

BIOMASSZA-ALAPÚ GAZDASÁG: A BIOMASSZA TERMELÉSÉNEK ÉS FELHASZNÁLÁSÁNAK ALAKULÁSA, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL AZ ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSRA I.

BIOECONOMY: BIOMASS SUPPLY AND DEMAND FOR ENERGY USE IN PARTICULAR PART I.

Oláh Judit¹, Popp József², Balázs Ervin³

¹az MTA doktora, Debreceni Egyetem Gazdaságtudományi Kar, Debrecen

²az MTA levelező tagja, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő

³az MTA rendes tagja, Agrártudományi Kutatóközpont, Budapest

ÖSSZEFOGLALÁS

E kutatás célja a globális biomassza-ellátás és -kereslet átfogó áttekintése, különös tekintettel a biomassza energetikai hasznosítására. A biomassza-alapú gazdaságban az élelmezésbiztonság továbbra is elsőbbséget élvez a biomassza minden más célú felhasználása mellett. Ugyanakkor a biomassza nem élelmiszer célú felhasználásában folyamatosan nő a bioalapú vegyipari, textilipari, gyógyszeripari, építőipari és energiaipari felhasználása. A biomassza csaknem kétharmadát a mezőgazdaság és körülbelül egyharmadát az erdőgazdálkodás állítja elő globális és uniós szinten egyaránt. A biomassza mérlege azt mutatja, hogy nagyjából 60%-át élelmiszer-termelésre, 20%-át bioenergia-előállítás céljára használják fel, a fennmaradó 20% a fa-, papír-, cellulózipari termékek és egyéb bioalapú anyagok gyártását szolgálja a hulladékkal együtt. A biomassza részesedése a globális primer energiatermelésben 10%, míg a globális energiafogyasztásban 13%. Ezzel szemben az EU-ban a primer energiatermelésben 18%-ot tesz ki a biomassza, de a végső energiafogyasztás csupán 10%-a biomassza-alapú. Az EU-ban 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.

ABSTRACT

The aim of this research is to provide a comprehensive overview of global biomass supply and demand, in particular the energy use of biomass. In a biomass-based economy, food security still remains a priority over all other uses of biomass. At the same time, the non-food use of biomass is steadily increasing in the bio-based chemical, textile, pharmaceutical, construction and energy industries. Almost two-thirds of biomass is produced by agriculture and about one-third by forestry at both global and EU level. The balance of biomass shows that roughly 60% is used for food production, 20% for bioenergy (and biofuels) production, and the remaining 20% serves as feedstock for the wood, paper and pulp industries, and other bio-based materials

including waste. Biomass accounts for 10% of global primary energy production and 13% of global energy consumption. In contrast, biomass accounts for 18% of primary energy production in the EU, but only 10% of final energy consumption is based on it. Despite the rapid spread of other renewable resources in the EU, such as wind and solar energy, bioenergy is likely to continue to play a key role in the composition of renewable energy sources in the long term.

Kulcsszavak: bioökonómia, biomassza, fosszilis energia, megújuló energia

Keywords: bioeconomy, biomass, fossil energy, renewable energy

BEVEZETÉS

Több mint ötven ország dolgozott ki stratégiát a biomassza-alapú gazdaság piaci bevezetéséről több élelmiszer, takarmány, energia és más bioalapú termék előállítására érdekében kevesebb inputanyag, csökkenő ÜHG- (üvegházhatású gázok) kibocsátás és növekvő ökoszisztéma-szolgáltatás mellett. A globális gazdaság elsősorban szénre, földgázra és kőolajra épül, hogy villamos energiát, hőt, kémikáliát, üzemanyagot és energiát termeljen. A fosszilis szénforrások alternatívája a mezőgazdasági, erdészeti és tengeri forrásokból származó biomassza. Ez azt jelenti, hogy a feldolgozóipar versenyez az alapanyagokért, elsősorban élelmiszer, takarmány és rosttermelés céljából, mindazonáltal figyelembe kell venni az élelmiszer, takarmány és egyéb bioalapú alapanyagok piacának kölcsönös függőségét a földhasználat és az ÜHG-kibocsátás tekintetében. A biomassza-alapú alapanyagok növekvő felhasználása befolyásolja a globális élelmiszer-, takarmány- és rosttermelést, ugyanakkor növeli a mezőgazdaság részesedését a GDP-ben (gross domestic product, bruttó hazai termék).

A világ élelmiszer-ellátása 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 25-30%-kal bővül, a mai 7,9 milliárd főről mintegy 10 milliárd főre, miközben az élelmiszerek iránti igény 60%-kal nő. Ezen túlmenően a világ népességének 33%-a túlsúlyos, ebből 30% elhízott. Ezzel szemben 800 millió ember alultáplált a kalóriahiány és 2 milliárd ember a mikrotápanyag-hiány miatt (van den Born et al., 2014; Fróna et al., 2019a; Fróna et al., 2019b). 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. Az

élelmiszer, takarmány és ipari alapanyagok növekvő felhasználásával csökken a hústermelés földhasználata. A hústermelés ma a globális mezőgazdasági terület 70%-át hasznosítja (van Zanten et al., 2016).

