

Doktori (PhD) értekezés

Soproni Egyetem

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

Vezető: Prof. Dr. Csóka Levente egyetemi tanár

Doktori program: Fafeldolgozási technológiák és kreatív tervezés

Programvezető: Prof. Dr. Kovács Zsolt és Zalavári József DLA

Tudományág: Anyagtudomány és technológiák

PELLET TERMÉKCIKLUS SZABÁLYOZÓ- ÉS MÉRŐRENDSZERÉNEK KITERJESZTÉSE

Készítette: Konrád Krisztina Éva

Témavezető: Dr. Németh Gábor

egyetemi docens

Dr. Viharos Zsolt János

tudományos főmunkatárs (MTA SZTAKI)

Sopron

2018

Soproni Egyetem

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

PELLET TERMÉKCIKLUS SZABÁLYOZÓ- ÉS MÉRŐRENDSZERÉNEK KITERJESZTÉSE

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
a Soproni Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák
Doktori Iskolája
Fafeldolgozási technológiák és kreatív tervezés programja

Írta:
Konrád Krisztina Éva

Készült a Soproni Egyetem Cziráki József Doktori Iskola
Fafeldolgozási technológiák és kreatív tervezés programja keretében

Témavezetők:

Dr. Németh Gábor

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

Dr. Viharos Zsolt János

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton % -ot ért el,

Sopron,

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló

(Dr.) igen/nem

(aláírás)

Második bíráló

(Dr.) igen/nem

(aláírás)

Esetleg harmadik bíráló

(Dr.) igen/nem

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Sopron,

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése

.....
Az EDHT elnöke

NYILATKOZAT

Alulírott *Konrád Krisztina Éva*, jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a „*Pellet termékciklus szabályozó- és mérőrendszerének kiterjesztése*” című PhD értekezésem önálló munkám, az értekezés készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény szabályait, valamint a *Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola* által előírt, a doktori értekezés készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.¹

Kijelentem továbbá, hogy az értekezés készítése során az önálló kutatómunka kitétel tekintetében témavezetőimet, illetve a programvezetőt nem tévesztettem meg.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy az értekezést nem magam készítettem, vagy az értekezéssel kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem megtagadja az értekezés befogadását.

Az értekezés befogadásának megtagadása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2018.

.....
doktorjelölt

¹ 1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1) A mű részletét – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára – a cél által indokolt terjedelemben – szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást – a szerző nevével együtt – fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti a **Családomat**, akik minden szempontból lehetővé tették számomra, hogy eljussak a Ph.D. fokozat megszerzéséig.

Köszönet illeti témavezetőimet, **Dr. Viharos Zsolt Jánost**, a Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet (MTA SZTAKI) főmunkatársát és **Dr. Németh Gábort**, a Soproni Egyetem Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Faipari Gépészeti Intézet docensét.

Köszönet illeti a **Soproni Egyetemet**, a **Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kart**, a **Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskolát** és a **Faipari Gépészeti Intézetet**, amely a Ph.D. képzés szervezeti és szakmai hátterét biztosította, továbbá, köszönet illeti a „**Munkahelyi vita**” résztvevőit, akik véleményükkel, javaslataikkal hozzájárultak a dolgozat és a tézisek jelen formában történő véglegesítéséhez.

Köszönet illeti korábbi munkahelyemet, a **zalaegerszegi Mechatronikai Képzési és Kutatási Intézetet**, annak **személyes és szervezeti támogatóit**, különösen **Dr. Háy András**t, akik a kutatási tevékenység irányába fordították figyelmemet.

Köszönet illeti továbbá az **MTA SZTAKI, Mérnöki és Üzleti Intelligencia Kutatólaboratóriumát**, amely együttműködésével támogatta az Új Nemzeti Kiválóság Programban elnyert Felsőoktatási Doktori Hallgatói, Doktorjelölti Kutatói Ösztöndíjamat.

Jelen publikáció az „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – A felsőoktatási rendszer K+F+I szerepvállalásának növelése intelligens szakosodás által Sopronban és Szombathelyen” című projekt támogatásával valósult meg.

Tartalomjegyzék

Kivonat.....	8
Abstract.....	9
1. Bevezetés.....	10
2. Energetikai áttekintés	12
2.1. Energiaellátás eszközei	12
2.2. Energiapolitikai elvárások, energiagazdálkodási kihívások.....	13
2.2.1. Az energiapolitika kialakításának alappillérei.....	14
2.2.1.1. Ellátásbiztonság	14
2.2.1.2. Versenyképesség.....	15
2.2.1.3. Fenntarthatóság	15
2.2.2. Az EU energiapolitikai célkitűzései	16
2.2.3. Magyarország energiapolitikai célkitűzései	17
2.3. Energiagazdálkodás nemzetközi helyzete és trendjei	19
2.3.1. Energiagazdálkodási a világban	19
2.3.2. Energiagazdálkodási helyzet és trendek Európában	23
2.3.3. Energiagazdálkodási helyzet és trendek Magyarországon	27
2.4. Megújuló energiaforrások szerepe	31
2.4.1. Biomassza alapú források szerepe.....	32
2.4.1.1. Hőenergia előállítás biomasszából	34
2.4.1.2. Villamos energia előállítás biomasszából	35
2.4.1.3. Közlekedésben használt bioüzemanyagok előállítása	36
3. Pellet tüzelőanyagok	37
3.1. Pellet típusok	38
3.1.1. Fapellet	39
3.1.2. Agripellet	40
3.2. Pelletek energiagazdálkodási szerepe	43
3.2.1. A világon	43
3.2.2. Európában	46
3.2.3. Magyarországon.....	54
3.3. Pellet termékciklus.....	57
3.3.1. Alapanyag ciklus.....	57
3.3.1.1. Fás szárú alapanyagok.....	58
3.3.1.2. Lágyszárú alapanyagok.....	59
3.3.2. Gyártási ciklus.....	59
3.3.2.1. Alapanyag-kezelés	60
3.3.2.2. Gyártási folyamat	62
3.3.2.3. Késztermékkezelés	64
3.3.3. Felhasználási ciklus.....	64
4. Kutatási terv	65
5. Pellet termékciklus jellemzőinek meghatározása	67
5.1. Alapanyag paraméterek.....	67
5.2. Technológiai paraméterek	69
5.3. Késztermék paraméterek.....	71
6. Pellet ciklus szabályozó eszközeinek kiértékelése	73

6.1. Nemzeti szabványok	73
6.1.1. <i>ÖNORM M7135 (Ausztria)</i>	74
6.1.2. <i>DIN 51731 (Németország)</i>	74
6.1.3. <i>NF granulés biocombustibles (Franciaország)</i>	76
6.1.4. <i>CTI R04/5 (Olaszország)</i>	76
6.2. Európai- és nemzetközi szabványok	77
6.2.1. <i>EN 14961 (Tüzelőanyag-előírások és –osztályok)</i>	78
6.2.2. <i>EN 15234 (A tüzelőanyag minőségbiztosítása)</i>	81
6.2.3. <i>ISO 17225 (Tüzelőanyag-előírások és –osztályok)</i>	82
6.3. Egyéb szabályozó eszközök.....	85
6.3.1. <i>ENplus (Fapelletek minőségbiztosítási rendszere)</i>	85
6.4. A hiányzó szabályzó elem	88
7. Alapanyag minősítési eljárások vizsgálata, értékelése és folyamatba illesztése. 91	
7.1. Vizsgálati csoportok meghatározása	91
7.2. Mérési eljárásokat kiértékelő rendszer kidolgozása	93
7.2.1. <i>Eszközigény</i>	94
7.2.2. <i>Időigény</i>	97
7.2.3. <i>Komplexitás</i>	99
7.2.4. <i>Alkalmazhatósági index</i>	101
7.3. Kiértékelő rendszer alkalmazása	101
7.3.1. <i>Eljárások kiértékelése</i>	102
7.3.2. <i>Eljárások rangsorolása</i>	103
7.4. Alapanyag mérési eljárások gyártási folyamatba illesztése	106
7.5. Javaslattevél a szabályozó eszközök kiterjesztésére.....	108
7.5.1. <i>Kiterjesztendő szabvány megjelölése</i>	108
7.5.2. <i>Szabvány szerkezet módosítása, a kiterjesztés tartalma</i>	109
8. Összefoglalás.....	112
9. Tézisek, új kutatási eredmények	115
10. Irodalomjegyzék.....	117
11. Ábrajegyzék	123
12. Táblázatjegyzék	125
13. Mellékletek	126

KIVONAT

Pellet termékciklus szabályozó- és mérőrendszerének kiterjesztése

A doktori disszertáció a pellet tüzelőanyagok minőségyszabályozó eszközeit értékeli; egy, a különböző mérési eljárások értékelésére alkalmas rendszer kidolgozásán keresztül ajánlást fogalmaz meg azok pellet termékciklusba illesztésére; javaslatot tesz a szabályozó eszközök tartalmi kiterjesztésére és gyártási folyamatba építésére, valamint a vonatkozó ISO szabvány kiegészítésére vonatkozólag.

Az energiagazdálkodás kulcskérdései a fenntarthatóság, az ellátásbiztonság és a versenyképesség. A nemzetek részére ezek hiánytalan szavatolására a megújuló energiaforrások jelenthetik az egyik fő alternatívát. Ebbe a képbe tökéletesen illeszkednek a tűzipelletek, melyek kitűnnek a biomassza alapú tüzelőanyagok közül; pozitív tulajdonságaiknak köszönhetően felhasználásuk során közel azonos szintű komfortérzetet képesek nyújtani, mint a gázüzemű berendezések.

A dolgozat rámutat a pellet termékciklust szabályzó eszközök egyik hiányosságára: ezek az eszközök nem képesek lefedni a pellet termékciklus teljes folyamatát, többek között az alapanyagok minőségi szabályozására sem térnek ki. Ez meghatározó hiányosság, hiszen a szilárd biogén alapanyagok pelletálhatósági- és a késztermék tüzeléstechnikai tulajdonságait döntően befolyásolja az alapanyag összetétel. A biomassza alapanyagok minősítésére rendelkezésre állnak szabványosított- és egyéb eljárások, de ezek értékelésére, folyamatba illeszthetőségük vizsgálatára korábban nem állt rendelkezésre megfelelő eszköztár. A kifejlesztett mérési eljárások értékelő rendszer ennek a hiányosságnak a megszüntetésére tesz javaslatot, összehasonlíthatóvá és rangsorolhatóvá téve még a különböző paramétercsoportok mérésére vonatkozó eljárásokat is. A dolgozat vizsgálja a mérési eljárások folyamatba illeszthetőségének lehetőségeit is, megjelöli az optimális illesztési pontokat. Majd a disszertáció zárásaként, a hatályos szabályozó eszközök kiterjesztésének módjára és tartalmára vonatkozó ajánlás fogalmaz meg.

ABSTRACT

Extending the pellet product cycle controlling and measuring system

This doctoral dissertation evaluates the quality control tools of pellet fuels, makes a recommendation for their further development through the elaboration of a unique measurement evaluation system, and makes a proposal for extending the scope of regulatory instruments.

Key issues in energy management are sustainability, security of supply and competitiveness. To fully guarantee them for energy-dependent states, renewable energy sources can be an alternative. Fire pellets, which excel among biomass-based fuels, perfectly fit into this image. Thanks to their positive properties, they are able to offer almost the same level of comfort in their use as gas-powered equipment.

The paper explores the shortcomings of the tools that control the pellet product cycle. These tools are not able to cover the entire process of the pellet product cycle, for example, they do not include the quality control of raw materials. This is a serious defect, as the pelletability of solid biogenic raw materials and the combustion properties of the finished product are largely influenced by the composition of the raw material. Standardized and other procedures are available for the classification of biomass feedstocks, but no instrument has been previously available to evaluate them and examine their fitness for processing. The developed measurement evaluation system proposes to fill this void, making it possible to compare and rank even the procedures for measuring different parameter groups. The paper examines the possibilities of the measuring method integration into process, and makes recommendation to the optimal join points. Then, as conclusion of the dissertation, makes proposal to extension manner and content of the regulatory system in force.

1. BEVEZETÉS

Az energiafelhasználási trendek változása - a népességrobbanás és a fogyasztási szokások átalakulása – folyamatosan növekvő energia igényt támaszt, melynek kielégítése fogyó- és megújuló energiaforrások felhasználásával lehetséges. A fogyó energiaforrások növekvő kitermelési költségei, a csökkenő készletek, és a fokozódó környezetvédelmi törekvések együttesen erősítik a megújuló energiaforrások szerepét.

A megújuló energiaforrások esetében kritikus kérdés a helyhez kötöttség, az időben változó mértékű rendelkezésre állás, és a tárolhatóság. Ezeken a korlátokon túlmutatnak a tűzipelletek, melyek 6-8 mm átmérőjű, biomassza alapanyagból készülő hengeres alakú energetikai préselvények. Pozitív tulajdonságaiknak köszönhetően, az elmúlt évtizedekben fokozódott az érdeklődés a pelletek iránt, a legyártott és a felhasznált tüzelőanyagok mennyisége többszörösére növekedett. Ugyan jelenleg még a fás szárú alapanyagokból készülő, úgynevezett fapelletek iránti piaci kereslet a domináns, de egyre nagyobb az agripelletek térhódítása (lágy szárú alapanyagból készülő pellet), melyek növekedési üteme meghaladja fapelletekét.

A folyamatos piaci bővülés, a piaci szereplők számának növekedése minden esetben megköveteli az egységes, magas minőségi követelményeknek megfelelő termékek piacra bocsátását. Ennek az elvárásnak bármely termék esetén – így a tűzipelletek kapcsán is - a megfelelően kialakított, teljes termékcikluson átívelő, egységes mérő- és szabályozórendszer képes megfelelő alapot biztosítani.

A fentiek alapján a következő kérdések fogalmazódtak meg a pellet tüzelőanyagok piacának bővülése kapcsán:

- (1) Milyen a pelletek jelenlegi piaci helyzete, a jövőben milyen változások prognosztizálhatók a pellet-piacon, hogy változhat a pelletek energiagazdálkodási szerepe?
- (2) Hogyan épül fel a teljes pellet termékciklus, melyek annak legkritikusabb paraméterei, mik az azokat befolyásoló tényezők?
- (3) A rendelkezésre álló szabályozó eszközök milyen hatékonysággal képesek lefedni a pellet termékciklust?
- (4) Pellet termékciklus szabályozó- és mérőrendszerével kapcsolatosan milyen fejlesztési igények fogalmazódnak meg, hogyan lehet azokat bevezetni?

A kérdéscsoportok megválaszolásának érdekében a dolgozat elején bemutatásra kerülnek az energiaellátás eszközei, az energiagazdálkodási trendek és kihívások, valamint az ezeket befolyásoló energiapolitikai elvárások is. A 2.4. fejezet a megújuló energiaforrások szerepét tárgyalja, fókuszálva a biomassza anyagok jelentőségére, ezt bontja tovább a 3. fejezet, amely bemutatja a pellet tüzelőanyagok típusait, energiagazdálkodási szerepüket, és ismerteti a teljes pellet termékciklust (alapanyag, gyártási-, és felhasználási ciklus) is. Az 5. fejezet rámutat az alapanyag-paraméterek késztermék minőségre gyakorolt szignifikáns hatására, miközben ismerteti a késztermék jellemzőket befolyásoló paramétereket, és az azok közötti korrelációs kapcsolatokat is.

Az 6. fejezet – a korábbi fejezetekben már taglalt - termékciklus elemek nemzetközi szabványok által megvalósított lefedettségét vizsgálja, értékeli a rendelkezésre álló szabályozó eszközöket, rávilágít azok erősségeire és gyengeségeire egyaránt. Az összefoglalást megelőzően, a 7. fejezet a késztermék minőségét döntően meghatározó alapanyag paraméterekre állít fel vizsgálati csoportokat, irányt adva ezzel a megalkotott mérési eljárásokat kiértékelő rendszer alkalmazásának, és a vizsgált eljárások folyamatba illeszthetőségének. A 7. fejezet zárása a korábban feltárt szabályozó eszközök hiányosságának lefedésére megalkotott mérési eljárásokat kiértékelő rendszer szabványbeli kiterjesztésére tesz javaslatot, megfogalmazva az új értékelő rendszer szabványbeli elhelyezkedését és annak tartalmát is. Az értekezés zárásaként az összefoglalás röviden bemutatja a dolgozatban tárgyalt eredményeket és röviden ismerteti a kutatómunka tanulságait.

2. ENERGETIKAI ÁTTEKINTÉS

2.1. Energiaellátás eszközei

Az energiaforrások felhasználása a tűz felfedezése óta része az emberiség életének, már az ókorban égettek növényi olajokat a mécsesekében, az egyiptomiak használtak vízikerekeket illetve szélmalmokat, valamint a szén felhasználására is vannak írásos bizonyítékok már a III. századból [1]. Ebben az időszakban az energiafelhasználás alacsony szintű volt, és a felhasznált energiafajták nem sokat változtak. Az energiagazdálkodásban igazi mélyreható változást az ipari forradalmak hoztak. Elkezdődött az energiahordozók munkavégző képességének intenzívebb felhasználása, megjelentek az új gépi meghajtású berendezések és a tömeggyártás, ami magával hozta az új anyagokra és új energiaforrásokra mutató igények megjelenését is. Az új energiaforrásokkal szemben elvárás volt, hogy függetlenek legyenek a természeti viszonyoktól, valamint bárhol alkalmazhatóak és nagy(obb) energiasűrűségűek legyenek [2].

Az iparosítás kezdetén, 1769-ben James Watt feltaláló (1736-1819) gőzgépével – mely a hőenergiát több lépésben mozgási energiává alakította - megindult a szénfelhasználás intenzív növekedése. A XIX. század nagy vívmányai, Nikolaus August Otto (1832-1891) benzinmotorja, és Rudolf Christian Karl Diesel (1858-1913) dízelmotorja megtörte a szén egyeduralmát, és erősödő szereplőként megjelent a kőolaj a világ energiagazdálkodásban. A nukleáris energia szabályozott hasznosításával a XX. századra tovább erősödött a villamosítás, mely során robbanásszerűen elterjedt az elektromos áram szállítása, felhasználása; elkezdődött a hírközlés megreformálása [3].

Míg a XIX. század közepéig az energiaigény változása együtt mozgott a népességnövekedéssel, ezt követően új időszak kezdődött, mely során a két mutató elvált egymástól, és az energiatermelés és felhasználás progresszív növekedésnek indult [1]. Az energiafelhasználás növekedésével folyamatosan új energetikai kérdésekre kell választ adni. A rendelkezésre állás, az aktuális kinyerési és szállítási technikák mellett, a globális megállapodásokat, helyi szabályozásokat, valamint a társadalmi megítélést figyelembe véve kell összehangolni az energiaellátás eszközeinek felhasználását.

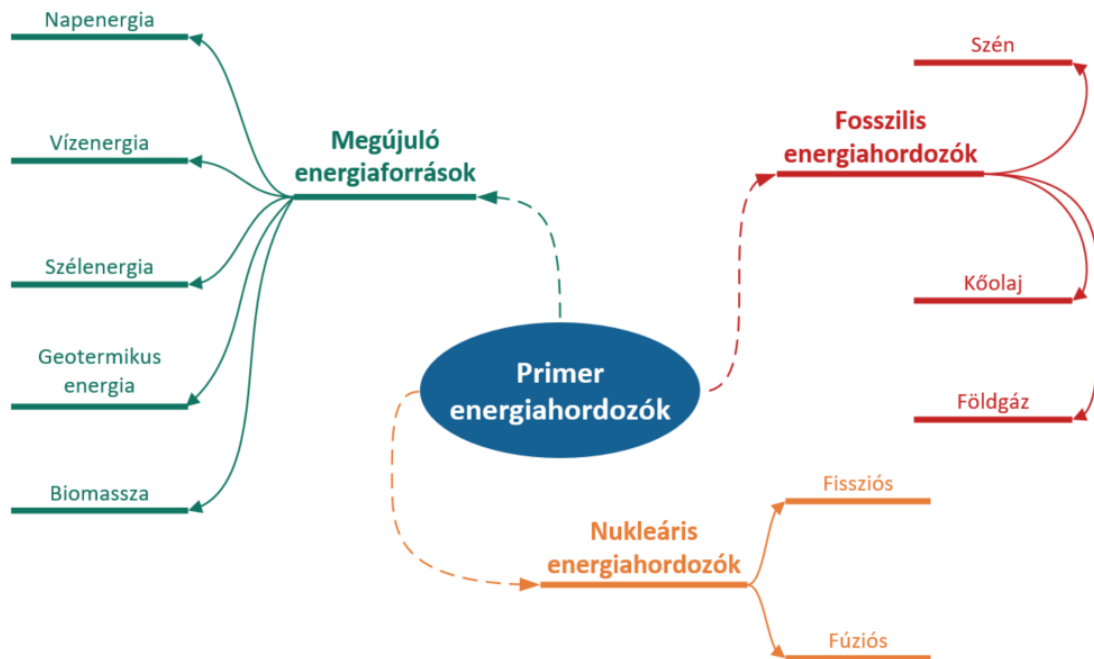
Az energiának számtalan megjelenési formája jellemzően két fő csoportba sorolandó attól függően, hogy mozgással kapcsolatos, vagy valamilyen formában tárolt energiáról beszélünk. A mozgással kapcsolatos energiát mozgási, vagy kinetikus energiának, a tárolódó energiát helyzeti, vagy potenciális energiának nevezzük [1].

A különböző energiák energiaforrások, illetve energiahordozók igénybevételével válnak hasznosíthatóvá. Eredetük alapján az energiahordozók és energiaforrások elsődleges (primer) és másodlagos (szekunder) típusúak lehetnek. Az elsődleges energiahordozók a természetben megtalálhatók és energianyerésre alkalmasok. Ezeknek az elsődleges energiaforrásoknak az átalakításával, finomításával állíthatók elő a másodlagos energiaforrások, mint például a villamos-energia.

Az elsődleges energiahordozók, - források három fő kategóriába sorolhatók (1. ábra):

- **fosszilis** energiahordozók (szén, kőolaj, földgáz);
- **nukleáris** energiahordozók (fissziós, fúziós);
- **megújuló** energiaforrások (biomassza, nap-, víz-, szél-, geotermikus energia).

Az első két kategóriába tartozó energiahordozók fogyó, nem megújuló, az utolsó kategóriába tartozó energiaforrások megújuló energiaforrások.



1. ábra: Primer energiahordozók és –források csoportosítása
(Saját szerkesztés Hodvagner [1] munkája alapján)

A nem megújuló energiaforrások készletét nehéz megbecsülni, így azt is nehéz prognosztizálni, hogy mennyi ideig elegendőek a föld készletei, az ismert becslésekben nagy a szórás. A BP [4] adatai szerint például a szénkészlet 153 év, a földgázkészlet 53 év az olajkészlet pedig 51 év múlva fog elfogyni.

2.2. Energiapolitikai elvárások, energiagazdálkodási kihívások

Mivel energiafelhasználásunk folyamatosan növekszik, egyre égetőbb kérdés, hogy milyen energia utánpótlással lehet kielégíteni az egyre növekvő igényt. Felismerve ennek a kérdésnek a súlyát az Európai Unió már a 90-es években kialakította az energiaszektorát érintő stratégia alapjait, megalkotta speciális energiapolitikáját.

Mivel az elmúlt időszakban az energetika egész összefüggésrendszere teljes változáson ment keresztül, összetettsége és kiterjedtsége bonyolódott, az energiapolitikai célkitűzéseket más szakpolitikai területekkel – például a környezetvédelemmel, a mezőgazdasággal, a vízgazdálkodással, vagy épp a

közlekedéssel, összekapcsolva - a régiók között átnyúlva kell kezelni. Az így kialakított komplex energiapolitikának elsődleges célja az energiaellátás folyamatos, gazdaságilag és környezetileg egyaránt fenntartható módon való biztosítása. Ehhez időről időre felül kell vizsgálni az energiapolitikát, új célokat kitűzni, valamint a megvalósulás elősegítésére cselekvési terveket létrehozni és végrehajtani. A keretcélokat a tagállamoknak is integrálnia kell, egyenként is megalkotva saját politikájukat részben alárendelve azt a közösségi célok elérésének.

2.2.1. Az energiapolitika kialakításának alappillérei

Az energiapolitika alapvetően három fő kérdésre kell, hogy választ adjon: az ellátásbiztonság, a versenyképesség és a fenntarthatóság kérdéseire [5]. Ez a három kérdés egymással egyértelműen összefügg (2. ábra), együtt mozog, de abban, hogy mely állam illetve közösség hogyan priorizál közöttük, és milyen megvalósítási eszközöket használ, abban lehetnek eltérések.



2. ábra: Az energiapolitika kialakításának alappillérei [6]

2.2.1.1. Ellátásbiztonság

Az ellátásbiztonság az energiapolitika legkritikusabb kérdése. Célja az energiaellátás folyamatos biztosítása, olyan energiaforrás struktúrával, amelyben a hazai források használata a lehető legnagyobb szerepet kapja, és az import összetétele is megfelelően diverzifikált.

Egy adott energiatípus ellátásbiztonsága függ a forrás ellátásbiztonságától, a szállítás biztonságától, valamint az adott energiatípus készletezhetőségétől, és átalakítási tulajdonságaitól is [7].

Az ellátásbiztonság folyamatosága belső forrás esetén általában nagy, de külső forrás esetén is számos tényezőtől függ. Ezért külső források bevonása esetén célszerű több irányból érkező, és több energiatípusból álló behozatalai struktúrát kialakítani,

valamint törekedni a külső felekkel minél szorosabb, kölcsönös érdekeken alapuló kapcsolatok kiépítésére.

Az ellátásbiztonság tovább növelhető biztonsági készletek felhalmozásával. Ezek a készletek alkalmasak a rövid idejű behozatali kiesések, illetve a fogyasztás ciklikusságából eredő csúcsok áthidalására.

2.2.1.2. Versenyképesség

Az energiaárak erős kihatással vannak a kereskedelem egyensúlyára. Versenyképes, a fogyasztók által megfizethető energiára van szükség. Ha az energiaárak emelkedő tendenciát mutatnak, az aggasztó az importőr országoknak, hiszen kereskedelmi partnereikkel szemben gazdasági hátrányba kerülnek. (Ez a jelenség megfigyelhető például az Európai Unió és az USA között is, köszönhetően a gyorsan fejlődő palagáz kiaknázási technológiának.)

Fontos tehát, hogy az ellátásbiztonság mellett, a felhasznált energiaforrások gazdaságossága is hangsúlyt kapjon. Azok a régiók, amelyek fosszilis energiahordozókban szegények, új alternatívákat kell, hogy keressenek, amelyek növelik a gazdasági versenyképesség fenntartásának esélyét [8]. Ehhez fontos az új technológiák kutatása, fejlesztése, az innovációt elősegítő környezet kialakítása, az új technológiák beérése által képesek legyenek alacsony költség szint mellett is jó minőségű energiát előállítani.

Ezek mellett természetesen szükséges pl. az energiapiacok liberalizációjával olyan versenyfeltételek megteremtése is, amelyek mellett az energia termelése, -átalakítása, és a kereskedelme diszkrimináció-mentes formában tud megvalósulni.

2.2.1.3. Fenntarthatóság

A Világ Tudományos Akadémiáinak Nyilatkozata [9] megfogalmazása szerint, "a fenntarthatóság az emberiség jelen szükségleteinek kielégítése, a környezet és a természeti erőforrások jövő generációk számára történő megőrzésével egyidejűleg". Ezen elvek alapján a fenntarthatóság érdekében szükséges:

- (a megújuló energiaforrások növelésével) kiegyensúlyozott energiasztruktúra elérése és fenntartása;
- az energiahatékonyság növelése (energiatermelés, -átalakítás, -szállítás hatékonyságának javítása) és az energiafelhasználás csökkentése;
- környezet- és éghajlatvédelmet fokozottan szem előtt tartó technológiák bevezetése és elterjesztése.

2.2.2. Az EU energiapolitikai célkitűzései

Az Európai Unió 2020-ra, 2030-ra és 2050-re is rendelkezik energiapolitikai célkitűzésekkel. Jelenleg jó úton halad afelé, hogy elérje 2020-ra kitűzött úgynevezett 20/20/20-as célokat, melyek a következők [7]:

- legalább 20%-kal csökkenti az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását az 1990. évi szinthez képest;
- a teljes energiaszükséglet 20%-át megújuló energiaforrásokból fedezni;
- 20%-kal javítani az energiahatékonyságot.

Ezek a célok elősegítik az energiaellátás biztonságának előmozdítását, a versenyképes és megfizethető áru energia biztosítását és a fenntartható energiagazdálkodást. A célok megvalósulásához az EU politikájában lépéseket tesz a közös fellépés, az import diverzifikálása, a saját energiaforrások fenntartható fejlesztése, a szükséges infrastruktúra kiépítése, a végfelhasználói energiatakarékosság ösztönzése, valamint a kutatás és az innováció támogatására is.



3. ábra: Európa kőolaj és –földgáz importjának forrásai [10]

Az Európai Unió nagymértékű importfüggősége miatt, a világ energiapiacának meghatározó szereplője, de érdekérvényesítő képességét növelnie kell a nemzetközi szinten. Ennek módja a kereskedelmi partnerei számának növelése mellett, a partnereivel kialakított, kölcsönös előnyökön alapuló viszony kiépítése, és a behozatali utak további biztosítása. Ezért energiapolitikájának eredményeképpen az EU, új stratégiai partnerekkel dolgozik együtt (3. ábra), és a későbbiekben is növelni kívánja partnereinek számát [10].

A megújuló energiák nélkül az EU nem tud biztonságosan fenntartható energiarendszert kialakítani, ezért ezeknek az energiaforrásoknak kiemelt szerepet szánnak. Azzal, hogy a megújuló energiák felhasználását fokozza az Unió, csökkenti importfüggőségét, ezzel csökkenti a fosszilis energiahordozók ingadozó árainak való kitettségét. Ez a fajta igény elősegíti a technológiai fejlődést, innovatív technológiák

megjelenését és új feltörekvő ágazatok kialakulását is. Ugyanakkor a megújuló energiák támogatási rendszerekkel gerjesztett gyorsított elterjedése kérdéseket is felvet. Egyrészt a rendelkezésre álló villamos- és földgázhálózatok nincsenek felkészítve a megújuló energiaforrásokra alapozott energiatermelés decentralizált betáplálási igényeire, másrészt a beruházási támogatások akadályozhatják az új technológiák piaci integrációját.

Ezekre a kényszerekre az Unió, 2030-ig teljesítendő célrendszerével felel, melyek szerint az érett megújuló energiákkal kapcsolatos technológiák támogatását teljes mértékben meg kell szüntetni és csak az új, éretlen technológiákat kell támogatni. A hálózatok fejlesztésére is nagyobb hangsúlyt kell fektetni, és a megfogalmazott célok szerint a villamos-energia hálózat összekapcsolásával el kell érni, hogy a megtermelt elektromos áram legalább 15%-a átszállítható legyen a tagállamok között. A három alappillért fókuszban tartva célja még az EU-nak 2030-ra, hogy további 20%-kal csökkentse az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását, 27%-ra növelje a megújuló energiaforrások részarányát, és a 2020-as célhoz képest minimum 7%-kal növelje az energiahatékonyságot [11]. A jelenleg legtávolabbi mutató 2050-re szóló célként az Unió, az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását 80–95%-kal kívánja csökkenteni az 1990. évi szinthez képest, ami feltehetőleg csak a megújuló energiaforrások részarányának és az energiahatékonyság javításának további növelésével lehetséges majd [12].

2.2.3. Magyarország energiapolitikai célkitűzései

Az Európai Unió energiapolitikája egy keret, amely a közösség együttes céljait határozza meg. Valamennyi tagállamnak kötelessége elősegíteni ezeknek a közösségi céloknak a teljesülését. A tagállamok a célok megvalósulásában különböző mértékben vállalnak szerepet – érdekeik, lehetőségeik és fejlettségi szintjük alapján, de vállalásaiknak összességében le kell tudni fedni a közösségi célokat.

Minden importfüggő állam küzd a jövőjét meghatározó, megfizethető és biztonságosan hozzáférhető energia megszerzéséért. Magyarország is ezekre a kérdésekre keresi a választ energiapolitikájával, ezért hosszú távú célkitűzéseivel biztonságos, versenyképes és fenntartható energiaellátás alapjait kívánja letenni, irányt mutatva az aktuális és a jövőbeni energetikai kihívások megoldásához.

Célkitűzéseinek eléréséhez Nemzeti Energiastratégiát dolgozott ki a magyar állam, melyben a meghatározott főbb feladatok: a fenntartható energiagazdálkodási törvény megalkotása; az energiahatékonyság növelése; a megújuló energiaforrások hasznosításának növelése; a nem megújuló energiavagyon készletgazdálkodási és hasznosítási tervének kidolgozása; a K+F+I tevékenységek fellendítése; a távhőszolgáltatás- és a közlekedés fejlesztése [13]. Ezeknek a feladatoknak megvalósítása, a nemzeti érdekekkel és az Unió elveivel összhangban az energiagazdálkodás három alappillért erősítik.

A versenyképesség növelésére eszköz az új, feltörekvő energetikai ágazatok fejlesztése, ezen belül is a megújuló energiaforrások hasznosítására, valamint az energiahatékonyság növelésére irányuló kutatási és fejlesztési tevékenységek [14]. A megújuló energia hasznosítási cselekvési tervben 2020-as célkitűzésként a megújuló energiaforrásokból előállított energia teljes bruttó energiafogyasztásban képviselt arányára hazánkban 14,65%-os érték az elérendő cél. 2004-ben ez az érték 4,4% volt, viszont 2016-ra már elérte a 14,2%-ot, amely megközelíti a 2020-as célértéket [15].

