetővé teszi az ilyen energiaforrásokban szegény tagországoknak, hogy olyan más tagállamokban finanszírozzanak beruházásokat, ahol a zöldenergia előállításának a költségei a legalacsonyabbak. Cserébe saját teljesítésükbe számíthatják bele az így előállított „zöld” energiát. A kereskedelem egy másik formája lehet, ha a cégek egy másik országban vásárolhatnak zöldigazolványokat (úgynevezett eredetgaranciát), ha a piaci kínálatot nyújtó tagország már elérte/túllépte a számára előírt célt. Európán kívüli uniós beruházásból származó „zöld” energia is elszámolható lesz, amennyiben a szóban forgó ország is az Unióhoz hasonló standardokkal rendelkezik. A 2020. évi nemzeti célkitűzéseket nem teljesítő tagországokat szankcionálják az elfogadott pénzügyi bírságok rendszere alapján. Az ezekből származó pénz egy olyan alapba fog befolyjni, amiből azokat a tagországokat jutalmazták, amelyek eleget tesznek a nemzeti célkitűzéseknek.

A második generációs technológia piaci bevezetésére még várni kell. Továbbá ma is korlátozott még a cellulóزالapú nyersanyagok felhasználása a bioetanolgyártásban, valamint az állati zsírok és használt sütőolaj szerepe a biodízelgyártásban. Megfelelő szabályozás és fenntarthatósági kritériumrendszer lehetővé teszi, hogy a bioüzemanyagok hozzájáruljanak a fenntartható fejlődéshez.

A rendelkezésre álló növényi biomassa igen sokrétű, különböző módon dolgozható fel. A hasznosítás területén a technológiák által nyújtott lehetőségek sora egyre kifinomultabb eszközökkel folyamatosan gyarapodik. Ehhez hozzájárult a természettudomány és a biotechnológia fejlődése, mert ezek segítségével létrehozott környezetkímélő technológiák a hatékonyabb élelmiszertermelés mellett új termékek előállítását is lehetővé tették. Jelenleg a „zöld kémia” iparágban az eltüzelés, a pirolizálás, a biogáz-, bioetanol- és a biodízel előállítás területe érdemel említést. De a növényi biomassa ma az energetikai felhasználás mellett különböző biomassa alapú kémiai alapanyagok előállítására is alkalmas.

Az EU-ban a bioüzemanyagipar elsősorban Dél-Amerikával és Észak-Amerikával versenyez. Közel két évtizede húzódtak már a szabadkereskedelmi tárgyalások az Európai Unió és Dél-Amerika (Mercosour országok) között, míg 2019-ben az EU négy Mercosour tagországgal (Argentína, Brazília, Paraguay and Uruguay) aláírta a szabadkereskedelmi megállapodást. Ez kihívásokat jelent az EU számára, mert a dél-amerikai piac legfontosabb termékei többek között

az etanol (Brazília) és biodízel (Argentína) a cukor, az izocukor, a méz, valamint a szarvasmarha- és baromfihús mellett.

Az EU direktíva kötelezővé tette, hogy 2020-ra a 10 térfogat %-ot érje el a megújuló energia a közlekedési szektorban, beleértve a bioüzemanyagot, a biogáz üzemű és elektromos autót, vonatot vagy a hibrid autót. Ez az arány az EU-ban 2018-ban 8,0% volt, beleértve a biodízelgyártás alapanyagául szolgáló használt étolajat és állati zsírokat is. Az előzetes adatok alapján a 10%-os arány teljesítése nem okozott gondot. Ehhez az is hozzájárult, hogy a Covid-19 járvány hatására drasztikusan csökkent az fosszilis eredetű üzemanyagfogyasztás, de nőtt a megújuló energia felhasználása a nap-, szél- és vízenergia előállítás bővülésének köszönhetően.

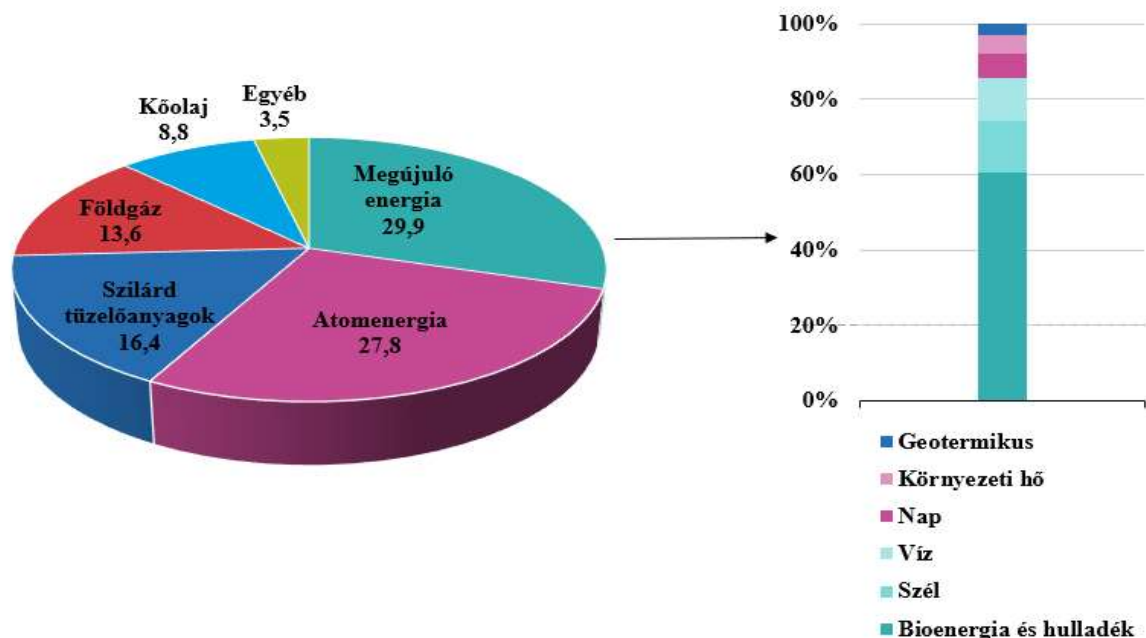
A megújuló energia előretörése bizonyos problémákat is támasztott az ellátásbiztonság szempontjából. A fejlett gazdaságokban az áramszünetek egyik fő oka, hogy a rendszer nem mindig képes kezelni az energiaáramlás hirtelen változásait, de számos egyéb hálózati probléma is felléphet. A jelenlegi helyzetben az alacsony fogyasztás bővülő nap- és szélenergia-termeléssel párosul, ezáltal az időjárásfüggő megújuló energia aránya megnőtt a villamosenergia-termelésben, ami nagyobb rugalmasságot követel meg a rendszertől az energiaellátás fenntartása érdekében. Ugyanakkor a rendszer elérhető rugalmassága korlátozott, részben a keresleti oldalon a szabályozásban részt venni képes ipari üzemek jelentős részének leállítása miatt, miközben az alacsony áramárak miatt a kínálati oldalon leszabályozható erőművek száma is csökkent. Ahogyan az energiaipar pénzügyi kihívásai fokozódnak, a leállított szabályozási kapacitás újraindításának költsége jelentős energiabiztonsági aggálllyá válhat, amint a gazdaság és a villamosenergia-fogyasztás ismét növekedésnek indul. A nagy gazdaságok villamosenergia-rendszerei eddig megbízhatóan teljesítettek, de a továbbiakban is a rendszerüzemeltetők, szabályozók és kormányok folyamatos éberségére van szükség (IEA, 2020a).

A Covid-19 válság a zöld energia további térhódítását is befolyásolja. A globális CO₂-kibocsátás ugyan abszolút értékben 2020-ban visszaesett, de az emisszió csökkenése átmeneti jelenség. A korábbi gazdasági válságok után megugrott az ÜHG-kibocsátás, sőt az emisszió legnagyobb éves növekedésére pedig éppen a legutóbbi 2008-as gazdasági világválságot követően, 2010-ben került sor (IEA, 2020a). A villamosenergia ágazatban is visszaesett a kereslet 2020-ban a gyárak, az irodaházak, s szállodák és üzletek villamos energia fogyasztása természetesen csökkent, ugyanakkor a háztartások fogyasztása emelkedett. Az energiahordozók piacán az árak csökkentek, legalábbis rövid távon. A fosszilis tüzelőanyagok iránt mutatkozó kereslet óriási visszaesésével szemben a megújuló energiaforrások termelését nem vagy alig befolyásolta a koronavírus-járvány (IEA, 2020b).

5.2.3. A primer energiatermelés alakulása az EU-ban

Az EU-28 tagállamaiban a **primer energiatermelés** összesen 758,2 millió tonna kőolajegyenérték (toe) volt 2017-ben, 12,1%-kal kevesebb, mint egy évtizeddel korábban. Az uniós tagállamok közül 2017-ben Franciaország járt az élen a primer energiatermelésben, 17,4% volt a részesedése az EU-28 össztermeléséből; a rangsorban az Egyesült Királyság (15,6%) és Németország (15,3%) követte. Az EU tagállamok felében bővült a primer energia-termelése az elmúlt évtizedben, a legnagyobb mértékben Olaszországban, Spanyolországban, Svédországban emelkedett. Ezzel szemben az Egyesült Királyságban és Dániában csökkent a termelés (Eurostat, 2020b). Az EU-28 tagállamaiban a primer energiatermelés 2017-ben különböző energiaforrás között oszlott meg, amelyek közül részarányát tekintve a legfontosabb a megújuló energia (29,9%) volt, amit a nukleáris energia (27,8%) követett. A nukleáris energia különösen Franciaországban jelentős, ahol részesedése elérte a 82,5%-ot, majd Belgium 65,0% és Szlovákia 62,6% következett. A többi tagállamban az atomenergia az össztermelés felét sem

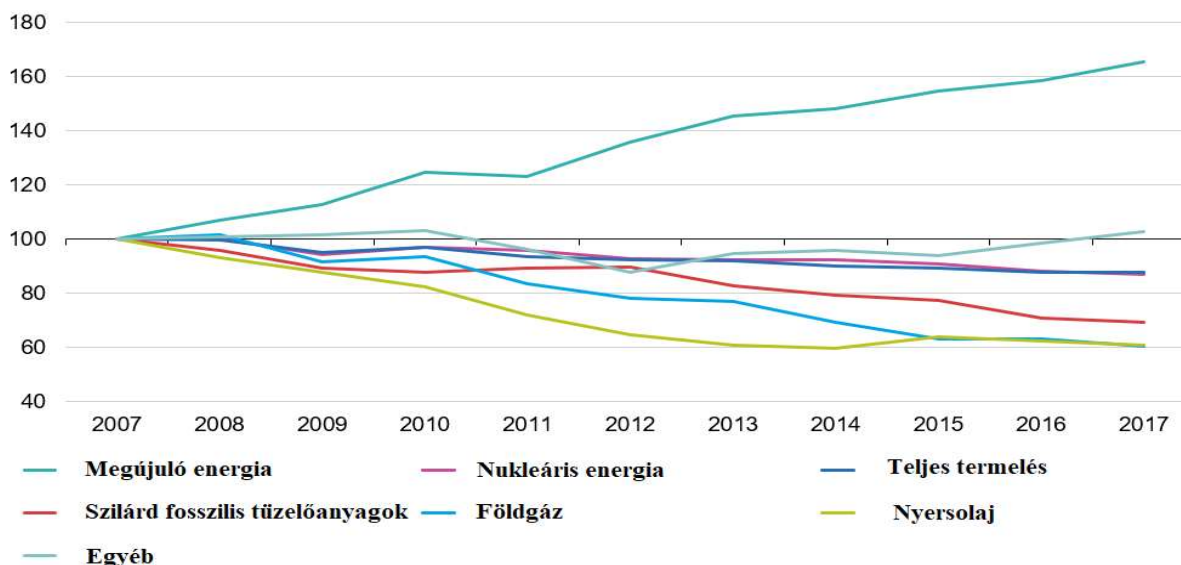
tette ki, sőt 14 tagállam egyáltalán nem állít(ott) elő atomenergiát. A német kormány 2022-re az összes atomreaktor bezárását tervezi. A primer energiatermelésének 29,9%-a megújuló energiaforrásokból származott, ennek több mint 75%-át a biomassza és hulladék, valamint vízenergia tette ki. A szilárd tüzelőanyagok részaránya 16,4%-ot (nagy részt szén), a földgázé 13,6%, a kőolajé 8,8% és az egyéb 3,4% volt (29. ábra).



29. ábra: Primer energiatermelés az EU-28-ban (2017, toe %)

Forrás: Eurostat (2020e)

A megújuló energiaforrásokból származó elsődleges termelés 2007-2017 közötti 65,6%-kal nőtt, a többi primerenergia-forrás termelési szintje visszaesett, ezen belül a kőolajé 38,9%-kal, a földgázé 39,4%-kal, a szilárd tüzelőanyagoké 30,5%-kal és a nukleáris energiáé 12,8%-kal (30. ábra).



30. ábra: A primer energiatermelés alakulása energiaforrások szerint az EU-28-ban 2007-2017 között, toe alapján (2007=100%)

Forrás: Eurostat (2020e)

Az EU primer energiaellátásának biztonsága veszélybe kerülhet, ha az import nagy hányada viszonylag kevés partner között koncentrálódik. 2017-ben az EU-28 földgázbehozatalának háromnegyede (74,6%) Oroszországból, Norvégiából és Algériából származott. Ehhez hasonló képet mutat a szénimport is, mert annak csaknem háromnegyede (72,7%) három országból, nevezetesen Oroszországból, Kolumbiából és az Egyesült Államokból érkezett az EU-ba. A kőolajimport kevésbé koncentrálódott a fő szállítók körében, mert Oroszország, Norvégia és Irak szállította az import csaknem felét (49,9%) (Eurostat, 2020e).

Az EU-28 energiaimportja 2017-ben 948 Mtoe-rel haladta meg az exportot. 2007-ben Dánia volt az egyetlen nettó energiaexportőr az EU-tagállamok között, de 2013-ra Dánia is nettó energiaimportőr tagország lett a többi uniós tagország mellett. 2017-ben a legnagyobb nettó energiaimportőr tagország Németország, Olaszország, Franciaország és Spanyolország volt. A lakosság számához viszonyítva a vezető nettó importőr tagországok Luxemburg, Málta és Belgium voltak. Az EU-28 energiaimporttól való függősége a bruttó energiafogyasztásra vetítve az 1990. évi mintegy 44%-ról 2007-ig 52,9%-ra, 2017-ig pedig 55,1%-ra nőtt. 2004 óta az EU-28 nettó energiaimportja meghaladta a primer energiatermelését, vagyis az EU-28 bruttó energiakínálatának több mint felét a nettó import fedezi, az energiafüggőségi ráta (a nettó energiaimport %-os aránya a bruttó energiafelhasználásban, tonnában kifejezett olajegyenérték alapján) pedig meghaladja az 50,0%-ot. Az energiafüggőség aránya a kőolaj (86,7%), a földgáz (74,3%) és a szilárd tüzelőanyag (43,9%) esetében volt a legmagasabb (Eurostat, 2020e).

Az Európai Unió primer energia ellátásának biztonságát fenyegeti, ha az import jelentős része viszonylag kevés exportőr kezében összpontosul. 2017-ben az EU-28 földgázimportjának csaknem háromnegyede (74,6%) Oroszországból, Norvégiából vagy Algériából származott. Ehhez hasonló volt a helyzet a feketeszen behozatalával, mert annak közel kétharmada (72,7%-a) Oroszországból, Kolumbiából és az Egyesült Államokból érkezett. Ugyanakkor a nyersolajimport kevésbé koncentrálódott, ugyanis az Oroszországból, Norvégiából és Irakból származó behozatal az összes import alig felét (49,9%) tette ki (Eurostat, 2020e).

A 2009 januári orosz-ukrán gázválságra reagálva az EU felülvizsgálta az ellátás biztonságával kapcsolatos jogi keretet, 2009 szeptemberében pedig az Európai Unió Tanácsa elfogadta a tagállamok minimális kőolaj- és/vagy kőolajtermék-készletezési kötelezettségéről szóló 2009/119/EC irányelvet. A kőolaj- és földgázpiacot érintő intézkedés célja az ellátás esetleges zavaraiából eredő következmények megelőzése és enyhítése. A 2005 októberében létrehozott Energiaközösség útján kezdeményezés a szomszédos tagországokat integrálja a belső piac energiaellátásába. A felhasznált energiaforrások sokfélesége és a szállítók, szállítási útvonalak és szállítási mechanizmusok változatossága egyaránt fontos szerepet játszhat a biztonságos energiaellátásban. A szállító, a tranzit- és a fogyasztó országokkal fennálló stabil partnerkapcsolat kialakítása lehet az EU-ban az energiafüggőség csökkentésének egyik módja, ezért az Európai Unió energiafüggőségének csökkenése érdekében 2011-ben elfogadásra került az „Uniós energiapolitika: partnerkapcsolatok fenntartása határainkon túl” című Bizottsági javaslat (COM(2011)0539) (European Commission, 2011b). 2014 májusában elfogadásra került az „**Európai energiabiztonsági stratégia**” a stabil energiaellátás biztosítása érdekében (COM(2014)330) (European Commission, 2014a).

Az Unió energiabiztonsági stratégiája azonban elválaszthatatlan az éghajlatváltozással kapcsolatos energiapolitikától. Ennek keretében a megújuló belföldi erőforrások kiaknázása és a versenyképes, karbonszegény gazdaságra való átállás, valamint a fajlagos energiafelhasználás mérséklése segítségével csökkenthető az importált fosszilis tüzelőanyagok fogyasztása. Az iparág jövője nagymértékben függ a technikai fejlődés sebességétől és a bioüzemanyagok környezeti és társadalmi hatását vizsgáló kutatások eredményétől. Egyes előrejelzések szerint a jövőben a közúti közlekedés energiaigényének jelentős részét nem az ásványolaj- vagy a biomassza-alapú hajtóanyagok fogják kielégíteni, hanem a leginkább környezetbarátnak

tekintett hidrogéncellák, illetve elektromos akkumulátorok, amelyek töltéséhez az áramot részben víz-, nap-, szél- és árapály erőművekkel állítják elő. E fejlett rendszerek azonban technológiailag még nem kiforrottak, így egyelőre a bioüzemanyagoknak van a gyakorlatban létjogosultsága.

5.2.4. A megújuló energia szerepe az EU-ban

A 2015. december 12-én elfogadott párizsi megállapodás kötelezettségvállalást jelent a fosszilis energiahordozók arányának mérséklésére, a CO₂-kibocsátás csökkentésére és a globális felmelegedés emelkedését legfeljebb 2°C, de lehetőség szerint 1,5°C alatt tartására (COP21, 2016). Az egyéb megújuló energia termelése (szél-, nap-, víz-, geotermikus-energia, bioüzemanyagok stb.) világszerte gyorsabb ütemben bővül, mint a biomasszára alapozott bioenergia előállítása. A megújuló energiaforrásokon belül az egyéb megújuló energia 10,6%-ot, ezzel szemben a tradicionális biomassza 7,5%-ot képvisel (REN21, 2019).

A megújuló energiaforrásokból megtermelt energia 90-92%-át fűtésre és hűtésre, 5%-át közlekedésre, 3%-át villamosenergia-termelésre fordítják. A biomasszából származó energiafelhasználás 88%-át az erdészet adja, ebből a tűzifa 68%-ot, a faszén 10%-ot, a feketelúgból 6,8%-ot, a fahulladék 1,8%-ot, a pellet 0,7%-ot és egyéb faipari hulladékok 0,7%-ot képviselnek. A biomasszából származó villamosenergia termelése folyamatosan nő, főleg Európában, az USA-ban és Kínában. A biomasszából a tisztán villamosenergia előállítása nagyon alacsony hatásfokú (30-35%), ezért a kombinált, hő- és villamosenergia előállítású üzemeknek van perspektívája.

Megkülönböztetünk **nem éghető-, illetve éghető megújuló energiaforrásokat**. A nem éghető megújuló energiaforrások közé a vízenergiát, az árapályt, a hullámot, óceáni energiát, a geotermikus energiát, a szélenergiát, a napenergiát, illetve a környezeti hőt sorolhatjuk. Az éghető megújuló energiaforrások csoportjába nagyrészt a biomasszából előállított bioüzemanyagok tartoznak. Az Európai Unió szabályozása alapján az energiastatisztikába a következő megújuló energiaforrások tartoznak: vízenergia, árapály, hullám, óceán, szél, napenergia, geotermikus, környezeti hő, a bioüzemanyagok, faszén, biogáz, folyékony bioüzemanyagok, illetve a megújuló települési hulladékok. A bioüzemanyagok három kategóriába sorolhatók: a **szilárd bioüzemanyagok** (fűtőfa, famaradvány, fapellet, állati hulladék, növényi anyagok stb.), a **folyékony bioüzemanyagok** (bioetanol, biodízel, biokerozin) és a **biogáz** (anaerob erjesztésből és termikus folyamatokból származhat) (Harangi-Rákos és szerzőtársai, 2017b). A megújuló energiaforrások növekvő aránya az energiaellátás diverzifikációjával csökkenti az ÜHG-kibocsátást és a fosszilis tüzelőanyagok importjától való függőséget (különösen a kőolaj- és a földgáz esetében).