A fosszilis erőforrások 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 (a biomassza alacsonyabb energiataralmát nem veszik figyelembe) (Tvaronavičienė et al., 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 tápanyagok körforgásában. Ezért a biomassza ipari felhasználását olyan célokra indokolt korlátozni, ahol nincs alternatíva a bioszénnel szemben. Számos tanulmány becsülte meg a bioenergia termelésére felhasználható biomassza mennyiségét. A biomassza nagyrészt kihasználatlan marad, nemcsak az EU-ban, hanem világszerte is. A 2050-ig szóló becslések évi 100 EJ-től 1500 EJ-ig terjednek. Más modellekben az előrejelzések szerint a bioenergia előállítása 2100-ban 150–400 EJ nagyságrendű lesz (Popp–Oláh, 2018). A biomassza energia- és szén-sűrűsége alacsonyabb a fosszilis erőforrásoknál, de a biomassza alkalmas hő- és villamos energia előállítására, de alkalmas bioüzemanyag és bioalapú kemikália gyártására is. Ma a biomassza a világ energiaellátásának 10%-át, a közúti közlekedésben felhasznált üzemanyag 3–4%-át és a vegyipari alapanyagok 10–13%-át adja (URL1).

A biomassza manapság elsősorban takarmány, élelmiszer, bioenergia (beleértve a bioüzemanyagot is) és vegyipari alapanyagok előállítását szolgálja. 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 biomassza 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. Nagyon fontos szerepet játszanak a gazdaság „szénmentesítési” folyamatában. A szerves kémiai vegyipar 550 millió tonna kemikáliát és 275 millió tonna nitrogén műtrágyát termel, habár az előállított vegyi anyagok csak 500 millió tonna szenet tartalmaznak, de a felhasznált biológiai eredetű alapanyagok széntartalma további 100 millió tonna (Levi–Cullen, 2018). Jelenleg a bioüzemanyag és bioalapú kemikália előállításában a cukor, a keményítő és a növényolaj dominál. Ezen alapanyagok termelése korlátozott; ezért a nyersanyag-portfólió bővítésére van szükség, beleértve az etanol bioalapú felületaktív anyagok és oldószerek,

aromák, agrokemikáliák, biopolimerek és előállításához felhasznált biomassza melléktermékeit (például lignocellulóz, fűrészpor) (Kircher, 2012). Javítani kell a biomassza hatékonyságát is a kaszkád, többlépcsős hasznosítás és újrahasznosítás érdekében a biomassza-alapú gazdaság előrehaladásához. Hosszú távon a szénforrás ellátási lánc a fosszilis erőforrások csökkenéséhez és a biológiai eredetű erőforrások (kukorica, búza, szója, cukorrépa és cukornád, pálmaolaj) növekedéséhez vezetnek. 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-felhasználása 90%-a fosszilis erőforrásokból származik, és csupán 10%-a megújuló szénforrásokból. Az európai vegyiparnak radikális átalakulásra van szüksége a megújuló szénforrásból származó nyersanyagok felhasználásában, hogy megőrizze vezető szerepét a globális vegyiparban. A biotechnológián és a bioalapú vegyiparon alapuló új bioalapú termékek fejlesztése az alacsony olajárak miatt lelassult. A versenyképességet a kőolaj és a biomassza árszintje befolyásolja. Az összes anyagáram felhasználása meghatározza a biomassza feldolgozásának gazdasági és ökológiai értékét. A bioalapú szén ára alacsonyabb, mint a fosszilis alapú széné, de a bioalapú anyagok feldolgozási költsége viszonylag magas. A fosszilis tüzelőanyagokat és az alapvető vegyi anyagokat a kőolaj finomításával állítják elő nagyon magas szén- és alacsony munkaerő-intenzitás mellett. Ezzel szemben a biomassza több feldolgozási lépést igényel magasabb költség és munkaerő-szükséglet kíséretében (lásd a bioetanol előállítását).

A biomassza hagyományos felhasználása (főzés és fűtés) az elmúlt két évtizedben stabil maradt globális szinten, de annak részaránya a globális végső energiaellátásban fokozatosan csökken, miközben a modern, megújuló (nem hagyományos) energia felhasználása alacsony szintről indulva gyorsan emelkedett az 1990-es évek második felétől kezdve, így részesedése azóta folyamatosan növekszik. Az energiaiparban a megújuló energiaforrások, például a nap-, szél-, víz- és a geotermikus energia szénmentesek, csakúgy, mint az atomenergia. Nagyon fontos szerepet játszanak a gazdaság „szénmentesítési” folyamatában.