Mivel egyértelműen látszik, hogy a közeljövőben Magyarország nem mondhat le a fosszilis energiahordozók használatáról, ezért beszerzési láncát át kell alakítani úgy, hogy a legelőnyösebb feltételek mellett tudja biztosítani a fogyasztói igények kielégítését. Ehhez kapcsolódóan kiemelt jelentőségű a földgáz és kőolaj hálózatok tranzitdiverzifikációjának fejlesztése, megfelelő infrastrukturális alternatívák kiépítése. A nem megújuló hazai források kitermelésének fejlesztése és stratégiai készletként való kezelése szintén versenyképességet növelő és kitérítést csökkentő tényező, ezért az energiasztratégiai egyik meghatározó elemeként kell kezelni.

Az energiasztruktúra megreformálásával, a fosszilis energiahordozók egyre nagyobb hányadát megújuló energiákkal kiváltva, célszerű elmozdulni a fenntartható energiagazdálkodás felé [16]. Ezért a magyar energiapolitika olyan stratégiai célokat tűzött ki, ami segít megteremteni az összhangot az erőforrás hatékony, klímasemleges, ugyanakkor biztonságos, de költséghatékony energiagazdálkodása között. Mivel a legolcsóbb és legfenntarthatóbb energia, az el sem használt energia, ezért törekedni kell az energiafogyasztás mértékének csökkentésére, ami az energiahatékonyság növelésén keresztül érhető el. Ehhez az energiapolitika egyik eszköze az épületenergetikai program. Az elhasznált energia jelentős részét, körülbelül 30%-át az épületek fűtésére és hűtésére használják el. Ugyanakkor a magyarországi lakossági és középületek 70%-a nem felel meg a korszerű műszaki, illetve hőtechnikai követelményeknek. 2030-ig elérendő cél, hogy az épületállomány fűtési igényét 30%-al csökkentsék, ennek elérésére például támogatási rendszerrel finanszírozott, fűtés-korszerűsítésére programot használ az állam [17]. Eszköz továbbá az életképes innovatív megoldások alkalmazásának és elterjedésének támogatása; a földgáz és –olaj, valamint a villamos hálózatok fejlesztése; és a fogyasztói szokások felülvizsgálatára alapozott, a jövőbeni környezettudatos társadalom kialakítására irányuló szemléletformálási programok elindítása is.

A versenyképesség és a fenntarthatóság mellett, hangsúlyos az energiaellátás biztonságának szavatolása is. Az energia import magas aránya miatt Magyarország energetikailag sebezhető, ami egy kellően diverzifikált beszerzési forrásokra és útvonalakra épített kereskedelmi rendszer kialakításával csökkenthető, energiasztratégiai cél ennek kialakítása. **Az ellátásbiztonság kívánatos szintjének elérésére a saját energiaforrásokra épülő ellátási lánc kialakítása lehet az egyik válasz, ezért ebből a szempontból is hangsúlyosan épít Magyarország energiapolitikája a hazai megújulóenergia potenciálra** [14]. Ennek egyik alternatívája a mezőgazdaság

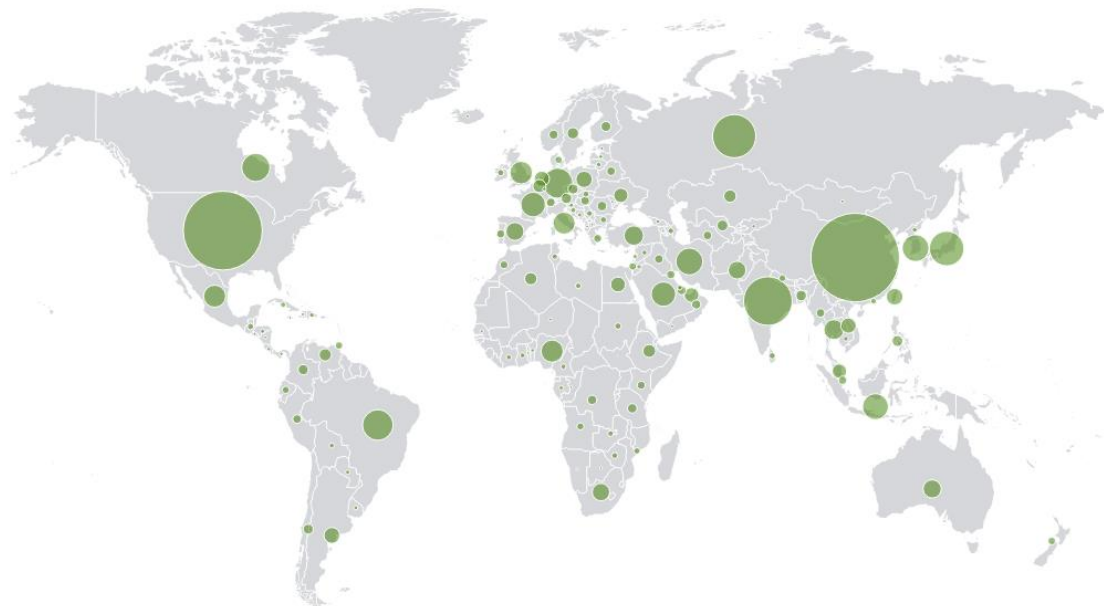
kétpólusúvá tétele, amely a biomassza élelmiszeripari hasznosításán túl, energetikai igények kielégítésére is egyre inkább képessé válik, ezzel is erősítve a decentralizált, hazai előállítású megújuló energia felhasználását.

2.3. Energiagazdálkodás nemzetközi helyzete és trendjei

Valamennyi országnak, nemzetközi szervezetnek célja, hogy energiafogyasztói részére biztosítani tudja a zavartalan energiaellátást. Ezért olyan energiagazdálkodási stratégiát kell kidolgozniuk az államoknak, amely képes a felmerülő energiaigényeket megfelelő időben, minőségben, mennyiségben és költségek mellett kielégíteni. Nagy feladat ez, hiszen az energiahordozók eloszlása nem egyenletes a világban, számos ország nem képes saját forrásokból kielégíteni szükségleteit, behozatalra szorulnak, ami nehezíti az energiagazdálkodási feladatok teljesítését.

Mivel az energiaigények folyamatosan növekednek, nő a felhasznált energiaforrások/energiahordozók mennyisége is. A zökkenőmentes ellátás érdekében egyrészt szükséges új energiaellátási eszközök bevonása, másrészt a régi eszközök hasznosítási hatásfokának növelése.

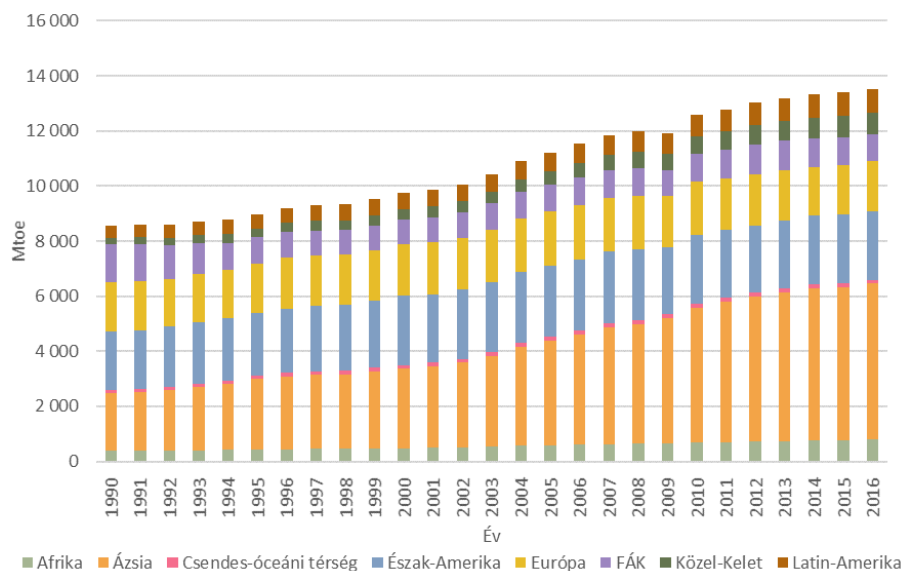
2.3.1. Energiagazdálkodási a világban



4. ábra: Végső energiafogyasztás a 2015-ben a világban [18]

A világ két legnagyobb energiafogyasztója Ázsia és Észak-Amerika (4. ábra). Ennek a két régióknak fogyasztása, csaknem 60%-át tette ki a világ teljes fogyasztásának 2015-ben. Az energiafogyasztást számos tényező befolyásolja. Az adott régió népsűrűsége mellett fontos indikátorok a régióra jellemző időjárási körülmények; a rendelkezésre álló/beszerezhető energiaforrások mennyisége és ára; az energiafogyasztási kultúra; a jellemző energia hatékonysági mutatók; valamint az ipari fejlettség és termelési adatok

is. Így lehetséges, hogy Észak-Amerika, melynek lakossága ~360 millió fő volt 2016-ban, a világ teljes fogyasztásának ~20%-át, Ázsia pedig, amelynek lakossága meghaladta a 4,5 milliárd főt (több mint 12-szerese Észak-Amerikának) a ~40%-át adta a teljes fogyasztásnak [19].

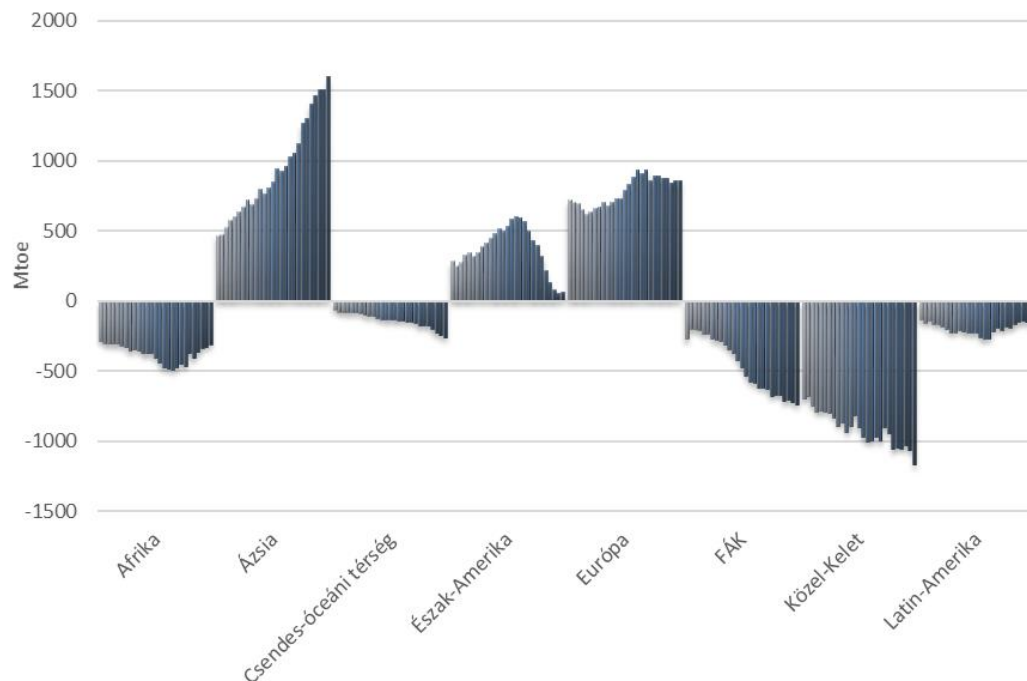


5. ábra: A világ elsődleges energiafogyasztása régióként, 1990-2016 között
(Saját szerkesztés az Enerdata [20] adatai alapján)

Az Enerdata [20] adatai alapján a világ elsődleges energiafelhasználására folyamatos növekedés jellemző, az elmúlt negyed évszázadban 60%-kal növekedett a fogyasztás (5. ábra). A vizsgált időszakban csupán a Független Államok Közösségébe tartozó országok fogyasztása csökkent jelentősen, 28%-kal. Az európai régióra önmagához képest kismértékű csökkenés volt csak jellemző, de a növekvő világszintű fogyasztás mellett Európa részaránya 1990-ről 2016-ra, 20%-ról 13%-ra változott. A többi régió, így Afrika, Ázsia, a Csendes-óceáni térség, Észak- és Latin-Amerika is növekedést produkált. A legnagyobb növekedés az ázsiai térségben volt megfigyelhető, több mint két és félszeresére nőtt a fogyasztásuk. Ezzel, a világ energiatermelésének valamivel több, mint 40%-át Ázsia használja fel jelenleg. Az ázsiai régió belül Kína növekedése a legkiemelkedőbb. A 350%-os növekedés eredményeként 2016-ra Kína fogyasztása a világ fogyasztásának 22%-át fedte le, amely korábban, 1990-ben még csak a 10%-ot érte el. Ugyan ezen időszak alatt Kína népessége jelentősen, több mint 20%-kal növekedett, de az energiafogyasztás növekedése nem magyarázható csupán ezzel a ténnyel. Sokkal inkább magyarázható a Kínára jellemző jelentős ipari fejlődéssel, amely óriási GDP növekedést – az egy főre jutó GDP 318 USD-ről 8123 USD-ra emelkedett a World Bank [21] adatai alapján – eredményezett a vizsgált időszakban.

A világ energiafogyasztásának döntő hányadát (~80%-át), fosszilis energiahordozókkal elégítik ki [4]. Az, hogy egy régió hogyan építi fel az energiamixét függ attól, hogy milyen energiahordozók, és -források állnak rendelkezésére, illetve milyen energiahordozókat/energiaforrásokat tud beszerezni. Tulajdonságaik alapján a

fosszilis energiahordozók a legalkalmasabbak a transzportra, így azok a régiók, amelyek fosszilis energiahordozókban gazdagok, és több fosszilis energiahordozót tudnak kitermelni, mint a fogyasztási igényük, keresked(het)nek az erőforrásaikkal.



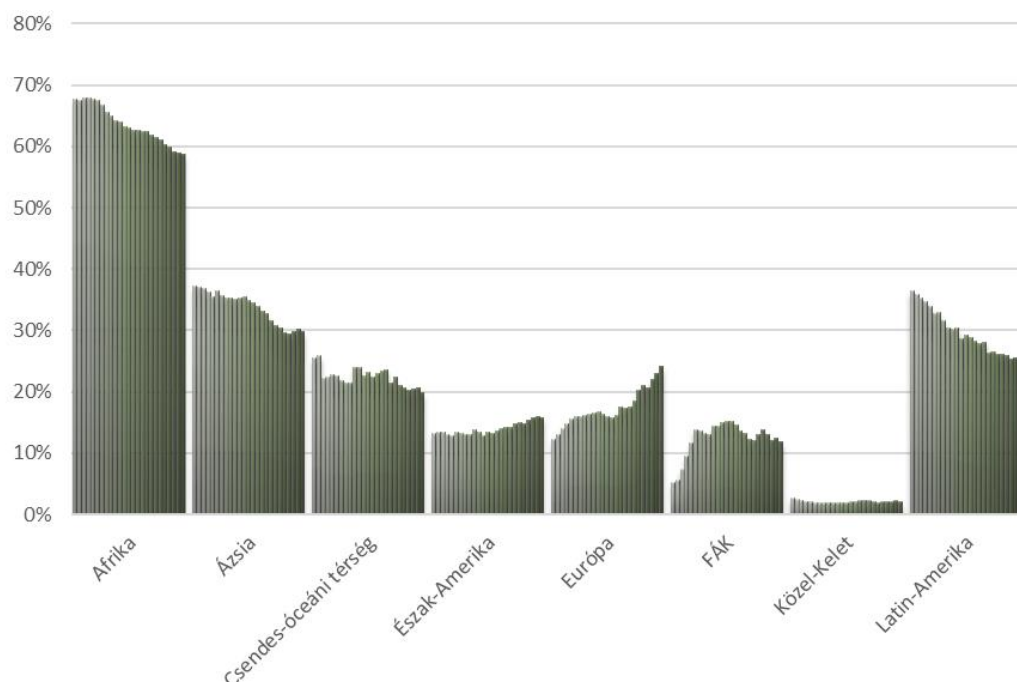
6. ábra: Az energiakereskedelem egyenlege és annak változása a világban 1990 és 2016 között, régióként
(Saját szerkesztés az Enerdata [20] és a BP [4] adatai alapján)

A 6. ábra bemutatja az egyes régiók energiakereskedelmi egyenlegének változása 1990-2015 között. Ázsia, Észak-Amerika és Európa igényei meghaladják a rendelkezésre álló energiaforrásaikat, így ezek a régiók a többi térségből importálnak energiahordozókat, ezzel biztosítva fogyasztásukat. Ázsia ugyan nagy termelő is, de az egyre növekvő igényét csak egyre növekvő importtal tudja kielégíteni. Észak-Amerikára az vizsgált időszak utolsó periódusában nagy arányú csökkenés volt jellemző. Ez a trend Európában is hasonló, habár a csökkenés jóval kisebb mértékű.

A legnagyobb exportőr a Közel-Kelet, de a FÁK államok, Afrika, Latin-Amerika és a Csendes-óceáni térség is pozitív értékesítési mérleggel rendelkezik. A két legjelentősebb importőr (Közel-Kelet, FÁK) értékesítésre bocsátott energiahordozóinak mennyisége folyamatos növekvő tendenciát mutat, sajátjukon túl további ~15%-ot elégitenek ki a világ fogyasztásából.

A legnagyobb megújuló energiaforrás részaránnyal a fejletlen és a fejlődő régiók rendelkeznek. Ilyen Afrika is, melynek a 90-es évek elején csaknem 70%-os, de még 2014-ben is majdnem 60%-os volt a megújuló energia felhasználása az összes energiafogyasztásának tükrében (7. ábra). Ázsia, mint fejlődő régió magas megújuló energia részhányaddal rendelkezik, még napjainkban is körülbelül 30% ezek aránya,

amely többek között a 2000-es évek közepétől indított intenzív megújuló energia programjának is köszönhető.



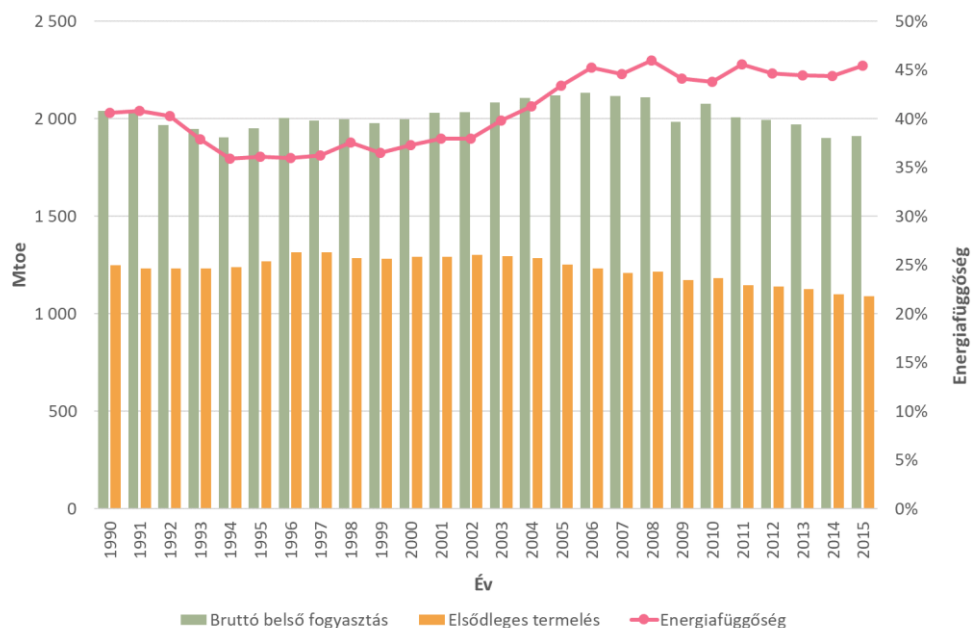
7. ábra: A megújuló energiaforrások részarányának változása a világban 1990 és 2014 között, régióként

(Saját szerkesztés az Enerdata [20], a BP [4] és a The World Bank [22] adatai alapján)

Általánosságban megfigyelhető, hogy a magas részaránnyal rendelkező régióknál a fejlődéssel együtt növekszik az energiafelhasználás is, és ezzel egyidőben csökken a megújuló energiaforrások részaránya. A fejlődés egyfajta változást okoz a felhasznált energiamennyiségben, az energiafelhasználási kultúrában, és az igények jellegében is (nagyobb termeléssel összefüggő ipari igények), ami a fosszilis energiaforrások növekedését, és a megújuló energiaforrások részarányának csökkenését eredményezheti az energiamixen belül. A fejlett régiók esetében azonban ennek ellenkezője, vagyis a megújuló erőforrások részarányos növekedése figyelhető meg. Ezekre a régiókra jellemző, hogy energiafogyasztásuk meghaladja a termelésüket, ezért fosszilis energiahordozókat importálnak, függve az exportőröktől. Ezt a **kiszolgáltatottságot a fejlett régiók a megújuló energiaforrások jobb kiaknázásával próbálják csökkenteni, és növelik ezeknek az energiaforrásoknak a részarányát energiamixükben.** A nevezett régiókra, így Európára és Észak-Amerikára is jellemző, hogy míg a 90-es években alacsony, 12% körüli megújuló energiaforrás részarányok voltak megfigyelhetők, ezzel szemben 2014-ben Európában már csaknem 24%, Észak-Amerikában pedig majdnem 16% volt ezek aránya.

2.3.2. Energiagazdálkodási helyzet és trendek Európában

Európa energiagazdálkodását erős energiafüggőség jellemzi, 1990 és 2015 között 35,9 és 46,0% között változott a megtermelt és az elfogyasztott energiamennyiség közötti deficit (8. ábra). Európa 1990-ben még 12,9%-át adta a világ energiatermelésének. Majd a vizsgált időszakban 12,8%-ot csökkent az Európában megtermelt energia mennyisége, ami a világ termelésének és fogyasztásának folyamatos növekedése mellett azt eredményezte, hogy 2015-re már csupán a 7,5%-os értéket érte el ez az adat. Energiafogyasztása kisebb mértékű csökkenéssel jellemezhető, mint a felhasználásáé. A vizsgált időszakban 6,4%-kal csökkent a fogyasztás. Míg 1990-ben még 10,9%-át, addig 2015-ben már csak 5,5%-át adta a világ fogyasztásának az európai. Az Európai Unióra hasonló trendek jellemzők. Termelése 18,7%-ot fogyasztása pedig 2,5%-ot csökkent ez időszak alatt. A kőolaj és a szén esetében a legnagyobb arányú a csökkenés, de a termelési visszaesés valamennyi nem megújuló energiaforrás tekintetében is megfigyelhető [23].

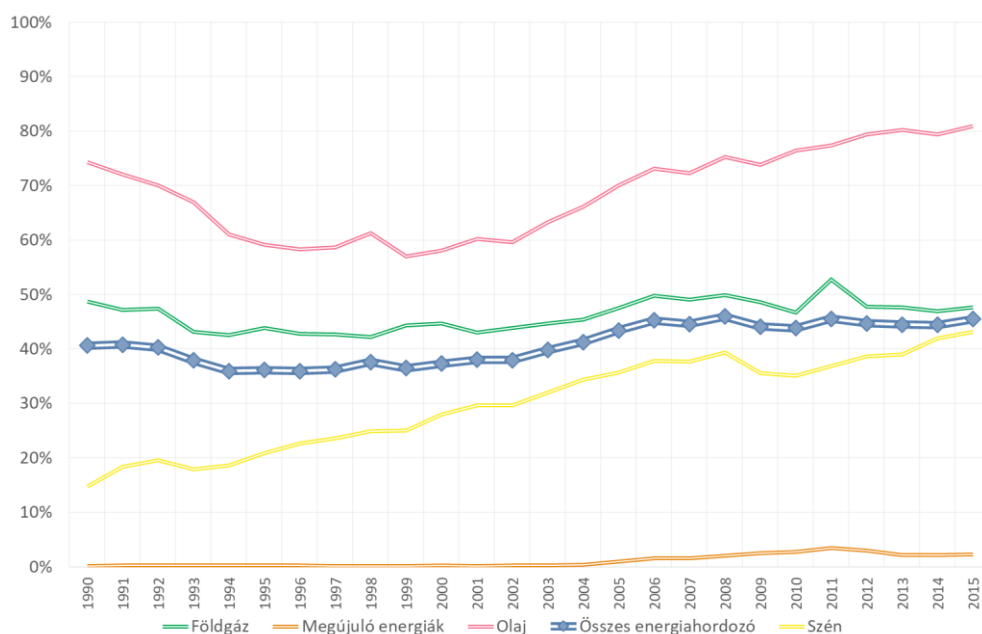


8. ábra: Európa elsődleges energiatermelésének, bruttó belső fogyasztásának és energiafüggőségének alakulása 1990-2015 között
(Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján)

Országokra lebontva az öt legnagyobb európai energiatermelő 2015-ben Norvégia (19,1%); Franciaország (12,6%); Németország (11,0%); az Egyesült Királyság (10,9%); és Lengyelország (6,2%) volt. Ez az öt ország a teljes európai termelés valamivel kevesebb, mint 60%-át adta. Ugyanebben az időszakban az öt legnagyobb európai fogyasztó Németország (16,4%); Franciaország (13,2%); az Egyesült Királyság (10,0%); Olaszország (8,2%); és Törökország (6,9%) volt. Fogyasztásuk a teljes európai fogyasztás majdnem 55%-át lefedte. Az energiafüggőség meghatározó tényező Európa energiagazdálkodásában, de a függőség mértéke nem azonos az európai országokban.

A legkedvezőbb helyzettel Norvégia bír, termelése többszöröse fogyasztásának, Európában az egyetlen nettó exportőr. Norvégiát 5 olyan állam követi - Észtország (7,7%), Albánia (12,8%), Dánia (13,7%), Izland (16,5%), és Románia (17,1%), amelyeknek energiafüggősége az európai átlaghoz képest kedvező, ezeknek az államoknak a függősége nem éri el a 20%-ot. Az energiafüggőség Málta (295,1%), Ciprus (107,9%), Luxemburg (95,9%), Belgium (93,4%), és Írország (89,7%) esetében a legkedvezőtlenebb Európában.

A 9. ábra Európa átlagos energiafüggőségének trendjét ábrázolja. A termelési és a fogyasztási különbséget fosszilis energiahordozók importjával fedezi Európa, a különböző energiahordozókra más-más arányú függőség jellemző. A teljes vizsgálati időszakot elemezve látható, hogy a legnagyobb arányú függés az olaj esetében figyelhető meg, folyamatosan az átlagot meghaladó értékeket produkálva. Egy jelentős csökkenési periódust követően, 1999-ben volt a legkedvezőbb a függőség mértéke az olaj esetében, az elfogyasztott mennyiség 57,0%-a volt importból fedezve.

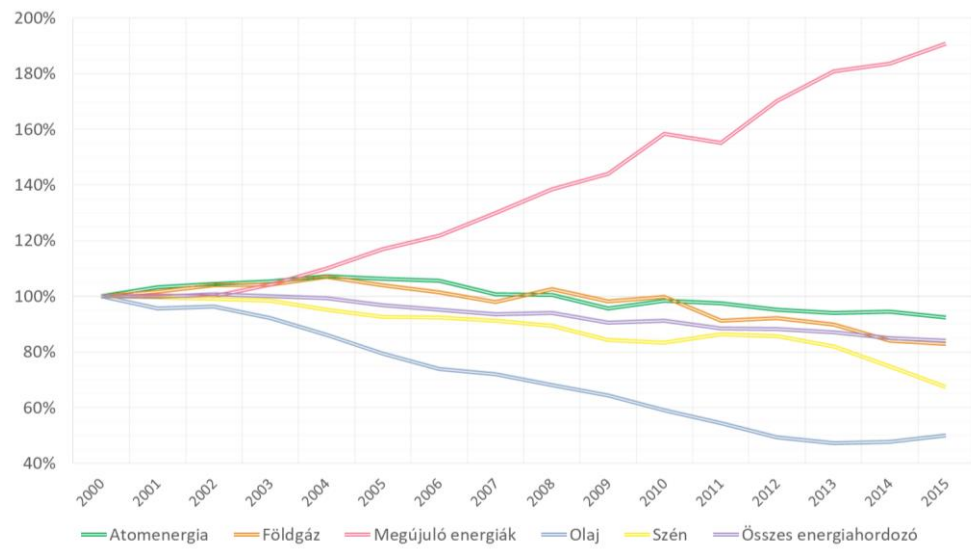


9. ábra: Európa energiafüggőségének változása energiaforrásokként 1990-2015 között
(Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján)

Ezt követően a termelés folyamatos csökkenése, az importfüggőség folyamatosan növekedése jellemezte Európát, és 2015-re fogyasztásának már csupán 19,1%-át volt képes saját termelésből biztosítani.

A földgáz függősége is folyamatosan meghaladta az Európára jellemző átlagos értéket. A mérési adatok 1990 és 2015 között 10,5%-os intervallumban szórtak, de ennél az energiahordozónál nem állapítható meg egyértelműen növekvő vagy csökkenő tendencia. A szén esetében a 90-es években még viszonylag kedvező, 20% körüli függőségi értékek voltak mérhetőek. Ugyan az elfogyasztott mennyiség csökkent ebből az energiafelhasználásból, de a termelés csökkenése még annál is nagyobb arányú volt, így a

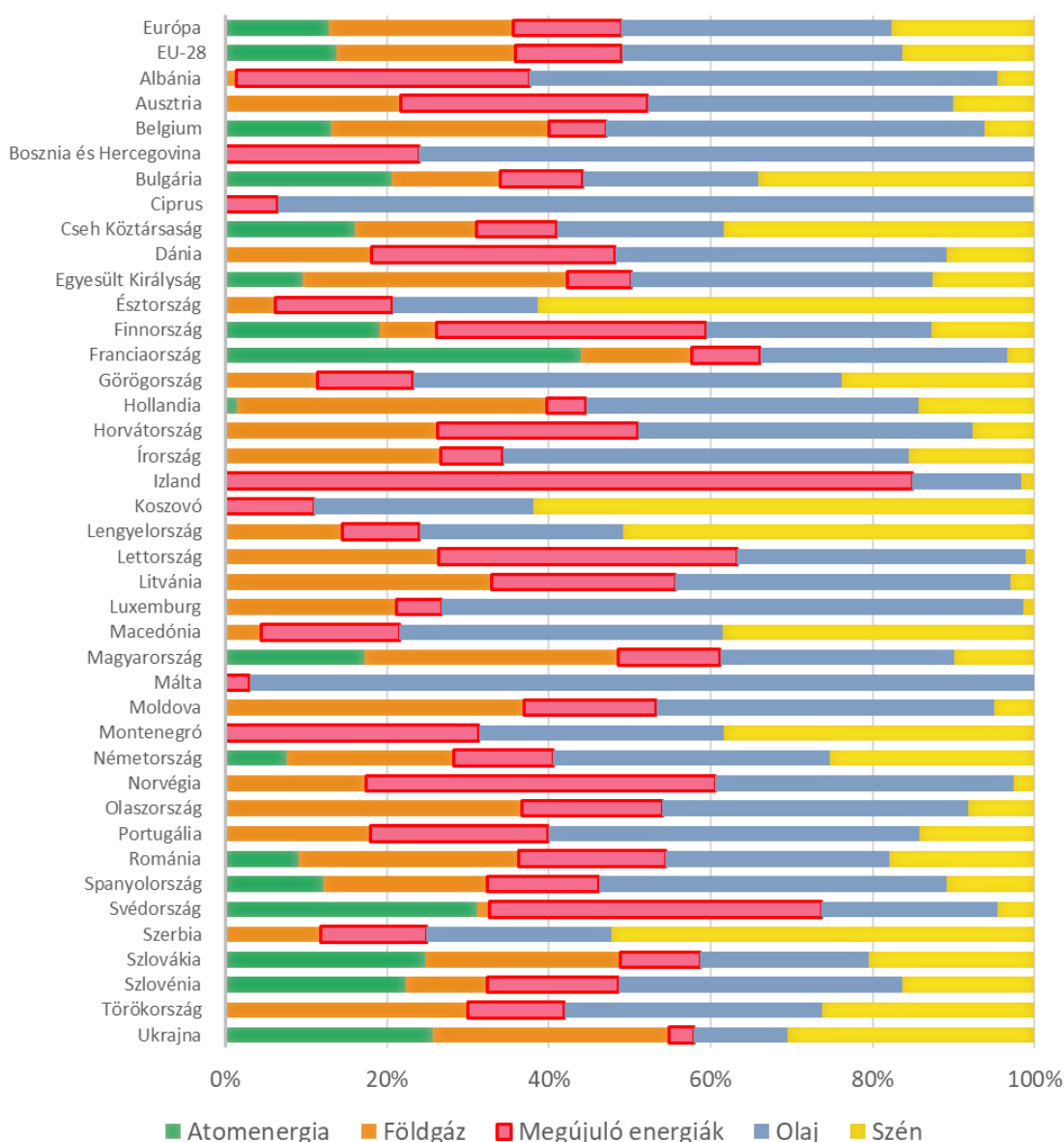
szén eseténben 14,6%-ról 43,1%-ra kellett növelni a nettó importot Európában. A legkedvezőbb a megújuló energiaforrások helyzete volt, bár kismértékű energiafüggőség itt is jellemző Európára. Ez a függőség döntően a biomassza alapú energiahordozókra vezethető vissza, **Európa többek között tűzipelletekből is többet fogyaszt, mint amit megtermel.**



10. ábra: Európa elsődleges energiahordozó termelésének változása 2000-2015 között
(Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján)

Mivel Európa fosszilis energiahordozói szűkösen állnak rendelkezésre, és az egyre csökkenő készletek kitermelése egyre nagyobb gazdasági és energia befektetést igényelnek, így saját termelésének növelésével racionálisan nem tudja csökkenteni függőségét. Ezt támasztja alá az a tény is, hogy valamennyi fosszilis energiahordozó esetében csökkent Európa termelése, amely összességében 15,8%-os csökkenést eredményezett 2000-ről 2015-re.