Összehasonlító és időszorelemzéssel vizsgáltam a megújuló energiaforrások arányát a végső energiafelhasználásból az EU tagországaiban. Az elemzésekhez az Eurostat adatbázisaira és a téma szempontjából releváns szakirodalmakra, tanulmányokra támaszkodtam. Az EU-28-ban a 2004-2018 közötti időszak változásait vizsgáltam:

- a megújuló energiaforrások megoszlását a végső energiafelhasználásból az EU tagországaiban,
- a megújuló energiaforrások megoszlását és arányát az elektromos energia előállításában, a megújuló energiaforrások arányát a hőenergia termelésben és fűtésben, valamint a közlekedési szektorában,
- a primer energiatermelés alakulását energiaforrások szerint.

A megújuló energiaforrások megoszlása a végső energiafelhasználásból

Az Európai Unió 2020-ig tartó energia- és éghajlatpolitikai célkitűzéseiről szóló 2009/28/EK irányelv előírja a megújuló energiaforrások arányának növelését a teljes bruttó energiafelhasználásban a 2009/28/EK irányelv alapján kalkulálva. Az EU-ban a kötelező 20%-os részarány teljesítéséhez az egyes tagországok eltérő részesedéssel járulnak hozzá. A közlekedésben a megújuló energia részarányát minden tagállamnak egységesen 10%-ra kellett növelni (European Commission, 2009a). Az előírt és vállalt részesedést nem teljesítő tagországokra pénzügyi büntetés vár, amely összeget egy közös alapba kerülve a nemzeti célkitűzéseket teljesítő tagországok között osztják szét (Popp és Potori szerk., 2011).

2018-ban a megújuló energiaforrások aránya a teljes bruttó energiafelhasználásban 18,0% volt szemben a 9,6%-kal 2004-ben. Az EU tagállamok közül 2018-ban 12 teljesítette a 2020-ra kitűzött célját, ugyanakkor Franciaország és Hollandia elmaradása meghaladta a 6 százalékpontot. A kitűzött célokat 5,0-8,0 százalékponttal túllépte Horvátország, Svédország, Dánia és Észtország. Míg 2004-ben az energiafogyasztás 8,5%-át fedezték a megújuló energiák, addig 2018-ban már 18,9%-át. Ugyanakkor a tagországok vegyes képet mutatnak, mert a megújuló energia aránya például Svédországban elérte az 54,6%-ot, megelőzve Finnországot (41,2%), Lettországot (40,3%), Dániát (36,1%) és Ausztriát (33,4%). Nincs szoros összefüggés a tagország fejlettsége és a megújuló energia aránya között, mert a lista végén Hollandia (7,4%), Málta (8,0%), Luxemburg (9,1%) és Belgium (9,4%) található. Magyarország 12,5%-kal szerepel a listán, ezzel az eredménnyel megközelítette a 13%-os vállalását. A régió országaival összevetve a középmezőnyben helyezkedünk el, mert a megújuló energia aránya Lengyelországban 11,3%, Szlovákiában 11,9%, Csehországban 15,1%, Szlovéniában 21,1%, Romániában 23,9%, Horvátországban 28%, Ausztriában pedig 33,4% volt 2018-ban (9. táblázat).

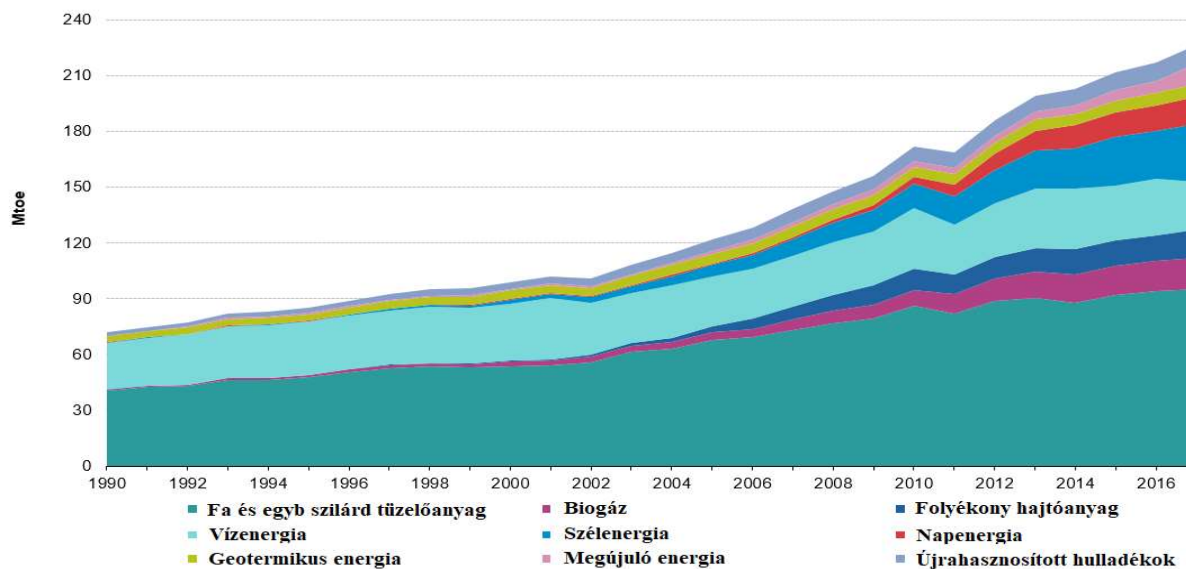
9. táblázat: **Megújuló energiaforrások aránya a teljes bruttó energiafogyasztásban az EU tagországaiban, % (2004-2018)**

	2004	2015	2016	2017	2018	2020 cél
EU	8,5	16,7	17,0	17,5	18	20
Belgium	1,9	8,0	8,7	9,1	9,4	13
Bulgária	9,2	18,3	18,8	18,7	20,5	16
Csehország	6,8	15,1	14,9	14,8	15,1	13
Dánia	14,8	30,9	32,0	35,0	36,1	30
Németország	6,2	14,9	14,9	15,5	16,5	18
Észtország	18,4	28,2	28,7	29,1	30,0	25
Írország	2,4	9,1	9,3	10,6	11,1	16
Görögország	7,2	15,7	15,4	17,0	18,0*	18
Spanyolország	8,3	16,2	17,4	17,6	17,4	20
Franciaország	9,5	15,0	15,7	16,0	16,6	23
Horvátország	23,4	29,0	28,3	27,3	28,0	20
Olaszország	6,3	17,5	17,4	18,3	17,8	17
Ciprus	3,1	9,9	9,9	10,5	13,9	13
Lettország	32,8	37,5	37,1	39,0	40,3	40
Litvánia	17,2	25,8	25,6	26,0	24,4	23
Luxemburg	0,9	5,0	5,4	6,3	9,1	11
Magyarország	4,4	14,5	14,3	13,5	12,5	13
Málta	0,1	5,1	6,2	7,3	8,0	10
Hollandia	2,0	5,7	5,8	6,5	7,4	14
Ausztria	22,6	33,5	33,4	33,1	33,4	34
Lengyelország	6,9	11,7	11,3	11,0	11,3	15
Portugália	19,2	30,5	30,9	30,6	30,3	31
Románia	16,8	24,8	25,0	24,5	23,9	24
Szlovénia	16,1	21,9	21,3	21,1	21,1	25
Szlovákia	6,4	12,9	12,0	11,5	11,9	14
Finnország	29,3	39,3	39,0	40,9	41,2	38
Svédország	38,7	53,0	53,4	54,2	54,6	49
Egyesült Királyság	0,9	8,3	9,0	9,7	11,0	15
Norvégia	58,5	69,1	70,2	71,6	72,8	67.5
Montenegró		43,1	41,6	39,7	38,8	33
Észak-Macedónia	15,7	19,5	18,0	19,6	18,1	23
Albánia	29,6	34,4	35,5	34,5	34,9	38
Szerbia	12,7	22,0	21,1	20,3	20,3	27
Törökország	16,2	13,6	13,7	12,8	13,7	-
Koszovó **	20,5	18,5	24,5	23,1	24,9	25

Forrás: Eurostat (2020a)

2017-ben az EU-28-ban a primer energiatermelésből a megújuló energia 226,5 millió tonna kőolaj egyenérték (toe) volt. 2007 és 2017 között az EU-28-ban a megújuló energiaforrásokból előállított energiamennyiség összesen 64,0%-kal nőtt és az átlagos évi növekedés 5,1% volt. A megújuló energiaforrások közül a fa és az egyéb szilárd tüzelőanyag, valamint a megújuló hulladék volt a legjelentősebb energiaforrás 42%-os részesedéssel (31. ábra). További fontos megújuló energiaforrás a szélenergia (13,8%) volt, majd a vízenergia (11,4%) következett. Az

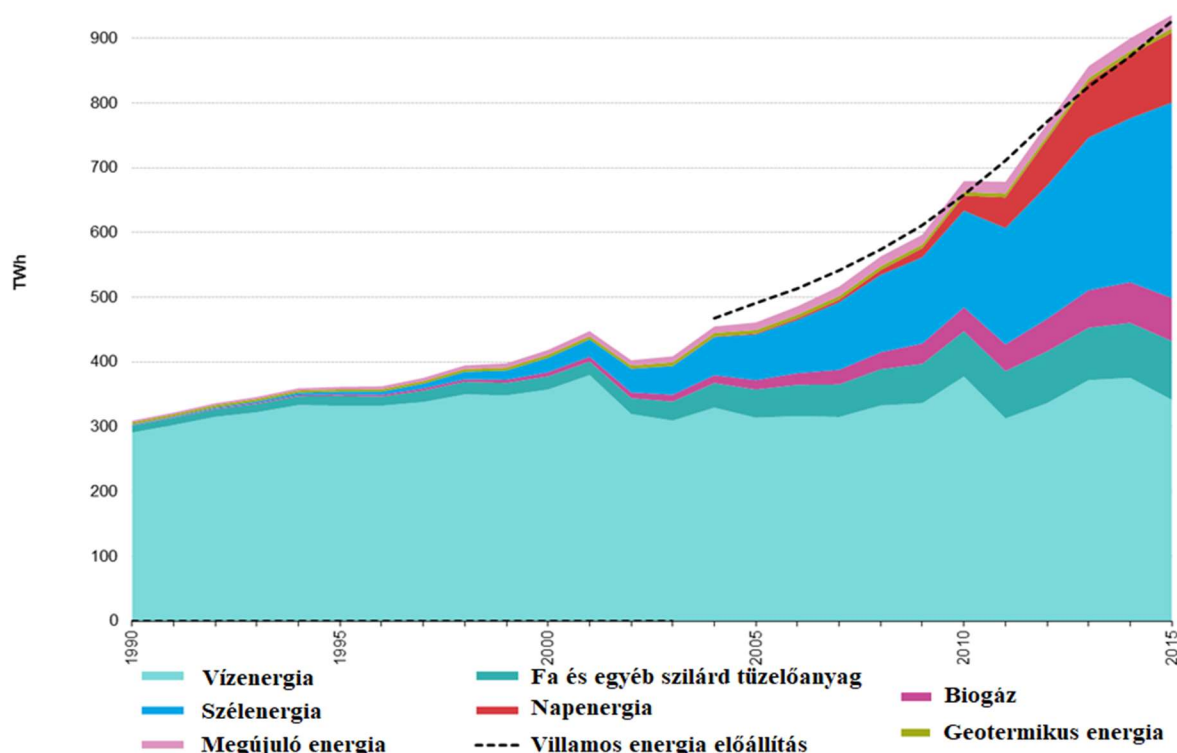
alacsony szintről induló, gyors bővülő biogáz, folyékony bioüzemanyag és napenergia termelése 2017-ben 7,4%, 6,7%, illetve 6,4% részarányt képviselt a megújuló energiaforrásokból. A hőszivattyúk segítségével hasznosított környezeti hő és a geotermikus energia részesedése 5,0 %-ot, illetve 3,0%-ot tett ki, míg a megújuló hulladék részaránya 4,4%-ra nőtt. A hullám- és árapály-energia (óceánenergia) termelésének szintje jelenleg nagyon alacsony, ezeket a technológiákat főleg Franciaországban és az Egyesült Királyságban alkalmazzák.



31. ábra: **Primer energiatermelés megújuló energiaforrásokból, EU-28, 1990-2017 (Mtoe)**

Forrás: Eurostat (2020f)

2017-ben a megújuló erőforrásokból előállított villamosenergia-termelés az EU teljes bruttó villamosenergia-fogyasztásának 30,7%-át adta. A zöld áram termelésében a szélenergia volt a legfontosabb energiaforrás, amelyet szorosan követett a vízenergia (32. ábra).



32. ábra: A megújuló energiaforrásokból előállított villamos energia bruttó mennyisége, EU-28, 1990-2017 (TWh)

Forrás: Eurostat (2020f)

A megújuló energiaforrások aránya a villamos energia előállításában közel kétszeresére nőtt 2008-2018 között. A szélenergia a legfontosabb megújuló energiaforrás. A 2009/28/EK irányelv előírja, hogy a víz- és szélenergiával termelt villamos energiát normalizálni kell az éves időjárási ingadozások figyelembevételével. Az EU-ban 2008-2018 között a megújuló energiaforrásokból előállított villamos energia mennyiségének bővülése elsősorban a szél- és napenergia, valamint a szilárd bioüzemanyag (beleértve a megújuló hulladékokat) növekvő termelésének volt köszönhető. A vízenergia segítségével előállított zöld áram mennyisége alig változott az utóbbi évtizedben. Ezzel szemben a napenergiából és a szélturbinákból előállított zöld áram mennyisége 2008 és 2018 között 15,5-szörösére és 2,9-szeresére nőtt. Az EU-28-ban a megújuló energiaforrások aránya a villamosenergia termelésben 2018-ban meghaladta a 32%-ot. A tagországok között nagy szóródás volt tapasztalható, mert például Ausztriában, Svédországban, Lettországon és Dániában a megújuló energia aránya meghaladta az 50%-ot, de Máltán, Luxemburgban, Magyarországon és Cipruson a 10%-ot sem érte el. Magyarország 8,3%-os részesedéssel az EU-28 átlagától is jócskán lemaradva az utolsó három helyen szerepel. A régió tagországaival összevetve utolsó helyen szerepelünk, mert ez az arány Ausztriában 73,1%, Horvátországban 48,1%, Romániában 41,8%, Szlovéniában 32,3%, Szlovákiában 21,5%, Csehországban 13,7%, Lengyelországban pedig 13% volt 2018-ban. Magyarországon 2009 óta nem tapasztalható jelentős elmozdulás e területen (10. táblázat).

10. táblázat: A megújuló energiaforrások aránya a villamos energia termelésében Európában, % (2004-2018)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
EU-28	14,2	14,8	15,3	16,1	16,9	19,0	19,7	21,6	23,5	25,3	27,4	28,8	29,5	30,7	32,1
Belgium	1,7	2,4	3,1	3,6	4,6	6,2	7,1	9,1	11,3	12,5	13,4	15,6	15,9	17,3	18,9
Bulgária	8,4	8,7	8,7	8,9	9,5	10,9	12,4	12,6	15,8	18,7	18,7	19,0	19,1	19,0	22,1
Csehország	3,7	3,8	4,1	4,6	5,2	6,4	7,5	10,6	11,7	12,8	13,9	14,1	13,6	13,7	13,7
Dánia	23,8	24,6	24,0	25,0	25,9	28,3	32,7	35,9	38,7	43,1	48,5	51,3	53,7	60,0	62,4
Németország	9,5	10,6	12,0	13,8	15,2	17,6	18,3	21,0	23,6	25,3	28,2	30,9	32,3	34,6	38,0
Észtország	0,5	1,1	1,4	1,4	2,0	6,0	10,3	12,2	15,7	12,9	14,0	15,1	15,5	17,4	19,7
Írország	6,0	7,2	8,5	9,7	10,8	14,0	15,6	18,3	19,8	21,3	23,5	25,5	26,8	30,1	33,2
Görögország	7,8	8,2	8,9	9,3	9,6	11,0	12,3	13,8	16,4	21,2	21,9	22,1	22,7	24,5	26,0
Spanyolország	19,0	19,1	20,0	21,7	23,7	27,8	29,8	31,6	33,5	36,7	37,8	37,0	36,6	36,4	35,2
Franciaország	13,8	13,7	14,1	14,3	14,4	15,1	14,8	16,2	16,5	17,0	18,5	18,8	19,2	19,9	21,2
Horvátország	35,0	35,2	34,8	34,0	33,9	35,9	37,5	37,6	38,8	42,1	45,2	45,4	46,7	46,4	48,1
Olaszország	16,1	16,3	15,9	16,0	16,6	18,8	20,1	23,5	27,4	31,3	33,4	33,5	34,0	34,1	33,9
Ciprus	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,6	1,4	3,4	4,9	6,7	7,4	8,4	8,6	8,9	9,4
Lettország	46,0	43,0	40,4	38,6	38,7	41,9	42,1	44,7	44,9	48,7	51,0	52,2	51,3	54,4	53,5
Litvánia	3,6	3,8	4,0	4,7	4,9	5,9	7,4	9,0	10,9	13,1	13,7	15,5	16,9	18,3	18,4
Luxemburg	2,8	3,2	3,2	3,3	3,6	4,1	3,8	4,1	4,7	5,3	6,0	6,2	6,7	8,1	9,1
Magyarország	2,2	4,4	3,5	4,2	5,3	7,0	7,1	6,4	6,1	6,6	7,3	7,3	7,3	7,5	8,3
Málta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,1	1,6	3,3	4,3	5,7	6,8	7,7
Hollandia	4,4	6,3	6,5	6,0	7,5	9,1	9,6	9,7	10,4	9,9	9,9	11,0	12,5	13,8	15,1
Ausztria	61,6	62,9	63,8	65,7	65,9	68,6	66,4	66,8	67,4	68,9	71,1	71,5	72,5	71,6	73,1
Lengyelország	2,2	2,7	3,0	3,5	4,4	5,8	6,6	8,2	10,7	10,7	12,4	13,4	13,4	13,1	13,0
Portugália	27,4	27,7	29,3	32,3	34,1	37,6	40,6	45,8	47,5	49,1	52,1	52,6	54,0	54,2	52,2
Románia	28,4	28,8	28,1	28,1	28,1	30,9	30,4	31,1	33,6	37,5	41,7	43,2	42,7	42,0	41,8
Szlovénia	29,3	28,7	28,2	27,7	30,0	33,8	32,2	31,0	31,6	33,1	33,9	32,7	32,1	32,4	32,3
Szlovákia	15,4	15,7	16,6	16,5	17,0	17,8	17,8	19,3	20,1	20,8	22,9	22,7	22,5	21,3	21,5
Finnország	26,7	26,9	26,4	25,5	27,3	27,3	27,7	29,4	29,5	30,9	31,4	32,5	32,9	35,2	36,8
Svédország	51,2	50,9	51,8	53,2	53,7	58,3	55,8	59,6	59,8	61,7	63,2	65,7	64,9	65,9	66,2
Egyesült Királyság	2,5	3,2	3,7	4,1	4,7	6,0	6,9	8,3	10,3	13,4	17,5	21,9	24,0	27,4	30,9
Norvégia	98,0	97,4	100,8	99,1	100,2	105,2	98,2	105,9	104,6	106,9	110,1	106,8	105,7	104,9	106,8
Montenegró	:	39,1	37,7	37,6	38,3	46,6	45,7	41,6	42,8	49,1	51,4	49,6	51,0	50,1	52,4
Észak-Macedónia	14,5	14,0	14,0	13,7	13,8	15,5	15,8	14,8	16,7	18,2	19,3	21,7	24,1	24,8	24,8
Szerbia	18,5	22,4	23,6	24,8	25,9	28,3	28,2	27,5	28,5	28,0	30,3	28,9	29,2	27,4	28,7
Albánia	70,0	76,1	74,2	79,6	73,3	70,7	74,6	66,1	72,4	62,7	71,0	79,2	82,1	91,0	92,5
Törökország	27,9	26,3	24,7	23,2	22,8	24,7	25,3	25,1	27,1	30,0	30,5	33,2	34,8	35,1	37,5
Kosovó *	0,5	0,6	0,9	1,0	1,0	1,1	1,4	1,4	1,5	1,6	1,9	1,8	4,0	3,6	4,2

Forrás: Eurostat (2020a)

A megújuló energiaforrások részesedése a hőenergia termelésben és fűtésben alacsony szintről is csak lassan emelkedik. Az EU-ban a hűtés és a hőtermelés energiaigényének 19,7%-át tette ki a megújuló energia 2018-ban a hő- és vízszivattyú, valamint geotermikus energia növekvő felhasználásának köszönhetően. Ez komoly előre lépésnek tekinthető a 2004. évi 10,4%-os arányhoz képest. A növekedéshez az ipar, a szolgáltatások és a lakosság (épületek) növekvő igénye járult hozzá. A megújuló energiaforrások arányának szerepe a hőenergia termelésben és fűtésben vegyes képet mutat az egyes tagországokban. Svédországban, Finnországban és Lettországon ez az arány meghaladja az 50%-ot, az Egyesült Királyságban, Hollandiában, Írországon még a 10%-ot sem éri el. Magyarországon a 18,1%-os arány meghaladja az EU átlagos értékét, a régió tagországaiban ez az arány többé-kevésbé a magyar arány körül mozog (11. táblázat).