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 zöld áram (nap- és szélenergia) és bioüzemanyag aránya csak lassan bővül, pedig a megújuló energiaforrások növekvő felhasználása kiemelt prioritást élvez a közlekedési ágazat szénmentesítésében (Simionescu et al., 2017; Németh–Kőmíves, 2020). A folyékony bioüzemanyagok kerültek a figyelem középpontjába, pedig a biomassza elenyésző hányadát használják fel

bioüzemanyag előállítására. Ezenkívül az EU és az USA korlátozza az élelmiszernövényekből előállított biohajtóanyag bekeverését a fosszilis üzemanyagba. Noha a globális szántó- és ültetvényterület mintegy 2%-át használja a bioüzemanyag-ipar nyersanyagtermelésre, az „üzemanyag *versus* élelmiszer” vita mégis azt mutatja, hogy az ipari célokra felhasznált biomassza érzékeny kérdés a társadalomban. Ugyanakkor a bioüzemanyag-gyártáshoz szükséges néhány alapanyag (például 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 növényolaj-termelés 12%-át a biodízelipar. Hozzá kell tenni, hogy a bioüzemanyag-gyártás nyersanyagának egy része melléktermékként, takarmányként (szója- és repcedara, DDGS [Distillers Dried Grains with Solubles, szárított gabonatörköly]) visszakérül az állattenyésztéshez, ezzel az energianövények globális nettó földhasználata mintegy 0,5%-ponttal csökken, így a globális nettó szántó- és ültetvényterület mindössze 1,5%-át köti le a bioüzemanyag-gyártás. A cellulózalapú folyékony biohajtóanyag piaci bevezetése még várat magára. A termőföldek bioüzemanyag-előállítás céljából történő használata a világ több helyén eredményezett vitát (Popp et al., 2014; Popp et al., 2016; Harangi-Rákos et al., 2017a; Oláh et al., 2017).

Hozzávetőleg ötven ország vezetett be CO₂-kibocsátás kereskedelmi rendszert, és az ÜHG-kibocsátás több mint 20%-át képviselik. Az európai CO₂-kibocsátás kereskedelmi rendszerében a CO₂-kibocsátás ára tonnánként 2017 és 2019 között 4 euróról 25 euróra nőtt (URL7). Németország 2019-ben klímavédelmi csomagot fogadott el, ennek értelmében 2021-től a nehézipar mellett a közlekedési ágazatra és az építőiparra is kiterjesztik a CO₂-kibocsátás kereskedelmi rendszerét.

A CO₂-kibocsátás problémáinak megoldásához globális CO₂-árakra van szükség. Az éghajlatváltozás negatív hatással lesz az élelmiszer-termelésre, és maga a mezőgazdaság is jelentősen hozzájárul az éghajlatváltozáshoz, ezért szükség van a környezetkímélő mezőgazdaság bevezetésére, ezzel együtt a mezőgazdaság magas ÜHG-kibocsátásához kapcsolódó fogyasztói magatartás befolyásolására (túltápláltság és túlzott húsfogyasztás). Az élelmezés- és táplálékbiztonság magában foglalja a kínálati és a keresleti oldalt egyaránt, az élelmiszer-pazarlás csökkentése és az egészségesebb étrendre való átállás csökkenti a földhasználatra és egyéb természeti erőforrásokra nehezedő nyomást.

Az energia- és vegyiparban a biotechnológiai innováció csökkentette a fosszilis tüzelőanyagoktól való függőséget, pozitív hatással volt a környezetre. A növénynevelés egyre nagyobb szerepet játszik a magasabb fajlagos termés-hozam elérésében. Továbbá, a vetőmag-előállítás, a növényvédelem, a talajművelés, a betakarítás és a tárolás módszereinek fejlesztése jelentősen csökkentheti az élelmiszerlánc veszteségeit. A biomassza-alapú gazdaság és a körkörös gazdaság összefonódik a körkörös gazdaságökonomia és a biomassza-alapú

gazdaság fenntarthatósági szempontjainak integrációjával. A különböző biomassza-alapú gazdaságok *nemzetköziesítése* kiemelt prioritást élvez a körkörös gazdaság kialakításában (Aguilar et al., 2018).

ANYAG ÉS MÓDSZER

Bemutatjuk a biomassza szerepét a bioalapú termékek előállításában a biomassza-alapú gazdaságban a releváns nemzetközi szakirodalom és globális modellek alapján. A következő kifejezések kombinációit használtuk a különféle dokumentumok kutatására: bioökonómia, biomassza-ellátás, bioenergia, bioüzemanyag, biokémiai anyagok, biotechnológia és az éghajlatváltozás méréséklése. A 2010 és 2019 közötti időszakra vonatkozó referenciákra összpontosítottunk.