Alternatívaként a megújuló energiaforrások részarányának növelése jelenthet megoldást a függőség problémájára. Felismerve ezt a lehetőséget, Európa a 10. ábrán látható módon átrendezte termelését, és folyamatosan emelve, 2000-ről 2015-re majdnem kétszeresére növelte a megújuló energiaforrásokra alapozott energiatermelését. **2015-ben már 22,9% volt a megújuló energiaforrások részaránya a termelésben, ami egyre inkább fókuszba helyezte ennek az energiaforrásnak a jelentőségét és lehetőségeit.** (A megújuló energiaforrások termelési részaránya 1990-ben 7,9%, 2000-ben 10,0% volt.) A termelés növelésével a végső felhasználásban is növekedett a megújuló energiaforrások szerepe, ami 2015-ben már elérte a 13,3%-ot. (1990-ben 4,9%, 2000-ben 6,5% volt a megújuló energiaforrások részaránya a végső felhasználásban).



11. ábra: EU-28 és az európai országok bruttó energiafogyasztásának összetétele 2015-ben
(Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján)

Európa és azon belül az Európai Unió energiafogyasztási összetétele nagyban hasonló (11. ábra). Az európai régióon belül a legnagyobb atomenergia alapú energiatermelő és fogyasztó Franciaország. A vizsgált időszakban végig növekvő tendencia jellemezte, és termelése 2015-re már a teljes európai termelés 46,3%-át fedte le. Belső fogyasztásában is az atomenergia a domináns, igényeinek 43,9%-át ebből a forrásból fedezte.

Európa legnagyobb energiatermelője Norvégia. Földgáz- és olajtermelés tekintetében is Norvégiáé a legmagasabb kitermelt mennyiség, és Európában egyedülként, exportőrként képes fellépni. Ebből a két energiahordozóból saját fogyasztási igényénél csaknem hatszor nagyobb a kitermelése, a világ energiafogyasztásához viszonyítva jelentősége azonban csekély. Többletével a világ

teljes energiaszükségletének csupán 1,3%-át volt képes kielégíteni a 2015-ös adatokat vizsgálva.

Földgázfogyasztásban korábban Ukrajna volt a vezető, de a politikai helyzet változtatott ezen az állapoton, Ukrajna fogyasztása drasztikusan visszaesett, és az Egyesült-Királyság valamint Németország lettek Európa legnagyobb felhasználói. Ez a két állam, közel azonos elfogyasztott mennyiséggel a teljes európai fogyasztás majdnem 30%-át képes lefedni.

Olajfelhasználásban Németország az élvonalas, a vizsgált 25 év minden évében Németországa volt a legnagyobb elfogyasztott olajmennyiség, ami 15,2 és 19,1% közötti értékeket tett ki Európa teljes fogyasztásából az évek során. Saját felhasználásán belül is az olajnak van a legnagyobb részaránya. Teljes igényének 34,2%-át fedte le ebből az energiahordozóból 2015-ben.

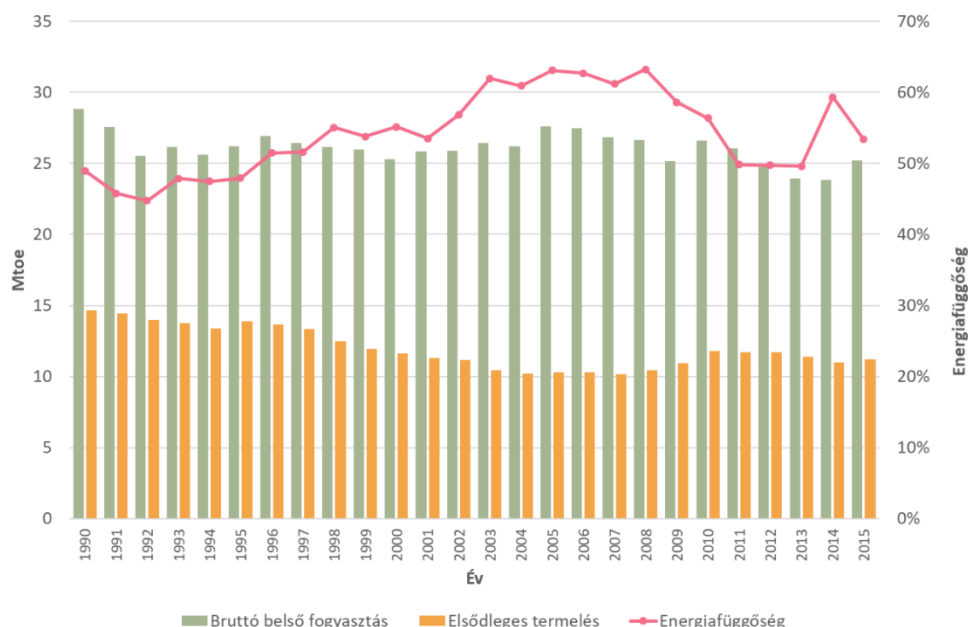
1990-1993-ig Németországa volt a vezető szerep a szénkitermelés tekintetében is, Európa teljes termelésének egynegyedét adta ebben az időszakban. Kitermelése követte az európai trendet - folyamatosan csökkent, 2015-ben az 1990-es mennyiségnek már csak 35,3% termelte ki, habár ezzel is Európa teljes termelésének 23,2%-át képes volt lefedni. Németország vezető helyét 1994-től Lengyelország vette át, amelynek szénkitermelését ugyancsak csökkenő mennyiségi adatok jellemzik, de még a csökkenő Európai fogyasztás mellett is, a teljes európai termelés 28,9%-át adta 2015-ben. Szénfogyasztás tekintetében Németország pozíciója a vizsgált időszakban nem változott, folyamatosan Európa legnagyobb felhasználója volt. 20,5-23,7%-át fogyasztotta a teljes európai termelésnek.

Megújuló energiaforrások tekintetében a kétezres évek közepéig Franciaország volt Európa legnagyobb termelője és fogyasztója, majd 2004-től Németország vette át ezt a szerepet. 1990-ről 2015-re több mint hétszeresére növelte mind termelését, mind fogyasztását. A megtermelt energia mennyisége kevésbé, de a növekedés intenzitása az Egyesült-Királyságban (1150%), Macedóniában (946%), Észtországban (685%), Hollandiában (637%), Luxemburgban (621%), Belgiumban (615%), és Bulgáriában (605%) volt a leginkább figyelemre méltó a vizsgált időszakban. Fogyasztás tekintetében Macedónia (999%), Belgium (755%), Írország (639%), Bulgária (597%), és Lengyelország (569%) produkálta a legmarkánsabb növekedési ütemet. Az országon beüli energiamix alapján a legkedvezőbb az izlandi helyzet, itt a megújuló energiaforrások részaránya a teljes fogyasztás 84,9%-át teszik ki, majd ezt követi Svédország 41,0%-kal és Albánia 36,3%-kal.

2.3.3. Energiagazdálkodási helyzet és trendek Magyarországon

Magyarország az energiatermelés és fogyasztás terén is csekély jelentőséggel bír globálisan. A világ termelésének 0,08-0,17%-át, fogyasztásának 0,17-0,33%-át, Európa termelésének 0,79-1,17%-át, fogyasztásának 1,21-1,41%-át adta 1990 és 2015 között. A fejlett régiókra jellemzően, energiatermelése és fogyasztása is csökkenő tendenciát

mutat, ugyanakkor termelése és fogyasztása között évről-évre jelentős deficit van. Energiafüggősége 44,8% és 63,2% között ingadozott 1990 és 2015 között (12. ábra). Ez az érték kedvezőtlenebb, mint az európai régióra átlagosan jellemző függőségi mutató. Magyarország erősen energiafüggő ország, ami nagy kitettséget jelent.



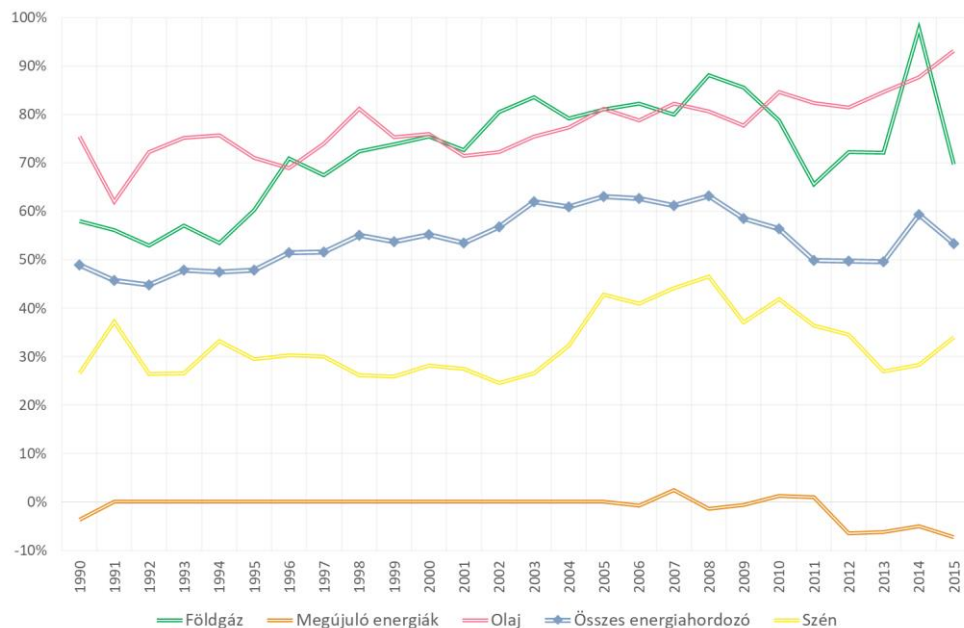
12. ábra: Magyarország elsődleges energiatermelésének, bruttó belső fogyasztásának és energiafüggőségének alakulása 1990-2015 között
(Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján)

Magyarország földgáz és olaj kitermelése is folyamatosan csökkenő trenddel írható le. A jelenlegi technológiai fejlettség mellett gazdaságosan nem termelhető ki a jelenleg előállított mennyiségnél több. Emellett meghatározó tényező a kitermelés mértékénél alacsonyabb fogyasztási visszaesés, valamint az energiafogyasztási struktúra áttrendeződése is. Ezek a jelenségek mind a földgáz, mind a kőolaj esetében folyamatosan növekvő importfüggőséget eredményeznek, és tározóbővítési/feltöltési években földgáz esetén akár az extrém 97,7%-os (2014. évi adat), kőolaj esetében pedig a szintén kritikus 93,2%-os (2015. évi adat) értéket is elérhetik (13. ábra).

A fosszilis energiahordozók közül energiafüggőség tekintetében szén esetében a legkedvezőbb a helyzet. Ennek egyik oka, hogy a világ, és az európai trendeket követve, Magyarországon is jelentős fogyasztás visszaesés tapasztalható. Magyarország fogyasztási mixe a vizsgált időszakban átalakult. A szénre jellemző, hogy az 1990-ben még 22,4%-os fogyasztási részarány 2015-re már 9,9%-ra csökkent.

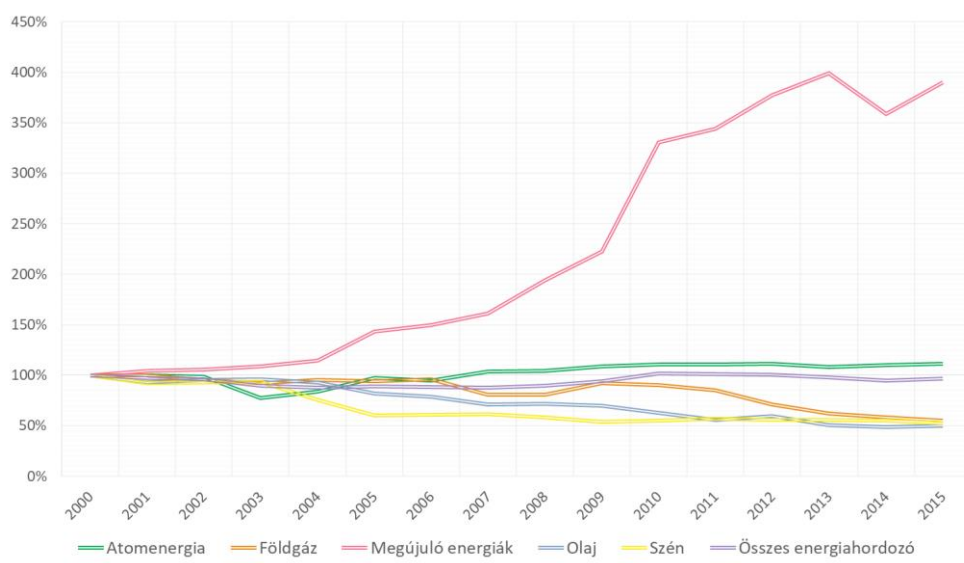
A 2000-től 2015-ig tartó időszakra vonatkozó adatok alapján a magyarországi energiatermelés átalakulása is elkezdődött (14. ábra). A 2000-es évhez viszonyítva összességében 3,5%-ot csökkent az elsődleges energiahordozó termelés Magyarországon, ezen belül fosszilis energiahordozók termelésére a csökkenő tendencia jellemző. Míg a megújuló energiaforrások esetében azonban folyamatos a

bővülés. Az olajtermelés csaknem 50%-ot, a szén 48%-ot és a földgáz 45%-ot csökkent a 2000-es bázisához viszonyítva, míg az atomenergia és a megújuló energia felhasználás növekedett, előbbi 12%-ot, utóbbi csaknem 400%-ot.



13. ábra: Magyarország energiafüggőségének változása energiaforrásokként 1990-2015 között (Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján)

Ez a megújuló energiák esetében a korábbi 7,2%-os helyett 29,2%-os részesedést jelent az elsődleges energiatermelésen belül, vagyis **a megtermelt energia csaknem egyharmada származott megújuló forrásokból Magyarországon 2015-ben.** A megújuló forrásokon belül egyértelműen a biomasszáé a kulcsszerep.

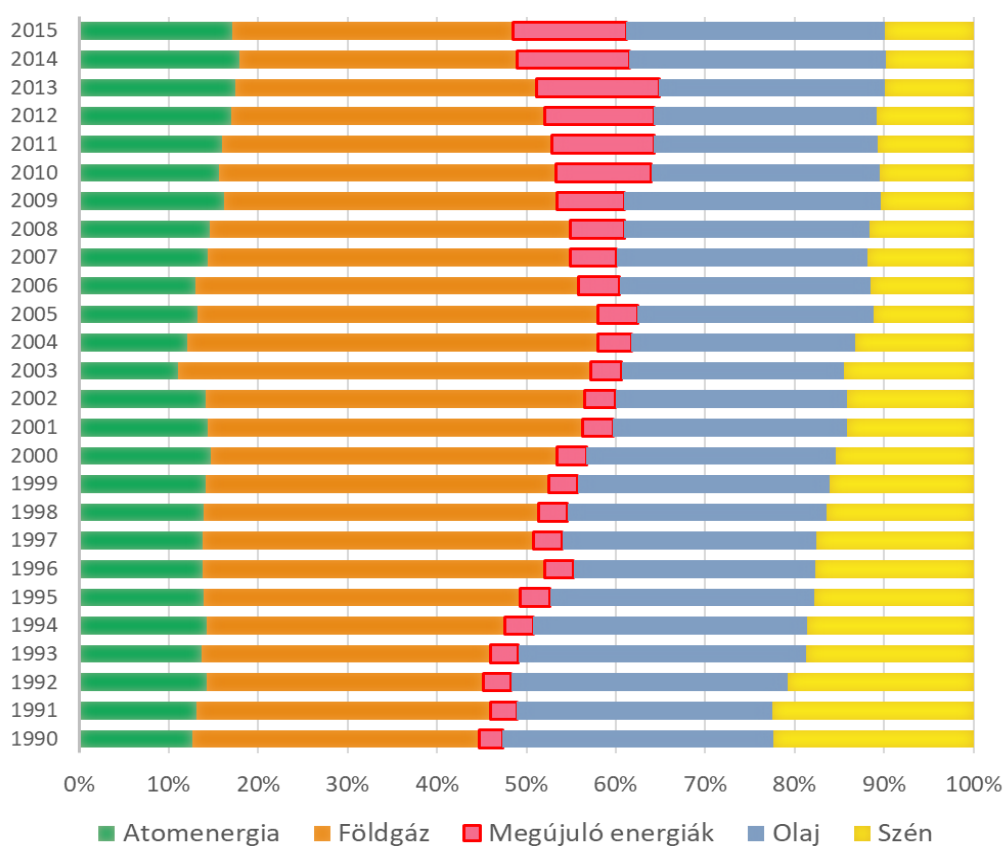


14. ábra: Magyarország elsődleges energiahordozó termelésének változása 2000-2015 között (Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján)

93,6%-ban biomassza forrásból építkezett a magyarországi megújulóenergia szektor, a fennmaradó 6,4%-on a geotermikus energia (3,3%), a szélenergia (1,8%), a napenergia (0,7%) és a vízenergia (0,6%) osztozott.

A bruttó belső fogyasztás esetén már nem ilyen kedvező a megújuló energiák helyzete, hiszen Magyarország saját termeléséből csak a fogyasztásának körülbelül felét képes fedezni, a fennmaradó részt pedig importált, nem megújuló forrásokkal elégíti ki. Ez módosítja a képet, így aztán a termelési adatokhoz viszonyítva, a bruttó belső fogyasztáson belül jóval alacsonyabb a megújuló energiaforrások részaránya.

Ettől függetlenül, a termelés növekedésével összhangban természetesen a bruttó végső felhasználáson belül is folyamatos a növekedés. Míg 1990-ben 2,7%-os, de még 2000-ben is csak 3,3%-os volt a megújuló energiaforrások részesedése a bruttó belső felhasználáson belül, addig 2015-re az az érték elérte a 12,6%-ot.

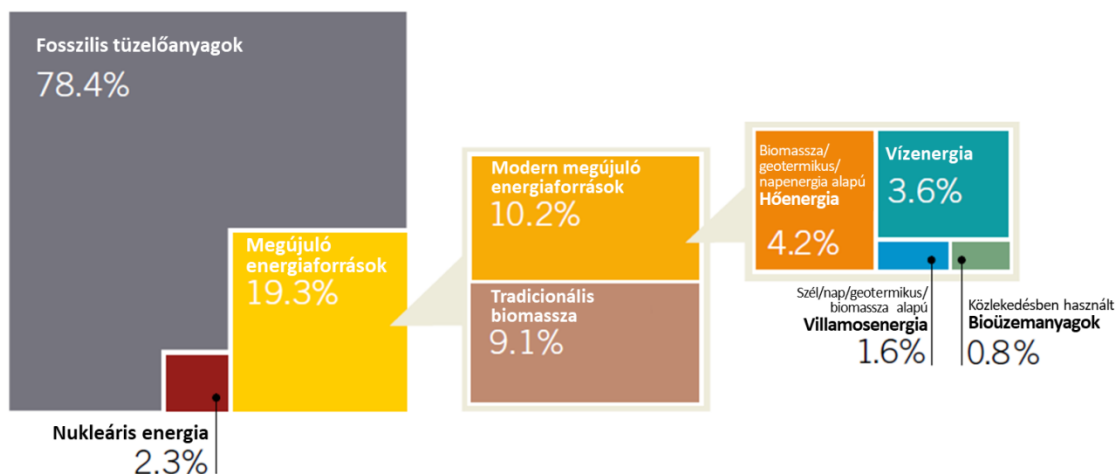


15. ábra: Magyarország bruttó belső energiafogyasztása 1990-2015 között
(Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján)

Összességében folyamatosan fejlődik a magyarországi energiamix elosztása, ezen belül pedig egyre hangsúlyosabbak a megújuló energiaforrások (15. ábra). Magyarország nemzetközi vállalásai és jól felfogott érdeke alapján, továbbra is ennek a tendenciának kell uralkodónak maradnia a jövőben.

2.4. Megújuló energiaforrások szerepe

2011 és 2016 között 1,8%-kal növekedett a világ elsődleges energiaigénye. A fejlődő országokra nagyobb növekedési ütem, a fejlett országokra viszont erősen lassuló, vagy stagnáló igényváltozás jellemző, amely összességében egy lassuló tendenciával leírható energiaigény növekedést eredményez globális szinten. Ezzel párhuzamosan a megújuló-energia szektor is növekedést produkál évről-évre. Habár a növekedés egy részét „elrejt” a globális energiaigény változás, azért a megújuló szektor növekedése a teljes végső felhasználáson belül, kismértékű részarány-növekedés formájában folyamatosan megjelenik. A megújuló energia szektorban a legnagyobb növekedést a villamos energia előállító ágazat produkálta az elmúlt időszakban. Forrásonként megosztva első helyen a napenergiára-, másodikon a szélenergiára-, majd a vízügyre épülő technológiák bővülése volt a legnagyobb. A hőenergia és a közlekedésben használt üzemanyagok esetében is fejlődés látható, ezek esetében egyértelműen a biomassza alapanyagok funkcionálnak elsődleges forrásként.



16. ábra: Megújuló energiaforrások becsült megoszlása a teljes végső energiafogyasztásban, 2015-ben [24]

A megújuló energiaforrások végső felhasználásban betöltött szerepe, így a növekedésük üteme is országonként eltérő. Globálisan vizsgálva a megújuló energiaforrások részaránya a teljes végső fogyasztásban elérte a 19,3%-ot 2015-ben (16. ábra). Alábontva a megújuló energiaforrásokat, a tradicionális biomassza alapú hőenergia előállítás 9,1%-os, a modern megújuló energiaforrások használata 10,2%-os részesedéssel bírt. Ez utóbbi hasznosítási eljárások a hőenergián túl, villamos energia előállítására is lehetőséget nyújtanak. 2015-ben a vízenergia (3,6%) és az egyéb megújuló energiaforrások (1,6%) hasznosításával előállított villamos energia a teljes végső energiafogyasztás 5,2%-át, valamint a megújuló hőenergia 4,2%-ot, és a közlekedési bioüzemanyagok pedig 0,8%-ot tettek ki.

A megújuló energiákkal kapcsolatos tevékenységekhez folyamatosan kutatási és fejlesztési aktivitás kapcsolódik, melynek egyik pillére a hatékonyság és teljesítmény

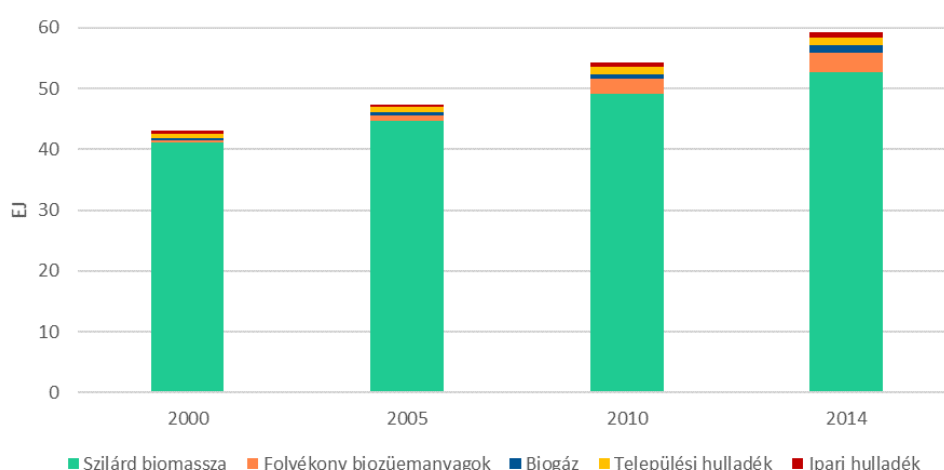
növelésére irányuló újítások megjelenése. Ezek tendenciák egyre több úgynevezett „beérett” technológiát eredményeznek, melyek minden szinten – így gazdaságilag is – képesek felvenni a versenyt a nem megújuló forrásokra épülő energiatermeléssel.

Ezzel a trenddel megy szembe egyrészt az elmúlt időszakban tapasztalható, a fosszilis tüzelőanyagok esetén látható drasztikus világpiaci áresése, amely hatványozottan kihívást jelent a megújuló energiaforrásokra építő szektoroknak, különösen igaz ez a hőenergia és az üzemanyag előállító ágazatokra. Másrészt tovább **csökkentik a megújuló energiaforrások versenyességét a fosszilis tüzelőanyagokhoz kötődő támogatások, amelyek számos esetben meghaladják a megújuló energiaforrások támogatásait.** (Ilyen például a hazai rezsicsökkentési kormányprogram is, amely a megújuló energiaforrások elterjedését egyértelműen hátrányosan befolyásolja.)

2.4.1. Biomassza alapú források szerepe

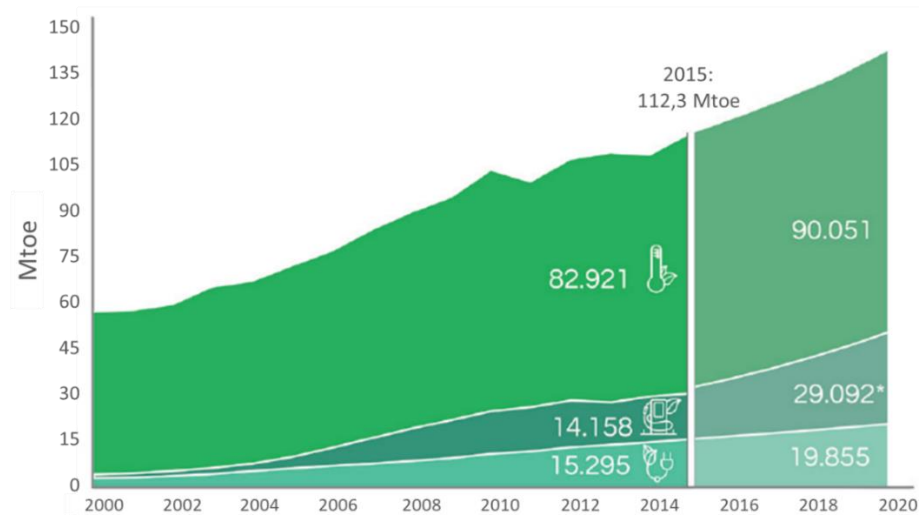
A megújuló energiaforrások hasznosításában vezető szerepe van a különböző forrásból származó biomasszáknak. Ezt támasztja alá az a tény is, hogy a világ végső energiafogyasztásán belüli 19,3%-os megújuló energiaforrás részarány több mint 75%-a, még mindig biomassza eredetű volt 2016-ban [24]. A szilárd biomassza hasznosítással előállítható hőenergia, villamos energia, és folyékony- illetve gáznemű üzemanyag is. A tradicionális, alacsonyabb hatásfokú hasznosítás (hőenergia előállítás) döntő a felhasználásban, de a modern, jobb hatásfokú hasznosítási módok egyre inkább teret hódítanak maguknak, habár részarányuk még alacsony.

A biomasszák felhasználásból előállított energia mennyisége folyamatos növekvő tendenciát mutat (17. ábra), 2014-re az előállított energia mennyisége meghaladta az 59 EJ.



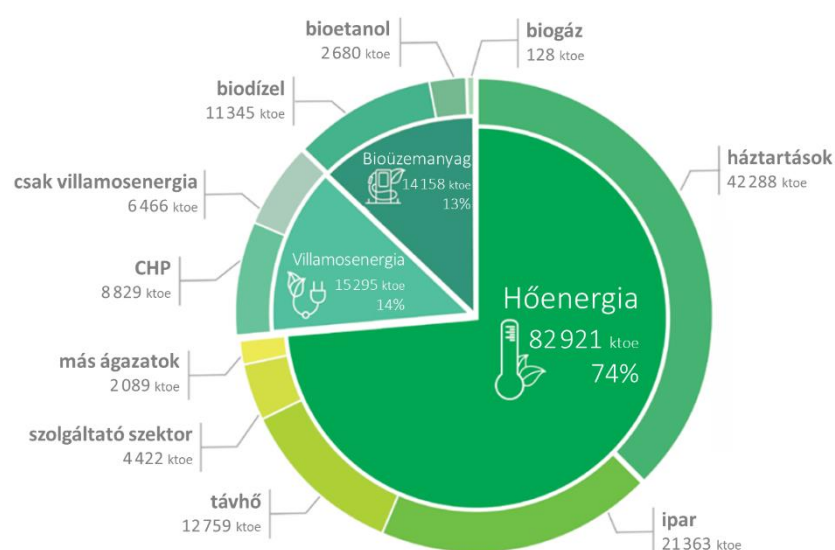
17. ábra: Biomasszából előállított energia a világon, forrásonként
(Saját szerkesztés a WBA [25] és az AEBIOM [26] adatai alapján)

A megtermelt bioenergia 44,5%-át Ázsia és a Csendes-Óceáni térség termelte, majd Afrika következett 26,1%-kal, Amerika 18,1%-kal, és Európa 11,4%-kal. A felhasználási szokások régióként eltérőek. Az ázsiai és az afrikai régióban a hőenergia előállítása az elsődleges, Amerikában a bioüzemanyagok, Európában pedig a kapcsolt hő és villamos energia előállítás irányába látható elmozdulás.



18. ábra: Az EU-28 bruttó végső bioenergiafogyasztása [26]

Az EU-28-on belül a bioenergia részarány a végső felhasználásban 2000-ről 2015-re megduplázódott, a korábbi 55,4 Mtoe-ról 112,3 Mtoe-ra nőtt (18. ábra). A három különböző piaci szegmens (hőenergia-, villamos-energia- bioüzemanyag előállítás) növekedési üteme eltérő. 2015-ben a biomasszából előállított energia 74%-ban (82,9 Mtoe) a hőenergia termelést, 14%-ban (15,3 Mtoe) a villamos energia termelést, és 13%-ban (14,2 Mtoe) a bioüzemanyag előállítását szolgálta, melyet a 19. ábra mutat be.



19. ábra: Az EU-28 bruttó végső bioenergiafogyasztásának megoszlása szektoronként 2015-ben [26]

Ezek az arányok szinte valamennyi EU tagállamban azonosak, kivételt képez ez alól Luxemburg és Málta, ahol a bioüzemanyagok előállítása több mint 50%-ot tesz ki a bioenergia mixen belül, és az Egyesült Királyság, ahol a hőenergia és a villamos energia előállítása közel azonos, 40-40%-os részesedéssel bír.

Az EU tagállamok közül 2015-ben Németország volt az elsőszámú bioenergia előállító és fogyasztó, végső felhasználásában 17%-os részaránnyal bírt ez a forrás. Ezt követte Franciaország 12%-kal, Olaszország és Svédország 9-9-kal, majd Finnország 7%-kal. Ez az öt tagállam lefedte a teljes Uniós fogyasztásának 54%-át.

2.4.1.1. Hőenergia előállítás biomasszából

A fűtési és hűtési szektor jelentőségét jól ábrázolja, hogy az EU teljes energiaigényének körülbelül 50%-át kellett biztosítani 2015-ben is. Ezen a területen ugyanúgy a nem-megújuló energiaforrások a dominánsnak - 81,4%-ban még mindig a nem-megújuló energiaforrásokból dolgozik a szektor, de 18,6%-ban a megújuló energiaforrások hasznosításával elégítik ki az energiaigényeket (16,4% biomassza alapú források; 2,2% egyéb megújuló energiaforrások).

Az AEBIOM [26] adatai alapján a biomassza alapú hőenergia szektorban legnagyobb felhasználóként a háztartások jelennek meg, 51%-os a részesedésük a teljes felhasználásból. A második szereplő az ipar 26%-os részesedéssel, majd ezt követi a biomassza alapú távhőszolgáltatás 15%-kal, a szolgáltató szektor 5%-kal és egyéb ágazatok 3%-kal (19. ábra). Azokban az Uniós országokban, ahol a bioenergia meghaladja a 30%-os részesedést a hőenergia előállításában - ilyenek Dánia, Litvánia, Svédország, jellemzően magasabb a távhő szolgáltatás részesedése is. A szolgáltató szektor (pl. közintézmények - iskolák, kórházak) részesedése az EU-ban jelenleg még alacsony, de ebben a szektorban nagy fejlődési potenciál látható. Németországban, Cipruson és Máltán az arány már jelenleg is jóval magasabb az EU átlagnál, és meghaladja a 20%-ot.

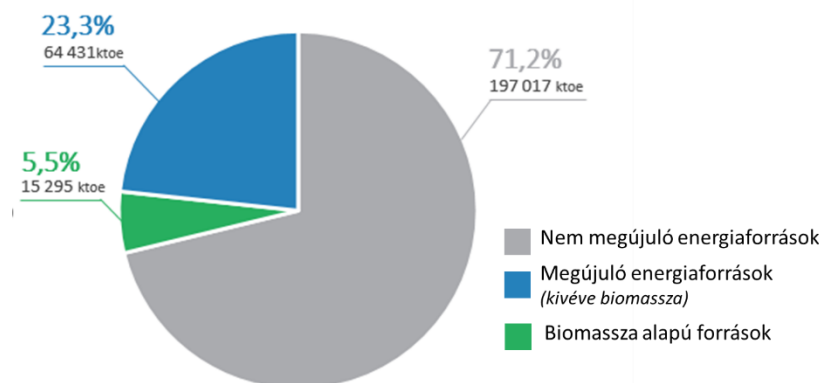
A biomassza alapú hőenergia előállítása esetén a szilárd biomassza anyagoké a vezető szerep, ezen belül is a faalapú források a legjellemzőbbek. 2015-ben szilárd biomasszából állították elő a hőenergia 91,3%-át. A fennmaradó 8,7%-ot település hulladékból (4,2%), illetve átalakított, finomított biomasszából - mint biogáz (3,8%), folyékony bioüzemanyagok (0,5%), és faszén (0,2%), állították elő az EU-ban.