11. táblázat: A megújuló energiaforrások aránya a hőenergia termelésben és fűtésben Európában, % (2004-2018)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
EU-28	10,4	11,1	11,9	13,3	13,9	15,3	15,5	16,1	17,1	17,5	18,5	18,9	19,1	19,5	19,7
Belgium	2,8	3,4	3,7	4,6	5,0	5,9	6,1	6,6	7,3	7,4	7,7	7,8	8,1	8,0	8,2
Bulgária	14,1	14,3	14,8	13,9	17,3	21,6	24,3	24,8	27,2	29,2	28,5	28,9	30,0	29,9	33,3
Csehország	9,9	10,8	11,2	12,4	12,9	14,3	14,1	15,4	16,3	17,7	19,5	19,8	19,9	19,7	20,6
Dánia	20,6	22,8	23,7	26,8	28,0	29,5	30,4	32,1	33,3	34,8	38,2	40,3	41,7	45,8	47,4
Németország	7,2	7,7	8,4	10,2	10,3	11,2	12,1	12,6	13,4	13,4	13,4	13,4	13,0	13,4	13,6
Észtország	33,3	32,2	30,7	32,7	35,5	41,8	43,3	44,0	43,0	43,0	45,0	49,4	51,1	51,4	53,7
Írország	2,8	3,4	3,5	3,8	3,5	4,1	4,3	4,7	4,8	5,1	6,2	6,1	6,3	6,7	6,5
Görögország	13,5	13,4	13,1	14,7	14,7	17,2	18,7	20,1	24,1	27,4	27,9	26,6	25,4	26,6	30,2
Spanyolország	9,5	9,4	11,4	11,2	11,6	13,3	12,6	13,6	14,1	14,1	15,7	16,9	17,2	17,6	17,4
Franciaország	12,5	12,4	11,7	12,8	13,3	15,0	16,2	15,9	17,2	18,2	18,8	19,5	20,8	21,1	21,8
Horvátország	29,4	30,0	29,1	29,2	28,6	31,2	32,8	33,7	36,5	37,2	36,1	38,5	37,6	36,5	36,5
Olaszország	5,7	8,2	10,1	13,3	15,3	16,4	15,6	13,8	17,0	18,1	18,9	19,3	18,9	20,1	19,2
Ciprus	9,3	10,0	10,4	13,1	14,5	17,3	18,8	20,0	21,8	22,6	22,3	24,1	24,5	26,1	36,8
Lettország	42,5	42,7	42,6	42,4	42,9	47,9	40,7	44,7	47,3	49,7	52,2	51,7	51,8	54,6	55,9
Litvánia	30,4	29,3	29,2	29,1	32,0	33,7	32,5	32,8	34,5	36,9	40,6	46,1	46,6	46,5	45,6
Luxemburg	1,8	3,6	3,6	4,4	4,6	4,7	4,7	4,8	5,0	5,5	7,2	7,1	7,3	7,8	8,8
Magyarország	6,4	9,9	11,4	13,5	12,0	17,0	18,1	20,0	23,3	23,7	21,3	21,3	21,0	19,9	18,1
Málta	1,0	1,0	1,4	1,5	1,7	2,0	7,3	12,0	13,4	15,4	15,0	14,6	16,9	19,6	23,4
Hollandia	2,2	2,4	2,7	2,9	3,0	3,4	3,1	3,7	3,8	4,0	4,9	5,2	5,2	5,7	6,1
Ausztria	20,2	22,9	24,6	27,2	27,3	29,6	30,9	31,5	33,0	33,4	33,6	33,3	33,5	33,7	34,0
Lengyelország	10,2	10,2	10,2	10,5	10,8	11,5	11,7	13,1	13,4	14,1	14,0	14,5	14,7	14,6	14,8
Portugália	32,5	32,1	34,2	35,0	37,5	38,0	33,9	35,2	33,2	34,6	40,4	40,1	41,6	41,0	41,2
Románia	17,3	17,9	17,6	19,5	23,2	26,4	27,2	24,3	25,7	26,2	26,7	25,9	26,9	26,6	25,4
Szlovénia	18,4	18,9	18,5	20,4	19,2	27,6	28,1	30,3	31,5	33,4	32,4	33,9	34,0	33,2	31,6
Szlovákia	5,1	5,0	4,5	6,2	6,1	8,2	7,9	9,3	8,8	7,9	8,9	10,8	9,9	9,8	10,6
Finnország	39,5	39,2	41,5	41,5	43,3	43,1	44,2	45,9	48,4	50,8	52,0	52,6	53,7	54,6	54,6
Svédország	46,6	50,7	54,2	56,2	57,6	61,3	59,1	60,1	62,7	63,5	64,6	65,4	65,5	65,8	65,4
Egyesült Királyság	0,7	0,8	0,9	1,0	2,4	2,9	3,2	3,7	3,9	4,7	5,5	6,2	6,7	6,9	7,5
Norvégia	25,6	28,9	28,5	29,4	31,0	32,0	33,1	33,7	32,7	32,5	31,0	34,5	34,2	34,0	34,5
Montenegró	:	53,9	52,1	50,1	46,8	62,5	76,6	81,4	79,9	68,6	67,7	68,6	69,2	65,8	64,5
Észak-Macedónia	23,3	24,7	24,9	22,5	24,6	29,2	26,5	27,3	29,6	31,8	35,0	34,5	30,9	36,3	32,2
Albánia	33,1	37,8	31,0	33,1	37,1	34,7	31,3	31,4	39,1	37,8	31,0	34,6	32,5	24,2	22,7
Szerbia	14,0	15,6	15,8	13,2	16,7	26,5	23,2	21,1	23,2	25,1	28,8	26,9	25,1	24,9	24,3
Törökország	17,6	17,0	15,2	14,6	15,0	15,4	14,4	12,0	12,1	12,6	12,3	12,1	11,7	9,6	9,6
Koszovó *	51,9	49,5	48,9	49,2	47,8	47,8	45,5	44,7	49,3	48,2	51,8	46,7	51,8	50,5	58,3

Forrás: Eurostat (2020a)

A megújuló energiaforrások szerepe a közlekedési szektorban a szigorú szabályoznak köszönhetően rohamosan emelkedett. A közlekedési szektorban a megújuló energia aránya 2004-2018 között 1,4%-ról 8,0%-ra nőtt. Az EU célkitűzése szerint 2020-ig a közlekedési szektorban a megújuló energia aránya eléri a 10%-ot (beleértve a folyékony bioüzemanyagokat, hidrogént, biometánt, a „zöld” áramot stb.). 2018-ban nagy szóródás volt tapasztalható a tagországok között, Svédországban és Norvégiában ez az arány már 29,7%-ot és 20%-ot tett ki, de Finnországban is kétszámjegyű volt (14,9%), míg Görögországban és Észtországban a 4%-ot sem érte el. Magyarországon 6,2% részesedésével közel állt az EU-28 átlagértékéhez (12. táblázat). A folyékony hajtóanyagok előállításában magasan a biodízel vezet, részesedése

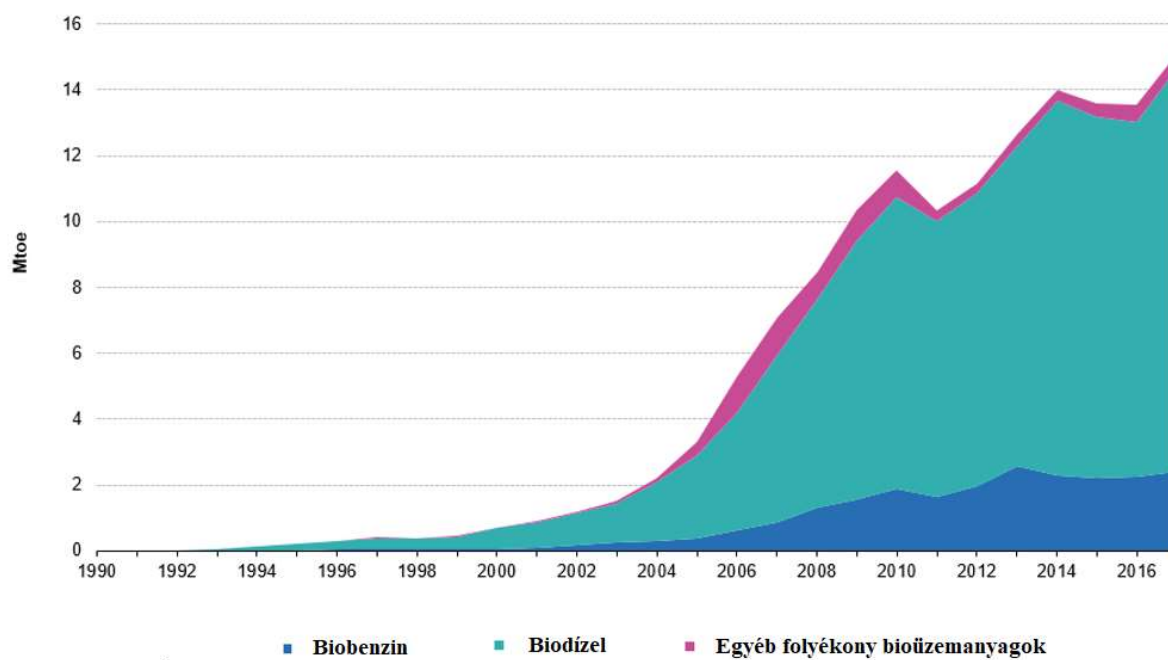
megközelítette a 80%-ot energia-egyenértékben kifejezve. A biodízel-előállítás és -felhasználás ma főleg Európára – az EU részesedése a globális termelésből 40% körül alakul – és kisebb mértékben az USA-ra koncentrálódik, bár az utóbbi években több ország (Argentína, Brazília, Indonézia, Thaiföld stb.) is bekapcsolódott a biodízel-gyártásba.

12. táblázat: A megújuló energiaforrások aránya Európa közlekedési szektorában, %
(2004-2018)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2020 cél
EU-28	1,4	1,8	2,4	3,1	3,9	4,6	5,2	3,9	5,2	5,5	5,9	6,5	6,9	7,1	8,0	10
Belgium	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	2,1	4,7	4,7	4,8	5,0	5,8	3,9	6,0	6,6	6,6	10
Bulgária	0,9	0,8	1,0	0,9	0,9	1,0	1,4	0,8	0,6	5,8	5,7	6,4	7,2	7,2	8,1	10
Csehország	1,1	1,0	1,0	0,9	2,7	4,2	5,1	1,2	6,1	6,3	6,9	6,5	6,4	6,6	6,5	10
Dánia	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,7	1,1	3,6	6,3	6,5	6,6	6,4	6,5	6,6	6,6	10
Németország	2,1	4,0	6,7	7,5	6,3	5,9	6,4	6,5	7,3	7,3	6,9	6,6	7,0	7,0	7,9	10
Észtország	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	3,3	10
Írország	0,0	0,1	0,1	0,5	1,3	1,9	2,4	5,4	4,9	5,8	5,2	6,1	5,2	7,4	7,2	10
Görögország	0,1	0,1	0,7	1,3	1,1	1,1	1,9	0,6	0,9	1,0	1,3	1,1	1,6	4,0	3,8	10
Spanyolország	1,0	1,3	0,8	1,4	2,2	3,7	5,0	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	5,2	5,8	6,9	10
Franciaország	1,5	2,1	2,3	4,0	6,2	6,6	6,5	1,0	7,4	7,6	8,2	8,4	8,4	8,8	9,0	10
Horvátország	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,3	1,1	1,0	1,1	4,4	4,3	3,6	1,3	1,2	3,9	10
Olaszország	1,2	1,0	1,0	1,0	2,6	3,9	4,8	5,0	6,1	5,4	5,0	6,5	7,4	6,5	7,7	10
Ciprus	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	2,0	2,0	0,0	0,0	1,1	2,7	2,5	2,7	2,6	2,7	10
Lettország	2,1	2,4	2,2	1,7	1,7	1,9	4,0	4,1	4,0	4,0	4,1	3,9	2,8	2,6	4,7	10
Litvánia	0,4	0,6	1,9	3,8	4,3	4,5	3,8	3,8	4,9	4,8	4,3	4,6	3,6	4,3	4,3	10
Luxemburg	0,1	0,1	0,2	2,2	2,2	2,2	2,1	2,3	2,8	4,0	5,5	6,7	5,9	6,4	6,5	10
Magyarország	0,9	0,9	1,1	1,5	5,1	5,8	6,1	6,1	5,9	6,2	6,9	7,1	7,6	7,6	7,7	10
Málta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	3,2	3,5	4,7	4,7	5,3	6,8	8,0	10
Hollandia	0,5	0,4	0,8	3,1	2,9	4,5	3,3	5,0	5,2	5,3	6,5	5,4	4,9	6,0	9,6	10
Ausztria	4,5	5,1	7,5	8,2	9,6	11,2	10,7	10,1	10,0	9,7	11,0	11,4	10,6	9,7	9,8	10
Lengyelország	1,4	1,6	1,7	1,7	4,1	5,3	6,6	6,8	6,5	6,6	6,2	5,6	3,9	4,2	5,6	10
Portugália	0,4	0,5	1,6	2,4	2,5	3,9	5,5	0,7	0,8	0,9	3,7	7,4	7,6	7,9	9,0	10
Románia	1,8	1,9	1,5	1,6	1,3	1,3	1,4	2,9	5,0	5,4	4,7	5,5	6,2	6,6	6,3	10
Szlovénia	0,9	0,8	1,1	1,5	1,8	2,3	3,1	2,5	3,3	3,8	2,9	2,2	1,6	2,6	5,5	10
Szlovákia	1,5	1,6	3,3	4,0	4,3	5,3	5,2	5,6	5,5	6,1	7,9	8,5	7,7	6,9	7,0	10
Finnország	1,0	0,9	1,0	1,0	2,9	4,6	4,4	1,0	1,1	10,7	24,5	24,8	8,9	18,8	14,9	10
Svédország	6,3	6,6	7,5	8,4	8,7	9,4	9,6	11,9	13,8	15,3	18,8	21,5	26,6	26,8	29,7	10
Egyesült Királyság	0,3	0,5	0,7	1,1	2,3	2,9	3,3	3,2	1,6	1,8	1,9	4,5	5,0	4,8	6,5	10
Norvégia	3,1	3,1	3,2	3,1	3,5	3,4	2,8	2,8	3,2	3,3	6,4	7,8	13,7	19,1	20,0	:
Montenegró	:	0,4	0,5	1,0	0,9	0,7	0,8	0,6	0,7	1,1	1,1	1,2	1,1	1,0	0,9	:
Észak-Macedónia	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	:
Szerbia	0,5	0,4	0,4	0,7	0,7	1,5	0,7	1,9	2,0	1,7	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	:
Albánia	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	:
Törökország	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	:
Kosзовó *	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	:

Forrás: Eurostat (2020a)

A közlekedésben hasznosított megújuló energiaforrások esetében a legszélesebb körben használt energiaforrás a folyékony bioüzemanyag, amelyet általában fosszilis tüzelőanyagokkal kevernek. A 33. ábrán a folyékony bioüzemanyagok termelésének alakulása látható. A jogilag kötelező erejű 2020-as célkitűzésnek köszönhetően az EU-ban – ahol a biodízel a legszélesebb körben termelt folyékony bioüzemanyag, amelyet a biobenzin és más folyékony bioüzemanyagok követnek – jelentősen nőtt a folyékony bioüzemanyagok termelése.



33. ábra: A folyékony bioüzemanyagok elsődleges előállítása, EU-28, 1990-2017 (Mtoe)

Forrás: Eurostat (2020f)

Összefoglalás

A következő évtizedekben számos kihívás övezi a világ élelmezésbiztonságát, többek között a növekvő számú globális népesség számára megfelelő mennyiségű és minőségű élelmiszer biztosítása, az éhezők számának csökkentése, miközben a környezeti szempontok is egyre jobban előtérbe kerülnek. A mezőgazdasági termelés korlátokba ütközhet a termeléshez felhasznált természeti erőforrások szűkössége és a klímaváltozás terméshozamra gyakorolt kedvezőtlen hatásai miatt. A jövőben kevesebb termőfölddel, vízzel, vegyszerrel és műtrágyával kell több élelmiszert termelni.

A fosszilis szénforrás alternatívája a biomassa, mivel a fosszilis erőforrás is egykor biomassa volt, de a geológiai folyamatok során kőszén, földgázzá és kőolajjá alakult át 350 millió év alatt. A biomassa égetése szintén CO₂-t bocsát ki, de ez a természetes szén ciklus révén újra biomasszává alakul, így nem növeli az atmoszféra CO₂ koncentrációját. Ma a különböző eredetű biomasszát nemcsak tüzelésre használják, hanem bioüzemanyagot, biogázt, műanyag-, gyógyszer- és vegyipari alapanyagot, növényi olajokat, zsírsavakat stb. állítanak elő belőle. A zöld energia és egyéb biotermékek térnyerésével egyre több biomasszára lesz szükség, ugyanakkor az élelmiszertermelés marad az első számú prioritás. Világszerte folynak a növény-nemesítési eljárások és termesztéstechnológiai rendszerek fejlesztései annak érdekében, hogy az élelmiszertermelés mellett a bioenergia- és egyéb biotermék iránt mutatkozó kereslet igényeit is kielégítsük biomasszából.

A biomassa alapú gazdaság magában foglalja a biológiai erőforrások használatán alapuló összes ágazatot, így a mezőgazdaság, az erdészet, a halászat, az élelmiszeripar, a bioenergia és a bioalapú termékek ágazatait. A biomassa alapú gazdaság tehát a megújítható biológiai erőforrások termesztését és annak élelmiszerré, takarmánnyá, bioenergiává és biológiai alapú terméké történő átalakítását jelenti, vagyis a gazdálkodás egészére összpontosít és a fenntarthatóság/újrahasznosítás szempontjait tartja szem előtt. A biológiai erőforrások és ökoszisztémák végesek, tehát innovációkra van szükség a lakosság élelemmel, tiszta vízzel és tiszta energiával való ellátása érdekében. Az EU már megkezdte az átmenetet a biomassa alapú gazdaság felé. Az EU célja, hogy 2050-ig elérje a nulla nettó ÜHG-kibocsátást. Az éghajlatváltozás globális fenyegetést jelent, amit az EU önmagában nem képes megállítani. Ezért a Párizsi Megállapodással összhangban fontos a partnerországokkal folytatott együttműködés is.

A biomassa alapú gazdaság világszerte növekvő mennyiségű biomasszát igényel. A kulcskérdés, hogy mekkora mennyiségű biomasszára lesz szükség a jövőben az élelmiszer-, takarmány- és egyéb célú felhasználásra? Nem világos, hogy milyen elveket indokolt követni a relatív prioritások meghatározására a biomassa nem élelmiszer célú felhasználásában. Arra keresünk választ például, hogy a bioalapú vegyipari, egyéb alapanyag vagy bioenergia gyártása élvezzen-e elsőbbséget. Mindaddig, amíg a gazdaság a GDP növekedésén alapul, az anyagfelhasználás csökkentése a fejlett országokban nem tűnik reális opciónak. További kérdés, hogy például hosszú távon folytatódik-e az egyenlőtlen globális élelmiszer-fogyasztás, vagy a globális élelmiszerigény kielégítésével megszűnik az éhezés? Ezek a szempontok nagy szerepet játszanak a biomassa egyéb célú felhasználásában. A globális kereskedelem befolyásolja a biomassa piaci árát, ezért a fennálló szubvenciók és kereskedelmi akadályok felszámolása, a nemzetközi együttműködés és szabályozás, valamint tanúsítási mechanizmus bevezetése elősegítené az élelmiszer- és egyéb célú biomassa nemzetközi kereskedelmét.

A rendelkezésre álló növényi biomassa igen sokrétű, különböző módon előkészíthető, feldolgozható. A hasznosítás területén a technológiák által nyújtott lehetőségek sora egyre kifinomultabb eszközökkel folyamatosan gyarapodik. A biomassa élelmiszer és egyéb célú

hasznosításakor számolni kell azzal, hogy egyes biomasszaféleségek a korlátozottan rendelkezésre álló termőföldért versenyeznek és hosszabb vagy rövidebb időre kizárják annak egyéb célú hasznosítását (haszonáldozat). Továbbá azt is figyelembe kell venni, hogy egy-egy biomasszaféleség többféle módon is előkészíthető, feldolgozható, így abból különböző végfelhasználásra alkalmas bioalapú termékek állíthatók elő. A biomassza hasznosítása terén kiemelt szerepe van a kutatás-fejlesztésnek és az innovációnak. Ha ezt elhanyagoljuk, akkor lemaradunk. A mozgásteret az Európai Unió tagállamaként tett kötelezettségvállalásaink és a piaci realitások egyértelműen meghatározzák.

Az emberiség energiaigényét az ipari forradalmat megelőzően kizárólag biomasszából fedezték, amely szinte csak fára korlátozódott. A biomassza-alapú energiatermelés előnye, hogy a technológia CO₂ semleges, vagyis az ÜHG-kibocsátás nem több mint amennyit a növényzet képes megkötni. A biomassza a három fosszilis energiaforrás (kőolaj, földgáz és szén) után a negyedik legnagyobb mennyiségben hasznosított megújuló energiaforrás a világon. Jelenleg a világ alapvetően fosszilis tüzelőanyagokat, nevezetesen kőszént, földgázt és kőolajat használ fel a gazdaságban. Ezek energiát biztosítanak a villamos energiát, hőt, vegyszert és üzemanyagot termelő iparágaknak, valamint a nehéziparnak. A kőolaj komoly mértékben hozzájárul a vegyipari ellátási lánc értékteremtéséhez. A fosszilis nyersanyagok nagy energia- és szénsűrűsége, valamint a kedvező logisztika a hagyományos gazdasági modellnek kedvez, a szervezett ipari üzemekbe befektetett nagy összegű tőke pedig tovább erősíti ezt a folyamatot.