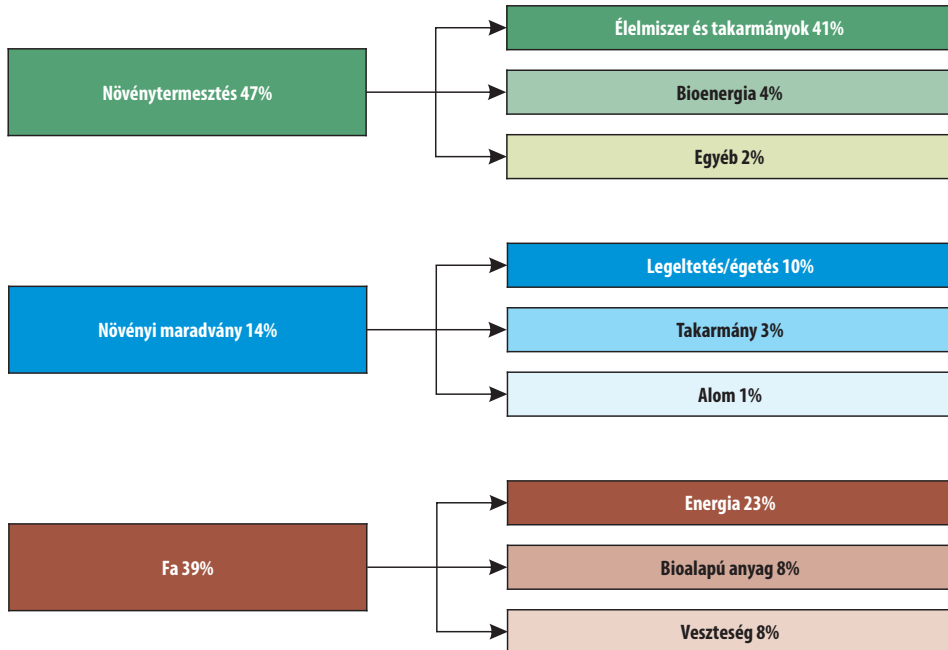
Az eredmények esetlegesen eltérhetnek, mivel a vizsgált publikációk különböznek egymástól, mivel különféle alapszenáriókat alkalmaznak az összehasonlításhoz és az egyéb háttérfeltételekhez. A biomassza-alapú gazdaság stratégiáiról szóló irodalom már jelentős; ugyanakkor a növekvő biomassza-termelés bioalapú termékek kibocsátására gyakorolt hatása sokkal kevesebb figyelmet kapott. Továbbá, 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 elemeztük.

EREDMÉNYEK

Biomassza-termelés és -felhasználás

A mezőgazdaság és az erdőgazdálkodás globális biomasszahozama évente mintegy 11,9 milliárd tonna (szárazanyagban kifejezve), ennek 61%-át a mezőgazdaság és 39%-át erdőgazdálkodás adja (*1. ábra*). A mezőgazdasági biomasszából a növények 47%-ot, a betakarított növényi maradványok 14%-ot tesznek 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 marad széngazdálkodás céljából (van den Born et al., 2014). A fás biomassza-termelés 23%-a tűzifa (az áramtermelést is beleértve), 8%-a elsődleges fás biomassza (ipari fa) és 8%-a veszteség. A mezőgazdasági növényekből élelmiszer és takarmányt (41%), energiát (3,5%) és egyéb terméket, például vetőmagot

és hulladékot (2%) állítanak elő. A takarmányozási és almozási célra használt legelő és betakarított növényi maradványok 14%-ot tesznek 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 használják (23%), másodsorban ipari fa formájában építőipari célra, bioalapú alapanyag-, papír- és cellulóógyártásra (8%). A fa- és faipari hulladék (elsődleges fahulladék) pedig 8%-ot tesz ki.



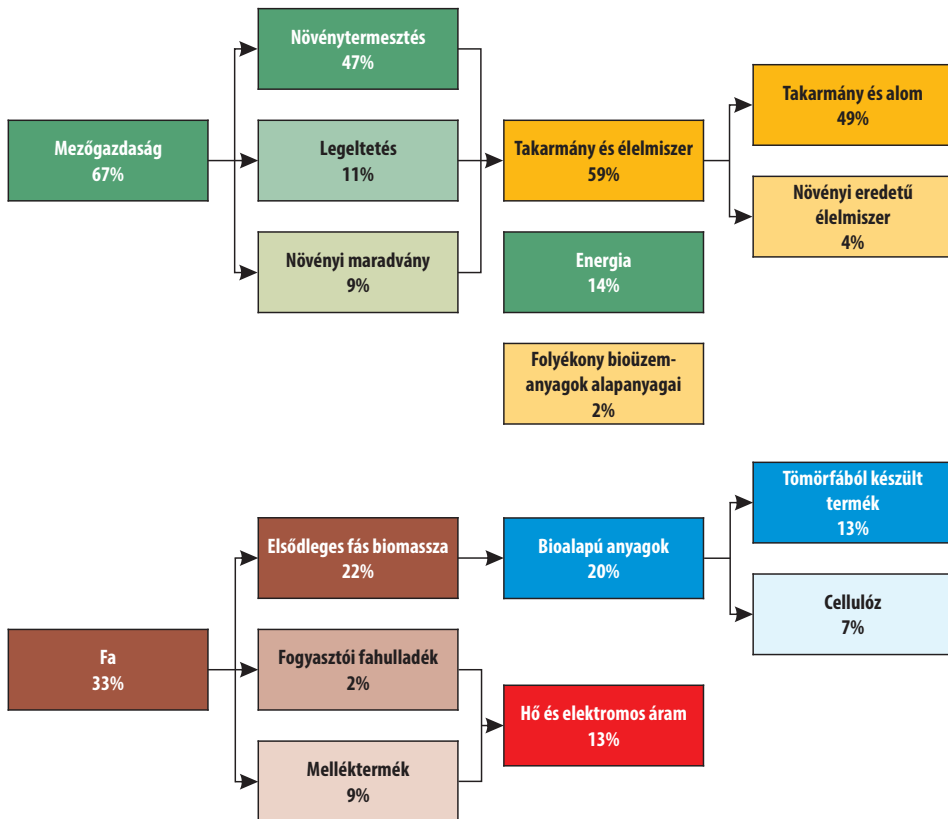
Összesen: 11,9 milliárd t (szárazanyagban kifejezve)