A biomassza alapú hőenergia felhasználás tekintetében, ugyanaz az 5 tagállam birtokolta a vezető szerepet 2015-ben, mint a teljes bioenergia előállítás és felhasználás esetében, bár részesedési arányaikban csekély eltérés volt tapasztalható. Németország, mint elsőszámú biomassza alapú hőenergia fogyasztó, végső felhasználásában 15%-os részaránnyal állt, majd ezt követte Franciaország 12%-kal, Svédország 10%-kal, Olaszország 9%-kal, és Finnország 8%-kal. Ez az öt tagállam lefedte a teljes Uniós fogyasztás 54%-át.

2.4.1.2. Villamos energia előállítás biomasszából

A biomassza alapanyagokra épülő villamos energia erőművek kapacitása világviszonylatban elérte a 6%-ot 2016-ra, az összes megtermelt villamos energia mennyisége pedig az 504 TWh-t [24]. A REN21 adatai alapján [24] az 5 legnagyobb biomassza alapú villamos energia termelő állam az Egyesült Államok (68 TWh), Kína (54 TWh), Németország (52 TWh), Brazília (51 TWh), és Japán (38TWh) volt 2016-ban.

Az AEBIOM [26] EU tagállamaira vonatkozó adatait elemezve látható, hogy a villamos energia szektorban jelentős változások zajlottak le az Unióban 2004-től 2015-ig.



20. ábra: Megújuló energiaforrások megoszlása az EU villamos energia előállításában 2015-ben [26]

A korábbi 14,3%-os részarányról 28,8%-ra változott a megújuló energiaforrások részaránya a végső felhasználásban (20. ábra), a tagállamok hatalmas növekedést produkáltak ebben a szektorban. Az elsődlegesen továbbra is a víz-, szél-, és napenergia közvetlen hasznosításával előállított energia jelenti a megújuló forrásokat, de a biomassza alapú energiatermelés is egyre inkább teret hódít, 2015-ben 5,5% volt a részesedése ennek az energiaforrásnak.

Az előállított biomassza alapú villamos energia 57,7%-ban CHP erőművekből (kapcsolt hő- és villamos energia termelés), a fennmaradó 42,3% pedig csak villamos-energiát előállító erőművekből származott az EU-ban 2015-ben. Csupán 6 tagállamban – Magyarországon; Belgiumban; Olaszországban; Spanyolországban; Írországon és az Egyesült Királyságban, volt alacsonyabb a CHP üzemű erőművek aránya, mint a csak villamos-energiát előállítóké. A gazdasági és környezeti fenntarthatóság szempontjából a CHP erőművek irányába történő elmozduláson is el kell gondolkodniuk ezeknek az államoknak a jövőben.

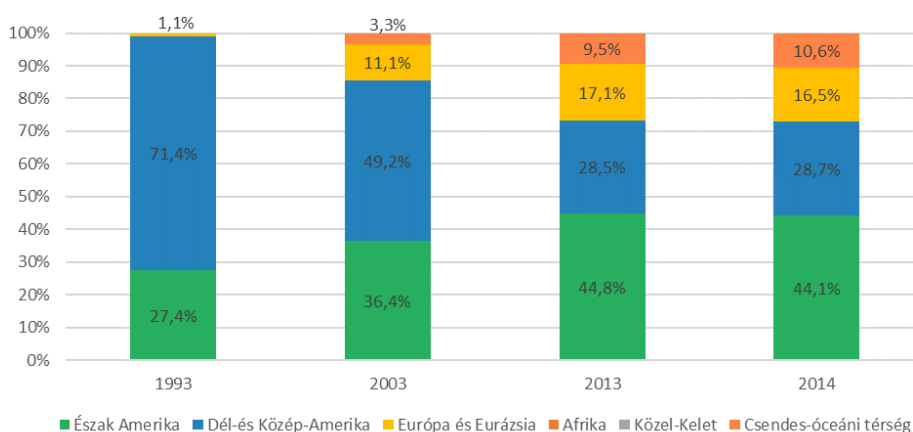
A biomassza alapú villamos energia előállítása esetén is a szilárd biomassza alapanyagoknak (döntően faalapú források) legnagyobb a felhasználási aránya, 51%-os részesedéssel. Ugyanakkor a villamos energia esetében a másodlagos forrásból származó (települési hulladék) és az átalakított biomassza üzemanyagok aránya is

jelentős, összesen 49% – 34% biogáz, 12% települési hulladék; 3% folyékony bioüzemanyagok.

Németország, mint elsőszámú biomassza alapú villamos energia fogyasztó, végső felhasználásában 17%-os részarányt tudott biztosítani ebből a forrásból, majd ezt követte Franciaország 12%-kal, Svédország és Olaszország 9-9%-kal, és Finnország 7%-kal. Tehát az adatok alapján biomassza alapú villamos energia előállítás és felhasználás tekintetében, ugyanaz az 5 tagállam birtokolta a vezető szerepet 2015-ben, mint a teljes bioenergia, valamint lebontva a hőenergia előállítás és felhasználás esetében is. Ez az öt tagállam lefedte a teljes Uniós fogyasztás 54%-át.

2.4.1.3. Közlekedésben használt bioüzemanyagok előállítása

A bioüzemanyagok a közlekedésre felhasznált források körülbelül 4%-át váltották ki világszinten 2016-ban [24]. A járművek meghajtását szolgáló bioüzemanyagok előállításában Amerikáé a vezető szerep, 2014-ben a világ teljes termelésének 72,8%-át adta ez a régió [27].



21. ábra: Járművek meghajtására szolgáló bioüzemanyagok gyártása régióként [27]

Az EU-n belül a járművek meghajtására használt bioüzemanyagok, a biomassza alapanyagokból előállítható hő- és villamos energia mellett, mint harmadik szereplő jelennek meg. Ugyan megjelenésük és elterjedésük óta nem telt el sok idő, mégis egyre jelentősebb szereplői a biomassza alapú energiatermelésnek. Az Unión belül súlyuk csaknem azonos a villamos energia előállításával (21. ábra).

A bioüzemanyagok aránya 6,7% (biomassza alapú üzemanyagok 5,4%) volt a közlekedés teljes fogyasztásán belül, a fennmaradó 93,3% fosszilis forrásokból került fedezésre 2015-ben az EU-ban. A közlekedésben felhasznált bioüzemanyagok közül a biodízelé a vezető szerep 80,13%-kal, majd a biobenzin következik 18,93%-kal, aztán a biogáz 0,90% és végül az egyéb folyékony bioüzemanyagok 0,04%-kal [26]. Ez a szektor hatványozottan érzékeny az olajár változásra, a közelmúltban tapasztalható árcsökkenés nem kedvezett ennek az ágazatnak.

3. PELLET TÜZELŐANYAGOK

A biomassza alapú alapanyagok több tulajdonságuk alapján is csoportosíthatók. Energetikai jellemzőik alapján biogén tüzelőanyagoknak nevezzük a biomassza alapanyagok azon hányadát, melyek energiaforrásként, hőenergia, villamos energia, vagy üzemanyag előállítására is felhasználhatók [28]. Ezen belül megkülönböztetünk szilárd, folyékony és gáz halmazállapotú biogén tüzelőanyagokat. Ezek közül, a szilárd biogén tüzelőanyagok alkalmasak alaktartó préselvény, úgynevezett (tűzi)pellet előállítására [29].

A tűzipelletek viszonylag újkeletű találmányok, első megjelenésük az 1970-es évekre, az olajválság idejére tehető, amikor is a magas energiaárak szükségessé tették új alternatív energiaforrások bevonását [30]. Maga a pelletálás már létező takarmányozási technológia volt, ez az eljárás került adoptálásra, továbbfejlesztésre [31]. Az első üzem a 1982-ben Mora községében (Svédország) létesült - főként fakéregből próbálták meg pelletet előállítani, de rövid idő után 1986-ban az üzem bezárt. Ez első sikertelen próbálkozásokat követően 1987-ben Kilben (ugyancsak Svédország) épült meg az első, már szárított alapanyagot feldolgozó üzem, amely évi termelési kapacitása 3000 tonna volt, és még jelenleg is működik [32].

A kezdeti időszakot követően, az olajárak csökkenése ugyan gátat szabott a tűzipelletek terjedésének, a technológia rövid időre valamelyest feledésbe merült, de az 1990-es évek energiapolitikai törekvései újra fókuszba hozták ezt a biotüzelőanyagot, és azóta is fejlődik.



22. ábra: Példák különböző alapanyagú és gyártási folyamatú pelletekre [33]

Felhasználhatóságukat illetően a pellet tüzelőanyagok kitűnnek a biomassza alapú tüzelőanyagok közül, hiszen energiasűrűségük, tüzeléstechnikai szabályozhatóságuk messze meghaladja társaikét [34]. Jellemzően a pellet üzemű tüzelőrendszerek közel azonos komfortot biztosítanak, mint a gázüzemű berendezések, amely tulajdonság határozottan hozzájárul az előállított és felhasznált mennyiség fokozatos növekedéséhez.

Előállítási folyamatuk a pelletálás, amely során a különböző típusú szárított, aprított biomassza anyagok tömörítéses eljárása során egységes, henger alakú, maximum 25 mm átmérőjű, 30-70 mm hosszú, 900-1200 kg/m³ sűrűségű biotüzelőanyag kerül előállításra [35].

3.1. Pellet típusok

A pelletek megújuló energiaforrásokból előállított tüzelőanyagok. Minőségüket többek között energiasűrűségük és tüzeléstechnikai tulajdonságaik határozzák meg, amelyeket nemzeti- és nemzetközi szabványokban definiáltak [36]. Ezen paraméterek alapján a tűzipelleteket felhasználásuk szerint két fő termékkategóriába, illetve azokon belül a gyártáshoz használt alapanyag eredete szerint további két alkategóriába szokás sorolni [37] [38]:

- Ipari felhasználású pelletek:
 - o ipari fapelletek,
 - o ipari agripelletek.
- Lakossági felhasználású (nem-ipari) pelletek:
 - o lakossági (nem-ipari) fapelletek,
 - o lakossági (nem-ipari) agripelletek.

Az **ipari pelletek** fő felhasználója a villamos energia ipar, jellemzően a fosszilis erőművek részbeni vagy teljes átalakítását követően a szénelapú energiatermelés kiváltására használják ezeket [39] [40]. Az ilyen típusú pelletek általában nagy kiszerezésben kerülnek értékesítésre, jellemzően alacsonyabb minőségi követelményeknek kell megfelelniük, a modern szabványok már külön termékkategóriaként kezelik ezeket. A **nem-ipari pelleteket** a lakossági, köz- és kereskedelmi szektor használja főként. Eltűzelésükkel hőenergiát, vagy kapcsolt energiatermeléssel hő- és villamos energiát állítanak elő, amely az ingatlanok energiaellátását szolgálja [41]. Az ilyen típusú pelletekkel szemben magasabb, szűk minőségingadozási szintet megengedő követelményeket támasztanak, és általában kisebb kiszerezésben kerülnek értékesítésre [42].

A felhasználási kategóriákon belül a tisztán dendromassza alapanyag felhasználásával előállított pelleteteket **fapelleteknek**, a nem dendromassza alapú pelleteteket gyűjtőnéven **agripelleteknek**, vagy nem faalapú pelleteknek nevezik (22. ábra). E két kategória között igen jelentős különbség van az alapanyag kémiai összetételének állandósága szempontjából. A fás szárú alapanyagokból – azon belül is a faanyagok kéregtelenített törzsrészből – készült pelletek alapanyagának összetétele fafaj alapján jól prognosztizálható, alacsony ingadozást mutat. Ezzel szemben, **az agripelletek esetében az anyagösszetétel nem sajátossága az alapanyagoknak** [43] [44]. Fajtól, termesztési technológiától, termőterülettől és egyéb paraméterektől nagyban függ [45].

A pelletek minőségét energetikai és egyéb jellemzőkkel lehet leírni, melyek különböző mérési metódusokkal határozhatók meg. A pelletek fontosabb energetikai jellemzői a következők:

- a nedvességtartalom [w%];
- a fűtőérték [MJ/kg];
- az illóanyag- és hamutartalom [w%];
- az elemi összetétel [w%];

- a hamuösszetétel és hamuolvadáspont.

Egyéb a használhatóság, tárolhatóság, szállíthatóság szempontjából fontos jellemzők még a méret-, a fizikai- és a mechanikai tulajdonságok; a por- és törmeléktartalom; a szilárdsági jellemzők; illetve a halmaz- és a tömör sűrűség.

Ezeket a minőség tényezőket, az alapanyag, és a gyártási technológia határozza meg. (A paraméterek közötti összefüggéseket és az egyes paraméterek késztermékre gyakorolt hatását az 5. Pellet termékciklus jellemzőinek meghatározása fejezet írja le részletesen.)

Általánosságban elmondható hogy a forgalomban lévő, különböző alapanyagú pelletek tulajdonságai a következő értékek között váltakoznak [46] [47] [48] [49]:

- nedvességtartalom 8-10 %;
- fűtőérték: 16- 20 MJ/kg;
- hamutartalom: 0,5-10 %;
- sűrűség: 0,9 – 1,2 t/m³;
- halmazsűrűség: 0,55 – 0,7 t/m³;
- átmerő: 6-12 mm.

A pelletek fizikai minőségére érzékszervi vizsgálatok elvégzésével is lehet következtetni, a jó minőségű pelletnek a következők megállapítható ismérvei vannak:

- nincsen megrepedve hosszanti irányban (ezzel utalva a megfelelő tömörítési paraméterekre és a visszahúlési sebességre);
- állaguk kemény (ezzel utalva a pellet megfelelő mechanikai ellenálló képességére);
- külsejük sima és fényes (ezzel utalva a megfelelő mechanikai ellenálló képességre és visszahúlési sebességre, továbbá a hidrofób tulajdonságok kialakulására is);
- a vizet nem színezi el (ezzel utalva késztermék adalékanyag mentességére/megfelelő adalékanyag használatra);
- egy maréknyi pelletet összemorzsolását követően nem képződik por (ezzel utalva a késztermék mechanikai ellenálló képességére, továbbá a finomhányad arányára).

A következő két fejezetben az eredet alapján megkülönböztetett pellet típusok, vagyis a fapelletek és az agripelletek kerülnek bemutatásra.

3.1.1. Fapellet

Az ISO 17225-2:2014 szabvány meghatározása szerint fapelletek azok a tűzipelletek, amelyek faalapú biomassza anyagból, additív (pl. keményítő, vagy egyéb kötések kialakulását segítő anyag) anyagok hozzáadásával, vagy anélkül tömörítéssel eljárás során készülnek. Henger alakúak, általában 5-40 mm hosszúak, törött végűek és átmerőjük nem haladja meg a 25mm-t. Nedves bázison számított nedvességtartalmuk általában kisebb, mint 10%.



23. ábra: Példák különböző alapanyagú fapelletekre [50]

A fapelletek gyártásához felhasználható anyagok köre igen széles. Gyakorlatilag készülhetnek keményfákból, félkeményfákból és puhafákból is (23. ábra), minőségüket döntően az határozza meg, hogy a fa mely részéből készülnek. A legjobb minőségű fapelletek a kéregtelenített törzsfából készülhetnek [51], de a fa többi gyökér feletti része is alkalmas fapellet előállítására (pl. vékony és vastag ágfa, kéreg, tuskó, levelek). Fontos viszont kihangsúlyozni, hogy ezen anyagok összetétele nagyobb varianciát mutat, mint a kéregtelenített törzsfá részé. Míg utóbbi a fafaj ismerete alapján jellemzően jól prognosztizálható, addig **az egyéb farészek kémiai összetétele – hasonlóan a lágyszárúakéhoz – az alapanyag fajának ismerete alapján csak kis pontossággal jelezhető előre** [52] [53]. **Ezen anyagok alapanyagösszetételének ismerete nélkül nem biztosítható a magas minőségű késztermékgyártás.**

A fapelletgyártás alapanyagai nem csak a fakitermelésből származó faanyagok lehetnek, hanem a kapcsolódó fafeldolgozó ipari tevékenységek melléktermékei, hulladécai (pl. a csiszolat-, vagy fűrészpor); egyéb területekről származó használt, hulladék faanyagok (pl. csomagolóanyagok). Ezek az anyagok, melyek más ipari tevékenységek során melléktermékként (esetleg hulladékként) képződnek, a pelletgyártás legoptimálisabb alapanyag forrásainak tekinthetők, elsősorban ilyen anyagokból lenne célszerű fapelletet készíteni.

3.1.2. Agripellet

Az ISO 17225-6:2014 szabvány meghatározása szerint a nem faalapú pellet (agripellet) azok a tüzipelletek, amelyek biomassza anyagból, additív anyagok hozzáadásával, vagy anélkül tömörítési eljárás során készülnek. Henger alakúak, általában 3,15-40 mm hosszúak, törött végűek és átmerőjük nem haladja meg a 25 mm-t. Nedves bázison számított nedvességtartalmuk általában kisebb, mint 15%.

Az agripelletek (24. ábra) köre tágabb, mint a fapelleteké, hiszen ezek alapanyagául szinte bármilyen növényi biomassza anyag felhasználható [54] [55] [56]. Az ISO 17225-1:2014 szabvány a következőképpen csoportosítja ezeket az anyagokat:

- **Lágyszárú biomasszák:** azok a nem fás szárú biomasszák, melyek a tenyésztési időszak végén elpusztulnak. Eredetük szerint mezőgazdasági,

kertészeti termesztésből, vagy parkok/kertek karbantartásából származó biomasszák, illetve ezek keverékei. Ez a kategória magába foglalja a különböző magokat, vetőanyagokat és egyéb melléktermékeket is, melyek élelmiszer- és feldolgozóiparból származnak.

- **Gyümölcs alapú biomasszák:** fás és lágyszárú növények gyümölcs- és zöldségtermései, azok felhasználása után visszamaradó melléktermékek (pl. olajsajtolás, gyümöcslékészítés után visszamaradó növénypogácsák), vagy ezek keverékei.
- **Vízi biomasszák:** Vízi kultúrákból eredő biomasszák, lehetnek például algák, vízi jácintok, tavi és tengeri füvek.
- **Biomassza keverékek:** Olyan véletlenül, vagy szándékosan összekevert anyagok, amelyek fás- és nem fás szárú alapanyagokat (lágyszárú-, gyümölcs alapú-, vízi biomassza) egyaránt tartalmazhatnak, tehát az agripelletek alkotóelemei lehetnek faanyagok is.

Az agripelletek alapanyagául szolgáló anyagok kémiai összetételének változékonysága eltérést mutat a faanyagokéval szemben. **Ezeknek az anyagoknak a kémiai összetétele a termesztési technológiától, a termőterület adottságaitól, a tenyésztési időszak környezeti tényezőitől függően, még egy adott növény különböző részeit vizsgálva is nagy változékonyságot mutatnak [43] [44].**



Kukoricaszár pellet [Ø12mm]



Teljes kukorica növény pellet [Ø10mm]



Lucerna pellet [Ø10mm]



Energiafű pellet [Ø12mm]



Korpa-fa pellet [Ø12mm]



Búzaszalma pellet [Ø 8mm]



Repcemag pellet [Ø10mm]



Napraforgó mag pellet [Ø 8mm]



Kőlesszalma pellet [Ø10mm]

24. ábra: Példák különböző alapanyagú agripelletekre [57]

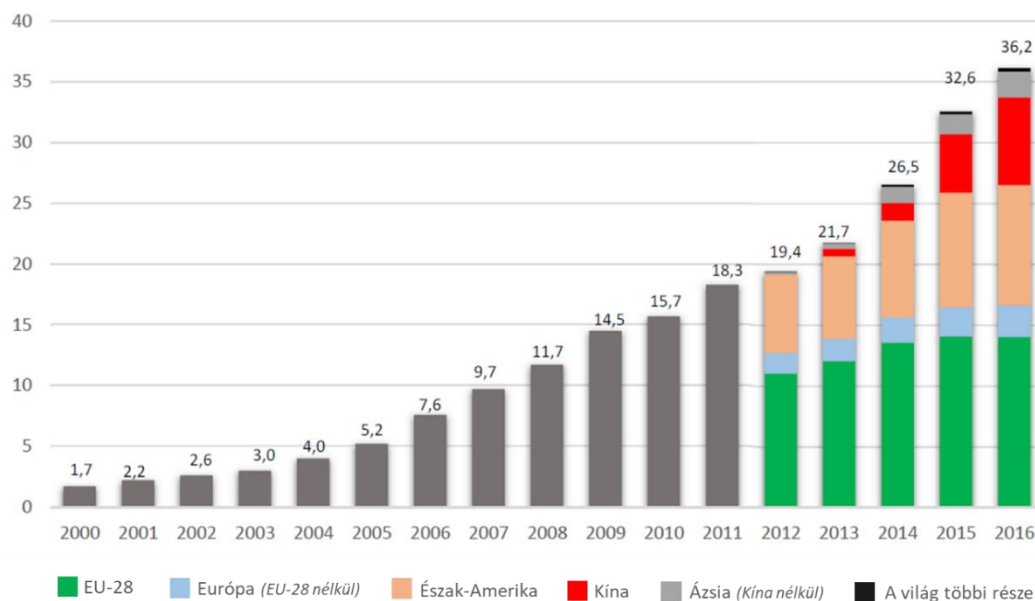
3.2. Pelleték energiagazdálkodási szerepe

A pellet tüzelőanyagok piaca az elmúlt 15 évben jelentősen megváltozott. A legyártott és forgalomba hozott pellet mennyisége intenzív, folyamatos növekedést mutat. **A vezető szerepet továbbra is a faalapú pelletké a gyártás és a kereskedelem szempontjából is, de megjelentek, és egyre nagyobb teret hódítanak a nem faalapú pelletek** [58]. Példa erre a kínai pellet piac, ahol 2016-ban az előállított pelletek 20%-a (1,8 millió tonna) már mezőgazdasági melléktermékekből készült [59].

Ugyan az agripelletek folyamatosan bővülő piaca dinamikusabban növekszik, mint a faelleteké, ezen anyagok részesedése még nem érte el azt a kritikus részarányt, amely biztosítaná, hogy a statisztikai elemzésekben is kellő súlyú gyakorlati figyelmet kapjanak. Ebből adódóan feldolgozható, összehasonlítható statisztikai adatok jellemzően a faalapú pelletek előállításáról és felhasználásáról állnak rendelkezésre, így a következőkben döntően a faalapú pelleték energiagazdálkodási szerepe kerül bemutatásra.

3.2.1. A világon

A világon előállított pelleték mennyisége a 2000-es évek kezdete óta évről-évre növekvő tendenciát mutat. 2000 és 2016 között több mint huszonegyszeresére növekedett az előállított faalapú pelleték volumene, ami 2016-ra már elérte a 36,2 millió tonnát (25. ábra). A pellet piac bővülési üteme az elmúlt időszakban ugyan csökkenő tendenciát mutatott valamelyest, de növekedési ráta átlagosan még így is elérte az évi 15%-ot 2012 és 2016 között.



25. ábra: Előállított faalapú pelleték mennyisége 2000-2016 között millió tonnában [59]

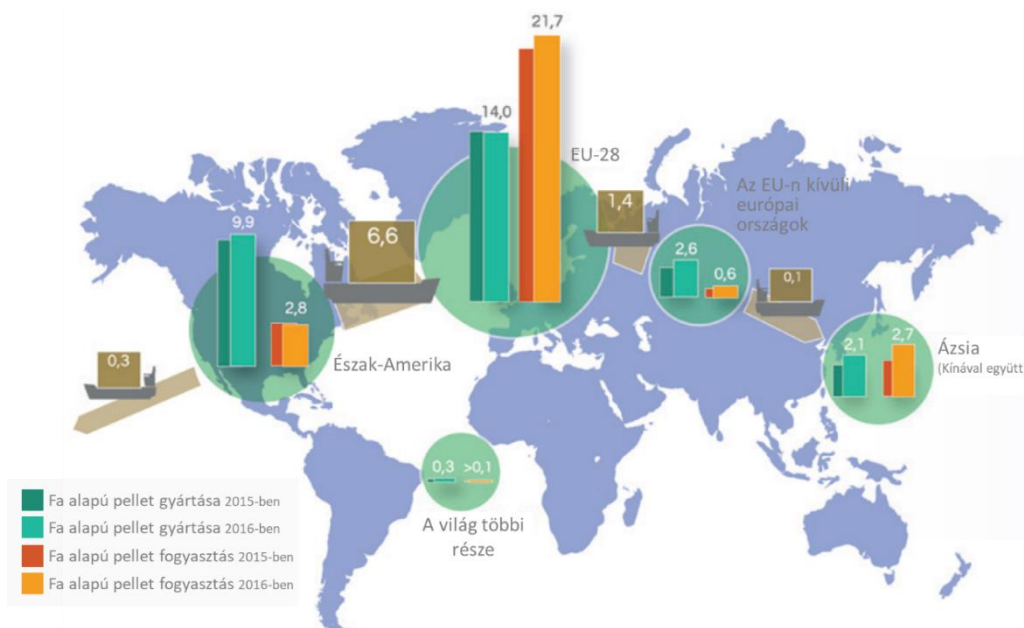
A bővülés ellenére a pellet piac az energiaszektor kis szeletét képes csak lefedni még - C.Telmoa és J.Lousada munkája alapján [60] 18,3 MJ/kg átlagos fűtőértéket alapul véve, a világ elsődleges energiafogyasztásának csupán 0,34%-át volt képes kielégíteni 2016-ban, a megújuló energiaforrásoknak pedig 1,43%-át adta.

A pelletek két különböző piaci szegmens számra készülnek, lehetnek ipari, illetve nem-ipari felhasználásúak. A két típus jelentősége közel azonos, körülbelül egyenlő arányban vannak jelen a piacon globális szinten, habár Európa esetében ez az arány eltolódik, a nem-ipari felhasználású pelletek felé [61].

A pelletek termelési kapacitásának eloszlása nem egyenletes. 2016-ban az Európai Unió 53,9%-kal, valamivel több, mint a felét birtokolta a világ teljes termelési kapacitásnak, majd azt követte az Egyesült Államok 34,0%-kal, Kanada 9,9%-kal, és Ázsia 5,0%-kal [61].

Keresleti oldalról szintén Európa a legnagyobb pellet piaci szereplő, hiszen a világ termelésének több mint háromnegyede itt kerül felhasználásra [26]. Az elmúlt időszakban a legnagyobb arányú növekedést az EU tagállamai mutatták, de mostanra a növekedés üteme csökken, a jelenlegi igényszint mellett EU kereslete lassan elérni látszik a tetőpontját. Az ázsiai térség – azon belül hangsúlyosan Kína, az elmúlt években új szereplőként jelent meg a pellet piacon, és robbanásszerű növekedést produkált mind a kereslet, mind a termelés oldalán. A kínai piac érdekes abból a szempontból is, hogy az itt megtermelt pelletek 20%-a agripellet [59]. Ennek egyik oka, hogy erdőgazdálkodásuk korlátozott, ugyanakkor szinte korlátlan mennyiségű agrárhulladék áll rendelkezésükre, amely alkalmas lehet pelletek előállításra [62]. A European Pellet Conference 2018 szakmai találkozói tapasztalatai szerint Indiában is változik az energiaszektor, hasonló trend mutatkozik az indiai pellet piacon, mint a kínain [63].

A nem egyenletes termelési és fogyasztási szint export- illetve importtevékenységet (26. ábra) generál a különböző államok között. Észak-Amerika a legnagyobb exportőr a pellet piacon, feleslegét az EU és Ázsia felé értékesíti.

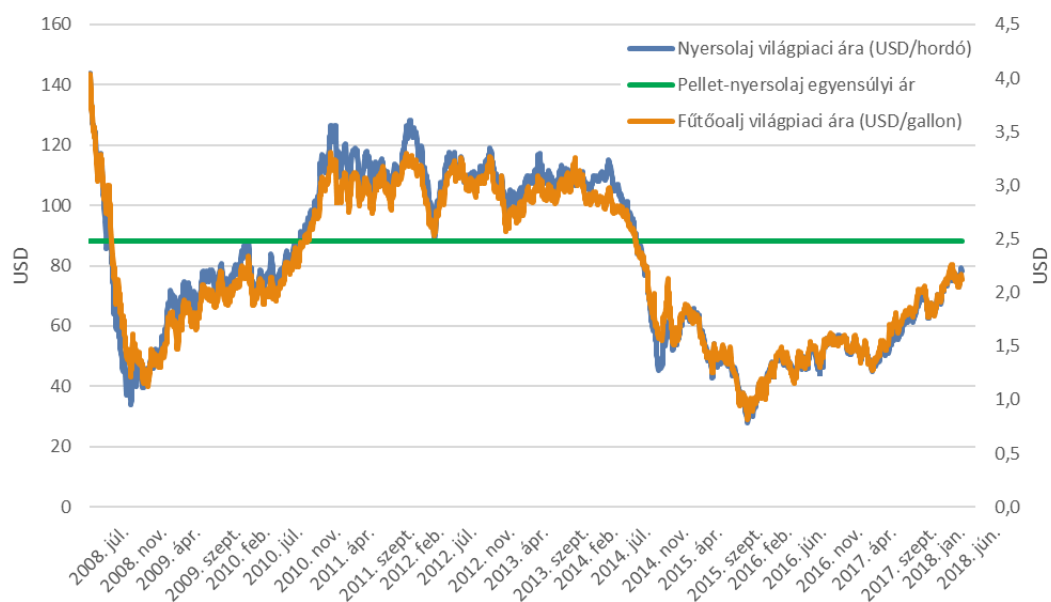


26. ábra: Előállított és elfogyasztott faalapú pelletek területi megoszlása, kereskedelme [26]

A pellet piac dinamikájára, a pelletek világpiaci árának alakulásán keresztül hatnak a nem megújuló energiaforrások árai is (és fordítva), hiszen ezek egymást helyettesítő termékek lehetnek. A pelletek keresletét és a termelési kapacitás változását, befolyásolja a nyersolaj és az ezzel összhangban lévő fűtőolaj világpiaci árának alakulása. Abban az esetben, ha magas a nyersolaj ára, megnő a kedv az alternatív, kedvezőbb költségigényű megújuló energiaforrások után, ami hosszútávon kapacitásbővítési igényt jelent. Ha alacsony a nyersolaj ára, akkor csökken ez a kedv, hiszen a megújuló energiaforrások nem minden esetben képesek versenyt tartani az alacsonyabb árral, a termelési kapacitás bővülési igénye lassul, stagnál, drasztikus esetben a termelési piac beszűkül, csökken a meglévő kapacitás (üzemek bezárása).

Ez a hatás az ipari felhasználású pelletek esetében kisebbnek, a nem ipari felhasználású pelletek esetében nagyobbak mutatkozik. Ennek oka, hogy az ipari felhasználású pelletek esetében jellemzően környezetpolitikai törekvések a döntően hangsúlyosak, melyek a gazdaságpolitikai racionális döntéseken gyakran túlmutatnak, vagy hosszabb távú változásokat okoznak. Ezzel szemben, a nem-ipari felhasználású pelletek fogyasztásának alakulását a pelletek árának változása, más alternatív tüzelőanyagokkal szemben elfoglalt helye határozza meg, eltekintve a felhasználók azon kis százalékától, akik a környezetvédelmi kérdéseket még gazdaságilag némileg kedvezőtlenebb feltételek mellett is előtérbe helyezik, és a pellettüzelés mellett döntenek [64].

Az elmúlt 10 évben a nyersolaj hordónkénti ára – ezzel összhangban a fűtőolaj ára is, nagy magaslatoakat és hatalmas mélységeket járt meg. A legmagasabb hordónkénti ár meghaladta a 140 USD, a legalacsonyabb pedig nem érte el a 30 USD sem (27. ábra).



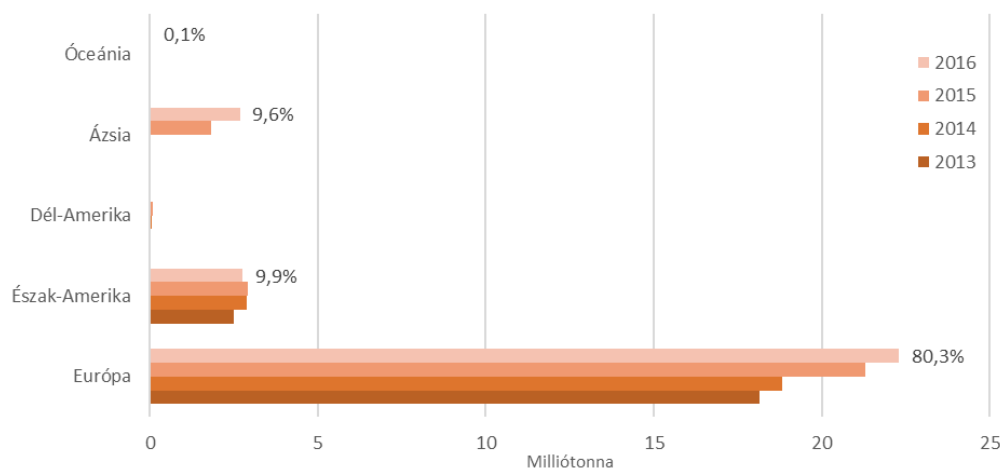
27. ábra: A nyersolaj és a fűtőolaj piaci árának alakulása 2008-2018 között
(Saját szerkesztés a Macrotrends [65] [66], az IEA [61] és az EPC [59] adatai alapján.)