A megújuló energiaforrás jelenleg még drágább, mint a fosszilis alapú energiatermelés, de a környezetterhelés és stratégiai kockázatok csökkentése érdekében a kőolajárak alakulásától függetlenül is célszerű a zöld energiára váltani. A közlekedés energiaigénye függ a közlekedés szerkezetének és energiahatékonyságának alakulásától. A bioüzemanyagok még hosszú ideig a hagyományos folyékony motorhajtóanyagokba bekeverve azok kiegészítői, nem pedig versenytársai lesznek. A közlekedési szektorban az újabb energiaforrások piaci bevezetése hosszú folyamat eredménye lesz, ezért a technológiai, pénzügyi és infrastrukturális hiányosságok miatt még hosszú évekig többnyire a hagyományosnak tekinthető belsőégésű motorokkal és folyékony üzemanyagokkal fogunk közlekedni.

A kutatás és az innováció kulcsfontosságú a gazdaság zöld átállásának felgyorsítása és az ENSZ 17 fenntartható fejlődési célja többségének megvalósítása érdekében. Az innovációk hozzájárulnak a gazdaság átállásához alacsony energiafelhasználás, alacsony CO₂-kibocsátás és alacsony hulladékképződés mellett a biomassza, valamint a mezőgazdasági és erdőgazdálkodási melléktermékek nem élelmezés célú felhasználásához is. Hangsúlyos szerepet kap az integrált és változatos termelési rendszer, a mezőgazdasági gyakorlat, beleértve a precíziós technológiát, de fontos szempont a mezőgazdasági termelékenység alapját jelentő talajgazdálkodás a talaj termőképességének javítása érdekében. Komoly szerepet játszik a betegségek és a kártevők elleni védekezés is az állatok és növények egészségének megőrzése céljából. Az EU támogatja a fenntartható és körkörös biomassza alapú megoldások kutatását, bemutatását és alkalmazását.

A biomassza alapú gazdaságban a fenntartható élelmiszertermelés elsőbbséget élvez. A globális urbanizációval is összefügg a táplálkozási szokások gyors változása. A földműveléssel felhagyó emberek tömegei költöznek a városokba, ahol – részben az életszínvonal növekedésének köszönhetően – étkezési szokásaik megváltoznak. Az urbanizációs és motorizációs folyamat is értékes termőföldet vesz el a mezőgazdaságtól. Ma a világ népességének több mint fele városokban él, a jövőben pedig még nagyobb túlsúlyba kerül a városi lakosság (2050-re a világnépesség több mint 70%-a fog városban élni). Az urbanizációval – és a nemzetközi kereskedelem liberalizációjával – egyre távolabb kerülnek egymástól a termelés és fogyasztás földrajzi központjai, aminek következtében nő a szállítás, a raktározás és a hűtés jelentősége,

így értelemszerűen az árukezelés költsége is, ami ugyancsak hozzájárul az élelmiszerárak emelkedéséhez.

A ma prognosztizálható érendváltás nagyobb gond az élelmiszertermelés szempontjából, mint a népesség növekedése. A világ népessége 2020-2050 között várhatóan 25%-kal emelkedik, ezzel szemben az élelmiszer-kereslet 60-kal fog nőni. Ez azt jelenti, hogy a mai fogyasztási szerkezetet feltételezve annyi élelmiszert kell majd megtermelnünk, mintha 11,5 milliárd ember élne akkor a Földön. Ennek oka, hogy a hús- és tejtermék fogyasztás irányába változik az érend: egyre többen engedhetik meg maguknak, hogy magas hozzáadott értékű élelmiszert, például húst és tejterméket egyenek. Az állati eredetű élelmiszer iránt növekvő kereslettel együtt a földhasználat is változik, ugyanis a hús- és tejtermék fogyasztásának növekedése egyre több takarmányt igényel. 196-2010 között az egy főre eső globális szántóterület 0,45 hektárról 0,25-re csökkent, 2050-re pedig már a 0,2 hektárt sem éri el. Az EU-ban az állattenyésztés használja a mezőgazdasági területek 66%-át, de globális szinten is 60%-körül alakul ez az arány.

A fentebb leírtak tükrében az élelmiszerpazarlás (élelmiszervesztesség és -hulladék) helyi és regionális szinten történő csökkentése, majd megszüntetése kiemelt feladat a körforgásos gazdaságban. Az élelmiszerpazarlás egyben termőföld-, energia- és vízpazarlást is jelent, ezért ennek csökkentése hozzájárul a klímaváltozás mérsékléséhez. A pazarló élelmiszerellátási lánc helyett a fenntartható élelmiszerellátás kialakításához együttműködésre van szükség a kutatók és az élelmiszerlánc gazdasági szereplői között. Az élelmiszerpazarlás területén hiányoznak a megfelelő mutatók a haszon és feláldozott haszon (pazarlás megelőzésének használdozati költsége) kiszámításához. Az élelmiszerlánc gazdasági szereplői meglehetősen hiányos adatokkal rendelkeznek az összehasonlítás elvégzéséhez szükséges élelmiszerpazarlás meghatározásához.

A globális gabonatermelés jelentős növekedésére van szükség az elkövetkező évtizedekben, hogy fedezze a növekvő élelmiszer- és takarmány célú keresletet. A globális búza-, kukorica-, rizs- és szójabab évi 2,1 milliárd tonna terméssel szemben a betakarítás előtti veszteség évente legalább 1,1 milliárd tonnát tesz ki, azaz a 3,1 milliárd tonna elméleti hozam egyharmadát. A betakarítás, a tárolás és a toxinfertőzés által okozott veszteség évi további 700 millió tonnát jelent, a betakarítás előtti veszteséggel együtt pedig évi 1,8 milliárd tonnát, azaz az összes újonnan tárolt gabona 85%-át. A gabonavesztesség alakulása a technológiától, a munkaerő képzettségétől és a fogyasztói magatartástól függ. Jelenleg a globális gabonatermesztés jelentős növelése kizárólag új, magasabb hozamú fajták bevezetésével nem lehetséges, helyette hatékony megoldást kínál a veszteség és hulladék csökkentése a termelés, a tárolás és a fogyasztás során. Az élelmezés- és táplálkozásbiztonság növelésének hatékony módszere a globális pazarlás csökkentése (Mesterházy és szerzőtársai, 2020).

Az ÜHG-kibocsátás és a vízfogyasztás jelentős mértékű csökkentéséhez szükség van az állati termékek iránt mutatkozó kereslet mérséklésére. Az állati fehérje hagyományos formáinak vannak olyan alternatívái, mint például a tengerekből, óceánokból származó élelmiszertermék, a laboratóriumban tenyésztett hús, illetve a rovarfehérje. A rovarok még mindig kuriózumnak számítanak a fogyasztók körében, főleg a szűkös kínálatnak és magas árak köszönhetően. Mivel a rovarok biológiai adottságukból adódóan az egyéb állati fehérjék termeléséhez képest sokkal alacsonyabb inputfelhasználás és ÜHG-kibocsátás mellett állítanak elő egységnyi fehérjemennyiséget, így egyértelműen versenytársai lesznek a hagyományos gazdasági állattartásnak. Az alternatív fehérjék előállításának alacsonyabb lehet a környezetszennyező hatása a hagyományos állati eredetű termékek előállításához viszonyítva.

Az alternatív élelmiszerek fogyasztói elfogadottsága alacsony szintű, ezért további kutatásokra van szükség fogyasztásuk növeléséhez. További lehetőséget kínál a genomika tudományos

eredményeinek felhasználása az állategészségügyben, az állattenyésztésben és a növénytermesztésben, vagyis kiemelt jelentősége van a genomikai kutatások folytatásának a genetikai készletekben rejlő lehetőségek feltárása érdekében. De a precíziós mezőgazdaság elterjedése is sok lehetőséget kínál a termelékenység növelésére a gyorsan szűkülő természeti erőforrások tükrében. Ugyanakkor gyorsan terjed a vegetáriánus étrend, különösen a fiatal korosztály körében, de a laboratóriumi hús előállítása is mérsékelheti az állattenyésztésre nehezedő egyre nagyobb fenntarthatósági kritikákat.

A klímaváltozás általában negatív hatással lesz az élelmiszertermelésre (régiók függvényében eltérő változással számolhatunk), ez pedig elengedhetlenné teszi a klímatudatos mezőgazdaság bevezetését, például az aszálytűrő növényfajták nemesítésével. Az előttünk álló évtizedek egyik legfontosabb kihívása éppen az ivóvízhiány és a klímaváltozás elleni küzdelem lesz. Napjainkban a világ ivóvíz-felhasználásának 70%-át a mezőgazdaság emésztí fel, amelybe ugyan a növénytermesztés is beletartozik, de a takarmánynövények is az állattenyésztést szolgálják ki. A klímaváltozás növeli az élelmiszerbiztonsági kockázatot is a kórokozók és a kártevők globális terjedésével, ezért kiemelt feladat az élelmiszer-szennyezettség forrásainak pontos leírása és kezelése. A környezet védelme érdekében változtatni az élelmiszerfogyasztási szokásokon is, így például a hagyományos állati fehérjék fogyasztását alternatív fehérjeforrások piaci bevezetésével csökkenthetjük.

A biomassza alapú gazdasággal kapcsolatos kutatások és innovációk elterjedésével az EU képes lesz a biológiai erőforrások fenntartására, továbbá új és szerteágazó piacokat nyithat meg az élelmiszer- és egyéb bioalapú termékek számára. Ez fontos szerepet kap a növekvő globális népesség élelmiszerellátásában, a természeti erőforrások megőrzésében, valamint a környezetvédelem és klímaváltozás kezelésében. A bioökonómia komoly potenciált jelent a következő területeken: fenntartható gazdasági növekedést teremt, miközben tiszteletben tartja a bioszféra korlátait, jólétet és értékes munkahelyet hoz létre a vidéki, tengerparti és ipari régiókban, csökkenti a fosszilis széntől való függést, végül pedig javítja az elsődleges termelés gazdasági és környezetvédelmi fenntarthatóságát. A bioökonómia fejlesztése tehát jelentősen hozzájárul a klímaváltozás hatásának mérsékléséhez is.

Kérdés, hogy milyen főbb korlátok állnak még a további fejlődés útjában az EU biomassza alapú gazdaságának fejlődésében? Például komoly akadályt jelent a bioalapú termékek termelési költségének alakulása a fosszilis eredetű helyettesítő termékek és a világpiacon beszerezhető hasonló termékek piaci áraihoz képest. A versenyképességet számos egyéb tényező is befolyásolja, például az alapanyagok költsége, a technológia fejlettségi szintje és a bioalapú termékek támogatásának mértéke. Ezt a versenyképességi problémát súlyosbítja a projektekhez és termeléshez kapcsolódó finanszírozási nehézség, a bioalapú termékek iránt mutatott alacsony végfelhasználói tudatosság, prémium ár fizetési hajlandóság és a biomassza alapú gazdaság előmozdításához szükséges szakértelem és hálózati kapcsolatok hiánya.

Ma erőteljes vezetésre és koordinációra van szükség a biomassza alapú gazdaságban rejlő potenciál felismerése, hasznosítása és kiaknázása érdekében. Az új technológiák kidolgozása időigényes folyamat, ezért hosszú távú, egyenletes elkötelezettség szükséges a zöld technológiát preferáló szektorok erősségeinek kiaknázásához. Ebből befektetéseket, gazdasági növekedést és innovációt magában foglaló közös érdekeltségen alapuló hálózat épülhet fel további közvetlen és közvetett munkahelyeket teremtve. Ehhez szükség van a döntéshozók és befektetők bevonására, egyebek között a regionális politika, a környezetvédelem, a mezőgazdaság, az ipar, a klímatudomány, a kereskedelem, az energia, a kutatás és az innováció területéről. Összességében az európai biomassza alapú gazdaság a fenntartható élelmiszerbiztonság mellett képes jelentős mértékben csökkenteni az EU fosszilis erőforrásoktól való függését, miközben egyéb bioalapú alapanyagok előállításával hozzájárul a

klímaváltozással kapcsolatos célok eléréséhez a zöld, környezetbarát gazdasági növekedés mellett. Mindez a klímasemleges gazdaság kiépítésének az alapja.

A biomassza hasznosításával kapcsolatos kutatás-fejlesztés középpontjában a fenntartható mezőgazdasági termelés áll. Ehhez évtizedeken átívelő stratégia kidolgozására van szükség, amely az egyes termékpályák minden szintjének (nyersanyagtermelés, feldolgozás, felhasználás, logisztika) input- és output-elemeit magában foglalja. Lényeges feladat a beruházók és a fogyasztók széleskörű tájékoztatása a biomassza alapú gazdaság gyakorlati alkalmazásának lehetőségeiről. A „zöld marketing” és a szemlélet formálása legalább olyan fontos, mint a konkrét jogszabályi beavatkozások.

Felhasznált szakirodalom

1. Abass, A.B., Ndunguru, G., Mamiro, P., Alenkhe, B., Mlingi, N., Bekunda, M. (2014): Post-harvest food losses in a maize-based farming system of semi-arid savannah area of Tanzania. *Journal of Stored Products Research*, Vol. 57, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2013.12.004>
2. Abideen, Z., Hameed, A., Koyro, H-V., Gul, B., Ansari, R., Khan, R.A. (2014): Sustainable biofuel production from non-food sources - An overview. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, Vol. 26, No. 12, 1057-1066. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v26i12.19107>
3. Achilladelis, B., Schwarzkopf, A., Cines, M. (1990): The dynamics of technological innovation: the case of the chemical industry. *Research Policy*, Vol. 19, 1-34. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(90\)90032-2](https://doi.org/10.1016/0048-7333(90)90032-2)
4. Aengenheyster, M., Feng, Q.Y., Van Der Ploeg, F., Dijkstra, H.A. (2018): The point of no return for climate action: effects of climate uncertainty and risk tolerance. *Earth System Dynamics*, Vol. 9, No. 3, 1085-1095. <https://doi.org/10.5194/esd-9-1085-2018>
5. Aguilar, A., Magnien, E., Thomas, D. (2013): Thirty years of European biotechnology programmes: from biomolecular engineering to the bioeconomy. *New Biotechnology*, Vol. 30, No. 5, 410-425. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2012.11.014>
6. Aguilar, A., Wohlgemuth, R., Twardowski, T. (2018): Perspectives on bioeconomy. *New Biotechnology*, Vol. 40, 181-184. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.06.012>
7. Agustin, A.-H., Daniel, B.-L., Shahbaz, M., Cantos, J.M. (2017): Energy innovation and renewable energy consumption in the correction of air pollution levels. *Energy Policy*, Vol. 105, 386-397. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.009>
8. Ahmed, K., Rehman, M.U., Ozturk, I. (2017): What drives carbon dioxide emissions in the long-run? Evidence from selected South Asian Countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 70, 1142-1153. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.018>
9. Albert, S. (2007): Transition to a bio-economy: A community development strategy discussion. *Journal of Rural and Community Development*, Vol. 2, No. 2, 64-81. <https://journals.brandonu.ca/jrcd/article/view/83/30>
10. Albrecht, S., Gottschick, M., Schorling, M., Stint, S. (2012): Bio-economy at a crossroads. Way forward to sustainable production and consumption or industrialization of biomass? *GALA- Ecological Perspectives for Science and Society*, Vol. 21, No. 1, 33-37.
11. Alexander, P., Brown, C., Arneith, A., Finnigan, J., Moran, D., Rounsevell, M.D. (2017): Losses, inefficiencies and waste in the global food system. *Agricultural Systems*, Vol. 153, 190-200. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.014>
12. Anderson, B. (2009): *Peak Oil Primer*. Energy Bulletin, June 16, 2009. <http://www2.energybulletin.net/primer>
13. Antweiler, W., Copeland, B.R., Taylor, M.S. (2001): Is free trade good for the environment? *American Economic Review*, Vol. 91, 877-908. <https://doi.org/10.1257/aer.91.4.877>
14. Atkins, P., Bowler, I. (2016): *Food in society: economy, culture, geography*. London, Hodder Education
15. Balázs, E. (2006): The OECD Blue Book has become a citation classic. *Environ Biosafety Research*, Vol. 5, No. 4, 211-212. <https://doi.org/10.1051/ebr:2007009>

16. Barzman, M., Bàrberi, P., Birch, A.N.E. (2015): Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J.E., Kiss, J., Kudsk, P., Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for Sustainable Development*, Vol. 35, 1199-1215. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0327-9>
17. BCG (2018): *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Global Food Losses and Food Waste*. FAOSTAT database, BCG FLOW model. 2015 findings, in 2015 dollars, The Boston Consulting Group, Boston, USA. <https://www.consulting.us/news/860/global-food-wastage-could-hit-21-billion-tons-by-2030-in-staggering-crisis>
18. Bell, J., Paula, L., Dodd, T., Németh, S., Nanou, C., Mega, V., Campos, P. (2018): EU ambition to build the world's leading bioeconomy-Uncertain times demand innovative and sustainable solutions. *New Biotechnology*, Vol. 40, 25-30. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.06.010>
19. BIO (2020): *Bio-based Chemicals Industry Looks to Biomass & Capital to Maintain Momentum*. <https://archive.bio.org/articles/bio-based-chemicals-industry-looks-biomass-capital-maintain-momentum>
20. Bioenergy Europe (2018): *Statistical Report*. 1-77. <https://epc.bioenergyeurope.org/bioenergy-europe-pellet-report-2018/>
21. Biofuels Research Advisory Council (2006): *Biofuels in the Europan Union. A vision for 2030 and beyond*. Final report of the Biofuels Research Advisory Council. http://www.etipbioenergy.eu/images/biofuels_vision_2030.pdf
22. Birch, K. (2009): The knowledge-space dynamic in the UK bioeconomy. *Area*, Vol. 41, No. 3, 273-284. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4762.2008.00864.x>
23. Birch, K. (2012): Knowledge, place, and power: geographies of value in the bioeconomy. *New Genetics and Society*, Vol. 31, No. 2, 183-201. <https://doi.org/10.1080/14636778.2012.662051>
24. Boccia, F., Sarnacchiaro, P. (2015): Genetically modified foods and consumer perspective. Recent Patents on Food. *Nutrition and Agriculture*, Vol. 7, No. 1, 28-34. <https://doi.org/10.2174/2212798407666150401105044>
25. Boehlje, M., Bröring, S. (2011): The increasing multifunctionality of agricultural raw materials: Three dilemmas for innovation and adoption. *International Food and Agribusiness Management Review*, Vol. 14, No. 2, 1-16. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/188764>
26. Bonsucro (2014): *The global sugarcane platform: Bonsucro production standard including Bonsucro EU production standard*. Bonsucro, London, 1-63. <https://www.bonsucro.com/wp-content/uploads/2017/01/Bonsucro-Production-Standard-4.1.pdf>
27. Borlaug, N. (1979): *Increasing and stabilizing food production*. In Plant Breeding II., Frey, K.J., Ed. Iowa State University Press: Iowa, USA, 467-492.
28. Borunda, A. (2018): *High stakes for the planet as carbon emissions rise again*. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/environment/2018/12/clima-te-geoengineering-series-intro/>
29. Bradley, B.D., Christodoulou, M., Caspari, C., Di Luc, P. (2002): *Integrated crop managements systems in the EU*. Amended Final Report for European Commission DG

- Environment. Agra CEAS Consulting: Ashford, UK, 1-141. https://ec.europa.eu/environment/agriculture/pdf/icm_finalreport.pdf
30. Britz, W., Hertel, T.W. (2011): Impacts of EU biofuels directives on global markets and EU environmental quality: an integrated PE, global CGE analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 142, 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.11.003>
 31. Brown, N. (2013): Contradictions of value: between use and exchange in cord blood bioeconomy. *Sociology of Health & Illness*, Vol. 35, No. 1, 97-112. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9566.2012.01474.x>
 32. Brown, N., Machin, L., McLeod, D. (2011): Immunitary bioeconomy: the economisation of life in the international cord blood market. *Social Science & Medicine*, Vol. 72, No. 7, 1115-1122. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2011.01.024>
 33. Brown, T., Summerbell, C. (2009): Systematic review of school-based interventions that focus on changing dietary intake and physical activity levels to prevent childhood obesity: an update to the obesity guidance produced by the National Institute for Health and Clinical Excellence. *Obesity Reviews*, Vol. 10, 110-141. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2008.00515.x>
 34. Buchholz, T.S., Volk, T. A., Luzadis, V.A. (2007): A participatory systems approach to modeling social, economic, and ecological components of bioenergy. *Energy Policy*, Vol. 35, No. 12, 6084-6094. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.08.020>
 35. Bugge, M. M., Hansen, T., Klitkou, A. (2016): What is the bioeconomy? A review of the literature. *Sustainability*, Vol. 8, No. 7, 691, 1-22. <https://doi.org/10.3390/su8070691>
 36. Bush, V. (1995): *Science: The Endless Frontier*. United States Government Printing Office: Washington DC, USA, https://books.google.hu/books?hl=hu&lr=&id=TNDgHNTT9VUC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Bush,+V.+Science:+The+Endless+Frontier%3B+United+States+Government+Printing+Office:+Washington,+DC,+USA,+1945.&ots=qyWcw5YG19&sig=DU8-xGOeiWw2n7-1yL3YglaZDjM&redir_esc=y#v=onepage&q=Bush%2C%20V.%20Science%3A%20The%20Endless%20Frontier%3B%20United%20States%20Government%20Printing%20Office%3A%20Washington%2C%20DC%2C%20USA%2C%201945.&f=false
 37. Caldeira, C., Caldeira, C., Sara, C., Serenella, S. (2017): *Food Waste Accounting: Methodologies, Challenges and Opportunities*. JRC109202, 9279778889, Publications Office of the European Union: Brussels, Belgium
 38. Caldeira, C., De Laurentiis, V., Sala, S. (2019): *Assessment of Food Waste Prevention Actions: Development of an Evaluation Framework to Assess the Performance of Food Waste Prevention Actions*. Publications Office of the European Union: Luxembourg
 39. Camia A., Robert N., Jonsson R., Pilli R., García-Condado S., López-Lozano R., van der Velde M., Ronzon T., Gurría P., M'Barek R., Tamosiunas S., Fiore G., Araujo R., Hoepffner N., Marelli L., Giuntoli J. (2018): *Biomass production, supply, uses and flows in the European Union*. Joint Research Centre Science for Policy Report, 1-126. <https://doi.org/10.2760/181536>
 40. Campbell, J.E., Lobell, D.B., Genova, R.C., Field, C.B. (2008): The global potential of bioenergy on abandoned agricultural lands. *Environmental Science & Technology*, Vol. 42, 5791-5794. <https://doi.org/10.1021/es800052w>