1. ábra. A globális biomassza termelése és felhasználása ágazatok szerint (%)
Saját szerkesztés Gert Jan van den Born és szerzőtársai (2014) alapján

2015-ben az EU mezőgazdasági és erdészeti ágazatából származó biomassza-termelés évi 1,1 milliárd tonna volt (szárazanyagban kifejezve) és a globális biomassza-előállítás megközelítőleg 9%-át tette ki. A biomassza termelésében 67%-ot a mezőgazdaság és 33%-ot az erdőgazdaság képvisel (1. ábra). A mezőgazdasági eredetű biomasszából a növénytermesztés 47%-ot, a legeltetett biomassza 1%-ot és a betakarított növényi maradvány 9%-ot tesz ki az összes biomasszához viszonyítva. Az erdőgazdálkodásból származó biomassza 22%-a az elsődleges fás biomassza, 9%-a a melléktermék (beleértve a fapelletet is) és 2%-a fogyasztói fahulladék. Az édesvízi és tengeri ágazatokból (halászat

és akvakultúra, alga) nyert biomassza kevesebb mint 2 millió tonna (szárazanyagban kifejezve) évente, azaz elhanyagolható mennyiség, csupán 0,2% az összes biomassza-termeléshez viszonyítva, ugyanakkor ennél sokkal nagyobb a tengeri ágazatok relatív jelentősége a biomassza-alapú gazdaságban (Camia et al., 2018). Az erdészeti tevékenység kapcsán keletkező faanyag hasznosítása gyakorta még napjainkban is kimerül a fa elégetésében (Fróna et al., 2017; Harangi-Rákos et al., 2017b), ugyanakkor erős a törekvés a biomassza korszerű használatára (Popp et al., 2018).

2015-ben a teljes biomassza felhasználása 1,06 milliárd tonna volt szárazanyagban kifejezve (2. ábra). 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, a halak és tenger gyümölcsei vonatkozásában negatív lett a külkereskedelmi mérleg. A mezőgazdasági biomasszát állati takar-

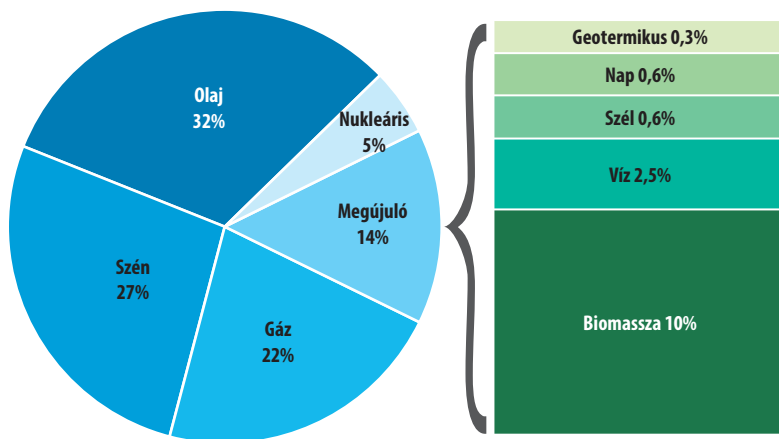


2. ábra. A biomassza termelése és felhasználása ágazatok szerint az EU-ban (%)
Saját szerkesztés az Európai Bizottság adatai alapján (URL5)

mányozásra és almozásra (beleértve az állati eredetű élelmiszereket is) (49%), növényi eredetű élelmiszergyártásra (10%), folyékony bioüzemanyag-gyártásra (4%) és energiatermelésre (4%) használják fel. A biomassza legeltetési és a betakarított növényi maradványok takarmányozási és almozási célt szolgálnak. A fás biomasszát tömörfa és cellulóz formájában bioalapú anyagok (20%), valamint bioenergia, azaz hő és elektromos áram (13%) előállításához használják fel. A fa elsődleges és másodlagos forrásainak mintegy kétharmada bioalapú anyagok, míg egyharmada bioenergia termelését szolgálta. A fás biomassza energia- és pelletcélú felhasználása növekedett az elmúlt két évtizedben. A biomassza mérlege azt mutatja, hogy 59%-át takarmány- és élelmiszer, 20%-át bioalapú anyagok és 21%-át bioenergia (ebből 8% mezőgazdasági és 13% fás eredetű) gyártására használják fel (URL5). A bioenergia a 30 millió tonna energianövényből (szárazanyagban kifejezve) előállított bioüzemanyagot (az összes biomassza 4%-a) is magában foglalja.