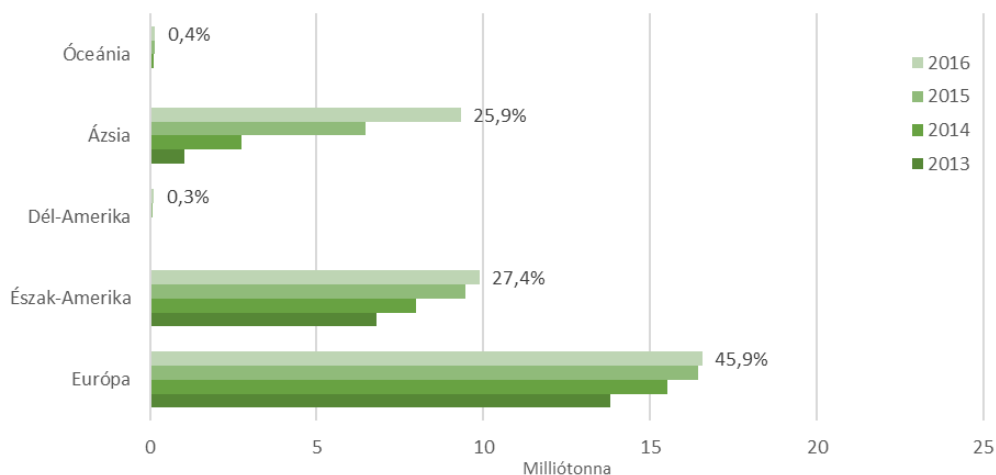
Ezek a fajta kilengések nem kedveznek a pelletpiacnak (sem), hiszen az elmúlt időszak nagy részében az olaj világpiaci ára nem érte el, sőt jócskán alul múlta a faalapú pelletek költség szintjét. Az olaj fűtőértékét 45 MJ/kg értéken [67], a faalapú pelletek fűtőértékét 18,3 MJ/kg értéken [60], tonnánkénti árát pedig 265 USD-on [61] alapul véve 88,21 USD-nál van az a nyersolaj árszint, amikor egységnyi energia előállítása azonos költség szint mellett lehetséges. Azokban az időszakokban, amelyekben az olaj világpiaci ára alacsonyabb, mint 88,21 USD, szimplán az alapanyag költséget figyelembe véve, gazdaságilag kedvezőbb a fosszilis energiahordozókkal történő energia előállítás, ami a nem-ipari felhasználókat arra ösztönözheti, hogy ne a pellettüzelést válasszák hőenergiaigényük kielégítésére. (Hosszú távon az alacsony fosszilis energiahordozó árak feltehetőleg nem tarthatók fent, hiszen a nem megújuló energiaforrások készlete folyamatosan csökken, a kitermelési költségek pedig növekednek.)

Ezekről függetlenül, valószínűsíthetően az energiapolitikai fenntarthatósági cselekvések hatására, **a közeljövőben összességében további 16 millió tonna kapacitásbővülés várható, döntően az ázsiai piac növekvő igényeinek megfelelően** [68] [58].

3.2.2. Európában

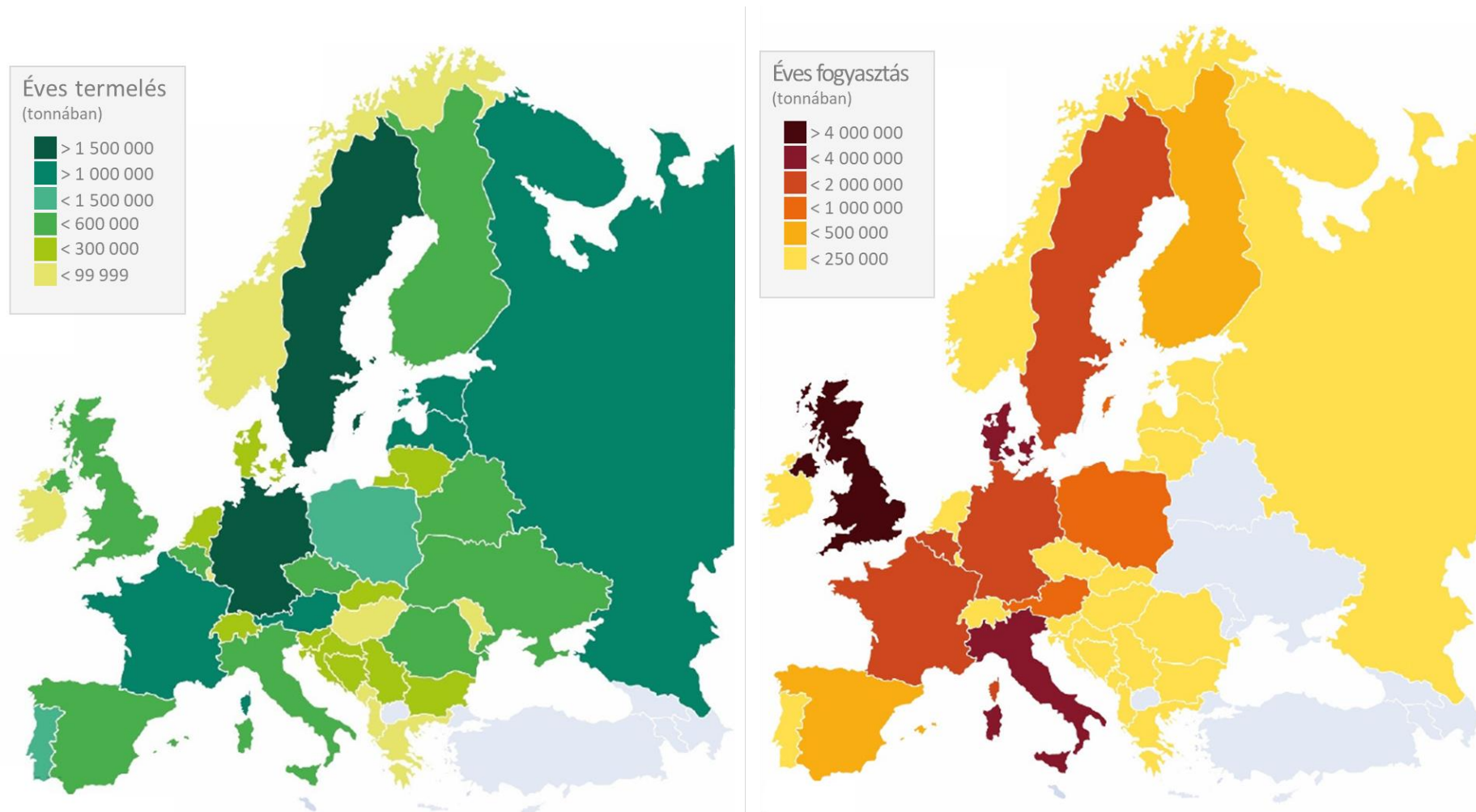
Európa, azon belül **az Unió egyértelműen a pellet piac főszereplője**. A faalapú pelletek 45,9%-a Európán belül (39,8%-a az EU-n belül) került előállításra 2016-ban, a fogyasztásnak pedig 80,3%-a köthető Európához (78,2%-a az EU-hoz) [59]. Ez az arány a korábbi időszakokban is fennállt (28. ábra), habár a korábbi időszakokban (2010) volt olyan periódus is, amikor a világ össztermelésének 60%-át adta Európa [69]. Ezekkel a termelési és fogyasztási volumennel Európa már a kezdetektől a pellet piac legmeghatározóbb szereplője, habár a növekedés üteme folyamatosan csökkenő tendenciát mutat.





28. ábra: A faalapú pelletek fogyasztásának (felül) és termelésének (alul) aránya és változása Európában 2013-2016 között
(Saját szerkesztés az IEA [61] és az EPC [59] adatai alapján.)

Európa fogyasztása erős függőséggel jellemezhető, 2016-ban például a megtermelt 16,59 millió tonna és az elfogyasztott 22,30 millió tonna közötti 5,71 millió tonna deficitet kellett importtal fedezni. A korábbi időszakhoz képest folyamatosan növekedik a régió függősége, vagyis a termelési kapacitás bővülése évről-évre kisebb, mint a fogyasztási igény növekedése.



29. ábra: A faalapú pelletek termelése és fogyasztása Európa országaiban 2016-ban [59]

Az EU-28 tagállamait vizsgálva már árnyaltabb a kép (29. ábra), vannak olyan országok ahol nagyarányú növekedés figyelhető meg, és vannak olyanok is, ahol stagnálás, vagy éppen szűkülés a jellemző. Ilyen piaci szűkülést mutató ország többek között Magyarország is.

Az Unión belül a legnagyobb mennyiségben Németország állít elő faalapú pelletet, termelése csupán kevéssel maradt el a 2 millió tonnától 2016-ban. A korábbi időszakban volt olyan év is, amikor valamennyivel meg is haladta ezt az értéket. A csökkenés hátterében többek között a legnagyobb német pelletgyártó vállalat banki csődjét követő tulajdonosváltás időszakában megfigyelhető alacsony termelési szint [70], a nyersolaj alacsony világpiaci ára és az elmúlt időszakban megfigyelhető gyenge téli időjárás állhat.

1,6 millió tonnát meghaladó éves pellet termeléssel EU második legnagyobb pellet termelője Svédország. Svédország erdőgazdálkodása erős, faalapú pelletek gyártására használható alapanyagokban gazdag ország, amely egyre inkább felfedezi a pelleteket, mint olcsó, CO₂ semleges tüzelőanyagot, amely hozzájárulhat a fosszilis energiatürelősségük csökkentéséhez [71] [72]. Ennek a törekvésnek megfelelő környezetet a Svédországban megfigyelhető, különösen kedvező adózási és támogatási rendszerek jelentik [73].

2016-ban Lettország volt a harmadik legnagyobb pellet előállító ország az EU-ban, termelése csaknem eléri az 1,5 millió tonnát évente. Rövid időperiódus alatt nagyot fejlődött a Lett piac, az elmúlt évek során számos új pelletüzem épült, amelyek az ország adottságaiból kifolyólag biztonsággal ellátottak alapanyaggal [74]. Az ország faanyag ellátottsága nagy potenciált tartogat, amely a beszűkült európai piacnövekedés mellett egyelőre rejtett tartalékként szolgál, de Európa számára a további növekedés biztosítékának záloga lehet.

Észtország, hasonlóan Lettországhoz az elmúlt időszakban hatalmasat fejlődött, termelése meghaladja az évi 1,1 millió tonnát, amivel 2016-ra Európa negyedik legnagyobb pellet előállítója, és második legnagyobb exportőre lett [26]. Helyzete abból a szempontból is hasonló Lettországhoz, hogy ugyan alapanyagban gazdagon ellátott ország, további bővülésének valamelyest határt szab az európai piac bővülésének lassuló üteme.

Az ötödik legnagyobb európai pellet előállító Franciaország. A korábbi években Franciaország sem volt domináns szereplője a pellet piacnak, 2005-ben éves termelése még nem érte el az 50 000 t/éves termelési szintet sem. 2010-re ez az érték már csaknem 0,5 millió tonna/év volt, 2016-ban pedig már elérte a 1 millió tonna/év fölötti termelési mennyiséget is [75].

Az öt legnagyobb termelési volumennel rendelkező Unió országát sorrendben Ausztria, Lengyelország, Portugália, Románia, és Spanyolország követi. Ez a tíz Unió ország összességében valamivel több, mint 11 millió tonna faalapú pelletet állított elő 2016-ban, amivel a világtermelés 30,5%-át, Európa termelésének pedig 66,3%-át voltak képesek lefedni.

	2014					2015					2016			
	Működő pellet üzemek száma	Termelési kapacitás [t]	Tényleges termelés [t]	Kapacitás kihasználtság		Működő pellet üzemek száma	Termelési kapacitás [t]	Tényleges termelés [t]	Kapacitás kihasználtság		Működő pellet üzemek száma	Termelési kapacitás [t]	Tényleges termelés [t]	Kapacitás kihasználtság
Ausztria	37	1 478 000	945 000	64%		37	1 481 000	1 001 000	68%		38	1 496 000	1 070 000	72%
Belgium	12	760 000	395 000	52%		12	760 000	320 000	42%		12	760 000	320 000	42%
Bulgária	40	400 000	150 000	38%		5	200 000	150 000	75%		5	200 000	112 000	56%
Csehország	19	300 000	210 000	70%		22	380 000	280 000	74%		25	400 000	330 000	83%
Dánia	5	250 000	80 000	32%		5	250 000	150 000	60%		5	300 000	150 000	50%
Egyesült Királyság	4	na	252 224			8	376 615	301 510	80%		8	376 615	310 000	82%
Észtország	16	1 280 000	995 000	78%		18	1 440 000	1 308 500	91%		19	1 500 000	1 167 364	78%
Finnország	27	630 000	330 000	52%		28	623 500	302 000	48%		29	623 500	315 000	51%
Franciaország	45	1 600 000	1 030 000	64%		50	1 800 000	950 000	53%		52	1 800 000	1 150 000	64%
Görögország	6	130 000	36 000	28%		14	130 000	40 000	31%		16	140 000	50 000	36%
Hollandia	7	350 000	300 000	86%		7	350 000	265 500	76%		7	350 000	200 000	57%
Horvátország	7	240 000	220 000	92%		16	300 000	240 000	80%		18	340 000	260 000	76%
Írország	1	40 000	31 000	78%		1	40 000	31 000	78%		1	40 000	31 000	78%
Lengyelország	50	1 050 000	870 000	83%		50	1 050 000	870 000	83%		52	1 100 000	900 000	82%
Lettország	23	1 480 000	1 320 000	89%		27	1 750 000	1 577 000	90%		28	1 850 000	1 438 337	78%
Litvánia	na	na	250 000			9	350 000	200 000	57%		11	360 000	250 000	69%
Luxemburg	1	50 000	50 000	100%		1	50 000	50 000	100%		1	50 000	50 000	100%
Magyarország	na	na	3 140			6	145 000	3 140	2%		6	122 000	3 139	3%
Németország	54	3 200 000	2 100 000	66%		54	3 200 000	2 000 000	63%		55	3 200 000	1 930 000	60%
Olaszország	24	325 000	300 000	92%		30	450 000	400 000	89%		30	450 000	400 000	89%
Portugália	26	na	1 000 000			26	1 941 875	850 000	44%		25	1 941 875	700 000	36%
Románia	22	750 000	430 000	57%		22	750 000	420 000	56%		22	750 000	500 000	67%
Spanyolország	64	1 125 000	410 000	36%		79	1 250 000	475 000	38%		82	1 600 000	490 000	31%
Svédország	67	2 285 700	1 576 910	69%		65	2 236 185	1 662 525	74%		65	2 236 185	1 663 198	74%
Szlovákia	10	200 000	100 000	50%		10	200 000	100 000	50%		10	200 000	100 000	50%
Szlovénia	na	na	100 000			14	130 000	110 000	85%		18	140 000	110 000	79%
EU-28*	567	17 923 700	13 484 274	75%		616	21 634 175	14 057 175	65%		640	22 326 175	14 000 038	63%

*Ciprus és Málta pellet termelési kapacitásával és tényleges termelésével kapcsolatban nem állnak rendelkezésre adatok.

1. táblázat: A faalapú pelletek termelési kapacitásának és tényleges termelésének változása az Európai Unióban 2014-2016 között
(Saját szerkesztés az AEBIOM [76] [26] és az EPC [74] [59] adatai alapján.)

A 2014-2016 közötti időszakban (1. táblázat) az Unió termelési kapacitása bővült, habár a tényleges termelésváltozás nem követte ezt a bővülést. Míg korábban 75% volt a kapacitás kihasználtság az EU-ban, 2016-ra ez az érték már csak a 63%-ot érte el. E mögött a változás mögött több tényező is meghúzódnak (nyersolaj világpiaci árának alacsony szintje, az éghajlattól függetlenül gyenge téli időjárás), de a piaci szereplők várakozásai egyértelműen pozitívak, hiszen a kapacitásbővülés aktív beruházási kedvet igazol. Az átlagos üzemméret 37 000 tonna/év/üzem, de a három legnagyobb üzemmérettel Észtország (79 000 tonna/év/üzem), Portugália (77 500 tonna/év/üzem), és Lettország (66 000 tonna/év/üzem) rendelkezik az Unióban.

Az Unió és egyben a világ legnagyobb pellet fogyasztója az Egyesült Királyság (2. táblázat). 2016-ban 6,89 millió tonna pelletet fogyasztott, ami a világ össztermelésének 19,1%-val, az EU termelésének pedig 41,5%-val egyenértékű. Az EU országaiban jellemzően a nem-ipari jellegű pellet felhasználás a döntő. Az elhasznált pelletek átlagosan 60%-a lakossági és közösségi épületek fűtését biztosító hőenergia előállítását, a fennmaradó 40% pedig ipari jellegű felhasználás során, villamos-energia előállítását szolgálja. Az Egyesült Királyságban ez az arány nem érvényesül, melynek oka, hogy a fosszilis energiaforrásokra épülő villamos-energia előállítást teljes egészében megújuló energiaforrásokkal kívánják kiváltani. Ennek érdekében a korábban szénüzemű erőművek egy részét már teljesen, vagy részlegesen átalakították pellet üzeművé, így 2016-ban az elhasznált pelletek 93%-ából villamos-energia kerül előállításra az Egyesült Királyságban. A közeljövőben a rendszer fennmaradó erőműveit is pellet üzeművé tervezik alakítani, amely számítások szerint további 8-10 millió tonna éves pellet igényt támaszthat [74].

Az EU második legnagyobb fogyasztója – tisztán hőenergia előállításra felhasznált pelletek tekintetében pedig legnagyobb fogyasztója Olaszország. Olaszországban a lakossági felhasználás a leginkább jellemző forma, ami az összfogyasztás 91%-át ez tette ki 2016-ban, összességében pedig 3,2 millió tonna pellet került felhasználásra ebben a régióban. Az Egyesült Királysághoz hasonlóan, Olaszország is erősen importfüggő ország, előbbi saját fogyasztásának csupán 4%-át, utóbbi 13%-át képes biztosítani.

Dánia, mint az Unió harmadik legnagyobb fogyasztója 2,2 millió tonna pelletet használt el 2016-ban. Az Egyesült Királysághoz hasonlóan, 65%-os részaránnyal ennél az államnál is a villamos-energia előállítására alapozott pellet fogyasztás a domináns, továbbá importfüggőségük mértéke is közel azonos.

2016-ban Németország volt a negyedik legnagyobb fogyasztó az Unióban. 2 millió tonna körüli fogyasztását csaknem egészben saját termelésből fedezte, csakúgy, mint Svédország, aki 1,6 millió tonna pellet felhasználással az EU ötödik legnagyobb fogyasztója.

Az öt legnagyobb fogyasztási volumennel rendelkező Uniós országot sorrendben Belgium, Franciaország, Ausztria, Finnország és Spanyolország követi. Ez a tíz Uniós ország összességében valamivel több, mint 20,3 millió tonna faalapú pelletet használt

fel 2016-ban. Ez a fogyasztási mennyiség meghaladja az Unió teljes éves termelését, a világtermelésnek pedig 56,2%-át fedi le.

Az Unió fogyasztása a termeléstől elválva folyamatosan, évről évre növekedett 2014 és 2016 között csakúgy, mint az azt megelőző időszakokban. Ugyan több tagállam is képes exportőrként piacra lépni, de az általuk áruba bocsátott pellet mennyisége – körülbelül 2 millió tonna évente, csak részben képes fedezni az Unió pellet deficitét. Összhangban az EU energiapolitikai törekvéseivel a pellet piac további növekedése várható a következő időszakokban is, amelynek talán legnagyobb kihívása a termelési és a fogyasztási volumen között egyre tágabbra nyíló olló kihívásainak legyőzése lesz.

	2014									2015									2016											
	Nem ipari felhasználás				Ipari felhasználás				Total	Nem ipari felhasználás				Ipari felhasználás				Total	Nem ipari felhasználás				Ipari felhasználás				Total			
	Lakossági felh.		Köz- és kereskedelmi felh.		CHP	Villamos energia		Lakossági felh.		Köz- és kereskedelmi felh.		CHP	Villamos energia		Lakossági felh.		Köz- és kereskedelmi felh.		CHP	Villamos energia										
Ausztria	48%	0,71	12%	0,10	0%	0,00	0%	0,00	0,81	83%	0,70	17%	0,15	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,85	83%	0,75	17%	0,15	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,90			
Belgium	34%	0,32	1%	0,01	1%	0,01	64%	0,60	0,93	23%	0,32	1%	0,01	1%	0,02	74%	1,00	▲ 1,34	23%	0,32	1%	0,01	1%	0,02	74%	1,00	▲ 1,34			
Csehország	41%	0,07	13%	0,02	46%	0,08	0%	0,00	0,17	72%	0,06	28%	0,03	0%	0,00	0%	0,00	▼ 0,09	68%	0,06	32%	0,03	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,09			
Dánia	47%	0,65	6%	0,08	11%	0,15	35%	0,50	1,38	31%	0,70	4%	0,08	66%	1,50	0%	0,00	▲ 2,28	31%	0,71	4%	0,08	65%	1,45	0%	0,00	▼ 2,24			
Egyesült Királyság	4%	0,20	na	na	na	na	96%	4,70	4,90	3%	0,20	na	na	0%	0,00	97%	6,81	▲ 7,01	7%	0,49	na	na	0%	0,00	93%	6,40	▼ 6,89			
Észtország	41%	0,03	59%	0,04	0%	0,00	0%	0,00	0,07	78%	0,03	22%	0,008	0%	0,00	0%	0,00	▼ 0,04	75%	0,03	25%	0,01	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,04			
Finnország	38%	0,07	70%	0,18	2%	0,01	0%	0,00	0,25	22%	0,07	63%	0,20	16%	0,05	0%	0,00	▲ 0,32	16%	0,08	51%	0,25	33%	0,16	0%	0,00	▲ 0,49			
Franciaország	86%	0,77	14%	0,13	0%	0,00	0%	0,00	0,90	92%	0,90	8%	0,08	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,98	85%	1,02	7%	0,08	8%	0,10	0%	0,00	▲ 1,20			
Hollandia	13%	0,03	78%	0,18	na	na	9%	0,02	0,23	19%	0,03	81%	0,13	0%	0,00	0%	0,00	▼ 0,16	32%	0,06	68%	0,13	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,19			
Horvátország	79%	0,02	21%	0,01	0%	0,00	0%	0,00	0,03	67%	0,01	33%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	▼ 0,01	66%	0,01	34%	0,01	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,02			
Lengyelország	76%	0,15	24%	0,05	0%	0,00	0%	0,00	0,19	76%	0,16	24%	0,05	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,21	67%	0,20	17%	0,05	8%	0,03	8%	0,03	▲ 0,30			
Lettország	41%	0,04	59%	0,06	0%	0,00	0%	0,00	0,09	95%	0,14	5%	0,01	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,15	95%	0,15	5%	0,01	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,16			
Litvánia	na	na	na	na	na	na	na	na	0,00	78%	0,04	22%	0,01	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,05	79%	0,05	21%	0,01	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,06			
Németország	59%	1,24	38%	0,80	3%	0,06	0%	0,00	2,10	64%	1,12	32%	0,56	4%	0,07	0%	0,00	▼ 1,75	64%	1,28	32%	0,64	4%	0,07	0%	0,00	▲ 1,99			
Olaszország	96%	2,78	4%	0,12	na	na	0%	0,00	2,90	95%	2,86	5%	0,15	0%	0,00	0%	0,00	▲ 3,01	91%	2,90	9%	0,30	0%	0,00	0%	0,00	▲ 3,20			
Portugália	50%	0,13	50%	0,13	0%	0,00	0%	0,00	0,25	53%	0,12	47%	0,10	0%	0,00	0%	0,00	▼ 0,22	53%	0,12	47%	0,10	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,22			
Spanyolország	59%	0,21	41%	0,15	0%	0,00	0%	0,00	0,35	60%	0,24	40%	0,16	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,40	60%	0,29	40%	0,19	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,48			
Svédország	31%	0,53	50%	0,87	14%	0,24	5%	0,08	1,73	31%	0,54	28%	0,48	41%	0,70	0%	0,00	▼ 1,71	34%	0,55	27%	0,43	39%	0,63	0%	0,00	▼ 1,61			
Szlovákia	60%	0,03	40%	0,02	0%	0,00	0%	0,00	0,05	58%	0,04	42%	0,03	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,06	58%	0,04	42%	0,03	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,06			
Szlovénia	na	na	na	na	na	na	na	na	0,00	69%	0,09	31%	0,04	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,13	55%	0,09	32%	0,05	13%	0,02	0%	0,00	▲ 0,16			
Görögország	82%	0,05	18%	0,01	0%	0,00	0%	0,00	0,06	85%	0,06	15%	0,01	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,07	83%	0,08	17%	0,02	0%	0,00	0%	0,00	▲ 0,09			
EU-28*	46%	8,01	17%	2,93	3%	0,54	34%	5,90	17,39	40%	8,41	11%	2,27	11%	2,34	37%	7,81	▲ 20,82	43%	9,24	12%	2,57	11%	2,47	34%	7,43	▲ 21,71			

*Bulgária, Ciprus, Írország, Luxemburg, Magyarország, Málta és Románia pellet-fogyasztásával kapcsolatban nem állnak rendelkezésre adatok.

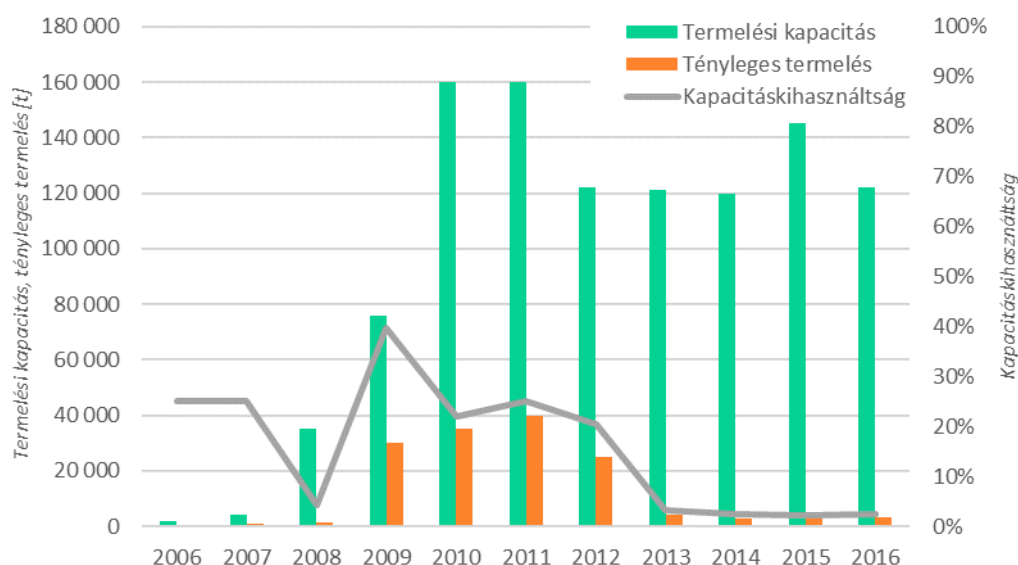
2. táblázat: A faalapú pelletek fogyasztásának változása az Európai Unióban 2014-2016 között
(Saját szerkesztés az AEBIOM [76] [26] és az EPC [74] [59] adatai alapján.)

3.2.3. Magyarországon

A magyar pellet piac relatív kicsi az európai tagállamok piacaihoz viszonyítva, a legyártott pelletek mennyisége az elmúlt években nem érte el az Unió össztermelésének 0,02% sem. Ugyan a növekvő európai pellet piac lehetőségei elérték Magyarországot a 2000-es évek közepén, de a kezdeti gyors, és igencsak turbulens fejlődést követően a magyar a piac erőteljes hanyatlásnak indult, jelenleg valószínűleg a mélypontját éli.

Magyarország első pellet üzeme 2006-ban létesült, majd 2007-ben már két üzem termelt [77]. Ez a két kis termelőképességű üzem csupán évi 1000 tonna pelletet állított elő, mégis alkalmasak voltak arra, hogy elindítsák a magyar pellet-közösség összefogását, és megtörténjenek az első nyitások a pellet fogyasztó európai államok felé, pl. termékexport formájában.

A magyar pellet szektor első ébredése 2008-ra tehető. Ebben az évben négy új üzem létesült, melyekkel együtt az ország termelési kapacitása már elérte a 35 000 tonna/éves mennyiséget [77]. A szektor ernyőszervezeteként szintén ez évben (2008. június) megalakult a Magyar Pellet Egyesület (MPE), amely pellet gyártókat; pellet gépsor és készülék gyártókat, forgalmazókat; szakértőket, intézményeket, magánszemélyeket és civil szervezeteket tömörített magába [78].



30. ábra: A termelési kapacitás és a tényleges termelés változása a Magyar pellet piacon 2006 és 2016 között

(Saját szerkesztés az AEBIOM [26] [76], EPC [59] [74], IEA Bioenergy [61] [69], Pelletsatlas [77], MPE [78] és a KMEC [79] adatai alapján.)

Ebben az időszakban az „Új Magyarország Fejlesztési Program 2007-2013” keretén belül a magyar állam meghirdette Környezet és Energia operatív programját, amelynek prioritási tengelyeként határozta meg a megújuló energiaforrás-felhasználásának

növelését, azon belül a biomassza felhasználás támogatását [80]. Ez egy olyan támogatási légkört biztosított az induló magyar pellet szektornak, amely fokozta a beruházási kedvet, 2010-re a pellet piac elérte csúcsát, már 11 pelletüzem gyártott biotüzelőanyagot Magyarországon [78] [79]. Csupán öt évvel az első magyarországi pelletüzem indulását (2006) követően, a magyar pellet ágazat robbanásszerű növekedést produkálva, elérte az évi 160 000 tonna kapacitásszintet. A piac erősítésére pl. az MPE létrehozta a Magyar Pellet Egyesület Védjegyét, melyet pályázati úton nyerhettek el az MPE tagok. A védjegy komplett minőségi jelként szolgált, alkalmas volt pellet tüzelőanyagok, illetve pelletek elégetésére szolgáló berendezések minőségét tanúsítására is. Sikeres pályázat esetén a tagok egy évig voltak jogosultak használni a minőségi jelölést, 2009-ben 9 MPE tag használhatta a védjegyet [81].

Figyelemre méltó az a tény is, hogy a magyar piac 11 működő pellet üzemből 2 agripellet előállítására szakosodott, felismerve az agráriumból származó melléktermékekben rejlő hatalmas potenciált. Az MPE kutatása szerint az ebben az időszakban megtermelt évi 35 000 tonna pellet körülbelül 20%-a volt agripellet, a fennmaradó rész pedig fapellet. Az agripelletek 95%-ban belföldön, a fapelleteknek pedig több mint 80%-a külföldön került értékesítésre, ez lényegi különbségnek mondható [78].

2010-ben a világ pellet termelése 15,7 millió tonna volt évente, ezen belül Európáé 9,3 millió tonna, vagyis a magyar pellet szektor termelési kapacitásával a világ 1,02%-át, Európának pedig 1,72%-át lett volna képes lefedni, teljes kapacitás kihasználtság mellett.

A termelési adatok (30. ábra) vizsgálva árnyaltabb képet kaphatunk. Habár az üzemek telepítésével a termelési kapacitás folyamatosan nőtt 2010-ig, a tényleges termelés nem követte le a bővülést, és még a 2009-ben mért legmagasabb üzemi kihasználtsági szint sem haladta meg a 40%-ot. Az ezt követő időszakban tovább romlott a magyar pellet piac helyzete, a 2010-től 2016-ig tartó időszakban beszűkült a termelési kapacitás, üzemek zártak be, és folyamatosan csökkent a termelés is. Ez 2016-ra azt eredményezte, hogy a rendelkezésre álló 122 000 tonna kapacitás csupán 3% került kihasználásra, ami éves szinten 3140 tonna megtermelt pelletet jelentett. Idő közben feltehetőleg a Magyar Pellet Egyesület is befejezte tevékenységét – honlapjuk nem frissül, a kapcsolattartásra megjelölt telefonok és e-mail címek inaktívak, az Európai Pellet Tanács által kibocsátott minőség tanúsításuk (European Pellet Quality Certification) 2014. április 30-án lejárt, azóta nem került meghosszabbításra [82].

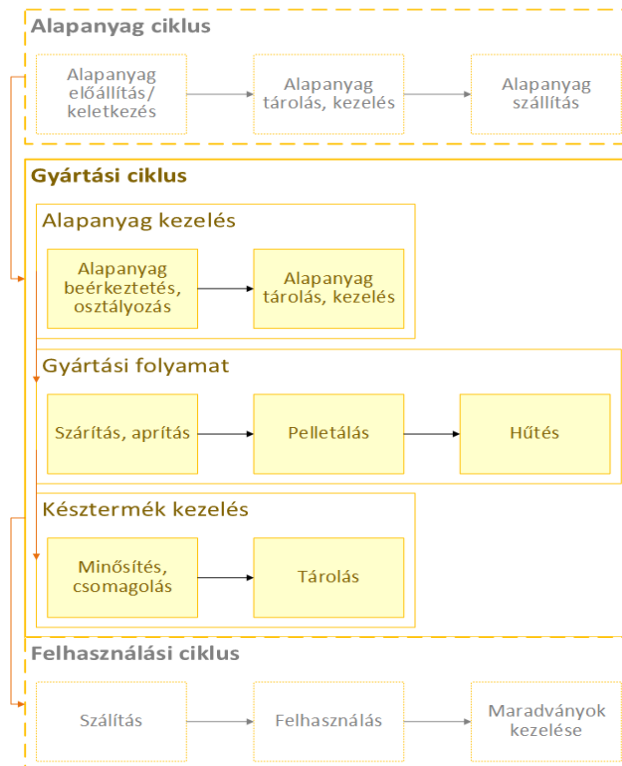
A magyar pellet piac jelenlegi állapotát jól tükrözi a www.uzletiajanlatok.hu online kereskedelmi portálon „pelletüzem” és „pellet üzem” kulcsszavakra indított keresések eredménye is (1. számú melléklet). Ezek szerint 2012 júniusa és 2018 júliusa között 29 hirdetést tettek közzé a felhasználók (egyrésztük időről-időre újra megjelenő, de azonos tartalmú hirdetés). A hirdetések közül csupán 4 tartalmaz befektetőtársakra irányuló keresést – ezek mind 2015 előtti hirdetések, a többi 25-ben komplett pelletüzemet kínálnak eladásra, több esetben telephellyel együtt.