41. Ceballos, G., Ehrlich, P.R., Dirzo, R. (2017): Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 114, No. 30, E6089-E6096. <https://doi.org/10.1073/pnas.1704949114>
42. CEC (2019): *Quantifying Food Loss and Waste and Its Impacts*, Commission for Environmental Cooperation. Technical Report, Montreal, Canada, 1-129. <http://www3.cec.org/islandora/en/item/11813-technical-report-quantifying-food-loss-and-waste-and-its-impacts>
43. Chaboud, G. (2017): Assessing food losses and waste with a methodological framework: Insights from a case study. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 125, 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.008>
44. Chaboud, G., Daviron, B. (2016): Food losses and waste: navigating the inconsistencies. *Global Food Security*, Vol. 12, 1-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gfs.2016.11.004>
45. Chen, H., Gottweis, H. (2013): Stem Cell Treatments in China: Rethinking the patient role in the global bio-economy. *Bioethics*, Vol. 27, No. 4, 194-207. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8519.2011.01929.x>
46. Circular Economy Strategy (2015): *EU Circular Economy Action Plan, A new Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe*. http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm
47. Conrad, Z., Niles, M.T., Neher, D.A., Roy, E.D., Tichenor, N.E., Jahns, L. (2018): Relationship between food waste, diet quality, and environmental sustainability. *PloS One*, Vol. 13, 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195405>
48. Cooke, P. (2006): Global bioregional networks: a new economic geography of bioscientific knowledge. *European Planning Studies*, Vol. 14, No. 9, 1265-1285. <https://doi.org/10.1080/09654310600933348>
49. Cooke, P. (2007): *Growth Cultures: The Global Bioeconomy and Its Bioregions*. London, Routledge, 1-284. <https://academic.oup.com/joeg/article-abstract/8/2/265/888463>
50. Cooke, P. (2009): The economic geography of knowledge flow hierarchies among internationally networked medical bioclusters: A scientometric analysis. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, Vol. 100, No. 3, 332-347. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9663.2009.00506.x>
51. COP21 (2016): *Energy Matter, How COP21 can shift the energy sector onto a low-carbon path that supports economic growth and energy access*, International Energy Agency. Ministerial Statement on Energy and Climate Change, 18 November 2015, <http://www.cop21.gouv.fr/en/les-mots-de-laccord/>
52. Correa, D.F., Beyer, H.L., Fargione, J.E., Hill, J.D., Possingham, H.P., Thomas-Hall, S.R., Schenk, P. M. (2019): Towards the implementation of sustainable biofuel production systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 107, 250-263. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.005>
53. Costanza, R., Daly, H.E. (1992): Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology*, Vol. 6, 37-46. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.610037.x>
54. Cowger, C., Weisz, R., Arellano, C., Murphy, P. (2016): Profitability of integrated management of Fusarium head blight in North Carolina winter wheat. *Phytopathology*, Vol. 106, 814-823. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-15-0263-R>

55. Dale, V.H., Efroymsen, R.A., Kline, K L., Langholtz, M. H., Leiby, P.N., Oladosu, G.A., Hilliard, M.R. (2013): Indicators for assessing socioeconomic sustainability of bioenergy systems: a short list of practical measures. *Ecological Indicators*, Vol. 26, 87-102. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.014>
56. Dasgupta S., Laplante, B., Wang, H., Wheeler, D. (2002): Confronting the Environmental Kuznets Curve, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 16, No. 1, 147-168. <https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/0895330027157>
57. Dauda, L., Long, X., Mensah, C.N., Salman, M. (2019): The effects of economic growth and innovation on CO2 emissions in different regions. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 26, 15028-15038. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04891-y>
58. Davies, G. (2006): Patterning the geographies of organ transplantation: corporeality, generosity and justice. *Transactions of the Institute of British Geographers*, Vol. 31, No. 3, 257-271. <https://doi.org/10.1111/j.1475-5661.2006.00222.x>
59. de Jesus, A., Mendonça, S. (2018): Lost in transition? Drivers and barriers in the ecoinnovation road to the circular economy. *Ecological Economics*, Vol. 145, 75-89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.001>
60. de Oliveira, M.E.D., Vaughan, B.E., Rykiel, E.J. (2005): Ethanol as fuels: energy, carbon dioxide balances, and ecological footprint. *BioSci*, Vol. 55, No. 8, 593-602. <https://doi.org/10.1641/0006-3568>
61. Denruyter, J.P., Earley, J. (2006): *Certification as a tool for sustainable bioenergy, in Linking Trade, Climate Change and Energy*. ICTSD, Geneva, 21-22. https://www.ictsd.org/sites/default/files/downloads/2008/05/energy_issuebriefs3.pdf
62. Diamond, J. (2005): *Collapse: How societies choose to fail or succeed*. Viking Penguin/Allen Lane: New York and London
63. Diaz-Ruiz, R., Costa-Font, M., López-i-Gelats, F., Gil, J.M. (2019): Food waste prevention along the food supply chain: A multi-actor approach to identify effective solutions. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 149, 249-260. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.031>
64. Dones, R., Heck, T., Hirschberg, S. (2004): *Greenhouse gas emissions from energy systems: comparison and overview*. Paul Scherrer Institut: Villigen PSI, Swiss, <https://10.1016/B0-12-176480-X/00397-1>
65. Dudits D., Popp J. (2017): Biotechnológiai korszakváltás a nemesítésben: A magyar agrárium nagy lehetősége, *Haszon Agrár Magazin*, Vol. 11, No. 6, 46-48.
66. Dupuy, J.-P. (2004): *Pour un catastrophisme éclairé: quand l'impossible est certain*. Éditions du Seuil, Paris
67. Economist (2016): *The Driverless, Car-Sharing Road Ahead*. Economist, January 9. 2016. <https://www.economist.com/business/2016/01/09/the-driverless-car-sharing-road-ahead>
68. Economist (2019): *The past, present and future of climate change*. The Economist. <https://www.economist.com/briefing/2019/09/21/the-past-present-and-future-of-climate-change>
69. Edwards, P. (2015): Aquaculture environment interactions: past, present and likely future trends. *Aquaculture*, Vol. 447, 2-14. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.001>

70. Edwards, S.G., Jennings, P (2018): Impact of agronomic factors on Fusarium mycotoxins in harvested wheat. *Food Additives & Contaminants: Part A*, Vol. 35, 2443-2454. <https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1543954>
71. EFSA (2021): Safety of dried yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, Vol. 19, No. 1, 6343, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6343>, <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6343>
72. Egea, F.J., Torrente, R.G., Aguilar, A. (2018): An efficient agro-industrial complex in Almería (Spain): Towards an integrated and sustainable bioeconomy model. *New Biotechnology*, Vol. 40, 103-112. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.nbt.2017.06.009>
73. Eggers, J., Tröltzsch, K., Falcucci, A., Maiorano, L., Verburg, P.H., Framstad, E., Delbaere, B. E. N. (2009): Is biofuel policy harming biodiversity in Europe? *GCB Bioenergy*, Vol. 1, 18-34. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2009.01002.x>
74. Ehrlich, P.R., Ehrlich, A.H. (2009): The population bomb revisited. *The Electronic Journal of Sustainable Development*, 1, 63-71. https://www.researchgate.net/profile/Karol_Boudreaux/publication/42766070_Land_Conflict_and_Genocide_in_Rwanda/links/568c204e08ae153299b64183.pdf#page=11
75. Ellen MacArthur Foundation (2016): *The New Plastics Economy: Catalysing Action*. 1-68. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/New-Plastics-Economy_Catalysing-Action_13-1-17.pdf
76. Emberi Erőforrások Minisztériuma (2014): *Rendelet a közétkeztetésre vonatkozó táplálkozás-egészségügyi előírásokról*. No. 37/2014 [Decree on nutritional regulations in public catering, in Hungarian], <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A1400037.EMM>
77. ePure (2018): *Overview of biofuel policies and markets across the EU-28*. 102. p. *European Renewable Ethanol*. <https://epure.org/media/1757/180903-def-rep-overview-of-biofuel-policies-and-markets-across-the-eu-28.pdf>
78. Erdélyi, É. (2008): *Az őszi búza termesztetőségi feltételei az éghajlatváltozás függvényében*. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék Doktorai (PhD) értekezés, Budapest, 1-107.
79. EURACTIV (2011): *Alga- a jövő bioüzemanyag-forrása?* <http://www.euractiv.hu/gazdasag/linkdossziek/alga-a-jovo-biouzemanyag-forrassa-000097>
80. EURACTIV (2020): *German cabinet agrees CO2 price of €25 from January 2021*. <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/german-cabinet-agrees-to-a-co2-price-of-e25-from-january-2021/>
81. European Chemical Industry Council (2019): *2020 Facts & Figures of the European Chemical Industry*. 1-78. <https://cefic.org/app/uploads/2019/01/The-European-Chemical-Industry-Facts-And-Figures-2020.pdf>
82. Európai Bizottság (2018): *Tiszta bolygót mindenkinek Európai hosszú távú stratégiai jövőkép egy virágzó, modern, versenyképes és klímasemleges gazdaságról*. Brüsszel, 2018.11.28. COM(2018) 773 final, 1-29. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN>
83. European Commission (2009a): *Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC*, 11, 39-

85. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:EN:PDF>
84. European Commission (2009b): *Directive 2009/30/EC of the European Parliament and the Council of 23 April 2009 amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland waterway vessels and repealing Directive 93/12/EEC (OJ L 140/88)*. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0088:0113:EN:PDF>
85. European Commission (2011a): *Roadmap to a Resource Efficient Europe COM(2011) 571*. European Commission, Brussels, Belgium, <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2011-571-roadmap-to>
86. European Commission (2011b): *On security of energy supply and international cooperation - "The EU Energy Policy: Engaging with Partners beyond Our Borders"*. 1-19. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2011/EN/1-2011-539-EN-F1-1.Pdf>
87. European Commission (2012): *Review of the 2012 European Bioeconomy Strategy*. Publications Office of the European Union, European Commission, Luxembourg, 1-60. https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/review_of_2012_eu_bes.pdf, <https://doi.org/10.2777/086770>
88. European Commission (2013): *A bioeconomy strategy for Europe*. Publications Office of the European Union, European Commission, Luxembourg. <https://doi.org/10.2777/17708>
89. European Commission (2014a): *What Next for the European Bio-economy?* The latest thinking from the European Bio-economy Panel and the Stand-ing Committee on Agricultural Research Strategic Working Group (SCAR). Brussels, 1-43. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6e408028-0256-448f-9b1a-5556ade096be>
90. European Commission (2014b): *A BIZOTTSÁG KÖZLEMÉNYE AZ EURÓPAI PARLAMENTNEK ÉS A TANÁCSNAK Európai energiabiztonsági stratégia COM (2014)*. 1-330, <https://www.eesc.europa.eu/resources/docs/european-energy-security-strategy.pdf>
91. European Commission (2016): *SWD (2016) 418 final PART 4/4. Sustainability of Bioenergy Accompanying the document Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast) Brussels*,. 1-130. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_en_impact_assessment_part4_v4_418.pdf
92. European Commission (2017a): *Sustainable and optimal use of biomass for energy in the EU beyond 2020*. Annexes of the Final Report, EC Directorate General for Energy. <https://ec.europa.eu/energy/en/studies/sustainable-and-optimal-use-biomass-energy-eu-beyond-2020>
93. European Commission (2017b): *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)*. European Commission, COM/2016/0767 final/2 - 2016/0382 (COD). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52016PC0767R%2801%29>

94. European Commission (2017c): *Review of the EU bioeconomy strategy and its action plan - Expert group report - Study*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, <https://doi.org/10.2777/149467>
95. European Commission (2018a): *A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment*. Updated Bioeconomy Strategy. Directorate-General for Research and Innovation. Unit F - Bioeconomy 1, 1-107. European Commission, Brussels, Belgium, https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_strategy_2018.pdf#view=fit&pagemode=none, <https://doi.org/10.2777/478385>
96. European Commission (2018b): *Market study on date marking and other information provided on food labels and food waste prevention*. Final Report, Written by ICF in association with Anthesis, Brook Lyndhurst, and WRAP January 2018, Directorate-General for Health and Food Safety, Luxembourg, 1-92. https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/fw_lib_srp_date-marking.pdf
97. European Commission (2018c): *COM(2018) 392 final 2018/0216 (COD)*. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing rules on support for strategic plans to be drawn up by Member States under the Common agricultural policy (CAP Strategic Plans) and financed by the European Agricultural Guarantee Fund (EAGF) and by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) and repealing Regulation (EU) No 1305/2013 of the European Parliament and of the Council and Regulation (EU) No 1307/2013 of the European Parliament and of the Council, 1-143.p., <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A392%3AFIN>
98. European Commission (2019a): *2050 long-term strategy*. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en
99. European Commission (2019b): *What is the Bioeconomy?* <https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/index.cfm>
100. European Commission (2019c): *Biomass flows, Biomass balances in European Union (EU-28)*. https://datam.jrc.ec.europa.eu/datam/mashup/BIOMASS_FLOWS/index.html
101. European Commission (2019d): *Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European and Social Committee of the Regions, Renewable Energy Progress Report*. Brussels, 9.4.2019 COM(2019) 225 final, European Commission
102. European Commission (2019e): *Communication from the Commission, The European Green Deal*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2>
103. European Commission (2019): *Frequently asked questions: Reducing Food Waste in the EU*. European Commission: Brussels, Belgium, 1-5. https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/fs_eu-actions_fwm_qa-fight-food-waste.pdf
104. European Commission (2020a): *EU forestry explained*. https://ec.europa.eu/agriculture/forest_en
105. European Commission (2020b): *European Commission's Knowledge Centre for Bioeconomy*. Knowledge for policy, Economics, https://ec.europa.eu/knowledge4policy/bioeconomy/topic/economy_en
106. European Commission (2020c): *2030 climate & energy framework*. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en

107. European Parliament (2020): *European Parliament resolution of 15 January 2020 on the European Green Deal*. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2020-0005_EN.html
108. European Parliament and Council (2003): *European Regulation No 1829/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2003 on genetically modified food and feed*. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:268:0001:0023:EN:PDF>
109. European Parliament (2009): *Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (Text with EEA relevance)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0028>
110. European Union (2015): *Directive (EU) 2015/1513 of the European Parliament and of the Council of 9 September 2015 amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources (OJ L 239/1)*. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32015L1513>
111. Eurostat (2016): *European Health Interview Survey*. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7700898/3-20102016-BP-EN.pdf/c26b037b-d5f3-4c05-89c1-00bf0b98d646>
112. Eurostat (2019a): *Supply, transformation and consumption of renewable energies-annual data*. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/external/supply-transformation-consumption-renewable-energies>
113. Eurostat (2019b): *Statistics Explained, Glossary on Biomass*. <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Biomass>
114. Eurostat (2020a): *Renewable energy statistics*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics#Share_of_renewable_energy_almost_doubled_between_2004_and_2018
115. Eurostat (2020b): *Supply, transformation and consumption of renewable energies - annual data*. https://db.nomics.world/Eurostat/nrg_107a?q=biomass
116. Eurostat (2020c): *Glossary: Biomass*. <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Biomass>
117. Eurostat (2020d): *Energy statistics*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database>
118. Eurostat (2020e): *Energy production and imports*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports
119. Eurostat (2020f): *Renewable energy statistics*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics/hu
120. Fanelli, R.M. (2019a): The (un) sustainability of the land use practices and agricultural production in EU countries. *International Journal of Environmental Studies*, Vol. 76, 273-294. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1560761>

121. Fanelli, R.M. (2019b): Using causal maps to analyse the major root causes of household food waste: Results of a survey among people from Central and Southern Italy. *Sustainability*, Vol. 11, No.4, 1183, 1-17. <https://doi.org/10.3390/su11041183>
122. Fannin, M. (2013): The hoarding economy of endometrial stem cell storage. *Body & Society*, Vol. 19, No. 4, 32-60. <https://doi.org/10.1177/1357034X13479147>
123. FAO (2015): *Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1-8. <http://www.fao.org/3/a-i4068e.pdf>
124. FAO (2017): *The state of food security and nutrition in the world 2017*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, <http://www.fao.org/3/a-I7695e.pdf>
125. FAO (2018): *The Future of Food and Agriculture – Alternative Pathways to 2050*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, <http://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf>
126. FAO (2019): *Food loss and waste facts*. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, <http://www.fao.org/3/a-i4807e.pdf>
127. FAO (2020): *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action Rome*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, <http://doi.org/104060/ca9229en>
128. Federation of European Compound Feed Manufacturers (FEFAC) (2017): *Annual report 2016-2017*. Federation Europeenne Des Fabricants D'aliments Composes Pour Animaux, (European Feed Manufacturers Federation). Brussels, 1-23.
129. Felt, U. (2007): *Taking European Knowledge Society Seriously, Report of the Expert Group on Science and Governance to the Science*. Economy and Society Directorate, Directorate-General for Research, European Commission. Directorate-General for Research - European Commission, Brussels
130. Feng, F., Peng, L. (2019): Is There Any Difference in the Effect of Different R and D Sources on Carbon Intensity in China? *Sustainability*, Vol. 11, 1701, <https://doi.org/10.3390/su11061701>
131. Fernández, Y.F., López, M.F., Blanco, B.O. (2018): Innovation for sustainability: The impact of R&D spending on CO₂ emissions. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 172, 3459-3467. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.001>
132. Fevolden, A., Coenen, L., Hansen, T., Klitkou, A. (2017): The role of trials and demonstration projects in the development of a sustainable bioeconomy. *Sustainability*, Vol. 9, No. 3, 419, 1-15. <https://doi.org/10.3390/su9030419>
133. Fogarassy, Cs., Horváth, B. (2018): Körkörös ellátási láncok. *Lépések a fenntarthatóság felé*, Vol. 72, No. 2, 4-5. http://kovet.hu/wp-content/uploads/2018/09/lepesek_72.pdf
134. Gao, D. (2019): *Food loss and waste. Building on Existing Federal Efforts Could Help to Achieve National Reduction Goal*. GAO-19-391 United States Government Accountability Office: Washington, USA, 1-47. <https://www.gao.gov/assets/gao-19-391.pdf>
135. Genovese, A., Acquaye, A.A., Figueroa, A., Koh, S.L. (2017): Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega*, Vol. 66, 344-357. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>