BIOENERGIA AZ ENERGIAELLÁTÁSBAN

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 az 5%-át, a megújuló energiaforrások pedig 14%-át tették ki. 2016-ban 10%-os részesedéssel a bio-

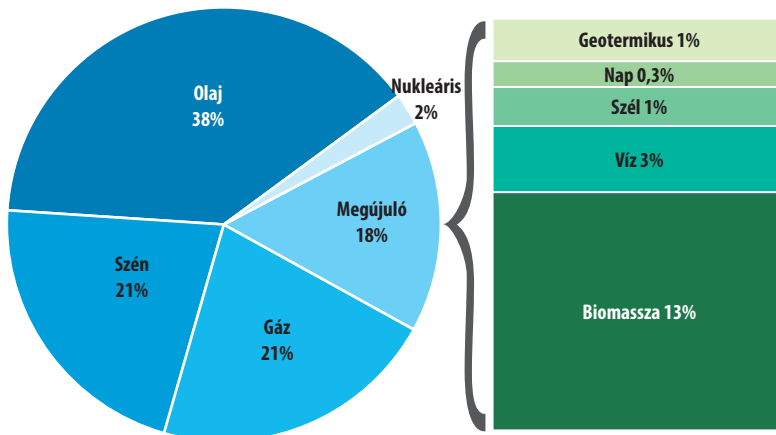


Összesen: 13,8 milliárd toe

3. ábra. A globális primer energiaellátás alakulása tüzelőanyagok szerint 2016-ban (%)
Az adatok forrása: REN21, 2019 (URL9), WBA (2018), International Energy Agency, 2018 (URL6)

massza 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 tett ki (3. ábra). A megújuló energiaforrások részesedése mindössze 1%-ponttal nőtt 2000 óta, miközben a termelésük több mint 30%-kal nőtt ebben az időszakban, ami azt mutatja, hogy a globális primer energiaellátás (fosszilis, nukleáris és megújuló energia) a megújuló energiatermeléssel szinte azonos ütemben növekszik.

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. A megújuló energia részesedése 2000 óta gyakorlatilag nem változott (csupán 0,3%-ponttal növekedett), miközben a megújuló energia felhasználása 30%-kal nőtt, de a bruttó végső energiafogyasztás is ugyanilyen ütemben emelkedett. A globális végső energiafogyasztásban a 18% megújuló energiaforrásokból a biomassza 13%-ot, a vízenergia 3%-ot és az egyéb megújuló energiaforrások (nap-, szél-, geotermikus, árapályenergia stb.) 2%-ot tettek ki (4. ábra).

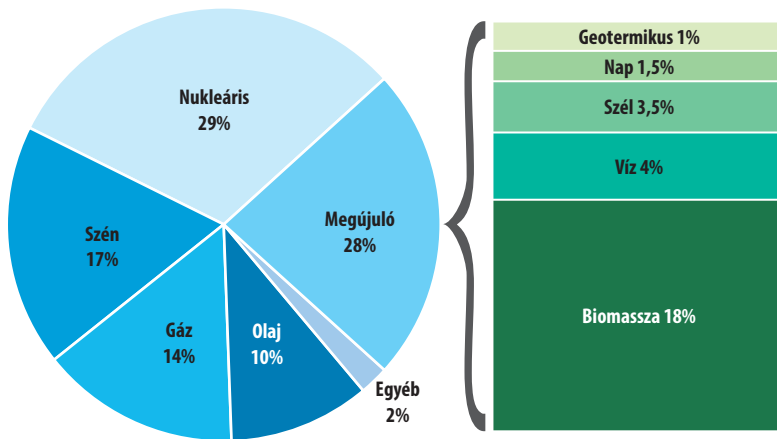


Összesen: 8,8 milliárd toe

4. ábra. A globális bruttó végső energiafogyasztás alakulása tüzelőanyagok szerint 2016-ban (%)
Az adatok forrása: REN21, 2018 (URL8), WBA (2018), International Energy Agency, 2018 (URL6)

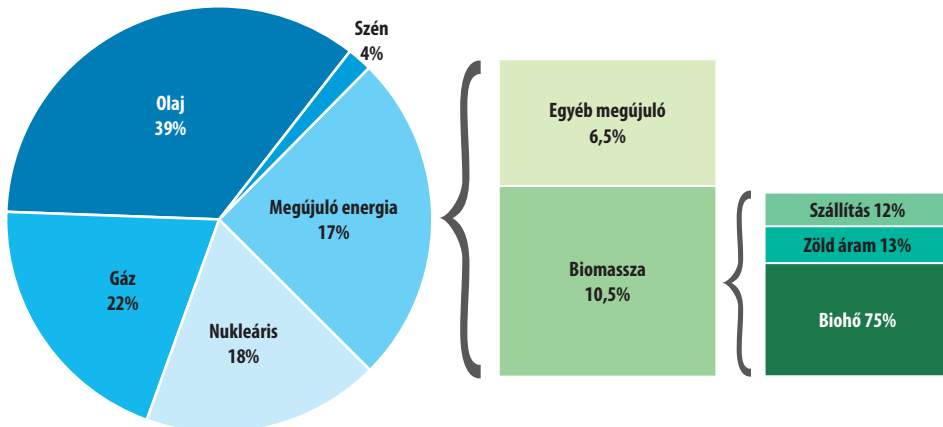
2016-ban a primer energiatermelés az EU-ban 0,75 milliárd toe volt (a globális primer energiatermelés 5%-a). A primer energiatermelésben az atomenergia 29%-ot, a