Ezt a jelenséget vizsgálva kritikai szemlélettel is élhetünk, hiszen a támogatási forrásokat felhasználva, olyan beruházások valósultak meg, amelyek nem futottak be stabil életpályát. A jelenség gyökérokát keresve nem rajzolódik ki egyértelmű válasz. Az európai piac pezseg, pellet fogyasztása jóval meghaladja termelését, így ideális felvevőpiaca lehetne a magyar termelésnek. Egyértelmű alapanyaghiányra nem vezethető vissza ez a jelenség, hiszen egy új üzemlétesítésnél a stabil működés zálogaként, az üzleti terv részét kellett képezni legalább a rövidtávú, első három működési évre vonatkozó alapanyag-ellátási tervnek is. Ezzel szemben a magyarországi piac termelési kapacitása és a tényleges termelése arra enged következtetni, hogy a 2008-2009 után épül üzemek jó része valójában soha nem üzemelt tényleges termelőüzemként. Ezeken túl, az elmúlt években a földgáz árának kedvező változása („rezsicsökkentési program”) átrendezte a magyarországi keresletet, csökkentve a lakossági szektor pellettüzelés iránti kedvet. Ez is - és az állami támogatások hiánya is – hozzájárul ahhoz, hogy pellettüzelés nehezen képes felvenni a versenyt az egyéb tüzelőanyagokkal Magyarországon.

A magyar pellet piac jelenlegi helyzete kérdésekkel és kihívásokkal teli, ugyanakkor kedvező várakozásokra adhat okot, hiszen a meglévő kapacitások tényleges kihasználásával, Magyarország beléphet az európai pellet piacra, és értékes szereplőjévé válhat, különösen a világ-, és az európai kereslet bővülését és az importkitettséget figyelembe véve.

3.3. Pellet termékciklus

A pelletek gyártása során a különböző biomassza alapanyagokat tömörítéses eljárással, hengeres alakú, kisméretű, alacsony nedvességtartalmú és magas fűtőértékű biotüzelőanyagokká alakítják.



31. ábra: Pellet termékciklus
(Saját szerkesztés)

A teljes pellet termékciklus ennél bővebb (31. ábra), magába foglalja a különböző eredetű alapanyagok előállítását/keletkezését, tárolását, kezelését és szállítását; az alapanyag kezelésével és felhasználásával a késztermék előállítását, minőségi osztályok szerinti csomagolását és tárolását; majd a késztermék kiszállítását követő felhasználását és a visszamaradó anyag (hamu) kezelését is.

3.3.1. Alapanyag ciklus

Az ISO 15234:2012 szabvány alapján a pelletgyártáshoz használható alapanyagok eredetük szerint a következők lehetnek:

- erdészeti és mezőgazdasági termékek;
- erdészeti és mezőgazdasági növényi hulladékok;
- élelmiszeripari növényi hulladékok;
- fahulladékok (ezek lehetnek kémiaiilag kezelt anyagok, tartalmazhatnak halogénezett szerves vegyületeket vagy nehézfémeket is, lehetnek építési/bontási hulladékok is);

- faalapú melléktermékek
- cellulózgyártásból, cellulózból történő papírgyártásból származó rostos növényi hulladék.

Pelletek előállításához alacsony, 8-12% nedvesség tartalmú (nedves bázison számított), aprított, legfeljebb 4 mm szemcseméretű alapanyag használható. Ilyen anyagok például a fűrészpor és csiszolatpor is. Ezek az anyagok akár további alapanyag-kezelés nélkül, eredeti formájukban is alkalmasak a gyártásra, nem igényelnek további előkészítést. Azoknál az anyagoknál, amelyek nem teljesítik a gyártáshoz szükséges bemeneti feltételeket, különböző alapanyag-feldolgozási és szárítási technikákkal kell módosítani az anyagparamétereket, alkalmassá téve azokat a gyártásra. Minden ilyen feldolgozási folyamat plusz energia- és költségigénnyel bír, ezért pelletgyártás szempontjából azok az anyagok a legideálisabbak, melyek már önmagukban megfelelnek a gyártáshoz szükséges paramétereknek.

A pelletszükséglet gyors növekedését követően az alapanyagigényt már nem lehet teljes egészében faalapú, előkészítést szinte egyáltalán nem igénylő (pl. csiszolatpor) anyagokkal lefedni. A különben is fiatalnak mondható pelletszektor kénytelen új fás- és lágyszárú alapanyagokat bevonni a termelésbe [83]. Ennek eredményeképp egyre nagyobb teret hódítanak az agripelletek, melyek piaci részesedése folyamatosan a fapelletet meghaladó mértékben nő. Ezt a fajta piaci átrendeződés új kihívásokat jelent a minőségi termékgyártásban, hiszen a fa- és az agripelletek alapanyagai a kémiai összetétel állandósága alapján jelentős eltérést mutatnak.

3.3.1.1. Fás szárú alapanyagok

A fapelletek alapanyagai a fás szárú biomassza anyagok. A faanyagok számos iparág inputjai, nagy a verseny ezért az alapanyagért. A pelletszektorban is szembe kellett nézni a közelmúltban ezzel a kihívással. **A jó minőségű, pelletgyártás szempontjából ideális (előkészítést nem igénylő) fás szárú alapanyagok rendelkezésre állása szűkös.**

A legmagasabb minőségi követelményeket teljesítő fapelletek jellemzően világos színűek, alapanyaguk puhafa. Természetesen megfelelő gyártási paraméterek (pl. matricaszélesség) mellett a keményfa alapanyagok is alkalmasak minőségi fapellet előállításra. Ezek hiányában viszont keményfa alapanyagok alacsonyabb lignintartalmára visszavezethetően, a természetes kötések kialakulása nehezebb, így az előállított pelletek mechanikai tartóssága is alacsonyabb lehet [84]. Továbbá ezen alapanyagok kémiai összetételét vizsgálva általában magasabb a nem éghető anyagok részaránya, tehát magasabb a hamutartalmuk; és mivel sűrűségük is jellemzően nagyobb, emiatt az alapanyag-előkészítés (aprítás, darálás) nagyobb fajlagos energiaszükséglettel bír.

A gyártási ciklus első eleme az alapanyag-kezelés, melynek célja az anyag tisztítása, aprítása és szárítása. Ezt követi a termelési folyamat, amely során az alapanyag őrlését és kondicionálását követően az anyagot pelletté préselik, majd hűtik és szitálják. Végül, a gyártási ciklus zárásaként a készterméket ömlesztve, vagy az egységcsomagolást követően az értékesítésig tárolják. A gyártási ciklus általános technológiai folyamatát az 32. ábra mutatja be.

3.3.2.1. Alapanyag-kezelés

A gyártási cikluson belül, a pelletálás folyamatát az alapanyag előkészítés előzi meg. Ennek fő lépései fás szárú alapanyagok esetén (alapanyag feldolgozottsági szinttől függően) a kéregtelenítés, az aprítás és a szárítás. Lágú szárú alapanyag esetén a kéregtelenítés nem része a folyamatnak, de az aprítási és a szárítási lépések alapanyag tulajdonságtól függően a folyamat elemei lehetnek. Tehát a fenti lépések nem feltétlenül képezik a gyártási ciklus részét, szükségességüket a felhasználni kívánt alapanyag előkészítettségi foka, fizikai paraméterei, és a gyártani kívánt pellet minősége határozzák meg.

Kéregtelenítés

A kéregtelenítés célja a faanyagot körülvevő kéreg és hancs anyag lefejtése. Ezek az anyagok pelletálás szempontjából kevésbé értékesek, magasabb ásványianyag tartalmuk (hamutartalom képző és hamuolvadáspontot csökkentő alkotóelemek) fokozott folyamatszabályozást indokol.

Attól függően, hogy egységnyi idő alatt mekkora mennyiségű és milyen minőségű faanyag feldolgozása szükséges, a kéregtelenítés különböző típusú kérgezőkkel történhet (marófejes és kalapácsos-, gyűrűs-, forgócsiszoló kérgező). A lehántolt kéreg a faanyag tömegéhez viszonyított részaránya fafajtától függően 6-22% között változhat [88]. Erre a lépésre nincs minden esetben szükség, ha például nem a legmagasabb minőségi osztályba tartozó fapellet gyártása a cél – ahol az alapanyag nem tartalmazhat kérget, akkor ez a lépés elhagyható.

Aprítékolás

A folyamatlépés célja az alapanyag aprításával az anyag előkészítése a további gyártási fázisokra. A pelletálás szempontjából az aprítási minőség nem kritikus tényező, ezért a pellet gyártósorokba általában dobaprítókat szereltek (alacsonyabb aprítási minőségre képesek, de fenntartási költségük is alacsonyabb), de lehetnek korong-, és ütőaprítók is [28]. Az aprítógépek elé fémkereső berendezést kell telepíteni, a gépsérülés és üzemzavarok megelőzésére [89]. Az aprítékolás nagy energiaigényű folyamatlépés, ezért lehetőség szerint olyan alapanyag felhasználása ajánlott, ami nem igényel aprítást.

Szárítás

A szárítási folyamatlépés célja az alapanyag nedvességtartalmának lecsökkentése, a gyártáshoz szükséges 8-12%-os (nedves bázison számított) szintre. Értelmszerűen, minél magasabb az anyag induló nedvességtartalma, annál nagyobb energia-befektetést igényel a szárítási folyamat. A legcélszerűbb olyan alapanyagot választani a gyártáshoz, amely nedvességtartalma már alapból megfelelő, nem igényel plusz szárítást. A pelletálóüzemek rendszerint csöves-, szalagos- vagy dobszáritóval szereltek [28]. A szárítási folyamat során jellemzően az anyagáram sebességével szabályozható a szárítás mértéke, ehhez a bemenő és a kijövő anyagáramot is folyamatosan monitorozni kell. (A pellet gyártási ciklus újonnan megjelenő - részben a szárítási művelethez kapcsolódó, kísérleti fázisban lévő eleme az alapanyag szenesítés (torrifikáció). Speciális előkészítési folyamatlépés során 200-300°C-on, oxigénszegény környezetben lezajló termokémiai folyamat során eltávolítják az alapanyagból az illékony anyagokat, ezzel növelve az anyagsűrűséget, és az energiasűrűséget is [90]. Az így kapott alapanyag könnyebben őrlhetővé válik, a belőle készített pellet színe sötét, feketébe hajló, energiasűrűsége meghaladja a hagyományos eljárás során készített pelletét. Az így készített tüzelőanyagok a szénérőművekben, akár azok átalakítása nélkül is eltűzelhető. Ez a fajta eljárás jelenleg is erősen kutatott terület, a szenesítés során felhasznált energia mennyisége és a nyert haszon közötti korreláció, valamint a szenített alapanyag pelletálási folyamatra gyakorolt hatásai még több esetben kérdéseket vetnek fel [91] [92].)

Alapanyag továbbítása, tárolás

A gyártási ciklus kritikus tényezője a megfelelő mennyiségű és minőségű alapanyag rendelkezésre-állás. Az alapanyagok továbbítása és tárolása, ezt a célt hivatott szolgálni. Megfelelő tárolókapacitás kiépítésével áthidalhatók a beszállítói eredetű alapanyag-ellátási nehézségek, a folyamatlépések közötti kapacitásingadozások, és megőrizhetők, bizonyos esetekben javíthatók az alapanyagok minőségi paraméterei.

Az anyagmozgatás eszközeit a mozgatandó anyag paraméterei, a tárolási mód, és a tárolási- és a felhasználási hely közötti horizontális és vertikális távolság határozza meg [93]. Az alacsony előkészítettségi fokú anyagok mozgatása jellemzően különböző rakodók, manipulátorok segítségével, a magasabb feldolgozottsági fokú, ömlesztett anyagok mozgatása pedig pályához kötött szállítóeszközökkel történik [94].

A pelletgyártás alapanyagai, az anyag előkészítettségi fokától függően darabáruk, vagy ömlesztett anyagok lehetnek. Ez határozza meg az alkalmazandó tároló-létesítmény típusát is, melyek lehetnek nyitott-, fedett tárolószínek; raktárépületek; bunkerek; silók; tartályok [95]. A tárolási mód helyes megválasztása kulcsfontosságú tényező a minőségi fa-, illetve agripelletgyártás szempontjából. Számos kutatás foglalkozik azzal a kérdéssel, hogy a tárolási körülmények és a tárolási idő hogyan befolyásolja az alapanyagok minőségét. Ezek szerint a nem megfelelő tárolás, az alapanyagokban zajló természetes bomlási folyamatot felgyorsítja, és a degradációs folyamat eredményeképpen romlanak az anyag biológiai és kémiai tulajdonságai;

csökken az alapanyag-, így a késztermék fűtőértéke is; a megváltozott anyagösszetételből adódóan változik az anyagok gyártás közbeni viselkedése, megnő a pelletálás során a súrlódási tényező értéke, és csökken a késztermék mechanikai ellenálló-képessége is [96] [97] [98] [99] [100]. Ezzel szemben a megfelelően megválasztott tárolási mód kedvezően hat az alapanyag nedvességtartalmának (és más paraméterének) változására, csökkentve így az esetleges szárítási folyamat energiaszükségletét [101] [102].

3.3.2.2. Gyártási folyamat

A gyártási folyamat során a megfelelően feldogozott, előkészített száraz alapanyag további aprítását, majd tömörítését és hűtését követően készülnek el a pelletek. A termelési folyamat során az anyagáram jellemzően kötött pályás anyagmozgatási eszközökkel vándorol a különböző műveleti állomások között. Maga a pelletálás soktényezős precíziós folyamat, ahol számos paraméter befolyásolja a késztermék minőségét.

Őrlő aprítás

Az aprítás során a száraz alapanyag frakcióméretének csökkentése a cél. A legelterjedtebb 6 mm átmérőjű pellet gyártása esetén, 0,2-1,5 mm szemcseméretet adó darálási minőség szükséges. Őrlő aprítás előtt az anyagáramból fémdetektor és szeparátor segítségével el kell távolítani az idegen fémes anyagokat. Ez egyrészt a gyártási folyamat következő elemeinek megóvását, másrészt az őrlés közbeni szikraképződés és tűzkeletkezés megelőzését szolgálja. Az őrlőaprításhoz általában kalapácsos darálót használnak, ahol az aprítást a forgómozgást végző kalapácsok biztosítják, az őrlemény szemcseméretét a kalapácsos daráló rostamérete határozza meg. Az finomra aprított anyag puffertartályba, majd a kondicionálóba kerül.

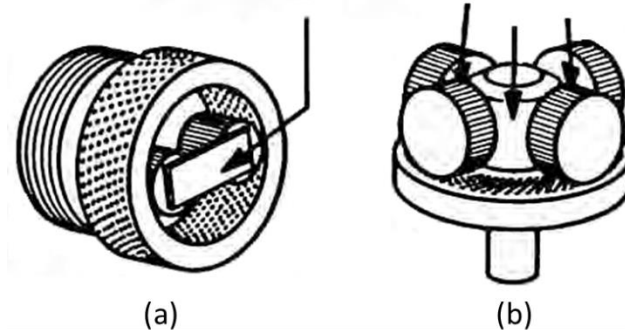
Kondicionálás

A kondicionálás során az alapanyaghoz vizet, illetve egyes esetekben additíveket adhatnak, hogy az anyag kötési tulajdonságai a pelletgyártás szempontjából optimálisak legyenek. Ennek eszköze általában henger alakú, vízszintes elhelyezkedésű keverőlapátokkal szerelt mixer. A lapátok elhelyezkedése és szöge módosítható, ezzel befolyásolható az anyag áthaladási és keveredési tulajdonságai is. Fontos, hogy a segédanyagok megfelelően elkeveredjenek az alapanyagban, ezért a keverék 10-15 percet tölt a mixerben, biztosítva ezzel a kilépő anyag homogenitását. Szakirodalmi adatok szerint additív anyagok tömege maximum az alapanyag tömegének 1%-át, a hozzáadott víz pedig 2%-át teszik ki [28]. Az alapanyagban lévő lignin thermoplasztikus képessége növelhető a hozzáadott víz hőfokának növelésével [28].

A kondicionálást követően az anyag pár percre érlelőtartályba kerül, amely egyrészt tovább segíti a víz eloszlását és a lignin thermoplasztikus képességének fejlődését, másrészt pufferként szolgál a pelletprés előtt.

Pelletálás

A pelletálás során az előkészített, finomra darált, kondicionált homogén anyagot a prëshengerek átpréselik a présmatricákon. A pelletáló berendezések matricái sík, vagy gyűrűs típusúak (33. ábra); a prëshengerek a matrica típusától függően horizontális vagy vertikális tengely körül forognak.



33. ábra: Gyűrűs (a) és sík (b) típusú pelletmatricák [35]

A présbe érkező anyagot a vezetőlécek a prëshenger és a matrica közé irányítják, majd a henger forgó mozgása a préslyukak irányába tereli tovább az anyagot, ami a matrica furatain keresztül távozik a préstérből. A matricát elhagyó pelletet fixkések törlik megkívánt hosszúságúra. A tömörítés tulajdonságait befolyásolja a matrica vastagsága, a préslyuk alakja és hosszúsága, a prëshenger bordázata; az alapanyag tulajdonságai; és ezen rendszerek egymáshoz való viszonya is.

A termelési folyamat legenergia-igényesebb eleme a pelletálási (préselési) folyamatlépés. Szakirodalmi adatok alapján 100-250 kWh/t teljesítményű villanymotor szükséges a folyamat kiszolgálásához az alapanyag-összetétel és fizikai paraméterek függvényében [34].

A prést 75-90°C fok közötti, lágy sérülékeny állapotban hagyja el a pellet. Amíg a pelleték le nem hűlnek (a bennük lévő lignin meg nem szilárdul), addig ez az állapot fennáll, így fokozott figyelemmel kell kezelni ebben a fázisban a terméket.

Hűtés

A késztermék szabályozott visszahűtése környezeti hőmérsékletre kettős célt szolgáló folyamata a pelletgyártásnak, hiszen a hűtésen kívül a finompor eltávolítását is biztosítja. A hűtés során a pellet visszaszilárdul, nedvességtartalma a lágy pelletéhez viszonyítva átlagosan 2%-ot csökken [35]. A hűtés módja általában ellenáramú léghűtés, ami a homogén levegőárammal optimális visszahűlési sebességet biztosít a készterméknek. (A túl gyors lehűlés a pelleték felületének berepedezését okozhatja.) A hulladéklevégő átszűrését, a finompor leválasztását ciklonos szeparátor, vagy textilfilteres szűrő végzi.

3.3.2.3. Késztermékkezelés

Minősítés

A termelési folyamat befejeztével, a lehűlt pelletet rázóasztalos szitálással méret alapján osztályozzák. A folyamatlépés célja a por és morzsalék anyag elválasztása a megfelelő minőségű tüzelőanyagtól. Az ilyenformán minősített pellet a készterméktárolóba, vagy azonnal lecsomagolásra kerül. A termelési volumentól, és a képződő por és morzsalék anyag mennyiségétől függően, a leválasztott hulladékanyag közvetlenül a gyártási folyamatba vagy a szárazanyagtárlóba kerül vissza.

Csomagolás, készterméktárolás

A késztermék kiszerezését a vevői igények határozzák meg. A készterméktároló kapacitását a gyártási volumennel és a szállítójármű kapacitásával is össze kell hangolni. Ha ömlesztett formában kerül értékesítésre a tüzelőanyag, akkor a készterméket általában nagy kapacitású silókban tárolják, hogy a kamionok, vasúti- és hajókonténereket ki lehessen szolgálni. Az egységcsomagolt pelletek lehetnek nagyobb úgynevezett big-bag (500-1000kg), vagy kisebb zsákos kiszerezésűek (15-25 kg). Ezek csomagolása zsákológéppel történik. A készterméktárolás közben is biztosítani kell a megfelelő környezeti körülményeket, különös tekintettel az alacsony páratartalomra.

3.3.3. Felhasználási ciklus

A pelletek felhasználása különböző teljesítményű rendszerekben történhet. Ezek jellemzően három kategóriába sorolandók:

- kis teljesítményű rendszerek (100 kW kapacitás alatt);
- közepes teljesítményű rendszerek (100 kW és 1 MW kapacitás között);
- nagy teljesítményű rendszerek (1 MW kapacitás fölött).

A kisteljesítményű rendszerek jellemzően lakossági szektor használja. A pellet alapú központi fűtés rendszerek jól automatizálhatók, közel azonos komfortszintet képesek biztosítani, mint a földgáz alapú rendszerek. Ezek a rendszerek fokozottan érzékenyek a tüzelőanyag minőség-ingadozására. A pelletégőket az eltüzelnit kívánt pelletek minőségével össze kell hangolni, továbbá a hatékony és biztonságos működés érdekében minimalizálni kell a felhasznált tüzelőanyag minőség-ingadozását.

Közepes teljesítményű rendszerekkel általában a közintézmények, társasházak, illetve az ipari létesítmények hőenergia, kapcsolt rendszerek (CHP) esetén hő- és villamos-energia szükségletét látják el. Ezek a rendszerek kevésbé érzékenyek a tüzelőanyag minőség-ingadozására.

A nagy teljesítményű pellet rendszerek kapacitása elérheti a 20 MW-ot is. Ezek az üzemek távhőszolgáltatás, illetve kapcsoltan hő- és villamos-energia (CHP) előállítására használtak. Az ezekben elhasznált ipari pelletek - amelyek minőségi tulajdonságaik alapján általában nem alkalmasak a lakossági rendszerekben történő eltüzelésre – alacsonyabb áron szerezhetők be, mint a lakossági fogyasztásra szánt pelletek.

4. KUTATÁSI TERV

A pelletgyártás szempontjából ideálisnak tekinthető, kéreg, levél és ág részekből mentes faforgácsolási és –csiszolási alapanyagok korlátos rendelkezésre állása, új lágyszárú és fás szárú alapanyagok bevonását teszi szükségessé a gyártásba. Ez a folyamat már elkezdődött, a piacra bocsátott agripelletek mennyisége évről évre növekszik, piaci jelentőségük egyre nagyobb. (A pelletszektor jelenlegi helyzetét, várható trendjeit a 3.2. Pelleték energiagazdálkodási szerepe c. fejezet mutatja be részletesen.)

Az új alapanyagok bevonása új kihívásokat elé állíthatja a pelletszektor, hiszen **a folyamatosan egyenletes, magas minőségű termékgyártás alapfeltétele a szabványosított, kontrolált gyártási folyamatok megléte.**

Kutatási munkám célja ezen feltételek teljesülésének vizsgálata, fejlesztési irányok kijelölése és kidolgozása. Ennek érdekében a következő kutatási stratégiát állítottam fel, valamint kutatási és fejlesztési feladatokat jelöltem ki:

I) Szabályozandó területek meghatározása

- A **pellet termékciklus jellemzőinek meghatározása**, ezek közötti összefüggések feltárása, folyamatosan fókuszban tartva az újnak tekinthető, főként az agráriumból származó alapanyagok megjelenését, ezek bevonásának késztermék minőségére gyakorolt hatását. *(5. Pellet termékciklus jellemzőinek meghatározása)*

II) Szabályozási eszközök lefedettségének vizsgálata

- A **nemzeti- és nemzetközi szabályozó eszközök kritikus elemzése**, amely magában foglalja a pellet ciklus különböző elemire kiterjedő szabályozás szintjének vizsgálatát, az esetleges **hiányosságok feltárását, és következtetések megfogalmazását.** *(6. Pellet ciklus szabályozó eszközeinek kiértékelése)*

III) Szabályozási eszközök továbbfejlesztése, kiterjesztése

- Az alapanyag-minősítés hiányának feloldására a pelletgyártás szempontjából kritikus **alapanyag vizsgálati csoportok meghatározása.** *(7.1. Vizsgálati csoportok meghatározása)*
- **Mérési eljárásokat kiértékelő rendszer kidolgozása**, amely képes egyedileg értékelni az azonos paraméterek vizsgálatára irányuló eljárásokat, feltárva az azok közötti különbséget, segítve az ideális eljárás kiválasztását, és folyamatba illesztését. *(7.2. Mérési eljárásokat kiértékelő rendszer kidolgozása)*
- A definiált vizsgálati csoportok alapján a rendelkezésre álló szabványosított és egyéb **vizsgálati eljárások forrásgyűjteménybe foglalása**, majd a megalkotott mérési eljárásokat kiértékelő rendszer alkalmazásával **valamennyi eljárás elemzése, értékelése.** *(7.3.1. Eljárások kiértékelése)*
- A pelletgyártás szempontjából **legkedvezőbbnek ítélt eljárások meghatározása**, vizsgálati csoportonként. *(7.3.2. Eljárások rangsorolása)*

- Az eljárások **folyamatba illeszthetőségének vizsgálata**, vizsgálati csoportonként javaslat tétele a folyamatba illesztés lehetséges pontjaira. (7.4. *Alapanyag mérési eljárások gyártási folyamatba illesztése*)
- Kutatómunka eredményeinek összefoglalva, **javaslattétel a szabályozó eszközök kiterjesztésére.** (7.5. *Javaslattétel a szabályozó eszközök kiterjesztésére*)

5. PELLETERMÉKCIKLUS JELLEMZŐINEK MEGHATÁROZÁSA

A gyártási folyamat során a kialakuló késztermék jellemzőket két fő tényező, az alapanyag- és a technológiai paraméterek határozzák meg. Mind a két paramétercsoport meglehetősen fontos, de súlyuk nem azonos. Egyrészt, mert az alapanyag- és a technológia paraméterek között is több esetben korreláció van, bizonyos alapanyag paraméterek befolyásolják a technológiai paramétereket, másrészt, mert a késztermék paraméterek jelentős részének teljesülését döntő mértékben az alapanyag paraméterek befolyásolják, a technológiai paraméterek nincsenek hatással azokra.

Az alapanyag paraméterek egyértelműen a pelletgyártás legmeghatározóbb jellemzői. Ezekre a paraméterekre a technológiai folyamatoknak valós ráhatásuk nincs, azokat a biomassza faj- és fajta adottságai, termőterülete, környezeti-, keletkezési- és egyéb tényezői határozzák meg. Mivel a technológia ezeket a paramétereket ténylegesen nem tudja befolyásolni, viszont ezek ismeretével, olyan receptúrák dolgozhatnak ki, amelyek használatával a késztermékek képesek teljesíteni a legmagasabb minőségi követelményeket is, ezért ezek ismerete kulcsfontosságú.

A következő fejezetekben az alapanyag-, technológiai- és késztermék paraméterek, valamint ezek egymásra való hatása kerül bemutatásra.

5.1. Alapanyag paraméterek

A növények két fő alkotórésze a víz, és a szárazanyag. Az alapanyag víztartalma a pelletgyártás kritikus-, de természetes és mesterséges szárítási módokkal jól szabályozható paramétere. A növények szárazanyag-tartalmát a szerves és a szervesetlen alkotóelemek, az ezekből képződő vegyületek adják. A szerves anyagok képezik az biomassza éghető, a szervesetlenek pedig a nem éghető, úgynevezett hamualkotó részét. Energetikai hasznosítás szempontjából a magas szerves anyag és az alacsony szervesetlen anyag tartalom a kívánatos. A különböző biomassza anyagok kémiai összetétele nagy eltéréseket mutat. Az, hogy a növény milyen arányban tartalmaz szerves illetve szervesetlen anyagot számos tényezőtől függ, például a fajtól, fajtától, vegetációs időszaktól, környezeti tényezőktől. A lágy szárú anyagok esetén ez hatványozottan függ a betakarítás idejétől és termőterület adottságaitól is [45]. **A faalapú alapanyagok összetétel ingadozása viszonylagosan csekély, a nem faalapú anyagok összetételének változékonysága nagyobb, ami több szempontból kihívást jelent a minőségi pellet előállítás során.** Ugyan ezen kérdés időszerűsége jelenleg is érzékelhető, de az agripelletek részarányának folyamatos növekedésével ez a kihívás egyre inkább erősödik.

A növényi szerves vegyületek – melyek a teljes szárazanyag-tartalom akár 95%-ot is meghaladó mennyiségét adják, három fő komponensből épülnek fel: szénből (C), oxigénből (O), és hidrogénből (H). Ezen kívül a növények különböző arányban tartalmaznak egyéb anyagokat, amelyek a biomasszák szervesetlen, hamualkotó részét adják. A kémiai szerkezet alapján a szilárd biomasszák általános összetételének 95%-át

vázanyagok, cellulóz, hemicellulóz és lignin adják. A fennmaradó hányadot járulékos (extrakt) anyagok (például gyanta, keményítő, cukor, ásványi anyagok) teszik ki.

A biomassa anyagok leglényegesebb kémiai összetevői a cellulóz, a hemicellulóz és a lignin. A cellulóz a növényeket építő vázanyagok legfontosabb biopolimere. Kiváló vázanyag, mert hidrofób, sőt a gyenge töménységű szerves oldószerek sem oldják. A hemicellulóz a cellulózhoz hasonló szerkezetű vázanyag. A cellulózon kívüli sejtfalalkotó, melynek fő feladata a cellulóz szálak rögzítése. Ezeket együttesen holocellulóz gyűjtőnéven nevezik. A lignin a különböző növényi poliszacharidok, a holocellulózok összekötője, biztosítja a sejtfalak szilárdságát.

A fenti vázanyagokon kívül a növényi anyagok tartalmaznak még járulékos anyagokat, amelyeket gyűjtőnéven extraktnak neveznek. Ezek sokfélék lehetnek, többek között zsírok, olajok, gyanták, viaszok, keményítők, szerves és szervetlen savak, színyanyagok, sók és egyéb ásványok. Az extraktok a pelletálás szempontjából igen fontos összetevői az alapanyagnak, hiszen a préselés során ezeknek kell biztosítani a megfelelő kenést, jellemzően növelik az anyag fűtőértékét. Egyes típusai viszont gátolhatják az anyagkötések kialakulását a tömörítés során, csökkentve ezzel a késztermék mechanikai szilárdságát.

Összességében elmondható, hogy a szilárd biogén alapanyagok pelletálhatósági és tüzeléstechnikai tulajdonságait az alapanyag összetétel, vagyis a kémiai szerkezet és az elemi összetétel határozza meg [103]. Az alapanyag összetétel kulcsfontosságú szerepet tölt be a késztermék minőségét és a gyártási folyamatokat illetően. **A pelletek alaptulajdonságai és a folyamat energia szükséglete az alapanyag összetételétől és a pelletálási folyamat paramétereitől egyaránt függenek, de meglehetősen jól prognosztizálhatók az alapanyag összetételéből** [104]. Az alapanyag minőség fajonként változó módon, de negatívan befolyásolható a nem megfelelő tárolási mód és idő megválasztásával [102]. **A gyártási folyamatba belépő biomassa alapanyagok gyártási folyamatot megelőző és az azt követő kémiai összetételében viszont nincs szignifikáns változás** [105]. **Tehát ezek az anyagjellemzők teljesen függetlenek a technológiai paramétereiktől.**

Ezek alapján kijelenthető, hogy a pelletek gyártása során alapanyagul szolgáló szilárd biogén anyagok kémiai szerkezetének, illetve az elemi összetételének ismerete nem csak a végtermék tüzeléstechnikai paramétereire enged következtetni, hanem a teljes gyártási folyamatot szabályozhatóvá teheti [106]. Ismeretükkel a gyártási receptúrák egyszerűbben, gazdaságosabban kialakíthatóvá válhatnak. Ez a gyártási és felhasználási minőségingadozás alacsony szinten tartását hozhatja változó paraméterű alapanyagok felhasználása mellett is.

A 3.1. Pellet típusok c. fejezet rávilágít a fás szárú és a lágyszárú alapanyagok összetételének változékonyságában rejlő kihívásokra. Ezek alapján **az alapanyag paraméterek ismeretének jelentőségét célszerű külön elemezni az eltérő alapanyagfélések esetén:**

- 1) a prémium minőségű fapelletek alapanyagául szolgáló kéregtelenített, levél és ág részekről mentes faalapanyagok esetén;
- 2) az alacsonyabb minőségű fapelletek alapanyagául szolgáló fás szárú, kéreg és/vagy levél- és ágrészeket is tartalmazó alapanyagmixek esetén;
- 3) és az agripelletek alapanyagául szolgáló lágyszárú alapanyagot (is) tartalmazó anyagmixek esetén.

Ez a három alapanyagcsoport nagyban eltér. A prémium fapelletek gyártásához használt alapanyagok összetétele fafajtától függően állandónak tekinthető – anyagmérési eljárások alkalmazása nélkül, szakirodalmi adatok alapján nagy pontossággal megbecsülhetők. Ezzel szemben a **lágyszárú alapanyagok**, de egyes esetekben (magas a kéreg, levél- és ág rész arány esetén) a fás szárú alapanyagok összetétel is ellentétes képet mutat. Ezeknél az anyagoknál a **kémiai összetétel nem prognosztizálható úgy, mint kéregtelenített, levél és ág részekről mentes faalapanyag esetén**. Így módon a **felhasznált anyag eredete alapján a késztermék minősége sem jelezhető előre, ezen ismeretek hiányában az elkészült pellet csak utólagosan minősíthető**, akkor, amikor már receptúraváltással vagy egyéb módosítással nem befolyásolható a késztermék minősége.