136. Georgescu-Roegen, N. (1975a): *Bio-economics aspects of entropy*. In: Kubat, L., Zeman, J. (Eds.), *Entropy and Information in Science and Philosophy*. Elsevier, Amsterdam, 125-142.
137. Georgescu-Roegen, N. (1975b): Energy and economic myths. *Southern Economic Journal*, Vol. 41, No. 3, 347-381. <https://doi.org/10.2307/1056148>
138. Georgescu-Roegen, N. (1978): De la science économique à la bioéconomie. *Revue d'Economie Politique*, Vol. 88, No. 3, 337-382. https://www.jstor.org/stable/24696907?seq=1#metadata_info_tab_contents
139. Gerber, P.J., Srtbeinrfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G. (2013): *Tackling climate change through livestock - A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1-139. <http://www.fao.org/3/i3437e.pdf>
140. Gilli, M., Mancinelli, S., Mazzanti, M. (2014): Innovation complementarity and environmental productivity effects: Reality or delusion? Evidence from the EU. *Ecological Economics*, Vol. 103, 56-67. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.04.004>
141. Golden, J.S., Handfield, R., Pascual-Gonzalez, J., Agsten, B., Brennan, T., Khan, L., True, E. (2018): *Indicators of the U.S. Biobased Economy*. U.S. Department of Agriculture, Office of Energy Policy and New Uses, Office of the Chief Economist. <https://www.usda.gov/oce/energy/files/BIOINDICATORS.pdfpa>
142. Gopalakrishnan, G., Negri, M.C., Wang, M., Wu, M., Snyder, S.W., Lafreniere, L. (2009): Biofuels, land, and water: a systems approach to sustainability. *Environmental Science & Technology*, Vol. 43, 6094-6100., <https://doi.org/10.1021/es900801u>
143. Grasgruber, P., Cacek, J., Hrazdíra, E., Hřebíčková, S., Sebera, M. (2018): Global Correlates of Cardiovascular Risk: A Comparison of 158 Countries. *Nutrients*, Vol. 10, No. 4, 411, 1-39. <https://doi.org/10.3390/nu10040411>
144. Groom, M.J., Gray, E.M., Townsend, P.A. (2008): Biofuels and biodiversity: principles for creating better policies for biofuel production. *Conservation Biology*, Vol. 22, 602-609. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00879.x>
145. Grossman, G. M., Krueger, A. B. (1991): *Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement*. NBER Working Paper Series, No. 3914, 1-57. <https://www.nber.org/papers/w3914.pdf>
146. Gupta, J.A. (2012): Reproductive biocrossings: Indian egg donors and surrogates in the globalized fertility market. *IJFAB: International Journal of Feminist Approaches to Bioethics*, Vol. 5, No. 1, 25-51. <https://doi.org/10.3138/ijfab.5.1.25>
147. Gurriá, P., Ronzon, T., Tamosiunas, S., López, R., García Condado, S., Guillén, J., Cazzaniga, N.E., Jonsson, R., Banja, M., Fiore, G., Camia A., M'Barek, R. (2017): *Biomass flows in the European Union: The Sankey biomass diagram – towards a cross-set integration of biomass*. European Commission, EUR 28565 EN, JRC106502, 1-71. <https://core.ac.uk/download/pdf/84886777.pdf>
148. Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk and R., Meybeck, A. (2011): *Global Food Losses and Food Waste: Extent Causes and Prevention*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 1-37. <http://www.fao.org/3/mb060e/mb060e.pdf>

149. Gyalog, G.; Oláh, J.; Békefi, E.; Lukácsik, M.; Popp, J. (2017): Constraining Factors in Hungarian Carp Farming: An Econometric Perspective. *Sustainability*, Vol. 9, No. 11, 2111, 1-13. <https://doi.org/10.3390/su9112111>
150. Haghiri, M., Sabau, G., Ahmed, R. (2019): The Long Run Relationship between Economic Growth and Environmental Quality. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 1-10. <https://doi.org/10.9734/ajaees/2019/v32i330153>
151. Haimes, E. (2013): Juggling on a rollercoaster? Gains, loss and uncertainties in IVF patients' accounts of volunteering for a UK 'egg sharing for research'scheme. *Social Science & Medicine*, Vol. 86, 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2013.03.002>
152. Hansen, J. (2014): The Danish biofuel debate: Coupling scientific and politico-economic claims. *Science as Culture*, Vol. 23, No. 1, 73-97. <https://doi.org/10.1080/09505431.2013.808619>
153. Hansen, T., Winther, L. (2011): Innovation, regional development and relations between high-and low-tech industries. *European Urban and Regional Studies*, Vol. 18, No. 3, 321-339. <https://doi.org/10.1177/0969776411403990>
154. Harangi-Rákos, M., Popp, J., Oláh, J. (2017a): A bioüzemanyag előállítás globális kihívásai. *Journal of Central European Green Innovation*, Vol. 5, No. 4, 11-32. http://greeneconomy.uni-eszterhazy.hu/sites/greeneconomy.foiskola.krf/files/upload/JCEGI_2017_5_4_2.pdf
155. Harangi-Rákos, M., Popp, J., Oláh, J. (2017b): A megújuló energia termelésének kilátásai az EU energiafogyasztásában, *Energiagazdálkodás*, Vol. 58, No. 6, 19-25. http://www.ete-net.hu/images/doku/Enga/2017/enga_2017_6_honlap.pdf
156. Hegnsholt, E., Unnikrishnan, S., Pollmann-Larsen, M., Askelsdottir, B., Gerard, M. (2018): *Tackling the 1.6-billion-ton food loss and waste crisis*, The Boston Consulting Group in collaboration with Food Nation and State of Green. Boston, USA. <https://www.consulting.us/news/860/global-food-wastage-could-hit-21-billion-tons-by-2030-in-staggering-crisis>
157. Hejazi, M., Grant, J.H., Peterson, E. (2017): Tariff changes and the margins of trade: a case study of US Agri-Food Imports. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, Vol. 42, 15-29. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.252756>
158. Hellsmark, H., Frishammar, J., Söderholm, P., Ylinenpää, H. (2016): The role of pilot and demonstration plants in technology development and innovation policy. *Research Policy*, Vol. 45, 1743-1761. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.05.005>
159. Hengeveld, L.M., Wijnhoven, H.A., Olthof, M.R., Brouwer, I.A., Harris, T.B., Kritchevsky, S.B., Newman, A.B., Visser, M., Study, H.A. (2018): Prospective associations of poor diet quality with long-term incidence of protein-energy malnutrition in community-dwelling older adults: The Health, Aging, and Body Composition (Health ABC) Study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, Vol. 107, 155-164. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqx020>
160. Hilgartner, S. (2007): Making the bioeconomy measurable: Politics of an emerging anticipatory machinery. *BioSocieties*, Vol. 2, No. 3, 382-386. <https://doi.org/10.1017/S1745855207005819>
161. Hoefnagels, R., Kluts I., Junginger, M., Visser, L., Resch, G., Mantau U., et al. (2018): *Biomass supply potentials for the EU and biomass demand from the material sector by 2030 Technical Background Report of the "BioSustain" study: Sustainable and optimal*

- use of biomass for energy in the EU beyond 2020*. Annex 1, 1-404.
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/biosustain_annexes_final.pdf
162. Hoeyer, K. (2009): Tradable body parts? How bone and recycled prosthetic devices acquire a price without forming a 'market'. *BioSocieties*, Vol. 4, No. 2-3, 239-256.
<https://doi.org/10.1017/S1745855209990159>
 163. Hogarth, S., Salter, B. (2010): Regenerative medicine in Europe: global competition and innovation governance. *Regenerative Medicine*, Vol. 5, No. 6, 971-985.
<https://doi.org/10.2217/rme.10.81>
 164. Horlings, L.G., Marsden, T.K. (2014): Exploring the 'New Rural Paradigm' in Europe: Eco-economic strategies as a counterforce to the global competitiveness agenda. *European Urban and Regional Studies*, Vol. 21, No. 1, 4-20.
<https://doi.org/10.1177/0969776412441934>
 165. IEA (2018): *Renewables 2018, Analysis and Forecasts to 2023*. International Energy Agency, <https://www.iea.org/reports/renewables-2018>
 166. IEA (2018): *World Energy Outlook 2018*.: International Energy Agency, <https://www.iea.org/weo2018/>
 167. IEA (2020a): *Global Energy Review 2020. The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO₂ emissions*. International Energy Agency, 1-56.
<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>
 168. IEA (2020b): *Covid-19 crisis will wipe out demand for fossil fuels, says IEA*. International Energy Agency, <https://www.theguardian.com/business/2020/apr/30/covid-19-crisis-demand-fossil-fuels-iea-renewable-electricity>
 169. Ignaciuk, A. (2006): *Economics of multifunctional biomass systems*.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Economics-of-multifunctional-biomass-systems-Ignaciuk/2aecbbc74f0178d0f9373ddf12abc87c854d0d0a>
 170. Ilbery, B., Maye, D. (2006): Retailing local food in the Scottish-English borders: A supply chain perspective. *Geoforum*, Vol. 37, 352-367.
<https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2005.09.003>
 171. International Grains Council (2019): *Market Report Five-year baseline projections of supply and demand for wheat, maize (corn), rice and soyabeans to 2023/24 March 2019*. International Grains Council, London, 1-4.
<http://www.igc.int/en/downloads/gmrsummary/gmrsumme.pdf>
 172. IWMI (2007): *Water for Food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture*. International Water Management Institute, London, UK: Earthscan, Colombo, Sri Lanka, 1-645.
<http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/Publications/books.htm>
 173. IPCC (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). The Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 1-169.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
 174. Ishangulyyev, R., Kim, S., Lee, S.H. (2019): Understanding Food Loss and Waste-Why Are We Losing and Wasting Food? *Foods*, Vol. 8, No. 8, 297
<https://doi.org/10.3390/foods8080297>

175. Jayas, D.S. (2012): Storing grains for food security and sustainability. *Agricultural Research*, Vol. 1, 21-24. <https://doi.org/10.1007/s40003-011-0004-4>
176. Jonker, W., Brent, A.C., Musango, J.K. (2015): *Modelling the production of biofuel within the Western Cape Province*. 24th International Conference of the International Association for Management of Technology (IAMOT 2015): Technology, Innovation and Management for Sustainable Growth, Cape Town, South Africa, Pretorius, L.e.a., Ed. Cape Town, South Africa
177. Jurgilevich, A., Birge, T., Kentala-Lehtonen, J., Korhonen-Kurki, K., Pietikäinen, J., Saikku, L., Schäler, H. (2016): Transition towards circular economy in the food system. *Sustainability*, Vol. 8, No. 1, 69, 1-14. <https://doi.org/10.3390/su8010069>
178. Kartha, S., Larson, E.D. (2000): *Bioenergy primer: Modernized biomass energy for sustainable development, Technical Report UN Sales Number E.00.III.B.6, United Nations Development Programme*. 1 United Nations Plaza, New York, NY 10017, USA. https://www.undp.org/content/dam/aplaws/publication/en/publications/environment-energy/www-ee-library/sustainable-energy/bioenergy-primer-modernised-biomass-energy-for-sustainable-development/Bioenergy%20Primer_2000.pdf
179. Kasza, G., Dorkó, A., Kunszabó, A., Szakos, D. (2020): Quantification of Household Food Waste in Hungary: A Replication Study Using the FUSIONS Methodology. *Sustainability*, Vol. 12, No. 8, 3069, 1-14. <https://doi.org/10.3390/su12083069>
180. Kazamia, E., Smith, A.G. (2014). Assessing the environmental sustainability of biofuels. *Trends in Plant Science*, Vol. 19, 615-618. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.08.001>
181. Kearnes, M. (2013): Performing synthetic worlds: Situating the bioeconomy. *Science and Public Policy*, Vol. 40, No. 4, 453-465. <https://doi.org/10.1093/scipol/sct052>
182. Keegan, D., Kretschmer, B., Elbersen, B., Panoutsou, C. (2013): Cascading use: a systematic approach to biomass beyond the energy sector. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, Vol. 7, No. 2, 193-206. <https://doi.org/10.1002/bbb.1351>
183. Kemenczei, Á., Izsó T., Bognár, L., Kasza, Gy. (2016): Insects as „new” foods. *Journal of Food Investigations*, Vol. 62, No. 2, 1106-1119.
184. Kemény, G., Molnár, A., Fogarasi, J. (2019): *A klímaváltozás hatásának modellezése a főbb hazai gabonafélék esetében*. Agrárgazdasági Kutató Intézet, Budapest, 1-115. <http://doi.org/10.7896/ak1901>
185. Kent, J. (2008): The fetal tissue economy: From the abortion clinic to the stem cell laboratory. *Social Science & Medicine*, Vol. 67, No. 11, 1747-1756. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2008.09.027>
186. Khader, B.F.Y., Yigezu, Y.A., Duwayri, M.A., Nianed, A.A., Shideed, K. (2019): Where in the value chain are we losing the most food? The case of wheat in Jordan. *Food Security*, Vol. 11, 1009-1027. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00962-7>
187. Khan, S.R., Yusuf, M., Khan, S.A., Abbasy, R. (2010): Biofuels trade and sustainable development: the case of sugarcane bioethanol in Pakistan. *Biofuels Production, Trade and Sustainable Development Energy Policy*, Vol. 35, 3550-3570. quality.net/fileadmin/eac_quality/user_documents/3_pdf/Biofuels_production_trade_and_sustainable_development.pdf

188. Kircher, M. (2012): The transition to a bio-economy: emerging from the oil age. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, Vol. 6, No. 4, 369-375. <https://doi.org/10.1002/bbb.1352>
189. Kirchher, J., Reike, D., Hekkert, M. (2017): Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 127, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
190. Kiss, A., Popp, J., Oláh, J., Lakner, Z. (2019): The Reform of School Catering in Hungary: Anatomy of a Health-Education Attempt. *Nutrients*, Vol. 11, No. 4, 716, 1-19. <https://doi.org/10.3390/nu11040716>
191. Kiss, A., Pfeiffer, L., Popp, J., Oláh, J., Lakner, Z. (2020): A Blind Man Leads a Blind Man? Personalised Nutrition-Related Attitudes, Knowledge and Behaviours of Fitness Trainers in Hungary. *Nutrients*, Vol. 12, No. 3, 663, 1-18. <https://doi.org/10.3390/nu12030663>
192. Kleinschmit, D., Lindstad, B. H., Thorsen, B. J., Toppinen, A., Roos, A., Baardsen, S. (2014): Shades of green: a social scientific view on bioeconomy in the forest sector. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol. 29, No. 4, 402-410. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.921722>
193. Kumar, D., Kalita, P. (2017): Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries. *Foods*, Vol. 6, No. 1, 8, 1-22. <https://doi.org/10.3390/foods6010008>
194. Ladanai, S., Vinterbäck, J. (2009): *Global potential of sustainable biomass for energy* (No. 013). https://worldbioenergy.org/uploads/WBA_Global%20Potential.pdf
195. Lang, T., Heasman, M. (2015): *Food wars: The global battle for mouths, minds and markets*. New York: Routledge
196. Langeveld, H., Meeusen, M., Sanders, J. (Eds.) (2010): *The Biobased Economy: Biofuels*. London: Earthscan, ISBN 9781844077700-389
197. Langeveld, J.W.A., Dixon, J., van Keulen, H., Quist-Wessel, P.M.F. (2014): Analyzing the effect of biofuel expansion on land use in major producing countries: Evidence of increased multiple cropping. *Biofuel Bioprod. Biorefin*, Vol. 8, 49-58. <https://doi.org/10.1002/bbb.1432>
198. Leib, E.B., Gunders, D., Ferro, J., Nielsen, A., Nosek, G., Qu, J. (2013): *The dating game: How confusing food date labels lead to food waste in America*. National Resources Defense Council, New York, USA, 1-61. <https://cpb-us-e1.wpmucdn.com/blogs.uoregon.edu/dist/a/3266/files/2013/10/dating-game-report-1m6z9a3.pdf>
199. Levi, P.G., Cullen, J.M. (2018): Mapping global flows of chemicals: from fossil fuel feedstocks to chemical products. *Environmental Science & Technology*, Vol. 52, No. 4, 1725-1734. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b04573>
200. Levidow, L., Birch, K., Papaioannou, T. (2013): Divergent paradigms of European agrofood innovation: the knowledge-based bio-economy (KBBE) as an R&D agenda. *Science, Technology, & Human Values*, Vol. 38, 94-125. <https://doi.org/10.1177/0162243912438143>
201. Lewandowski, I. and Faaij, A.P.C. (2006): Steps toward the development of a certification system for sustainable bioenergy trade. *Biomass Bioenergy*, Vol. 30, 83-104. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.11.003>

202. Lewandowsky, S., Gignac, G.E., Oberauer, K. (2013): The role of conspiracist ideation and worldviews in predicting rejection of science. *PloS One*, Vol. 8, No. 10, e75637, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075637>
203. Lewandowski, I. (ed., author) (2017): *Bioeconomy: Shaping the transition to a sustainable, biobased economy*. (1st edition) Springer. Springer International Publishing. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8>
204. Li, H., Wei, Y.-M., Mi, Z. (2015): China's carbon flow: 2008-2012. *Energy Policy*, Vol. 80, 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.01.025>
205. Lodz Declaration of Bioregion (2016): *Bioeconomy congress EBCL*. <http://european-biotechnology.com/up-to-date/latest-news/news/bioregions-deliver-action-plan-lueprint.html>
206. Lora, E.E.S., Palacio, J.C.E., Rocha, M.H., Renó, M.L.G., Venturini, O.J., Del Olmo, O.A. (2011): Issues to consider, existing tools and constraints in biofuels sustainability assessments. *Energy*, Vol. 36, 2097-2110. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.06.012>
207. Low, S.A., Isserman, A. M. (2009): Ethanol and the local economy: Industry trends, location factors, economic impacts, and risks. *Economic Development Quarterly*, Vol. 23, No. 1, 71-88. <https://doi.org/10.1177/0891242408329485>
208. Lusser, M., Davies, H.V. (2013): Comparative regulatory approaches for groups of new plant breeding techniques. *New Biotechnology*, Vol. 30, No. 5, 437-446. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2013.02.004>
209. Luzadis, V.A., Volk, T.A., Buchholz, T.S. (2008): *Using a systems approach to improve bioenergy sustainability assessment*. In Renewable Energy From Forest Resources in the United States. B.D. Solomon & V.A. Luzadis. Eds.: 196-209. Routledge. Oxford, UK 18.
210. Magyar Élelmiszerbank Egyesület (2017): *Közhasznúsági jelentések*. <https://www.elelmiszerbank.hu/hu/rolunk/atlathatosag.html>
211. Magyar Nemzeti Bank (2019): *Növekedési Jelentés*. 1-108. <https://www.mnb.hu/letoltes/novekedesijelentes-2019-digitalis.pdf>
212. Malthus, T.R. (1978): *An Essay on the Principle of Population*. As It Affects the Future Improvement of Society, with Remarks on the Speculations of Mr. Goodwin, M. Condorcet and Other Writers (1ed.), London: J. Johnson in St Paul's Church-yard, UK
213. Manandhar, A., Milindi, P., Shah, A. (2018): An overview of the post-harvest grain storage practices of smallholder farmers in developing countries. *Agriculture*, Vol. 8, No. 4, 57, 1-21, <https://doi.org/10.3390/agriculture8040057>
214. Mangoyana, R.B. (2009): Bioenergy for sustainable development: an African context. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 34, No. 59-64.
215. Mangoyana, R.B., Smith, T.F., Simpson, R. (2013): A systems approach to evaluating sustainability of biofuel systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 25, 371-380. <https://www.raeng.org.uk/publications/reports/biofuels>
216. Mariyakhan, K., Mohamued, E. A., Asif Khan, M., Popp, J., Oláh, J. (2020): Does the level of absorptive capacity matter for carbon intensity? Evidence from the USA and China. *Energies*, Vol. 13, No. 2, 407, 1-18. <https://doi.org/10.3390/en13020407>
217. Market Insider (2020): *Commodities*. <https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-european-emission-allowances>

218. Marsden, T. (2012): Towards a real sustainable agri-food security and food policy: Beyond the ecological fallacies? *The Political Quarterly*, Vol. 83, No. 1, 139-145. <https://doi.org/10.1111/j.1467-923X.2012.02242.x>
219. Mathews, J.A. (2009): From the petroeconomy to the bioeconomy: Integrating bioenergy production with agricultural demands. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining: Innovation for a Sustainable Economy*, Vol. 3, No. 6, 613-632. <https://doi.org/10.1002/bbb.181>
220. McBride, A.C., Dale, V.H., Baskaran, L.M., Downing, M.E., Eaton, L.M., Efroymson, R.A., Garten, C.T., Jr, Kline, K. L., Jager, H.I., Mulholland, P.J., Parish, E.S., Schweizer, P.E., Storey, J.M. (2011): Indicators to support environmental sustainability of bioenergy systems. *Ecological Indicators*, Vol. 11, 1277-1289. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.01.010>
221. McCormick, K., Kautto, N. (2013): The bioeconomy in Europe: An overview. *Sustainability*, Vol. 5, No. 6, 2589-2608. <https://doi.org/10.3390/su5062589>
222. Meiklejohn, S., Ryan, L., Palermo, C. (2016): A Systematic Review of the Impact of Multi-Strategy Nutrition Education Programs on Health and Nutrition of Adolescents. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, Vol. 48, 631-646. e631. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2016.07.015>
223. Mesterházy, A., Lehoczki-Krsjak, S., Varga, M., Szabó-Hevér, Á., Tóth, B., Lemmens, M. (2015): Breeding for FHB Resistance via Fusarium Damaged Kernels and Deoxynivalenol Accumulation as Well as Inoculation Methods in Winter Wheat. *Agricultural Sciences*, Vol. 6, 970-1002. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2015.69094>
224. Mesterházy, Á., Varga, M., György, A., Lehoczki-Krsjak, S., Tóth, B. (2018a): The role of adapted and non-adapted resistance sources in breeding resistance of winter wheat to Fusarium head blight and deoxynivalenol contamination. *World Mycotoxin Journal*, Vol. 11, 539-557. <https://doi.org/10.3920/WMJ2017.2297>
225. Mesterházy, Á., Varga, M., Tóth, B., Kotai, C., Bartók, T., Véha, A., Ács, K., Vágvolgyi, C., Lehoczki-Krsjak, S. (2018b): Reduction of deoxynivalenol (DON) contamination by improved fungicide use in wheat. Part 1. Dependence on epidemic severity and resistance level in small plot tests with artificial inoculation. *European Journal of Plant Pathology*, Vol. 151, 39-55. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1350-2>
226. Mesterházy, Á., Oláh, J., Popp, J. (2020): Losses in the grain supply chain: causes and solutions. *Sustainability*, Vol. 12, No. 6, 2342, 1-18. <https://doi.org/10.3390/su12062342>
227. Mikayilov, J.I., Galeotti, M., Hasanov, F.J. (2018): The impact of economic growth on CO2 emissions in Azerbaijan. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 197, 1558-1572. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.269>
228. Milkoreit, M. (2019): The Paris Agreement on Climate Change-Made in USA? *Perspectives on Politics*, Vol. 17, 1019-1037. <https://doi.org/10.1017/S1537592719000951>
229. Miskolczi, F.M. (2014): The greenhouse effect and the infrared radiative structure of the Earth's Atmosphere. *Development in Earth Science*, Vol. 2, 31-52. https://www.researchgate.net/publication/268507883_The_Greenhouse_Effect_and_the_Infrared_Radiative_Structure_of_the_Earth%27s_Atmosphere
230. Mordor Intelligence (2019): *Big Data Analytics in Energy Sector Market - Growth, Trends, and Forecast (2019-2024)*.