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 energia-termelésben a megújuló energiaforrások aránya először haladta meg a szén arányát, sőt rövid távon várhatóan felülműlják az atomenergia részesedését is (5. ábra). Az



Összesen: 0,75 milliárd toe

5. ábra. Az EU28 primer energiaellátásának alakulása tüzelőanyagok szerint 2016-ban (%)
Az adatok forrása: Bioenergy Europe, 2018 (URL2); EC, 2019 (URL5)



Összesen: 1,11 milliárd toe

6. ábra. Az EU28 bruttó végső energiafogyasztásának alakulása tüzelőanyagok szerint 2016-ban (%)
Az adatok forrása: Bioenergy Europe, 2018 (URL2); Eurostat, 2019 (URL3)

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.

A nettó energiaimport és a bruttó végső energiafogyasztás aránya megmutatja, hogy egy ország vagy régió mennyiben függ az energiaimporttól. 2005 és 2016 között az EU fosszilis tüzelőanyagtól való importfüggése 52%-ról 54%-ra nőtt (URL5). 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%-ot, a földgáz 22%-ot, a megújuló energiaforrás 17%-ot, a nukleáris energia 18%-ot és a szén 4%-ot tett ki. 1990 óta a szén részesedése folyamatosan csökkent, miközben a megújuló energiaforrások aránya jelentősen megnőtt (6. ábra).

A megújuló energiaforrások egyre fontosabb és növekvő szerepet játszanak az EU energiaellátásában. Az EU célkitűzése volt, hogy 2020-ra a megújuló energia aránya érje el a 20%-ot az energiafogyasztásban. 2019-ben a megújuló energia aránya a bruttó végső energiafogyasztásban már 19,7% volt, 2020-ban pedig elérte a 22%-ot, így az EU27 szintjén teljesült a célkitűzés (URL4).

KÖVETKEZTETÉSEK

Világszerte a biomassza 55%-át takarmányozásra és élelmiszer-termelésre, 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: fatermék és cellulóz) gyártására. A fosszilis eredetű energiaforrások 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 ösztönzi 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 bio-

massza-állomány 9%-át teszi ki. A biomassza részesedése a globális primer energiatermelésben 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. Az erdőgazdálkodásból, a mezőgazdaságból és a hulladékokból származó energiacélú 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 eredeten alapuló vegyipari nyersanyagokkal szemben, ehhez viszont bőséges bioalapú alapanyagokra (cukor, keményítő, növényolaj és etanol) van szükség.

A 132805 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a K_19 pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALOM

- Aguilar, A. – Wohlgemuth, R. – Twardowski, T. (2018): Perspectives on Bioeconomy. *New Biotechnology*, 40, 181–184. DOI: 10.1016/j.nbt.2017.06.012, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678417302303>
- Camia, A. – Robert, N. – Jonsson, R. et al. (2018): Biomass Production, Supply, Uses and Flows in the European Union. *Joint Research Centre Science for Policy Report*, 1–126. DOI: 10.2760/181536, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC109869>
- Fróna D. – Oláh J. – Harangi-Rákos M. (2017): A fa értékkeremtési lánc logisztikai koncepciója. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 2, 4, 139–154.
- Fróna D. – Harangi-Rákos M. (2019a): Rejtett éhség kérdése. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 4, 3, 155–164. https://www.researchgate.net/publication/334160644_Rejtett_ehseg_kerdese
- Fróna D. – Szenderák J. – Harangi-Rákos M. (2019b): The Challenge of Feeding the World. *Sustainability*, 11, 20, Paper: 5816, 1–17. https://dea.lib.unideb.hu/dea/bitstream/handle/2437/292552/FILE_UP_1_Frona_Szenderak_Rakosi.pdf?sequence=1
- Harangi-Rákos M. – Popp J. – Oláh J. (2017a): A bioüzemanyag előállítás globális kihívásai. *Journal of Central European Green Innovation*, 5, 4, 13–31. DOI: 10.22004/ag.econ.279370, <https://ageconsearch.umn.edu/record/279370/?ln=en>
- Harangi-Rákos M. – Oláh J. – Antal G. et al. (2017b): Erdőgazdálkodás és logisztika. *Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok*, 12, 1–2, 127–141. http://acta.bibl.u-szeged.hu/49846/1/jelenkori_012_001_002_127-139.pdf
- Harangi-Rákos M. – Popp J. – Oláh J. (2018): A biomassza energetikai és egyéb célú felhasználása. *Magyar Energetika*, 25, 2, 8–16. http://magyarenergetika.hu/wp-content/uploads/me/ME_2018-2.pdf
- Kircher, M. (2012): The Transition to a Bio-economy: Emerging from the Oil Age. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6, 4, 369–375. DOI: 10.1002/bbb.1352