5.2. Technológiai paraméterek

A gyártási ciklus az alapanyag feldolgozással kezdődik, melynek célja olyan fizikai paraméterekkel rendelkező anyag biztosítása, amely alkalmas magas minőségű pellet előállítására. A pelletálás során fő technológiai paraméternek az alapanyag frakcióméretének lecsökkentése, nedvességtartalmának beállítása, majd a megfelelő minőségű kondicionálása és préselése tekinthető.

Az őrlőaprítást követően a kívánt frakcióméretet a gyártandó pellet átmérője is befolyásolja. Standard 6 mm átmérőjű pellet esetén az ideális szemcseméret 0,5-1 mm, amit többek között a faj, a préselési sebesség és nyomás, valamint a nedvességtartalom is befolyásolja [107]. Az optimális kiindulási alapanyag nedvességtartalom technológiától és alapanyagtól függően 8-12% között változik, nedves bázison számítva. A kondicionálás során kötő- és egyéb segédanyagok adalékolása és homogenizálása történik. A kondicionálás során a kötőanyagok aktiválására víz adalékolására is sor kerül, ennek mennyisége az alapanyag sejtszerkezetétől és összetételétől függően általában 2 és 4% között mozog. A hozzáadott víz hőfokának növelésével ez a folyamat gyorsítható, minősége javítható. Az adalékok (hozzáadott víz nélkül értendő) aránya nem haladhatja meg a teljes anyagmennyiség 2%-át. A megfelelően aprított és kondicionált alapanyag hőmérséklet a préselés során fellépő súrlódás hatására tovább növekszik – ideális érték 100-150°C, az préselvény tömörödése során kialakulnak a mechanikai stabilitást meghatározó anyagkötések. Ezt követően a pellet a prést elhagyva lassan visszahűl, megszilárdul, eléri késztermék állapotát. Ha valamely folyamatlépés gyártás szempontjából nem optimális, a késztermék minősége, mechanikai- és fizikai tulajdonságai drasztikusan lecsökkenhetnek (3. táblázat).

Folyamatlépések	Tipikus hibák	Hibák hatásai a következő folyamatlépésre/késztermékre
Alapanyag kezelés		
Kéregtelenítés	Kéregtelenítés minősége nem megfelelő, az alapanyag kéregtartalma magasabb, mint a kívánatos.	Késztermék hamutartalma megnövekszik, hamuolvadáspontja csökken.
Aprítékolás	Aprítási fok nem megfelelő, frakcióméret túl nagy. Nem kívánatos idegenanyag tartalom.	Alapanyag további felhasználása a frakcióméret optimalizálásáig kérdéses. Plusz energiabefektetési igény, gazdasági veszteség. Berendezések sérülése, szikraképződés (tűzveszély).
Száritás	Beállított alapanyag nedvességtartalom nem gyártásspecifikus, túl alacsony. Beállított alapanyag nedvességtartalom nem gyártásspecifikus, túl magas.	Az alapanyag nedvességtartalmát a kondicionálása során optimalizálni kell, ellenkező esetben az alapanyag besülhet a pelletprésbe. Az alapanyag nedvességtartalmát optimalizálni kell, ellenkező esetben a késztermék mechanikai tulajdonságai lecsökkennek.
Termelési folyamat		
Őrlő aprítás	Aprítási fok nem megfelelő, frakcióméret túl nagy. Nem kívánatos idegenanyag tartalom.	Alapanyag további felhasználása a frakcióméret optimalizálásáig kérdéses. Plusz energiabefektetési igény, gazdasági veszteség. Berendezések sérülése, szikraképződés (tűzveszély).
Kondicionálás	Beállított adalékanyag tartalom túl alacsony. Keverési fázist követően az anyagmix nem homogén. Alacsony mennyiségű és/vagy hőfokú víz hozzáadása az alapanyagmixhez. Túl nagy mennyiségű víz hozzáadása az alapanyagmixhez.	A megfelelő anyagkötések nem alakulnak ki, alacsony mechanikai ellenállóképesség. Ingadozó késztermék minőség, fizikai és mechanikai paraméterek lecsökkenése. A természetes és mesterséges kötőanyagok nem aktiválódnak, fizikai és mechanikai paraméterek lecsökkenése. A késztermék mechanikai tulajdonságai csökkennek, a pellet szétesik préselés után.
Pelletálás	Pelletálási nyomásértékek túl alacsonyak. Pelletálási nyomásértékek túl magasak. Pelletkések beállítása nem megfelelő.	A késztermék sűrűsége, az alapanyag mix hőmérséklete nem éri el a kívánt szintet, a kötőanyagok nem aktiválódnak megfelelően, a termék mechanikai ellenállóképessége lecsökken. Alapanyagmix sűrűsége és hőmérséklete túl magas, a pellet besül a matricákba. A késztermék fizikai paraméterei (hosszúság) nem termékspecifikus.
Hűtés	Késztermék visszahűtése túl gyors ütemű.	A késztermék berepedezik, mechanikai ellenállóképessége lecsökken, finomhányada növekszik.
Késztermékkezelés		
Minősítés, csomagolás	Osztályozási és/vagy anyag továbbítási paraméterek beállítása nem termékspecifikus.	Mérethatáron kívüli pelleték elfogadása. Finomhányad növekedése.

3. táblázat: A technológiai folyamatlépések tipikus hibái és azok hatásai
(Saját szerkesztés)

A kötések kialakulás során három különböző kötéstípus különböztethető meg: kohéziós kötések, adhéziós kötések, és mechanikai kötések [108]. Ezek kialakulása kulcsfontosságú, hiszen a késztermék mechanikai ellenálló-képességének és fizikai tulajdonságainak fő tényezői a létrejövő anyagkötések. Kötési hibák eredhetnek gyártási hibából (pl. nem megfelelő alapanyag-előkészítés, túl nagy szemcseméret), illetve lehetnek kémiai eredetűek, amely a nem megfelelő anyagösszetételre vezethetők vissza [108]. Kötőanyagok hozzáadásával a pelletek fizikai tulajdonságai szignifikánsan javíthatók, növelhető a késztermék sűrűsége, és csökkenthető a hamutartalma. Hasonló hatás figyelhető meg faanyag hozzáadásával gyártott agripellet esetén is, a késztermék sűrűségnövekedése szignifikáns, függetlenül a keverési aránytól [109].

A pelletek sűrűsége és mechanikai ellenálló-képessége között erős kapcsolat van [110]. A tömörítési fázis során a hőmérséklet és a nedvességtartam a két meghatározó tényező [105]. Azoknál az alapanyagoknál, melyeknek nagy a hidrofób extrakt anyag tartalma (*ilyenek a szalmafélek is*), az adhéziós kötések kialakulási lehetőségei limitáltak, ezért ezekhez az anyagokhoz kötőanyagot (pl. növényi eredetű keményítő) kell hozzáadni [109].

5.3. Késztermék paraméterek

Az elkészült pelletek minősége különböző energetikai-, fizikai, mechanikai- és kémiai jellemzőkkel írható le. Ezeket a késztermék paraméterek, és az azokat meghatározó tényezők a 4. táblázatban kerülnek bemutatásra.

Az elmúlt időszakban a késztermék minősítési paraméterek köre bővült, valamelyest finomodott. Az 1990-es években, a minőségi pelletgyártás kezdeti időszakában a nemzeti szabványokhoz adtak iránymutatást. Jelenleg a nemzetközi standardok és egyéb szabályozóeszközök határozzák meg, hogy mely paraméterek ismeretével írható le a kész pelletek minősége.

Késztermék paraméter	Alapanyag paraméter	Technológiai paraméter
Nedvességtartalom [w%]	✓	✓
Fűtőérték [MJ/kg]	✓	
Illóanyag- és hamutartalom [w%]	✓	
Elemi összetétel [w%]	✓	
Hamuolvadáspont [°C]	✓	
Méret- és fizikai jellemzők [mm]	✓	✓
Szilárdsági jellemzők és finomhányad [w%]	✓	✓
Térfogatsűrűség [kg/m ³]		✓

4. táblázat: Késztermék paraméterek és az azokat befolyásoló tényezők
(Saját szerkesztés)

A késztermék paraméterek kategorizálhatók az alapján, hogy kialakulásuk alapanyag-, vagy technológiai paraméterhez köthetők. (Feltehetőleg egyik paraméter

sem lehet teljesen független a pellet termékciklus többi elemétől. Az egyes késztermék paraméterekhez kapcsolódóan azok a befolyásoló tényezők lettek felsorolva, amelyek döntően hatást gyakorolhatnak az adott termékjellemzőre.)

Egyes késztermék paraméterekre, mint például a nedvességtartalom és a mechanikai jellemzők, mind a két paraméter hatással van, ezek teljesülését az alapanyag jellemzők és a technológiai paraméterek együttesen határozzák meg. Vannak olyan paraméterek (*illóanyag- és hamutartalom; elemi összetétel; hamuolvadáspont*), amelyeket kizárólag az alapanyagok minősége definiál, és van olyan jellemző is (*térfogatsűrűség*), melyeket kizárólag a gyártási metódus milyensége befolyásol.

Fontos kiemelni, hogy mivel az alapanyag kémiai összetételében számottevő változás nem következik be a gyártási folyamat során, ezért azok a késztermék paraméterek, amelyek részben vagy egészben alapanyag függő paraméterek, már az alapanyag paraméterek ismeretében prognosztizálhatók. (A késztermék felhasználása során, az égési folyamatot milyenségét a tüzelőberendezés beállítása nagyban befolyásolja. Nem megfelelő beállítások esetén, még jó minőségű pellet eltüzelése során is lehet magas az emisszió [111].)

6. PELLET CIKLUS SZABÁLYOZÓ ESZKÖZEINEK KIÉRTÉKELÉSE

A szabványok fontos eleme az egységes minőséget biztosító termelésnek és kereskedelemnek. A különböző iparágak (autóipar, gépipar, stb.) a legjobb gyakorlataik szabványosításával biztosítják a magas minőségű termékek előállításának ismételhetségét, és a folyamatos minőségfejlesztést [112]. Szabványos egy termék, ha a vonatkozó szabvány valamennyi minőségi követelményét teljesíti. Ezzel kölcsönös megértetést teremt a különböző piaci szereplők között, ami hosszútávon hozzájárulhat a fogyasztói elégedettség növekedéséhez, és a termelési költségek csökkenéséhez [113].

A pelletpiac bővülése, a határokon átnyúló egyre fokozódó kereskedelmi kapcsolatok szükségessé tették a pellet tüzelőanyagok közös platformra helyezését. Ennek eszközei a pelletek esetében is a termékre, illetve a termékláncra kiterjedő nemzeti-, majd később nemzetközi szabványok lettek. A szabványosítás fő célja a pelletálási fogalmak, eljárások, valamint a termékminőségi kategóriák egyértelműen definiálása és egyesítése volt, növelve ezzel a termékek kompatibilitását, a felhasználás biztonságát és a kapcsolódó szervizek minőségét.

Mind a fa-, mind az agripelletek esetében kiemelkedő fontossággal bíró kérdés a minőség. A kompatibilitási és minőségbiztosítási kérdések hatványozottabban jelentkeznek a lakossági felhasználók esetén, hiszen a pelletek eltüzelésére használt kis teljesítményű pellet kazánok, általában alacsony minőségingadozást engednek meg a pelletek tüzeléstechnikai paramétereinek tekintetében. Nem megfelelő tüzelőanyag használata esetén a kazán teljesítménye romolhat, növekszik a károsanyag kibocsátás, és drasztikus esetben a berendezés is károsodhat.

A pelletszektor fiatal ágazat ugyan, de a pelletek gyártásának és felhasználásának fokozatos növekedése különösen fontossá tette a minőségi előírások lefektetését, tanúsítási rendszerek kidolgozását. Tovább fokozta ezt az igényt a fapelletek mellett megjelenő, egyre fokozódó jelentőséggel bíró agripelletek megjelenése.

Legnagyobb felhasználóként az európai régióban alkották meg az első nemzeti szabványokat a 90-es évek végén. Németország és Ausztria az élen járva, elsőként dolgozta ki nemzeti szabványait. Ezek, csakúgy, mint a többi nemzeti szabvány, nagyban hozzájárultak az európai szabályozási rendszer dinamikus fejlődéséhez. Ugyanakkor az is láthatóvá vált, hogy a nemzeti szabályozási rendszerek önmagukban nem elegendőek, európai, illetve nemzetközi szintre emelve, egységesíteni kellett a standardokat.

A következőkben ezeknek a szabályozó eszközöknek a fejlődése kerül bemutatásra, értékelve az egyes elemek hatékonyságát, és a teljes pellet termékciklusra vonatkozó lefedettségét.

6.1. Nemzeti szabványok

A későbbi nemzetközi szabványok alapját a nemzeti szabványok fektették le. Legnagyobb hatással az elsőként kidolgozott osztrák (ÖNORM M7135), a legelterjedtebb német (DIN 51731), az agripelletekre elsőként kiterjedő francia (NF granulés

biocombustibles), valamint az olasz szabvány (CTI-R04/5), és a kapcsolódó jelölési rendszerek voltak. Ezeken túl több nemzet dolgozott ki saját szabvány- és/vagy jelölési rendszert (pl. Svédország - SS 187120 szabvány, Norvégia - NS 3165 szabvány, Svájc - Swisspellet jelölési rendszer), de ezek hatása jóval kisebb mértékű volt, elterjedésük lokálisan sem igazán valósult meg.

6.1.1. ÖNORM M7135 (Ausztria)

A pellet gyártás szabványosítása és a pelletek minősítése 1990-ben, Ausztriában kezdődött az ÖNORM M7135 (Pelletek és brikettek préselése kezeletlen fa és kéreganyagból - követelmények és vizsgálati előírások) szabvánnyal. A szabvány az elkészült faalapú pelletek minősítésére a 5. táblázatban foglaltak szerint határozta meg a minimálisan teljesítendő fizikai, mechanikai és kémiai jellemzőket. Az osztrák szabvány a késztermék nehézfém tartalmát egyáltalán nem szabályozta.

Paraméterek		Határérték	
Fizikai jellemzők	Átmérő	(mm)	4-10
	Hossz	(mm)	<5D
	Sűrűség	(kg/dm ³)	<1,12
Mechanikai jellemző	Mechanikai szilárdság	(%)	<2,3
Kémiai jellemzők	Nedvességtartalom	(%)	<10
	Hamutartalom	(%)	<0,5
	Fűtőérték	(MJ/kg)	>18,0
	Nitrogén (N)	(%)	<0,3
	Kén (S)	(%)	<0,04
	Klór (Cl)	(%)	<0,02
	Adalékanyagok	(%)	<2

5. táblázat: ÖNORM M7135:1990 szabvány fapelletekre vonatkozó minőségkövetelményei

Az ÖNORM M7135 jelentőségét mutatja, hogy Európa számos országban nagy népszerűségnek örvendett. 2009 októberében Ausztrián kívül összesen 19 pellet gyártó volt a szabvány alapján tanúsítva Csehországból, Romániából, Ukrajnából, Olaszországból, Svájcban, és Németországból [114]. (Ebből a 19 tanúsított gyártóból 11 a német DIN plus szerinti tanúsítással is rendelkezett.) Később az ÖNORM M7135 más nemzeti szabványok, illetve az európai és a nemzetközi szabvány alapját is képezte.

6.1.2. DIN 51731 (Németország)

Németországban a DIN 51731:1996 (Szilárd tüzelőanyagok vizsgálata - Sűrített kezeletlen fa - Követelmények és vizsgálatok) szabvány foglalkozott először a fapelletek minőség szabályozásával. A szabvány alapját a DIN 51731:1993, fabrikettek kidolgozott standard adta. Ez egyértelműen érződött az 1996-ban kiadott szabványon, hiszen az új szabvány használhatósága a lakossági felhasználású fa pelletekre ugyan kiterjedt, de elsősorban továbbra is brikettek minősítésére volt használható.

A pelletekre vonatkozóan további használhatósági kérdéseket vetett fel a termékparamétereken belül megengedett magas hamutartalom (1,5%), valamint az is, hogy nem szabályozta a hozzáadott kötő- és segédanyagok mennyiségét (6. táblázat). A szabvány negatív jellemzője volt továbbá, hogy a szabvány szerint tanúsítás csak az aszerint történő termelést igazolta, de külső kontrollt nem tartalmazott. Vagyis azt tanúsította, hogy a termék DIN 51731:1996 követelményeinek megfelelően készült, de azt már nem, hogy az elkészült termék paraméterei megfelelnek-e a lefektetett követelményeknek. Ugyanakkor a szabvány újszerűsége és erőssége volt, hogy már kitért a késztermék nehézfém tartalmára is.

Paraméterek			Határérték
Fizikai jellemzők	Átmérő	(mm)	4-10
	Hossz	(mm)	<50
	Sűrűség	(kg/dm ³)	<1,2
Kémiai jellemzők	Nedvességtartalom	(%)	<12
	Hamutartalom	(%)	<1,5
	Fűtőérték	(MJ/kg)	15,6-19,6
	Nitrogén (N)	(%)	<0,3
	Kén (S)	(%)	<0,08
	Klór (Cl)	(%)	<0,03
	Arzén (As)	(mg/kg)	<0,8
	Kadmium (Cd)	(mg/kg)	<0,5
	Króm (Cr)	(mg/kg)	<8
	Réz (Cu)	(mg/kg)	<5
	Higany (Hg)	(mg/kg)	<0,05
	Ólom (Pb)	(mg/kg)	<10
	Cink (Zn)	(mg/kg)	<100

6. táblázat: DIN 51731:1996 szabvány fapelletekre vonatkozó minőségkövetelményei

A későbbi szabványfejlődések, majd az európai pellet szabvánnyal történő harmonizáció során ezek a hiányosságok már megoldódtak. Ilyen fejlődési lépcsőfok volt 2002-ben, a TÜV Rheinland csoport által kidolgoz német szabvány általi tanúsítás DINplus minőségjellel való kiegészítés is. Ez egyértelmű továbblépést jelentett a DIN 51731:1996-hoz képest, hiszen a minőséjles tanúsítás magába foglalta a belső minőségmenedzsment létesítésének szükségét, és az éves, bejelentés nélküli külső ellenőrzést is. Azon pellet gyártók, akik a DIN plus szerint voltak tanúsítva, és az előállított pelletek paraméterei alapján megfeleltek a DIN plus minőségi követelményeinek, termékeiket a szabványosított minőségtanúsító jelöléssel láthatták el. Ezek együttesen hozzájárultak ahhoz, hogy a kétezres évek végére a német szabvány a leginkább elterjedt fapellet szabvány lett világszinten. 2009 októberére 102 DINplus alapján tanúsított pellet gyártó termelt a világon (ebből 61 Németországban), összesen mintegy 4 millió tonna termelési volument elérve évente.

6.1.3. NF granulés biocombustibles (Franciaország)

A 2008-ban bevezetett francia szabvány- és minőségjelölési rendszer előkészítését a nemzeti megújuló energiahatóság, a francia pellet szövetség, és a faipari szövetség több éves munkája előzte meg. A rendszer magában foglalja a belső minőségmenedzsment létesítésének szükségét, és az éves, bejelentés nélküli külső ellenőrzést is.

A francia nemzeti szabvány megalkotását, az országon belül jelentkező, pelletekhez kapcsolódó minőségügyi problémák tették indokolttá. A német DINplus szabványt ugyan használta már néhány gyártó ebben az időszakban Franciaországban, de a DINplus jelölési rendszer kevésbé volt ismert, ezért a DINplus jelölésű termékek elfogadási gyakorlata is alacsony szintű volt. Ezt a jelenséget az NF (Norme Francaise) által kidolgozott jelölési rendszer pelletekre történő kiterjesztésével próbálták meg orvosolni. Maga az NF termékjelölési rendszer ismert, értékteremtő forma volt már ekkor is Franciaországban, a pelletekre vonatkozó jelölési rendszer megalkotásával a korábbi pozitívumokat szerették volna átültetni a biotüzelőanyagokra.

Paraméterek			Fapellet prémium	Fapellet standard	Fapellet ipari	Agripellet prémium	Agripellet ipari
Fizikai jellemzők	Átmérő	(mm)	6±1	6-9±1	6-16	6-8±1	6-16±1
	Hossz	(mm)	3,15-5D	3,15-5D	3,15-5D	3,15-5D	3,15-5D
	Térfogatsűrűség	(kg/m ³)	≥650	≥650	≥650	≥650	≥650
Mechanikai jellemző	Mechanikai szilárdság	(%)	≥97,5	≥95	≥95	≥95	≥92
	Finomhányad (<3,15mm)	(%)	≤1	≤2	≤3	≤2	≤3
Kémiai jellemzők	Nedvességtartalom	(%)	≤10	≤10	≤15	≤11	≤15
	Hamutartalom	(%)	≤0,7	≤1,5	≤3	≤5	≤7
	Fűtőérték	(MJ/kg)	≥16,5	≥16,5	≥15,4	≥15,8	≥14,9
	Nitrogén (N)	(%)	≤0,3	≤0,3	≤0,5	≤1,5	≤2
	Kén (S)	(%)	≤0,05	≤0,08	≤0,08	≤0,2	≤0,2
	Klór (Cl)	(%)	≤0,03	≤0,05	≤0,05	≤0,2	≤0,3

7. táblázat: NF granulés biocombustibles szabvány pelletekre vonatkozó minőségkategóriái és követelményei

A szabvány három minőségi kategóriába sorolta a faalapú pelleteket, valamint két további kategóriába agripelleteket (7. táblázat), ezzel megelőzve az ez idő tájt formálódó európai egységes szabványsorozatot (EN 14961:2010). A kétezres évek végén ezzel egyedüli szabályozó eszköz volt, amely kiterjedt a nem faalapú pelletek minősítésére is.

6.1.4. CTI R04/5 (Olaszország)

Az olasz CTI R04/5 (Szilárd bioüzemanyagok. A pelletek energetikai célú jellemzése) szabvány 2004-ben jelent meg. Célja a nemzeten belül előállított pelletek minőségének és vásárlói bizalmának növelése volt. A szabvány három minőségkategóriát határozott

meg, melynek határértékei az ekkor tervezet státuszban már publikált CEN/TS 14961 standarddal, a kiadott DIN 51731, és az ÖNORM M7135 szabványokkal összhangban került kidolgozásra (8. táblázat).

Paraméterek			A1	A2	A3
Fizikai jellemzők	Átmérő	(mm)	6-8	6-8	10-25
	Hossz	(mm)	-	<5D	-
	Térfogatsűrűség	(kg/m ³)	620-720	600-700	≥550
Mechanikai jellemző	Finomhányad (<3,15mm)	(%)	≤1	≤1	-
Kémiai jellemzők	Nedvességtartalom	(%)	≤10	≤10	≤15
	Hamutartalom	(%)	≤0,7	≤1,5	-
	Fűtőérték	(MJ/kg)	≥16,9	≥16,2	-
	Nitrogén (N)	(%)	≤0,3	≤0,3	-
	Kén (S)	(%)	≤0,05	≤0,08	-
	Klór (Cl)	(%)	≤0,03	≤0,05	-
	Adalékanyagok	(%)	Meg kell adni	-	-

8. táblázat: CTI R04/5 szabvány pelletekre vonatkozó minőségkategóriai és követelményei

A CTI R04/5 szabványhoz kapcsolódva az olasz minőségjelölési rendszer a „Pellet Gold” 2006-ban jelent meg. A DIN plus szabványhoz hasonlóan azok a pellet gyártók, akik tanúsítva voltak és az előállított pelletek paraméterei alapján megfeleltek a Pellet Gold minőségi követelményeinek, termékeiket a szabványosított minőségtanúsító jelöléssel láthatták el.

6.2. Európai- és nemzetközi szabványok

Európai Szabványügyi Bizottság (CEN) TC335 műszaki bizottsága, 2003 és 2006 között 27 olyan technikai specifikációt (szabványtervezetet) adott ki, melyek a szilárd biotüzelőanyagok különböző formáira, köztük a pelletekre terjedt ki. Ezeket a specifikációkat, valamint a nemzeti szabványokat alapul véve, azokat tovább fejlesztve készült el a két egységes európai szabványsorozat,

- az EN 14961:2010, amely a szilárd biotüzelőanyagokra kidolgozott előírásokat és osztályozásokat tartalmazza;
- és az EN 15234:2011, amely a szilárd biotüzelőanyagokra kidolgozott minőségbiztosítási előírásokat tartalmazza.

Mindkét szabvány többrészes szabványként jelent meg és mind a két szabvány tartalmazott előírásokat a nem faalapú pelletekre vonatkozólag is. Az új európai szabványok megjelenésével a korábban ismertett nemzeti szabványok visszavonásra kerültek, helyükbe a honosított és harmonizált európai szabványok léptek.

Az európai szabványok legfőbb hiányossága, hogy csak a nem ipari felhasználású pelletekre korlátozódnak. A nemzetközi ISO 17225:2014 szabványsorozat megjelenésével - amely az EN 14961:2010 standardot váltotta, ez a hiányosság az

előírások és az osztályozási kategóriák tekintetében megoldódott. A következőkben ezek a szabályozó eszközök kerülnek részletes bemutatásra és kiértékelésre.

6.2.1. EN 14961 (Tüzelőanyag-előírások és -osztályok)

Az 2010 márciusában publikált EN 14961 (Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok.) szabványsorozat 6 elemből épül fel (9. táblázat), melynek 1., 2. és 6. szabványrésze foglalkozik a pellet tüzelőanyagok szabályozásával, de a szabványok csak a nem ipari felhasználású pelletekre korlátozódnak. Az új szabvány megjelenésével a nemzeti szabványok jellemzően visszavonásra kerültek, helyükre a honosított és harmonizált EN 14961:2010 szabványsorozat megfelelő eleme lépett.

A szabványsorozat első eleme, az EN 14961-1 szabvány általános információkat és követelményeket fogalmaz meg a szilárd biotüzelőanyagokra, köztük a nem ipari felhasználású pelletekre is.

EN 14961-1	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok.</i> 1. rész: Általános követelmények
EN 14961-2	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok.</i> 2. rész: Fapellet nem ipari felhasználásra
EN 14961-3	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok.</i> 3. rész: Fabrikett nem ipari felhasználásra
EN 14961-4	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok.</i> 4. rész: Faforgács nem ipari felhasználásra
EN 14961-5	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok.</i> 5. rész: Tűzifa nem ipari használatra
EN 14961-6	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok.</i> 6. rész: Nem fából készült pellet nem ipari használatra

9. táblázat: EN 14961:2010 szabványsorozat elemei

A pelletek különböző alapanyagokból készülhetnek, a szabvány tartalmazza az eltérő eredetű és származású alapanyagokból készülő pellet osztályozását (2. számú melléklet), melyek alapján a pelletek készülhetnek:

- faalapú biomasszából,
- szántóföldi/lágy szárú eredetű biomasszából,
- kertészeti eredetű biomasszából,
- ezek szándékos vagy véletlen keverékéből.

A szabványsorozat 2. és 6. elme fizikai-, mechanikai- és kémiai paraméterek mért értékei alapján kategorizálja a fa- és agripelleteket (*hossz és átmérő méretek; nedvességtartam; hamutartalom; mechanikai ellenálló képesség; portartalom; adalékanyag tartalom; térfogatsűrűség; fűtőérték; kémiai összetétel; hamuolvadási pont*). Egyes paraméterek viszont csak informáló jellegűek a szabványban, vagyis csupán az adott paraméter mérésére ír elő kötelezettséget a szabvány. Vannak olyan paraméterek is, melyek mérését a felhasznált alapanyag típusától teszi függővé a szabvány.

A nemzeti szabványok követelményein túlmutatva, új vizsgálati paraméterként jelent meg a késztermékek hamuolvadáspontjának megállapítási kötelezettsége a pelletekre vonatkozó szabványrészekben. Erre a paraméterre ugyanakkor csak tájékoztatási kötelezettség lett előírva a szabványban, tehát határértéket nem fogalmaz meg a standard ezzel kapcsolatban. Az agripelletek esetében a nehézfémtartalomra van hasonlóan informatív jellegű előírás az EN 14961-6:2010 szabványban, abban az esetben, ha az alapanyagmix nem tartalmaz kémiaailag kezelt összetevőt.

Paraméterek			Fapelletek			Agripelletek				
			A1	A2	B	A	B	Szalma pellet	Japánfű pellet	Pántlikafű pellet
Eredet és forrás ¹			1.1.3. Szálfa 1.2.1. Kémiailag kezeletlen faipari maradékok	1.1.1. Egész fa, gyökér nélkül 1.1.3. Szálfa 1.1.4. Fakitermelési maradékok 1.2.1. Kémiailag kezeletlen faipari maradékok	1.1. Erdőről, ültetvényről származó és más eredetű nyersfa 1.2. Melléktermékek és az ipari feldolgozás maradékai 1.3. Újrahasznosított faanyag	2. Lágyszárú növények 3. Gyümölcsök 4. Elegyek és keverékek	2. Lágyszárú növények 3. Gyümölcsök 4. Elegyek és keverékek	2.1.1.2. Szalma	2.1.2.1. Fűfélék egész növény	2.1.2.1. Fűfélék egész növény
Fizikai jellemzők	Átmérő	(mm)	6-8 ±1	6-8 ±1	6-8 ±1	6-25 ±1	6-25 ±1	6-25 ±1	6-25 ±1	6-25 ±1
	Hossz	(mm)	3,15-40	3,15-40	3,15-40	3,15-50	3,15-50	3,15-50	3,15-50	3,15-50
	Térfogatsűrűség	(kg/m ³)	≥600	≥600	≥600	≥600	≥600	≥600	≥580	≥550
Mechanikai jellemzők	Mechanikai szilárdság	(tömeg%) ²	≥97,5	≥97,5	≥96,5	≥97,5	≥96,0	≥97,5	≥97,5	≥96,5
	Finomhányad (<3,15mm)	(tömeg%) ²	≤1	≤1	≤1	≤2	≤3	≤1	≤1	≤1
Kémiai jellemzők	Nedvességtartalom	(tömeg%) ²	≤10	≤10	≤10	≤12	≤12	≤10	≤10	≤12
	Hamutartalom	(tömeg%) ³	≤0,7	≤1,5	≤3,0	≤5	≤10	≤6	≤4	≤8
	Fűtőérték ⁴	(MJ/kg)	16,5-19,0	16,3-19,0	16,0-19,0	≥14,1	≥13,2	≥5	≥5	≥14,5
	Adalékanyagok ⁵	(tömeg%) ³	≤2	≤2	≤2	-	-	-	-	-
	Nitrogén (N)	(tömeg%) ³	≤0,3	≤0,5	≤1,0	≤1,5	≤2,0	≤0,7	≤0,5	≤2,0
	Kén (S)	(tömeg%) ³	≤0,03	≤0,03	≤0,04	≤0,20	≤0,20	≤0,10	≤0,05	≤0,20
	Klór (Cl)	(tömeg%) ³	≤0,02	≤0,02	≤0,03	≤0,30	≤0,30	≤0,10	≤0,08	≤0,10
	Arzén (As) ⁶	(mg/kg) ³	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
	Kadmium (Cd) ⁶	(mg/kg) ³	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5
	Króm (Cr) ⁶	(mg/kg) ³	≤10	≤10	≤10	≤50	≤50	≤50	≤50	≤50
	Réz (Cu) ⁶	(mg/kg) ³	≤10	≤10	≤10	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20
	Higany (Hg) ⁶	(mg/kg) ³	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1
	Nikkel (Ni) ⁶	(mg/kg) ³	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10
	Ólom (Pb) ⁶	(mg/kg) ³	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10
	Cink (Zn) ⁶	(mg/kg) ³	≤100	≤100	≤100	≤100	≤100	≤100	≤100	≤100
	Hamuolvadáspont ⁷	(°C)	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ ISO 14961-1:2010 Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok. 1. rész: Általános követelmények alapján.

² Nedves bázison mérve.

³ Száraz bázison mérve.

⁴ Ahol a szabvány nem ír elő határértéket, ott a legkisebb értéket kell meghatározni, tájékoztatói kötelezettség van.

⁵ A használt adalékanyagok típusát és mennyiségét minden esetben fajtánként lebontva is meg kell adni, azoknál a minőségkategóriáknál is, ahol a szabvány nem ír elő határértéket.

⁶ Agripelletek esetén csak kémiailag kezelt alapanyagok használata esetén érvényes határértékeket tüntet fel a szabvány. Kémiailag nem kezelt anyagok esetén a paraméter meghatározása nem kötelező.

⁷ Tájékoztatói kötelezettség van, határértéket nem ír elő a szabvány.

10. táblázat: EN 14961:2010 szabványsorozat pelletekre vonatkozó minőségkategóriái és követelményei

A fapelletek minősítésére három általános minősítési kategóriát állít az európai szabványsorozat (A1, A2, B), az agirpelletekre pedig kettő általános és három alapanyag specifikus kategóriát (A, B, Szalma pellet, Japánfű pellet, Pántlikafű pellet). Azt, hogy mely termék, mely kategóriába kerül besorolásra az alapanyagok eredete és származása, továbbá a szabályozott jellemzők határozzák meg (10. táblázat).