- <https://www.researchandmarkets.com/reports/4774956/big-data-analytics-in-energy-sector-market>
231. Morrison, M., Cornips, L. (2012): Exploring the role of dedicated online biotechnology news providers in the innovation economy. *Science, Technology, & Human Values*, Vol. 37, No. 3, 262-285. <https://doi.org/10.1177/016224391142058>
 232. Mumtaz, Z., Bowen, S., Mumtaz, R. (2012): Meanings of blood, bleeding and blood donations in Pakistan: implications for national vs global safe blood supply policies. *Health Policy and Planning*, Vol. 27, No. 2, 147-155. <https://doi.org/10.1093/heapol/czr016>
 233. Munuera, L. (2019): *Smart grids Tracking Clean Energy Progress*. <https://www.iea.org/tcep/energyin-tegration/smartgrids>
 234. Muthayya, S., Rah, J.H., Sugimoto, J.D., Roos, F.F., Kraemer, K., Black, R.E. (2013): The Global Hidden Hunger Indices and Maps: An Advocacy Tool for Action. *PLoS One*, Vol. 8, No. 6, e67860, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067860>
 235. Nagpal, M., Kumar, A. (2012): Grain losses in India and government policies. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, Vol. 4, 143-143. <https://doi.org/10.1111/j.1757-837X.2012.00150.x>
 236. National Academy of Agricultural Sciences (2019): *Saving the Harvest: Reducing the Food Loss and Waste*. Policy Brief No. 5., New Delhi, India, 1-10. <http://naasindia.org/documents/Saving%20the%20Harvest.pdf>
 237. Neuwahl, F., Löschel, A., Mongelli, I., Delgado, L. (2008): Employment impacts of EU biofuels policy: Combining bottom-up technology information and sectoral market simulations in an input-output framework. *Ecological Economics*, Vol. 68, 447-460. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.04.018>
 238. Newes, E. (2017): *Bioproducts Transition System Dynamics*. Bioenergy Technology Office (BETO) Analysis Platform Review in USA, 1-23. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/05/f34/analysis_and_sustainability_newes_4.1.2.31.pdf
 239. OECD (2009): *The Bio-economy to 2030: Designing a Policy Agenda, Main Findings*. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, 1-332. <https://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/thebioeconomyto2030designingapolicyagenda.htm>
 240. OECD (2017a): *Biomass for a Sustainable Bioeconomy: Technology and Governance*. (No. DSTI/STP/BNCT(2016)7/FINAL) DSTI/STP/BNCT(2016)17/FINAL), Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris
 241. OECD (2017b): *Biorefineries Models and Policy*. (No. DSTI/STP/BNCT(2016)16/FINAL), Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris
 242. OECD (2017c): *Towards Bio-production of Materials: Replacing the Oil Barrel*. (No. DSTI/STP/BNCT(2016)17/FINAL), Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris
 243. OECD (2018a): *The bioeconomy concept: Then and now, in Meeting Policy Challenges for a Sustainable Bioeconomy*. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264292345-4-en>

244. OECD (2018b): *Meeting Policy Challenges for a Sustainable Bioeconomy*. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, 1-196. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264292345-en>
245. OECD/FAO (2019): *Agricultural Outlook 2019-2028*. OECD Publishing, Organisation for Economic Co-operation and Development and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2019-en
246. Oerke, E.-C., Dehne, H.-W. (2004): Safeguarding production-losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Protection*, Vol. 23, 275-285. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.10.001>
247. Oerke, E. (2006): Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 144, 31-43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
248. Office of Electricity (2019): *Grid Modernization and the Smart Grid*. <https://www.energy.gov/oe/activities/technology-development/grid-moderniza-tion-and-smart-grid>
249. Official Journal of the European Union (2018): *Directive 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance)*. Official Journal of the European Union, L 312/3, 1-28. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>
250. Oladosu, G., Kline, K., Uria-Martinez, R., Eaton, L. (2011): Sources of corn for ethanol production in the United States: a decomposition analysis of the empirical data. *Bioprod Bioref*, Vol. 5, No. 640-653. <https://doi.org/10.1002/bbb.305>
251. Oláh, J., Lengyel, P., Balogh, P., Harangi-Rákos, M., Popp, J. (2017): The Role of Biofuels in Food Commodity Prices Volatility and Land Use, *Journal of Competitiveness*, Vol. 9, No. 4, 81-93. <https://doi.org/10.7441/joc.2017.04.06>, <http://www.cjournal.cz/files/267.pdf>
252. Oláh, J. (2019): A fenntartható élelemiszerellátás kihívásai az energia és környezetbiztonság tükrében. *A Falu*, Vol. 34, No. 4, 21-34. https://matarka.hu/cikk_list.php?fusz=167386
253. Oláh, J., Krisán, E., Kiss, A., Lakner, Z., Popp, J. (2020): PRISMA Statement for Reporting Literature Searches in Systematic Reviews of the Bioethanol Sector. *Energies*, Vol. 13, No. 9, 2323, 1-34. <https://doi.org/10.3390/en13092323>
254. Ollikainen, M. (2014): Forestry in bioeconomy-smart green growth for the humankind. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol. 29, No. 4, 360-366. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.926392>
255. Paddock, W. (1967): *Famine-975! America's decision: who will survive?* Little, Brown and Company: USA
256. Panchaksharam, Y., Kiri, P., Bauen, A., vom Berg, C., Puente, A., Chinthapalli, R., et al. (2019): *Roadmap for the Chemical Industry in Europe towards a Bioeconomy, Strategy Document*. 1-192. https://www.roadtobio.eu/uploads/publications/roadmap/RoadToBio_strategy_document.pdf
257. Papadopoulou, E., Vaitsas, K., Fallas, I., Tsipas, G., Chrissafis, K., Bikiaris, D., Vorgias, K. E. (2018): Bio-economy in Greece: Current trends and the road ahead. *The EuroBiotech Journal*, Vol. 2, No. 3, 137-145. <https://doi.org/10.2478/ebtj-2018-0018>

258. Patermann, Ch. (2016): *The circular bioeconomy; materials from bioeconomy congress EBCL*. <http://bioeconomy.lodzkie.pl/wp-content/uploads/P/2/P1/1.pdf>
259. Patermann, C., Aguilar, A. (2018): The origins of the bioeconomy in the European Union. *New Biotechnology*, Vol. 40, 20-24. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.04.002>
260. Pfau, S.F., Hagens, J.E., Dankbaar, B., Smits, A.J. (2014): Visions of sustainability in bioeconomy research. *Sustainability*, Vol. 6, No. 3, 1222-1249. <https://doi.org/10.3390/su6031222>
261. Pomázi, I., Szabó, E. (2019): A körforgásos gazdaság az Európai Unióban, Franciaországban és Németországban, *Magyar Tudomány*, Vol. 180, No. 8, 1199-1212. <https://doi.org/10.1556/2065.180.2019.8.10>
262. Popp, J., Potori, N. (2011): *A biomassza energetikai célú termelése Magyarországon*. Budapest, Agrárgazdasági Kutató Intézet, 1-160.
263. Popp, J. (2013): A bioenergia szerepe az energiaellátásban. *Gazdálkodás*, Vol. 57, No. 5, 419-435.
264. Popp, J., Pető, K., Nagy, J. (2013). Pesticide productivity and food security. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, Vol. 33, No. 1, 243-255. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0105-x>
265. Popp, J., Biró, Sz., Rácz, K., Hamza, E., Balogh, P., Oláh, J. (2016a): *Az EU Közös Agrárpolitikája és a Magyar Vidékfejlesztési Program*. (szerk. Popp J., Oláh, J.), Budapest: Szaktudás Kiadó Ház Zrt., 211. p. ISBN: 978-615-5224-71-3
266. Popp, J., Harangi-Rákos, M., Gabnai, Z., Balogh, P., Antal, G., Bai, A. (2016b): Biofuels and Their Co-Products as Livestock Feed: Global Economic and Environmental Implications. *Molecules*, Vol. 21, No. 3, 285, 1-26. <https://doi.org/10.3390/molecules21030285>
267. Popp J., Harangi Rákos, M., Oláh, J. (2017): A megújuló energia termelésének globális kilátásai az energiafogyasztásban Magyarországon. *Logisztikai trendek és legjobb gyakorlatok*, Vol. 3. No. 2, 55-60. <https://doi.org/10.21405/logtrend.2017.2.3.55>
268. Popp, J., Oláh, J. (2018): Fehérjefüggőség: merre tovább? *Magyar Mezőgazdaság*, Vol. 73, No. 4, 60-61.
269. Popp, J., Oláh, J., Kiss, A., Temesi, Á., Fogarassy, C., Lakner, Z. (2018a): The socio-economic force field of the creation of short food supply chains in Europe. *Journal of Food and Nutrition Research*, Vol. 58, No. 1, 31-41. <http://www.vup.sk/index.php?mainID=2&navID=36&version=2&volume=58&article=2127>
270. Popp, J., Oláh, J., Fari, M., Balogh, P., Lakner, Z. (2018b): The GM-regulation game—the case of Hungary. *International Food and Agribusiness Management Review*, Vol. 21, No. 7, 945-968. <https://doi.org/10.22434/IFAMR2017.0065>
271. Popp, J., Kot, S., Lakner, Z., Oláh, J. (2018c): Biofuel use: peculiarities and implications. *Journal of Security and Sustainability Issues*, Vol. 7, No. 3, 477-493. [https://doi.org/10.9770/jssi.2018.7.3\(9\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2018.7.3(9))
272. Popp, J., Lakner, Z., Pető, K., Oláh, J. (2018d): Élelmezés- és táplálkozásbiztonság: lehetőségek és kihívások, *A Falu*, Vol. 33, No. 1, 55-67. https://matarka.hu/cikk_list.php?fusz=163872

273. Popp, J., Harangi-Rákos, M., Oláh, J. (2018e): Fehérjetakarmány függőség az EU-ban. Status quo? *Állattenyésztés és Takarmányozás*, Vol. 67, No. 4, 209-224. https://matarka.hu/cikk_list.php?fusz=161552
274. Popp, J., Harangi-Rákos, M., Tikász, I.E., Varga, E., Oláh, J. (2018f): A keveréktakarmány-gyártás kilátásai az EU-ban, különleges tekintettel Magyarországra. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, Vol. 67, No. 3, 137-157. https://matarka.hu/cikk_list.php?fusz=161551
275. Popp, J., Pető, K., Oláh, J. (2018g): Alternatív fehérrefogyasztás kilátásai Magyarországon. *A Falu*, Vol. 22. No. 2, 37-46. https://matarka.hu/cikk_list.php?fusz=163873
276. Popp, J., Harangi-Rákos, M., Kapronczai I., Oláh, J. (2018h): Magyarország megújuló energiatermelésének kilátásai. *Gazdálkodás*, Vol. 62, No. 2, 103-122. <https://econpapers.repec.org/article/agsgazdal/272933.htm>
277. Popp, J., Oláh, J., Kiss, A., Lakner, Z. (2019a): Food Security Perspectives in Sub-Saharan Africa. *Amfiteatru Economic*, Vol. 21, No. 51, 361-676. <https://www.cceol.com/search/article-detail?id=763566>
278. Popp, J., Békefi, E., Duleba, Sz., Oláh, J. (2019b): Multifunctionality of pond fish farms in the opinion of the farm managers: the case of Hungary, *Reviews in Aquaculture*, Vol. 11, 830-847. <https://doi.org/10.1111/raq.12260>
279. Popp, J. (2020): A víz lesz az új olaj. *Top Agrár*, január, 10-13.
280. Popp, J., Kovács, S., Oláh, J., Divéki, Z., Balázs, E. (2021): Bioeconomy: Biomass and biomass-based energy supply and demand. *New Biotechnology*, Vol. 60, 76-84, <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.10.004>
281. Pricewaterhouse Coopers (2018): *Get Smart with Smart Grids a New Paradigm*. <https://www.pwc.com/gx/en/utilities/assets/pwc-smart-grids.pdf>
282. Pülzl, H., Kleinschmit, D., Arts, B. (2014): Bioeconomy-an emerging meta-discourse affecting forest discourses?. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol. 29, No. 4, 386-393. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.920044>
283. Qaim, M., Kouser, S. (2013): Genetically modified crops and food security. *PloS One*, Vol. 8, No. 6, e64879. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064879>
284. R Core Team (2019): *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>
285. Rajagopal, D., Zilberman, D. (2007): *Review of environmental, economic and policy aspects of biofuels, policy research working paper 4341*. World Bank, <http://documents.worldbank.org/curated/en/393941468339901359/Review-of-environmental-economic-and-policy-aspects-of-biofuels>
286. Ramcilovic-Suominen, S., Pülzl, H. (2018): Sustainable development - a 'selling point' of the emerging EU bioeconomy policy framework? *Journal of Cleaner Production*, Vol. 172, 4170-4180. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.157>
287. REN21 (2018): *Renewables 2017, Global Status Report*. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 1-302. http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf

288. REN21 (2019): *Renewables 2019 Global Status Report*. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf
289. RFA (2019): *Ethanol co-products*. Renewable Fuels Association, <https://ethanolrfa.org/co-products/>
290. Richardson, B. (2012): From a fossil-fuel to a biobased economy: The politics of industrial biotechnology. *Environment and Planning C: Government and Policy*, Vol. 30, No. 2, 282-296. <https://doi.org/10.1068/c10209>
291. Ritchie, H., Roser, M. (2017): *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*. Our World in Data University of Oxford: Oxford, United Kingdom, <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
292. Ritter, K. (2019): *2.2 billion people still don't have access to clean drinking water*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/agenda/2019/06/hotspots-h2o-new-un-report->
293. Romer, P.M. (1992): Two strategies for economic development: using ideas and producing ideas. *The World Bank Economic Review*, Vol. 6, 63-91. https://doi.org/10.1093/wber/6.suppl_1.63
294. Ronzon, T., M'Barek, R. (2018): Socioeconomic Indicators to Monitor the EU's Bioeconomy in Transition. *Sustainability*, Vol. 10, No. 6, 1745, 1-22. <https://doi.org/10.3390/su10061745>
295. Ronzon, T., Piotrowski, S., M'barek, R., Carus, M., Tamošiūnas, S. (2020): *Jobs and wealth in the EU bioeconomy / JRC - Bioeconomics*. European Commission, Joint Research Centre (JRC), <http://data.europa.eu/89h/7d7d5481-2d02-4b36-8e79-697b04fa4278>
296. Roser, M., Ortiz-Ospina, E. (2017): *World Population Growth*, *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/world-population-growth>
297. Rurik, I., Torzsa, P., Móczár, C., Ungvári, T., Iski, G., Sándor, J. (2015): Prevalence and economic burden of obesity in Hungary. *Annals of Nutrition & Metabolism*, Vol. 67, 331-332. <https://insights.ovid.com/annals-nutrition-metabolism/anumds/2015/10/191/prevalence-economic-burden-obesity-hungary/752/00000595>
298. Sala, S., McLaren, S.J., Notarnicola, B., Saouter, E., Sonesson, U. (2017): In quest of reducing the environmental impacts of food production and consumption. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 140, 387-398. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.054>
299. Salter, B. (2009): State strategies and the geopolitics of the global knowledge economy: China, India and the case of regenerative medicine. *Geopolitics*, Vol. 14, No. 1, 47-78. <https://doi.org/10.1080/14650040802578666>
300. Salter, B., Cooper, M., Doickins, A. (2006): China and the global stem cell bioeconomy: An emerging political strategy? *Regenerative Medicine*, Vol. 1, 671-683. <https://doi.org/10.2217/17460751.1.5.671>
301. Scarlat, N., Dallemand, J-F., Monforti-Ferrario, F., Nita, V. (2015): The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and Facts. *Environmental Development*, Vol. 15, 3-34. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.03.006>

302. Schreier és szerzőtársai (2018): *Analysis of the Impacts of Car-sharing in Bremen*. Bremen, Germany. https://northsearegion.eu/media/5724/analysis-of-the-impact-of-car-sharing-in-bremen-2018_team-red_final-report_english_compressed.pdf
303. Schweitzer, J., Gionfra, S., Pantzar, M., Mottershead, D., Watkins, E., Petsinaris, F., Ten Brink, P., Ptak, E., Lacey, C., Janssens, C. Unwrapped (2018): *How throwaway plastic is failing to solve Europe's food waste problem (and what we need to do instead)*. Brussels, Belgium, 1-28. http://www.foeeurope.org/sites/default/files/materials_and_waste/2018/unwrapped_-_throwaway_plastic_failing_to_solve_europes_food_waste_problem.pdf
304. Searchinger, T., Heimlich, R. (2015). *Avoiding Bioenergy Competition for Food Crops and Land*. World Resources Institute: Washington
305. Searchinger, T., Waite, R., Hanson, C., Ranganathan, J., Dumas, P., Matthews, E. (2019): *Creating a sustainable food future: a menu of solutions to feed nearly 10 billion people by 2050*, World Resources Institute: Washington. DC, USA, 1-556. <https://reliefweb.int/report/world/world-resources-report-creating-sustainable-food-future-menu-solutions-feed-nearly-10>
306. Severo, E.A., Guimarães, J.C.F.d., Dorion, E.C.H. (2017): Cleaner production and environmental management as sustainable product innovation antecedents: A survey in Brazilian industries. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 142, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.090>
307. Siegmeier, T., Möller, D. (2013): Mapping research at the intersection of organic farming and bioenergy-A scientometric review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 25, 197-204. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.025>
308. Simionescu, M., Albu, L-L, Raileanu Szeles, M., Bilan, Y. (2017): The impact of biofuels utilisation in transport on the sustainable development in the European Union. *Technological and Economic Development of Economy*, Vol. 23, No. 4, 667-686. <https://doi.org/10.3846/20294913.2017.1323318>
309. Smalley, R.E. (2003): *Top Ten Problems of Humanity for Next 50 Years*. Professor R. E. Smalley, Energy & NanoTechnology Conference, Rice University
310. Smil, V. (2000): *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*. Praeger, USA
311. Solomon, B.D. (2008): *Regional economic impacts of cellulose ethanol development in the North Central states*. In *Renewable Energy From Forest Resources in the United States*. Eds.: Solomon, B.D., Luzadis, V.A., 281-298. Routledge. Oxford, UK
312. Sonnino, R., Marsden, T., Moragues-Faus, A. (2016): Relationalities and convergences in food security narratives: towards a place-based approach. *Transactions of the Institute of British Geographers*, Vol. 41, 477-489. <https://doi.org/10.1111/tran.12137>
313. Srivastava, S.K. (2007): Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, Vol. 9, 53-80. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x>
314. Staffas, L., Gustavsson, M., McCormick, K. (2013): Strategies and policies for the bioeconomy and bio-based economy: An analysis of official national approaches. *Sustainability*, Vol. 5, No. 6, 2751-2769. <https://doi.org/10.3390/su5062751>
315. Stern, N. (2008): The Economics of Climate Change. *American Economic Review*, Vol. 98, 1-37. <https://doi.org/10.1257/aer.98.2.1>