- Levi, P. G. – Cullen, J. M. (2018): Mapping Global Flows of Chemicals: From Fossil Fuel Feedstocks to Chemical Products. *Environmental Science & Technology*, 52, 4, 1725–1734. DOI: 10.1021/acs.est.7b04573, <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.7b04573>
- Németh K. – Kőmives P. M. (2020): A V4 térség autópárának innovációja és kihívásai, különös tekintettel a szektor munkaerő iránti igényére. *Magyar Minőség*, 29, 1, 10–24. <https://quality-mmt.hu/magyar-minoseg-xxix-efolyam-2020/>
- Oláh J. – Lengyel P. – Balogh P. et al. (2017): The Role of Biofuels in Food Commodity Prices Volatility and Land Use. *Journal of Competitiveness*, 9, 4, 81–93. DOI: 10.7441/joc.2017.04.06, <https://www.cjournal.cz/files/267.pdf>
- Popp J. – Harangi-Rákos M. – Antal G. et al. (2016): Substitution of Traditional Animal Feed with Coproducts of Biofuel Production: Economic, Land-use and GHG Emissions Implications. *Journal of Central European Green Innovation*, 4, 3, 1–17. <https://bit.ly/3DHRDzS>
- Popp J. – Harangi-Rákos M. – Kapronczai I. et al. (2018): Magyarország megújuló energia-termelésének kilátásai. *Gazdálkodás*, 62, 2, 103–122. <https://ageconsearch.umn.edu/record/272933/?ln=en>
- Popp J. – Lakner Z. – Harangi-Rákos M. et al. (2014): The Effect of Bioenergy Expansion: Food, Energy, and Environment. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 32, 559–578. DOI: 10.1016/j.rser.2014.01.056, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114000677>
- Popp J. – Oláh J. (2018): Fehérjefüggőség: merre tovább? *Magyar Mezőgazdaság*, 73, 4, 60–61.
- Simionescu, M. – Albu, L. L. – Raileanu Szeles, M. et al. (2017): The Impact of Biofuels Utilisation in Transport on the Sustainable Development in the European Union. *Technological and Economic Development of Economy*, 23, 4, 667–686. DOI: 10.3846/20294913.2017.1323318, <https://bit.ly/3oHpqVR>
- Tvaronavičienė, M. – Prakapienė, D. – Garškaitė-Milvydienė, K. (2018): Energy Efficiency in the Long Run in the Selected European Countries. *Economics & Sociology*, 11, 1, 245–254. DOI: 10.14254/2071-789X.2018/11-1/16, https://www.economics-sociology.eu/files/20_16_552_Tvaronaviciene.pdf
- Van den Born, G. J. – Van Minnen, J. G. – Olivier, J. G. J. et al. (2014): *PBL-report. Integrated Analysis of Global Biomass Flows in Search of the Sustainable Potential for Bioenergy Production*. PBL publication number: 1509. <https://bit.ly/31Le0r0>
- Van Zanten, H. H. – Mollenhorst, H. – Klootwijk, C. W. et al. (2016): Global Food Supply: Land Use Efficiency of Livestock Systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21, 5, 747–758. DOI: 10.1007/s11367-015-0944-1, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-015-0944-1>
- URL1: *Bio-based Chemicals Industry Looks to Biomass & Capital to Maintain Momentum*. (2020): <https://archive.bio.org/articles/bio-based-chemicals-industry-looks-biomass-capital-maintain-momentum>
- URL2: *Bioenergy Europe: Statistical Report*. (2018): <https://epc.bioenergyeurope.org/bioenergy-europe-pellet-report-2018/>
- URL3: Eurostat: *Supply, Transformation and Consumption of Renewable Energies. Annual Data*. (2019): <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/external/supply-transformation-consumption-renewable-energies>
- URL4: EC – European Commission (2021): *Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, State of the Energy Union 2021 – Contributing to the European Green Deal and the Union's Recovery*. Brussels, 26.10.2021, COM(2021) 950 final. https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/state_of_the_energy_union_report_2021.pdf

- URL5: EC – European Commission: *Biomass Flows, Biomass Balances in European Union (EU-28)*. (2019): https://datam.jrc.ec.europa.eu/datam/mashup/BIOMASS_FLOWS/index.html
- URL6: International Energy Agency: *Renewables 2018. Analysis and Forecasts to 2023*. (2018): <https://www.iea.org/reports/renewables-2018>
- URL7: Market Insider: *Commodities*. (2020): <https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-european-emission-allowances>
- URL8: REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century: *Renewables 2017, Global Status Report*. (2018): https://ren21.net/gsr-2017/chapters/chapter_02/chapter_02/
- URL9: REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century: *Renewables 2019 Global Status Report*. (2019): https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf
- URL10: WBA – World Bioenergy Association: *WBA Global Bioenergy Statistics 2018*. (2018): https://worldbioenergy.org/uploads/181203%20WBA%20GBS%202018_hq.pdf