316. Strapasson, A. (2016): In *The limits of bioenergy: A complex systems approach to land use dynamics and constraints*. Proceedings of the 59th Annual Meeting of the ISSS-2015 Berlin, Germany, 2016; International Society for the Systems Sciences: Berlin, Germany
317. Swedish International Agricultural Network (SIAN) (2017): Initiative Reducing food waste across global food chains, *Policy Brief*, Vol. 1-4. https://www.siani.se/wp-content/uploads/2017/10/policy_brief.pdf.
318. Szabó-Bódi, B., Kasza Gy., Szakos, D. (2018): Assessment of Household Food Waste in Hungary. *British Food Journal*, Vol. 120, No. 3, 625-638. <https://doi.org/10.1108/BFJ-04-2017-0255>
319. Szakos, D., Ózsvári, L., Kasza, G. (2020): Perception of Older Adults about Health-Related Functionality of Foods Compared with Other Age Groups. *Sustainability*, Vol. 12, No. 7, 2748, 1-18. <https://doi.org/10.3390/su12072748>
320. Takács, S. (2015): Szén-dioxid és a globális felmelegedés. *Egészségtudomány*, Vol. 59, No. 1, 1-9.
321. Tan, H.S.G., Fischer, A.R.H., Tinch, P., Stieger, M., Steenbekkers, L.P.A., van Trijp, H.C.M. (2009): Insects as food: Exploring cultural exposure and individual experience as determinants of acceptance. *Food Quality and Preference*, Vol. 42, 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.01.013>
322. The Ocean Economy in 2030 (2016): <http://www.oecd.org/sti/the-ocean-economy-in-2030-9789264251724-en.htm>
323. The Guardian (2021): *Michelin awards star to vegan restaurant for the first time in France*. <https://www.theguardian.com/world/2021/jan/19/michelin-awards-star-to-vegan-restaurant-for-the-first-time-in-france>
324. Tilman, D., Clark, M. (2014): Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, Vol. 515, 518-522. <https://doi.org/10.1038/nature13959>
325. Tietenberg, T., Lewis, L. (2012): *Environmental & Natural Resource Economics*. The Essentials. Routledge.
326. Trienekens, J. H., Wognum, P. M., Beulens, A.J., van der Vorst, J.G. (2012): Transparency in complex dynamic food supply chains. *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 26, 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.07.007>
327. Tvaronavičienė, M., Prakapienė, D., Garškaitė-Milvydienė, K., Prakapas, R., Nawrot, Ł. (2018): Energy efficiency in the long run in the selected European countries. *Economics & Sociology*, Vol. 11, No. 1, 245-254. <https://doi.org/10.14254/2071-789X.2018/11-1/16>
328. UNICA (2010): *EPA Reaffirms Sugarcane Biofuel is Advanced Renewable Fuel with 61% Less Emissions than Gasoline*. Institutional Network of Universities from the Capitals of Europe, <http://english.unica.com.br/releases/show.asp?rls>
329. United Nations (2015): *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. A/70/L.1, United Nations, Department of Economic and Social Affairs United Nations, General Assembly, New York, USA, 1-35. https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E
330. United Nations (2017): *World Population Prospects*. The 2017 Revision, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division: New York, USA. <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2017-revision.html>

331. United Nations (2019): *World Population Prospects 2019*. 329. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, <https://population.un.org/wpp/DataQuery/>
332. US EPA (2017): *Renewable Fuel Standard Program, Renewable Fuel Standard Program: Standards for 2017 and Biomass-Based Diesel Volume for 2018*. United States Environmental Protection Agency. https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2017/08/RFA-Comments_2018-RVO-Proposed-Rule_Final.pdf
333. US EPA (2019): *EPA Finalizes RFS Volumes for 2019 and Biomass Based Diesel Volumes for 2020*. United States Environmental Protection Agency, <https://www.federalregister.gov/documents/2017/12/12/2017-26426/renewable-fuel-standard-program-standards-for-2018-and-biomass-based-diesel-volume-for-2019>
334. Van Dam, J., Junginger, M., Faaij, A., Jürgens, I., Best, G., Fritsche, U. (2008): Overview of recent developments in sustainable biomass certification. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 32, No. 8, 749-780. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.01.018>
335. van den Born, G.J., van Minnen, J.G., Olivier J.G.J., Ros, J.P.M. (2014): *PBL-report. Integrated analysis of global biomass flows in search of the sustainable potential for bioenergy production*. PBL publication number: 1509. <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2014-integrated-analysis-of-global-biomass-flows-in-search-of-the-sustainable-potential-for-bioenergy-production-1509.pdf>
336. von Braun, J., ter Meulen, V., Aksnes, L.D., Benton, T., Garrido, A., Godfray, C., Hermansson, M.A., Janssen, S., Jung, C., Krasilnikov, P., O'Sullivan, A., Popp, J., Schnieke, A., Wroblewska, B., Canales, C., Fears, R. (2017): *Opportunities and challenges for research on food and nutrition security and agriculture in Europe, EASAC policy report 34*. December 2017, German National Academy of Sciences Leopoldina, 1-72. http://www.easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Food_Security/EASAC_FNSA_report_complete_Web.pdf
337. van Grinsven, A., Kampman, B. (2015): *Assessing progress towards implementation of the ILUC Directive, Delft, CE Delft*. December 2015, https://theicct.org/sites/default/files/publications/CE_Delft_4H38_Assessing_progress_towards_implementation_ILUC_dir.pdf
338. van Huis, A. (2013): Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 563-583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
339. van Vuuren, D.P., Riahi, K. (2008): Do recent emission trends imply higher emissions forever? *Climatic Change*, Vol. 91, 237-248. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9485-y>
340. van Zanten, H.H., Mollenhorst H., Klootwijk, C.W., van Middelaar, C.E., de Boer, I.J. (2016): Global food supply: land use efficiency of livestock systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 21, No. 5, 747-758. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0944-1>
341. Varga, M., Berzi-Nagy, L., Csukas, B., Gyalog, G. (2020): Long-term dynamic simulation of environmental impacts on ecosystem-based pond aquaculture. *Environmental Modelling and Software*, Vol. 134, 104755, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104755>
342. Vásáry, V. (2019): Biomassza alapú gazdaság Közép- és Kelet Európában. *Multidiszciplináris kihívások-Sokszínű válaszok*, No. 1, 89-116. <https://doi.org/10.33565/MKSV.2019.01.05>

343. Verbeke, W. (2015): Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society. *Food Quality and Preference*, Vol. 39, 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.07.008>
344. Vigani, M., Olper, A. (2013): GMO standards, endogenous policy and the market for information. *Food Policy*, Vol. 43, 32-43. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.08.001>
345. Vivien, F. D., Nieddu, M., Befort, N., Debref, R., Giampietro, M. (2019): The hijacking of the bioeconomy. *Ecological Economics*, Vol. 159, 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.027>
346. Vízvári, B., Bacsí, Z. (2002): Technological Development and the Stability of Technology in Crop Production. *Journal of Central European Agriculture*, Vol. 3, No. 1, 63-72.
347. Wang, M., Dunn, J.B. (2015): *Comments on Avoiding Bioenergy Competition for Food Crops and Land by Searchinger and Heimlich*. Argonne: Argonne National Laboratory
348. Wang, P., Wu, W., Zhu, B., Wei, Y. (2013): Examining the impact factors of energy-related CO₂ emissions using the STIRPAT model in Guangdong Province, China. *Applied Energy*, Vol. 106, 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.036>
349. WBA (2018): *WBA global bioenergy statistics 2018*. Word Bioenergy Association, 1-43. https://worldbioenergy.org/uploads/181203%20WBA%20GBS%202018_hq.pdf
350. WHO (2017): *Europe, approaches to obesity*. World Health Organisation, <http://www.euro.who.int/en/health-topics/noncommunicable-diseases/obesity/data-and-statistics>
351. WHO (2018a): *Global Health Observatory (GHO) data*. World Health Organisation, http://www.who.int/gho/ncd/risk_factors/overweight/en/
352. WHO (2018b): *Aflatoxins, REF. No. WHO/NHM/FOS/RAM/18*. World Health Organisation, Department of Food Safety and Zoonoses, Genf, Swiss, 1-5. https://www.who.int/foodsafety/FSDigest_Aflatoxins_EN.pdf
353. Word Economic Forum (2016): *Global risks report 2016*. <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2016>
354. Woźniak, E., Twardowski, T. (2018): The bioeconomy in Poland within the context of the European Union. *New Biotechnology*, Vol. 40, 96-102. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.06.003>

Köszönetnyilvánítás

Az értekezés nem születhetett volna meg oktató és kutató kollégáim támogatása nélkül. Itt mondok köszönetet minden kollégámnak, aki közvetve vagy közvetlen módon támogatott az értekezés megírásában.

Köszönöm **Prof. Dr. Popp Józsefnek** a folyamatos biztatást, a számtalan lehetőséget és bátorítást az MTA doktori cselekmény benyújtására. Hasznos és iránymutató tanácsokkal látott el a tudományos életben, további lépésekre biztatott a kutatói pályán.

Köszönöm **Prof. Dr. Lakner Zoltánnak** kollégámnak a baráti és szakmai támogatást, tudományos felvetései és konzultációi mindig gondolkodásra késztettek és nyitottá tettek az új problémák iránt.

Kiemelten köszönöm annak a szűk kutatócsoportnak, nevezetesen **Harangi-Rákos Mónikának, Máté Domiciánnak, Kovács Sándornak, Kiss Annának** a segítségét, akik társzerzőként is segítettek hazai és nemzetközi tudományos munkásságom megalapozását.

Ugyancsak köszönöm jelenlegi PhD hallgatóm, **Erdei Edina** munkáját, segítségét az időigényes napi feladatok megoldásában és végzett PhD hallgatóm, **Horváth Adrienn** több éves munkájáért is hálás vagyok.

Köszönetemet szeretném kifejezni **Varga Mónikának**, aki komoly mértékben hozzájárult az adminisztratív terheim csökkentéséhez.

Hálás köszönetemet kell kifejeznem a **Debreceni Egyetem Alkalmazott Informatika és Logisztika Intézet** összes munkatársának, mivel mindig segítőkészek voltak, bármilyen problémával is fordultam hozzájuk.

Köszönet illeti **Farkasné Fekete Mária és Magda Róbert** Szent István Egyetem-i kollégákat, amiért számos alkalommal fogadtak intézményükben, segítségemre voltak szakmai fejlődésemben és azóta is mindennemű együttműködésre nyitottak.

A teljesség igénye nélkül a következő külföldi munkatársaimnak szeretnék további köszönetet mondani, amiért az utóbbi együtt dolgozhattok velük, számítanak szakmai véleményemre, meglátásaimra: **Prof. Beata Ślusarczyk, Prof. Sebastian Kot, Dr. Włodzimierz Sroka, Prof. Dan-Cristian Dabija, Prof. Dinu Vasile, Prof. Yuriy Bilan, Prof. Muhamad Asif Khan, Prof. Natanya Meyer, Prof. Danie Meyer, Dr. László Mura, Dr. Zuzana Virglerová.**

Megköszönöm minden hazai és külföldi szerzőtársamnak, valamint a közleményeim köszönetnyilvánításaiban szereplők munkáját is. Munkájuk nélkül nem tudtam volna kutatásaimat elvégezni.

Külföldi ösztöndíjaimat az **ERASMUS és a CEEPUS program**, míg hazai kutatásaimat a **Debreceni Egyetem (Új Nemzeti Kiválóság Program)**, illetve a **Magyar Tudományos Akadémia (Bolyai János Kutatási Ösztöndíj)** is támogatta. A Bolyai János ösztöndíj kiemelt támogatást jelentett kutatómunkám folytatásához, mert komoly lehetőséget adott az MTA doktori disszertáció elkészítéséhez. Az Új Nemzeti Kiválóság Programmal kiegészítve kiszámítható anyagi háttérrel biztosított, így három évig a minőségi kutatásra tudtam koncentrálni.

És végül, de nem utolsó sorban, hatalmas hálával és köszönettel tartozom Családomnak és Barátaimnak, akik folyamatosan támogattak, mellettem álltak és legfőképpen bíztak bennem.

Rövidítések jegyzéke

Rövidítés	Angol megfelelő	Magyar megfelelő
2BSvs	Biomass Biofuel Sustainability voluntary scheme	Biomasszára és bioüzemanyagra vonatkozó önkéntes fenntarthatósági rendszer
Bio-DME	Bio-dimetil-éter	Bio-dimetil-éter
BtL	Biomass to Liquids	Biomasszából nyert bioüzemanyag Fischer-Tropsch-eljárással
CEFIC	European Chemical Industry Council	Európai Vegyipari Tanács
CCP	Climate Change Package	Éghajlat- és energiapolitikai intézkedéscsomag
CCU	Carbon Capture and Utilisation	Szén-dioxid-leválasztás és -tárolás
CER	Certified Emission Reduction	Hitelesített kibocsátás-csökkentési egység
CGF	Corn Gluten Feed	Kukorica glutén takarmány
CGM	Corn Gluten Meal	Kukorica glutén liszt
DDG	Distillers Dried Grains	Száritott gabonatörköly
DDGS	Distillers Dried Grains with Solubles	Száritott gabonatörköly oldható anyagokkal
DNS	Dezoxiribonukleinsav	Dezoxiribonukleinsav
EAAE	European Association of Agricultural Economists	Európai Agrárközgazdászok Szervezete
EASAC	European Academies' Science Advisory Council	Európai Akadémiák Tudományos Tanácsadó Testülete
EC	European Commission	Európai Bizottság
EFSA	European Food Safety Authority	Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság
EISA	Energy Independence and Security Act	Energiafüggetlenségről és -Biztonságról szóló Törvény
EJ	Exajoule	Exajoule
EKC	Environmental Kuznets Curve	Környezeti Kuznets-görbe
ETS	Emissions Trading System	Unió Kibocsátáskereskedelmi Rendszer
EU	European Union	Európai Unió
EUA	European Union Allowanced	Európai Unió kibocsátási kvóta
EUR	Euro	Euró
ÉH		Élelmiszerhulladék
ÉP		Élelmiszerpazarlás
ÉV		Élelmiszerveszteség
FAO	Food and Agriculture Organization	ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezete
FD	Favourable Difference	Kedvező különbség
FEC	Final Energy Consumption	Végső energiafogyasztás
FEFAC	The European Feed Manufacturers' Federation	Európai Takarmánygyártók Szövetsége
FFV	Flex Fuel Vehicle	Vegyes üzemelésű gépjármű
FQD	Fuel Quality Directive	Üzemanyag minőségéről szóló irányelv
GDP	Gross Domestic Product	Bruttó hazai termék
GIC	Gross Inland Consumption	Bruttó belföldi fogyasztás
GM	Genetically modified	Géntekológiával módosított
GMO	Genetically modified organism	Géntekológiával módosított szervezet
HVO	Hydrogenated Vegetable Oil	Hidrogénezett Növényi Olaj

IAAE	International Association of Agricultural Economists	Világ Agrárközgazdászok Szervezete
IAEE	International Association for Energy Economics	Energiagazdasági Nemzetközi Szervezet
IEA	International Energy Agency	Nemzetközi Energia Ügynökség
IFCM	Intelligent Field Crop Management	Intelligens szántóföldi növénytermesztés
IGC	International Grains Council	Nemzetközi Gabonatanács
ILUC	Indirect Land Use Change	Közvetett földhasználat változás
IPCC	The Intergovernmental Panel on Climate Change	Éghajlatváltozási Kormányközi Testület
IMTA	Integrated Multi-Trophic Aquaculture	Integrált multitrofikus akvakultúra
ISCC	International Sustainability Carbon Certification	Nemzetközi Fenntarthatósági és Szén-dioxid-kibocsátási Tanúsítvány
LNG	Liquid Natural Gas	Cseppfolyósított földgáz
	Matrix of Alliances and Conflicts	Szövetségek és Ellentétek Hálózata
LPC	Leaf Protein Concentrate	Levélfehérje koncentrátum
NÉBIH		Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet
OLS	Ordinary Least Squares	Legkisebb négyzetek
OPEC	Oil Producing and -Exporting Countries	Olajkitermelő és -Exportáló Országok
OTKA		Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok
PPO	Pure Plant Oil	Tiszta növényi olaj
PRISMA	Preferred Reporting Elements for Systematic Review and Meta-Analyzes	Javasolt tartalmi elemek szisztematikus (módszeres) szakirodalmi áttekintések és meta-analízis készítéséhez
QPS	Qualified Presumption of Safety	Vélelmezetten biztonságos
RED	Renewable Energy Directive	Megújuló Energia Irányelv
RÉL	Short Food Supply Chain	Rövid élelmiszerellátási lánc
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century	A 21. század Megújuló Energiapolitikai Hálózata
RFA	Renewable Fuels Association	Megújuló Üzemanyagok Szervezete
RFS	Renewable Fuel Standard	Megújuló Üzemanyag Szabvány
RSB	Roundtable on Sustainable Biofuels	Fenntartható bioüzemanyagokkal foglalkozó kerekasztal
SNG	Synthetic Natural Gas	Szintetikus földgáz
TI	Transformation Input	Hő- és áramtermelés fogyasztása
TOE	Tonne of Oil Equivalent	Tonna kőolaj egyenérték
UD	Unfavourable Difference	Kedvezőtlen különbség
UN	United Nations	Egyesült Nemzetek Szervezete
UNICEF	United Nations Children's Fund	ENSZ Gyermekalapja
USA	United States of America	Amerikai Egyesült Államok
USD	United State Dollar	Amerikai Dollár
ÚNKP		Új Nemzeti Kiválóság Program
ÜHG		Üvegházhatású gázok
VEPEX	VEgetable Protein EXtract	Növényi fehérjekivonat
WBA	World Bioenergy Association	Bienergia Világszövetség
WEF	World Economic Forum	Világgazdasági Fórum
WHO	World Health Organisation	Egészségügyi Világszervezet

YSI	Yield Stability Index	Hozamstabilitási mutató
-----	-----------------------	-------------------------

Ábrák jegyzéke

1. ábra: A fenntartható biomassza alapú gazdaság fejlődésének fő tényezői	11
2. ábra: Körforgásos biomassza alapú gazdaság	15
3. ábra: Biomassza alapú gazdaság fogalma	22
4. ábra: Keretprogram a biomassza alapú gazdaságra való áttéréshez	25
5. ábra: A globális biomassza termelése és felhasználása ágazatok szerint (%), 2015.....	32
6. ábra: A biomassza termelése és felhasználása az EU-ban 2015-ben (milliárd tonna) ..	33
7. ábra: A biomassza felhasználás növekedésének alakulása az EU-ban 2010-2015 között (millió tonna).....	34
8. ábra: Biohulladék hozzáadott értéke 2010-2015 között (millió tonna).....	34
9. ábra: A globális primer energiaellátás alakulása tüzelőanyagok szerint (%), 2016	35
10. ábra: A globális bruttó végső energiafogyasztása alakulása tüzelőanyagok szerint (%), 2016	36
11. ábra: Az EU-28 primer energiaellátásának alakulása tüzelőanyagok szerint (%), 2016	36
12. ábra: Az EU-28 bruttó végső energiafogyasztásának alakulása tüzelőanyagok szerint (%), 2016	37
13. ábra: A biomassza alapú gazdaság bruttó termelési értékének megoszlása ágazatok szerint az EU-ban (%), 2017.....	39
14. ábra: A biomassza alapú gazdaság bruttó hozzáadott értékének megoszlása az EU-ban ágazatok szerint (%), 2017	40
15. ábra: A biomassza alapú gazdaság foglalkoztatásának megoszlása ágazatok szerint az EU-ban (%), 2017.....	41
16. ábra: A biomassza felhasználása energiatermelésre az EU-ban (mtoe), 2016.....	43
17. ábra: A világ népességének növekedése.....	48
18. ábra: A „rejtett éhség” alakulása világszerte.....	49
19. ábra: A világnépessége alakulása és növekedési üteme 1750-2015 között (előrejelzés 2100-ig)	52
20. ábra: Veszteségek az élelmiszerlánc mentén.....	58
21. ábra: A CO ₂ -kibocsátás intenzitásának alakulása Kínában és az USA-ban.....	79
22. ábra: Az ÜHG-kibocsátás intenzitásának alakulása Kínában és az USA-ban	80
23. ábra: Az energia-felhasználás alakulása a tüzelőanyagok %-ában	87
24. ábra: A világ fosszilis energiafogyasztása	88
25. ábra: A bioüzemanyagtermelés nyersanyagai	92
26. ábra: A megújuló energia aránya a globális végső energiafogyasztásban, 2017	93

27. ábra: Globális üzemanyag célú bioetanolgyártás, (évi átlag 2016-2018)	94
28. ábra: A globális biodízelgyártás alakulása, (évi átlag 2016-2018)	95
29. ábra: Primer energiatermelés az EU-28-ban (2017, toe %)	110
30. ábra: A primer energiatermelés alakulása energiaforrások szerint az EU-28-ban 2007-2017 között, toe alapján (2007=100%)	110
31. ábra: Primer energiatermelés megújuló energiaforrásokból, EU-28, 1990-2017 (Mtoe)	115
32. ábra: A megújuló energiaforrásokból előállított villamos energia bruttó mennyisége, EU-28, 1990-2017 (TWh)	116
33. ábra: A folyékony bioüzemanyagok elsődleges előállítása, EU-28, 1990-2017 (MToe)	120

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: A biomassza alapú gazdaság vízióinak fő jellemzői.....	8
2. táblázat: A bioökonómia típusai.....	12
3. táblázat: A bruttó belföldi fogyasztás, hő- és áramtermelés fogyasztá és a végső energiafogyasztás hozamstabilitási mutatói és regressziós becslései az EU-28-ban, (2002-2016).....	44
4. táblázat: A globális gabona*- és szójatermelés (búza, kukorica, rizs és szójabab) előrejelzése, 2017/2018 - 2023/2024 (millió tonna - M t)	57
5. táblázat: A gabona ellátási lánc vesztesége/hulladék 2018-ban (millió tonna).....	59
6. táblázat Fehérjehordozó takarmány mérlege az EU-28-ban, 2017.....	69
7. táblázat: Háztartási és mezőgazdasági vízhasználat alakulása	86
8. táblázat: Az első és második generációs bioüzemanyagok típusainak áttekintése alapanyag és termelési eljárás szerint	91
9. táblázat: Megújuló energiaforrások aránya a teljes bruttó energiafogyasztásban az EU tagországaiban, % (2004-2018).....	114
10. táblázat: A megújuló energiaforrások aránya a villamos energia termelésében Európában, % (2004-2018).....	117
11. táblázat: A megújuló energiaforrások aránya a hőenergia termelésben és fűtésben Európában, % (2004-2018).....	118
12. táblázat: A megújuló energiaforrások aránya Európa közlekedési szektorában, % (2004-2018).....	119