Azok a pelleték, amelyek egyik ismertített minőségkategória kritériumainak sem feleltek meg, kategórián kívüli besorolást kaptak. Ezeket a pelleteket a vizsgált paraméterek mért értékeinek feltüntetésével ellátott jelöléssel látták el.

A szabványsorozat hiányossága többek között, hogy alapanyag-összetételre, alapanyag-minőségre vonatkozó paraméterek szabályozását nem tartalmazza; csak a nem ipari felhasználású pelletekre tér ki; a minőségtanúsításra alkalmazható paraméter-leírás bonyolult, a lakossági felhasználók számára nehezen átlátható, nem ad egyértelmű információt. **Összességében leginkább minőségellenőrzést támogató eszközként definiálható az EN 14961:2010 szabványsorozat, amely ilyen formán a teljes pellet ciklust nem, annak csak egy szűk részét képes lefedni.**

A szabvány 2014 májusában, az ISO 17725 szabványsorozat megjelenésével egyidejűleg visszavonásra került.

6.2.2. EN 15234 (A tüzelőanyag minőségbiztosítása)

Az EN 15234 (Szilárd bio-tüzelőanyagok. A tüzelőanyag minőségbiztosítása.) szabványsorozat 2012-ben jelent meg. Összhangban az EN 14961:2010 szabványsorozattal, ez is 6 szabványrészből épül fel (11. táblázat). A szabványsorozat 1., 2., és 6. része foglalkozik a pellet tüzelőanyagok minőségbiztosításával, de a szabványelemek – csak úgy, mint az EN 14961:2010 szabványsorozat elemei - csak a nem ipari felhasználásra korlátozódnak.

EN 15234-1	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. A tüzelőanyag minőségbiztosítása. 1. rész: Általános követelmények</i>
EN 15234-2	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. A tüzelőanyag minőségbiztosítása. 2. rész: Fapelletek nem ipari felhasználásra</i>
EN 15234-3	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. A tüzelőanyag minőségbiztosítása. 3. rész: Fabrikettek nem ipari felhasználásra</i>
EN 15234-4	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. A tüzelőanyag minőségbiztosítása. 4. rész: Faforgácsok nem ipari felhasználásra</i>
EN 15234-5	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. A tüzelőanyag minőségbiztosítása. 5. rész: Tűzifa nem ipari használatra</i>
EN 15234-6	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. A tüzelőanyag minőségbiztosítása. 6. rész: Nem fából készült pelleték nem ipari használatra</i>

11. táblázat: EN 15234:2012 szabványsorozat elemei

A szabvány célja, hogy biztosítsa a biotüzelőanyagok minőségét az egész ellátási lánc során. A szabvány hangsúlyosan négy részterületre osztja a minőségbiztosítás eszközeit:

- **alapanyag nyomon követése**, amely csupán az EN 14961-1:2010 alapján történő alapanyag eredet és forrás megjelölésére ír elő kötelezettséget;
- **termelési követelmények felállítása**, ami magába foglalja a termelési folyamat modelljének, a folyamatfelelősöknek és a menedzsment felelősségének, a termelés kritikus pontjainak, és a nem megfelelő termék kezelésének meghatározását;
- **késztermékkezelés, raktározás és szállítás** lehetséges módjainak meghatározását, úgy a folyamat során a késztermék ne veszítsen minőségéből;
- **késztermék minősítését**, a biotüzelőanyag terméknyilatkozattal, címkézéssel történő ellátását.

A szabvány használata hozzájárul, hogy a pellet gyártók és kereskedők folyamatosan meghatározott minőségű pelletekkel lássák el a felhasználókat, valamint lehetőséget ad a felhasználóknak, az igényeiknek megfelelő tűzipellet kiválasztásához a termékpalettáról. Ugyanakkor az EN 15234:2012 szabványsorozat magán hordozza az EN 14961:2010 szabványsorozat gyengeségeit is, alapanyag-összetételre, alapanyag-minőségre vonatkozó paraméterek szabályozását nem tartalmazza; csak a nem ipari felhasználású pelletekre tér ki, nem fedi le a teljes pellet termékciklust, csupán annak egyes részeit.

6.2.3. ISO 17225 (Tüzelőanyag-előírások és -osztályok)

A Nemzetközi Szabványügyi Szervezet ([International Organization for Standardization](http://www.iso.org)) által 2014 májusában publikált, jelenleg is hatályos ISO 17225 szabványsorozat megjelenésével egy időben váltotta a korábbi EN 14961:2010 standardcsomagot.

ISO 17225-1	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok. 1. rész: Általános követelmények</i>
ISO 17225-2	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok. 2. rész: Fapelletek osztályozása</i>
ISO 17225-3	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok. 3. rész: Fabrikettek osztályozása</i>
ISO 17225-4	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok. 4. rész: Faforgácsok osztályozása</i>
ISO 17225-5	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok. 5. rész: A tűzifa osztályozása</i>
ISO 17225-6	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok. 6. rész: Nem fából készült pelletek osztályozása</i>
ISO 17225-7	<i>Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok. 7. rész: Nem fából készült brikettek osztályozása</i>

12. táblázat: ISO 17225:2014 szabványsorozat elemei

Az új nemzetközi szabványsorozat a korábbi európai szabványsorozat mintáját követi, mind tartalmilag, mind formailag.

Paraméterek			Fapelletek						Agripelletek				
			A1	A2	B	I1	I2	I3	A	B	Szalma pellet	Japánfű pellet	Pántlikafű pellet
Eredet és forrás ¹			1.1.3. Szálfa 1.2.1. Kémiaiilag kezeletlen faipari maradékok	1.1.1. Egész fa, gyökér nélkül 1.1.3. Szálfa 1.1.4. Fakitermelési maradékok 1.2.1. Kémiaiilag kezeletlen faipari maradékok	1.1. Erdőről, ültetvényről származó és más eredetű nyersfa 1.2. Melléktermékek és az ipari feldolgozás maradékai 1.3.1. Kémiaiilag kezeletlen újrahasznosított faanyag	1.1. Erdőről, ültetvényről származó és más eredetű nyersfa 1.2.1. Kémiaiilag kezeletlen faipari maradékok	1.1. Erdőről, ültetvényről származó és más eredetű nyersfa 1.2.1. Kémiaiilag kezeletlen faipari maradékok	1.1. Erdőről, ültetvényről származó és más eredetű nyersfa 1.2. Melléktermékek és az ipari feldolgozás maradékai 1.3.1. Kémiaiilag kezeletlen újrahasznosított faanyag	2. Lágyszárú növények 3. Gyümölcsök 4. Vízibiomassza 4. Elegyek és keverékek	2. Lágyszárú növények 3. Gyümölcsök 4. Vízibiomassza 4. Elegyek és keverékek	2.1.1.2. Szalma	2.1.2.1. Fűfélék egész növény	2.1.2.1. Fűfélék egész növény
	Fizikai jellemzők	Átmérő (mm) Hossz (mm) Térfogatsűrűség (kg/m ³)	6-8 ±1 3,15-40 ≥600	6-8 ±1 3,15-40 ≥600	6-8 ±1 3,15-40 ≥600	6-8 ±1 3,15-40 ≥600	6-10 ±1 3,15-40 ≥600	6-12 ±1 3,15-40 ≥600	6-25 ±1 3,15-50 ≥600	6-25 ±1 3,15-50 ≥600	6-25 ±1 3,15-50 ≥600	6-25 ±1 3,15-50 ≥580	6-25 ±1 3,15-50 ≥550
Mechanikai jellemzők	Mechanikai szilárdság	(tömeg%) ²	≥97,5	≥97,5	≥96,5	≥97,5	≥97,0	≥96,5	≥97,5	≥96,0	≥97,5	≥97,5	≥96,5
	Finomhányad (<3,15mm)	(tömeg%) ²	≤1	≤1	≤1	≤4	≤5	≤6	≤2	≤3	≤1	≤1	≤1
Kémiai jellemzők	Nedvességtartalom	(tömeg%) ²	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	≤12	≤15	≤10	≤10	≤12
	Hamutartalom	(tömeg%) ³	≤0,7	≤1,2	≤2,0	≤1,0	≤1,5	≤3,0	≤6	≤10	≤6	≤4	≤8
	Fűtőérték ⁴	(MJ/kg)	≥16,5	≥16,5	≥16,5	≥16,5	≥16,5	≥16,5	≥14,5	≥14,5	≥14,5	≥14,5	≥14,5
	Adalékanyagok ⁵	(tömeg%) ³	≤2	≤2	≤2	≤3	≤3	≤5	≤5	≤5	-	-	-
	Nitrogén (N)	(tömeg%) ³	≤0,3	≤0,5	≤1,0	≤0,3	≤0,3	≤0,6	≤1,5	≤2,0	≤0,7	≤0,5	≤2,0
	Kén (S)	(tömeg%) ³	≤0,04	≤0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,20	≤0,30	≤0,10	≤0,05	≤0,20
	Klór (Cl)	(tömeg%) ³	≤0,02	≤0,02	≤0,03	≤0,03	≤0,05	≤0,10	≤0,10	≤0,30	≤0,10	≤0,08	≤0,10
	Arzén (As)	(mg/kg) ³	≤1	≤1	≤1	≤2	≤2	≤2	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
	Kadmium (Cd)	(mg/kg) ³	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤1	≤1	≤1	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5
	Króm (Cr)	(mg/kg) ³	≤10	≤10	≤10	≤15	≤15	≤15	≤50	≤50	≤50	≤50	≤50
	Réz (Cu)	(mg/kg) ³	≤10	≤10	≤10	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20
	Higany (Hg)	(mg/kg) ³	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1
	Nikkel (Ni)	(mg/kg) ³	≤10	≤10	≤10	-	-	-	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10
	Ólom (Pb)	(mg/kg) ³	≤10	≤10	≤10	≤20	≤20	≤20	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10
	Cink (Zn)	(mg/kg) ³	≤100	≤100	≤100	≤200	≤200	≤200	≤100	≤100	≤100	≤100	≤100
	Hamuolvadáspont ⁶	(°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ ISO 17225-1:2014 Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok. 1. rész: Általános követelmények alapján

² Nedves bázison mérve

³ Száraz bázison mérve

⁴ Ahol a szabvány nem ír elő határértéket, ott csak tájékoztatói kötelezettség van

⁵ A használt adalékanyagok típusát és mennyiségét minden esetben fajtánként lebontva is meg kell adni

⁶ Tájékoztatói kötelezettség van, határértéket nem ír elő a szabvány

13. táblázat: ISO 17225:2014 szabványsorozat pelletekre vonatkozó minőségkategóriái és követelményei

Ugyanakkor az ISO szabványsorozat meghaladja az európai szabványt, mert már nem csak a lakossági, nem ipari felhasználásra gyártott pelleteteket, hanem az ipari felhasználásra gyártott pellet szabályozására is ad iránymutatást. A szabványsorozat 7 szabványelemet foglal magába (12. táblázat). Az ISO szabvány 7. szabványelem új az EN 14961:2010 szabványsorozathoz képest, ez a nem fából készült briketteket tárgyalja.

Az új nemzetközi szabvány azon túl, hogy a pelletpiac valamennyi termékkategóriáját lefedi (ipari és nem ipari felhasználású faalapú és nem faalapú pellet), bővíti a felhasználható anyagok körét, a faalapú, lágy szárú, kertészeti eredetű biomasszákon túl, a vízi eredetű biomasszákat és ezek keverékeinek felhasználását is szabályozza (2. számú melléklet).

A késztermék vizsgálati paraméterekben nem hozott érdemleges változást az ISO 17225:2014, így továbbra is az 6.2.1 EN 14961 (Tüzelőanyag-előírások és –osztályok) c. fejezetben bemutatott paraméterek vizsgálatát írja elő a szabvány. Egyértelmű hiányosság, hogy a tüzeléstechnikai tulajdonságokat nagyban meghatározó hamuolvadáspontra továbbra is csak vizsgálati és feljegyzési kötelezettséget fogalmaz meg a szabvány, határértékeket nem határoz meg.

A lakossági felhasználású fapelletek minőségi osztályai azonosak az ISO 17225:2014, és az EN 14961:2010 szerint (A1, A2 és B). A legmagasabb minőségi osztály az A1. Itt a legmagasabbak a vizsgálati paraméterekre előírt határértékek. A legalacsonyabbak minőségi követelményeket a B kategóriába sorolt pelleteknek kell teljesítenie.

Az ipari felhasználású fapelletek esetében is három minőségkategóriát határoz meg a nemzetközi pellet szabvány, ezek az I1, I2, I3 jelölést kapták. A legmagasabb követelményeket az I1, a legalacsonyabbakat pedig az I3 kategória támasztja, az ipari felhasználású pelletekkel szemben. A két kategória (*lakossági és ipari felhasználású pellet*) azonos szintű osztályaira (A1-I1, A2-I2, B-I3) közel azonos paraméter határértékeket ír elő a szabvány. Fő eltérés a megengedett hamutartalomban figyelhető meg, az ipari felhasználású fapelleteknél enyhébb határértékeket állít a szabvány.

Az agripelletek esetében sem történt jelentős változás. A nemzetközi szabványba az EN 14961:2010 szabványsorozathoz hasonlóan két általános és három termékspecifikus minőségkategóriát jelöl meg a vonatkozó szabványrész. Az agripelleteket továbbra sem bontja ketté a szabvány, a minőségkategóriákon belül nem különül el ipari és nem ipari felhasználásra javasolt pellet kategória.

A minőségjelölési rendszerrel kapcsolatban sem tartalmaz eltérést az új szabványsorozat az EN 14961:2010 standardcsomaghoz képest. Az ISO 17225:2014 szerint továbbra is a terméken feltüntetett paraméter-leírás alkalmazandó a minőségtanúsításra, amely a lakossági felhasználók számára nehezen átlátható, nem ad egyértelmű információt. **Az új szabványsorozat megőrizte azt a hiányosságot is, hogy sem az alapanyag-összetételre, sem az alapanyag-minőségre vonatkozó paraméterek szabályozását nem tartalmazza.** (Ennek a hiányosságnak súlyát az 5. Pellet termékciklus jellemzőinek meghatározása c. fejezet támasztja alá.)

Az ISO 17225:2014 – csakúgy mint elődje, leginkább minőségellenőrzést támogató eszközként értelmezhető, amely ilyen formán továbbra sem képes a teljes pellet ciklust lefedni és szabályozni, csupán annak szűk szegmensét.

6.3. Egyéb szabályozó eszközök

A nemzeti-, európai- és nemzetközi szabványügyi szervezetek standardjain kívül több szabályozó- és minőségjelölő rendszer is megjelent a pellet piacon. Ezek jellemzően nem voltak képesek sikeres pályát befutni, legjobb esetben is lokális szinten megragadtak. (Ilyen próbálkozás volt például az Amerikai Pellet Intézet 2011-ben kiadott standardja is.)

Áttörést az Európai Biomassza Szövetség ENplus névre keresztelt minőségbiztosítási rendszere hozott, amely mára már a világ legelterjedtebb pellet tanúsítási rendszerévé nőtte ki magát. A következő fejezetben ez a rendszer kerül bemutatásra és értékelésre.

6.3.1. ENplus (Fapelletek minőségbiztosítási rendszere)

Az ENplus tanúsítási program a lakó-, az ipari- és középületekben lévő, maximum 1 MW hasznos teljesítményű fűtőberendezések és kapcsolt erőművek magas minőségű fapellel történő ellátását tűzte ki elsődleges céljaként. A tanúsítási programot 2010-ben publikálták, jelenleg az 2015. augusztus 1-én hatályba lépett harmadik revízió van érvényben.

Az ENplus rendszert az európai biomassza közösség ernyőszervezete, az Európai Biomassza Szövetség (European Biomass Association, AEBIOM) dolgozta ki. Szintetizáló jellegű minőségsszabályozó rendszer, hiszen egyrészt ötvözi az ISO 9001 (*Minőségirányítási rendszer*), az EN 15234 (*A tüzelőanyag minőségbiztosítása*), és az ISO 17225 (*Tüzelőanyag-előírások és -osztályok*) elemeit, másrészt új követelményeket is állít. Az ENplus a világ legmeghatározóbb fapellet tanúsító rendszere, 45 országra kiterjedően közel 900 tanúsított partnere van, és a világon forgalomba hozott fapelletek csaknem egyharmada ENplus tanúsítással kerül forgalomba [115]. (Magyarországon 3 gyártó-, és 2 kereskedő vállalat rendelkezik jelenleg aktív tanúsítással.)

A rendszer licencjogait az AEBIOM tulajdonolja, de a szövetségen belül szerveződött Európai Pellet Tanács (EPC) felel a menedzsmentért, a tanúsítványrendszer további fejlesztéseikért és a licencjogok továbbadásáért olyan nemzeti szövetségeknek, amelyek megszervezik az ENplus bevezetését a mindenkor országukban vagy földrajzi területükön. Magyarországon ezt a funkciót a Magyar Pellet Egyesület (MPE) látta el korábban, jelenleg viszont Magyarországon nincs működő nemzeti szövetség, így a magyar pellet piaci szereplők ENplus szerinti tanúsítása is problémákat vet fel.

Az ENplus egyértelműen meghaladja a nemzeti-, az európai, és a nemzetközi szabványokat is, hiszen a végfelhasználóhoz szállított pellet tartósan magas minőségének szavatolására, a program keretén belül az előállított pellet és az előállításához kapcsolódó folyamatok is tanúsítványt kaphatnak.

Paraméterek		ENplus A1		ENplus A2		ENplus B	
Eredet és forrás*		1.1.3. Szálfa 1.2.1. Kémiaileg kezeletlen faipari maradékok		1.1.1. Egész fa, gyökér nélkül 1.1.3. Szálfa 1.1.4. Fakitermelési maradékok 1.2.1. Kémiaileg kezeletlen faipari maradékok		1.1. Erdőről, ültetvényről származó és más eredetű nyersfa 1.2.1. Kémiaileg kezeletlen faipari maradékok 1.3. Kémiaileg kezeletlen újrahasznosított faanyag	
Fizikai jellemzők	Átmérő	(mm)	6-8 ±1		6-8 ±1		6-8 ±1
	Hossz	(mm)	3,15-40		3,15-40		3,15-40
	Térfogatsűrűség	(kg/m³)	≥600		≥600		≥600
	Pellet hőmérséklete	(°C)	≤40		≤40		≤40
Mechanikai jellemző	Mechanikai szilárdság	(tömeg%) ⁶	≥98,0		≥97,5		≥97,5
	Finomhányad (<3,15mm)	(tömeg%) ⁶	≤1 (≤0,5)		≤1 (≤0,5)		≤1 (≤0,5)
Kémiai jellemzők	Nedvességtartalom	(tömeg%) ⁶	≤10		≤10		≤10
	Hamutartalom	(tömeg%) ⁷	≤0,7		≤1,5		≤3,0
	Fűtőérték	(MJ/kg)	≥16,5		≥16,5		≥16,5
	Adalékanyagok	(tömeg%) ⁷	≤2		≤2		≤2
	Nitrogén (N)	(tömeg%) ⁷	≤0,3		≤0,5		≤1,0
	Kén (S)	(tömeg%) ⁷	≤0,04		≤0,05		≤0,05
	Klór (Cl)	(tömeg%) ⁷	≤0,02		≤0,02		≤0,03
	Arzén (As)	(mg/kg) ⁷	≤1		≤1		≤1
	Kadmium (Cd)	(mg/kg) ⁷	≤0,5		≤0,5		≤0,5
	Króm (Cr)	(mg/kg) ⁷	≤10		≤10		≤10
	Réz (Cu)	(mg/kg) ⁷	≤10		≤10		≤10
	Higany (Hg)	(mg/kg) ⁷	≤0,1		≤0,1		≤0,1
	Nikkel (Ni)	(mg/kg) ⁷	≤10		≤10		≤10
	Ólom (Pb)	(mg/kg) ⁷	≤10		≤10		≤10
	Cink (Zn)	(mg/kg) ⁷	≤100		≤100		≤100
	Hamuolvadáspont	(°C)	≥1200		≥1100		≥1100

¹ ISO 17225-1:2014 Szilárd bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok. 1. rész: Általános követelmények alapján

² A végfelhasználóhoz történő szállítás megkezdésekor mérve

³ A végfelhasználónál mérve

⁴ A szállítási folyamat megkezdésekor mérve

⁵ Méréshez használt hamu előállítási hőmérséklete 815°C

⁶ Nedves bázison mérve

⁷ Száraz bázison mérve

14. táblázat: ENplus szabvány pelletekre vonatkozó minőségekategóriái és követelményei

Az ENplus a termék tanúsítási eljárását egy rendszertanúsítási eljárással kapcsolja össze. A pellet termékciklus több szereplője, így a gyártók, a kereskedők, és a szervízzolgáltatást végzők is külön tanúsíthatóvá válnak.

Az ENplus tanúsítási program három termékminőségi osztályt (*ENplus A1*, *ENplus A2*, *ENplus B*) határoz meg a felhasznált nyersanyagokkal és a fapellet tulajdonságaival kapcsolatos követelményekre (14. táblázat). Ezek a kategóriák összhangban vannak az ISO 17225-2:2014 szabvány minőségkategóriáival, de az ENplus rendszer meghaladja a nemzetközi szabványt, hiszen új követelményeket állít, és egyes paraméterekre szigorúbb határértékeket ír elő. Ezek a következők:

- A legmagasabb és a legalacsonyabb minőségi kategóriába tartozó fapelletek mechanikai tartósságának minimum értéke 0,5%-kal magasabb, mint az ISO 17225-2 értékhatára.
- A késztermék finomhányad arányára új paramétert állít a szabvány. Míg többi minőségügyi eszköz csak a szállítási folyamat megkezdésekor mért értékre ír elő normatív értéket, addig az ENplus a szállítási folyamatokat követően, a véghasználónak átadott termékekre is definiálja ezt.
- Új paraméter a kiszállításra átadott pelleték hőmérsékletének maximalizálása.
- Az ENplus nem csak meghatározási követelményt ír elő, hanem konkrét értékeket is meghatároz a hamuolvadáspont vizsgálatra, továbbá a vizsgálathoz használható hamu előállításának módját is leírja.
- Még a legalacsonyabb minőségi kategória sem engedi meg a kémiaiailag kezelt faanyagok felhasználását.

Vizsgálatai eljárások tekintetében a felügyeleti helyeknek és a vizsgálati laboratóriumoknak azon vizsgálati metódusokat kell alkalmazniuk a késztermék minősítésére, mint az ISO 17225-2-ben előírtak.

A program előírásokat fogalmaz meg a belső minőségmenedzselésre vonatkozólag is, melyek garantálják a termékkel szemben támasztott követelmények betartását. A technikai berendezésekre, üzemi folyamatokra és dokumentációra vonatkozó követelmények átláthatóvá teszik a gyártási eljárásokat és a problémák gyors felismeréséhez és megszüntetéséhez vezetnek. Ezen előírások megfogalmazása az ISO 9001 és EN 15234-2 alapján történt.

A programhoz kapcsolódóan egyszerű, könnyen értelmezhető tanúsítási védjegyeket dolgozott ki az AEBIOM. A gyártók, kereskedők, szolgáltatók (csomagolás, szállítás, raktározás) mind külön tanúsíthatók a rendszer szerint (34. ábra). A tanúsítást követően az ENplus partnerek jogot szereznek a minőségjelek használatára, amely segíti a vásárlói tájékoztatás, a termék/szolgáltatás iránti bizalomkeltést. A tanúsítás költségein túl a jelhasználatnak is egységdíja van. A gyártók és kereskedők egyaránt 0,15€/tonna, a szervízzolgáltatást nyújtó partnerek pedig évi 1000€ általános díj megfizetésére kötelesek.



34. ábra: Minőségtanúsító jelölések az ENplus rendszer szerint (felül hivatalos színes verzió, alul hivatalos monokróm verzió)

Az ENplus minőségbiztosítási rendszer a nemzeti-, európai- és nemzetközi szabályozó eszközöket szintetizálva, sőt azokat tovább fejlesztve, a hatályban lévő minőségügyi rendszerek közül a pellet termékciklus legszélesebb körű lefedettségét képes biztosítani. Ugyanakkor a szabvány súlyos hiányossága, hogy az agripelleteket semmilyen szinten nem szabályozza, azokra nem tér ki.

6.4. A hiányzó szabályzó elem

A pelletek gyártásának és felhasználásának fokozatos növekedése különösen fontossá tette a minőségi előírások lefektetését, tanúsítási rendszerek kidolgozását. A 2000-es évek elején – a tűzipelletek elterjedésével egy időben, jelentek meg a nemzeti szabványok. Ezek nagyban hozzájárultak az európai és a nemzetközi szabályozási rendszer dinamikus fejlődéséhez. 2010-ben megjelent az első európai szintű, majd 2014-ben a nemzetközi minőségsszabályozási eszköz. A normák megjelenésének kezdeti időszakában, csak a faalapú pelletek szabályozására tértek ki. Jelenleg már vannak olyan eszközök is, amely az egyéb (nem faalapú) pelletekre is kitérnek.

A szabványosítás elsődleges célja minden esetben a fogalmak, eljárások és termékek egyesítésével, a felhasználás, illetve a kereskedelem akadályainak csökkentése. A minőségsszabályozó eszközök eltérést mutatnak azzal kapcsolatosan, hogy a pellet termékciklus mely területeit fedik le. A pelletekkel kapcsolatos minőségsszabályozás magába foglalhatja:

- az alapanyagok osztályozását minőség és eredet alapján,
- a termék előállítását és minősítést,
- a termék előállítása és fogyasztóhoz juttatása közötti tevékenységeket.

A pelletek gyártási és a késztermék minősítési módszereinek szabványosítását, a releváns fogalmak definiálását, az eljárások és a mérések egységesítését javarészt magukba foglalják a minőségsszabályozó eszközök, de a pellet termékciklus teljes folyamatát már nem fedik le (15. táblázat), annak csupán részterületeit szabályozzák [116].

Szabályozó eszköz	Alapanyag		Termék		Kereskedelem	
	Minőség	Eredet	Előállítás	Minőség	Szállítás	Raktározás
ENplus:2015 ¹		✓	✓	✓	✓	✓
ISO 17225:2014		✓		✓		
EN 15234:2012 ²		✓	✓	✓	✓	✓
EN 14961:2010 ²		✓		✓		
Nemzeti szabványok				✓		

¹ Csak fás szárú alapanyagból előállított pelletekre terjed ki a szabályozás

² Csak a nem ipari pelletekre terjed ki a szabályozás

15. táblázat: Minőségsszabályozó eszközök hatóköréi
(Saját szerkesztés)

A legalacsonyabb lefedettségű szinttel a korábbi nemzeti szabványok rendelkeztek. Ezek csak a késztermék minősítésére írtak elő határértékeket, a folyamat többi elemére semmilyen normát nem határoztak meg. A korai EN 14961:2010 szabványsorozat, csak úgy, mint az azt váltó ISO 17225:2014 standardcsomag bővíti a lefedettséget, hiszen az előállított pelleteteket minőségkategóriákba sorolásának az is feltétele, hogy azok milyen eredetű alapanyagból készültek. Ezzel a fejlődéssel a két szabványsorozat túlmutat a nemzeti szabványokon, de valóban érdemleges változást nem adnak [117]. A pellet termékciklust legátfogóbban az EN 15234:2012 és az ENplus:2015 szabályozó eszközök fedik le jelenleg. **Ugyanakkor a lefedettség ezeknél az eszközöknél sem teljes körű, hiszen ezek esetében is fennáll (csakúgy, mint a többi minőségsszabályzó eszköz esetén) az a meghatározó hiányosság, hogy az alapanyagok eredetére ugyan kiterjednek, de az alapanyagokat minőségük alapján nem osztályozzák.** Korábban, amíg a piaci forgalomban nem terjedtek el a lágy szárú alapanyagból készülő agripelletek (így nem terjedt ki a kontrol ezekre a termékekre), ez a fajta szabályozás kielégítő volt. A fás szárú alapanyagok összetétele fafaj alapján szakirodalmi adatok használatával jól prognosztizálható, így a késztermék minősége nagy pontossággal előre jelezhető. **A lágy szárú alapanyagokat felhasználását is megengedő minőségsszabályozó eszközök szabályozás alá vonását követően viszont, már nem helytálló az eredet alapján történő szabályozás, mert a lágy szárú anyagok kémiai összetétele változékony, és eredet alapján nem határozható meg a késztermék minősége.**

A pelletek szabályozása még viszonylag újkeletű terület. Ebből adódóan a teljes szabályozási rendszer egy-egy elemét érintő hiányosság, teljesen reális jelenség.

Ugyanakkor fontos rámutatni ezekre a hiányosságokra, illetve a részletes feltárást követően javaslatot tenni ezek megszüntetésére.

Mivel **mind a felhasználást, mind az előállítást meghatározzák az alapanyag jellemzők, ezért megállapítható, hogy a pelletekkel kapcsolatos szabványokat ki kell egészíteni az alapanyagokra vonatkozó, azok minőségét is szabályzó szabvány elemekkel.** A hatályos standardok kizárólag eredet alapján szabályozzák az alapanyagokat. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy azok a késztermékek, amelyek valamennyi fizikai-, kémiai- és mechanikai feltételnek megfelelnek, de tartalmaznak a kategóriában nem megengedett eredetű (prémium pelletek esetén ilyenek a lágy szárú alapanyagok) alapanyagot, nem tanúsíthatók az adott minőségi kategória termékeként. Vagyis ha egy kéregtelenített, levél és ág részektől mentes faalapanyagból készülő prémium minőségű pellet, akár 1%-ban tartalmaz például szalma alapanyagot is, akkor a jelenlegi minősítési rend szerint a késztermék csak több minőségi kategóriával alacsonyabb csoportba sorolható.

Ezek alapján, a korábbi alapanyag eredet (faalapú és nem faalapú pelletek) és késztermék paraméterek alapján történő minősítést át kell alakítani, tisztán az alapanyag (közvetetten a késztermék) paraméterek alapján történő minősítésre. Mindaddig, amíg ezek a szabályozási változások nem lépnek érvénybe, azok a késztermékek, amelyek paramétereik alapján megfelelnek a legmagasabb fapellet minőségi kategória követelményeinek is, de akár kis százalékban tartalmaznak nem faalapú alapanyagot, csak alacsonyabb minősítést kaphatnak.

7. ALAPANYAG MINŐSÍTÉSI ELJÁRÁSOK VISZGÁLATA, ÉRTÉKELÉSE ÉS FOLYAMATBA ILLESZTÉSE

A minőségi késztermék előállítása és forgalomba hozatala két különböző megközelítéssel biztosítható:

- a) megelőző, szabályozó jellegű intézkedések bevezetésével (folyamatszabályozás),
- b) utólagos minősítési eljárások használatával (végellenőrzés).

A két megközelítés között jelentős a különbség. Az első esetben a késztermék minőségét befolyásoló paraméterek szabályozásával, a folyamatot kontrol alatt tartva előre jelezhető, és *biztosítható a minőségi késztermék előállítás* („olyat fogok gyártani, amit szeretnék”). A második megközelítés esetében a késztermék minőségét befolyásoló változó paraméterek nem, vagy csak részben kontroláltak. Ebben az esetben a késztermék minősége utólag, annak elkészültét követően kerül megállapításra, akkor, amikor *a késztermék minősége érdemben már nem változtatható* („megállapítom, hogy mit gyártottam”).

Az 5. Pellet termékciklus jellemzőinek meghatározása c. fejezetben ismertettem, hogy az alapanyag- és a technológiai paraméterek hogyan befolyásolják a késztermék tulajdonságait. Mind a két paramétercsoport fontos eleme a minőségi pelletgyártásnak, de a késztermék tulajdonságait döntő részben az alapanyag paraméterek befolyásolják. Tudva, hogy az alapanyag specifikus paramétereket a gyártási folyamat szignifikánsan nem változtatja, azokat már a gyártási ciklus megkezdése előtt célszerű megismerni. Míg a fás szárú alapanyagok összetétele viszonylag állandónak tekinthető - szakirodalmi adatok alapján megismerhető, jól becsülhető, a lágy szárú anyagok nagy változékonyságot mutatnak, eredet alapján nem prognosztizálhatók. Ezek megismerése megfelelő mérési eljárások lefolytatásával lehetséges. Így a készítendő termék minősége - lágy szárú-, és különböző alapanyagmixek esetén is - előre jelezhetővé válik, szükség esetén az alapanyag-receptúra változtatással akár a késztermék minősége is javítható.

A hatályos minőségssabályozó eszközök az alapanyagok minőségének kontrolálására nem térnek ki kellő mértékben - holott rendelkezésre állnak szabványosított és egyéb eljárások, amelyek alkalmasak az alapanyag paraméterek meghatározására -, ami a fentiek alapján meghatározó gyengesége a pellet termékciklus szabályozásának. A következőkben ennek a hiányosságnak a megszüntetésére teszek javaslatot a szükséges vizsgálati csoportok meghatározásával, komplex mérési eljárásokat kiértékelő rendszer kidolgozásával és alkalmazásával.

7.1. Vizsgálati csoportok meghatározása

A vizsgálati csoportok meghatározása során elsődleges cél volt azoknak az alapanyag paramétereknek meghatározása, amelyek döntően befolyásolják a gyárthatóságot, valamint a késztermék éghetőségi- és egyéb tulajdonságait.

Ezek alapján 8 kritikus paramétertípust határoztam meg:

- nedvességtartalom;
- szárazanyag-tartalom;
- szénhidráttartalom;
- hamutartalom;
- cellulóztartalom
- holocellulóz-tartalom;
- lignintartalom;
- extrakttartalom.

A *nedvességtartalom* pelletálás szempontjából az alapanyag egyik legfontosabb paramétere. Ismerete, gyártási fázisnak megfelelő szinten tartása a minőségi pelletgyártás kulcsjellemzője.

Az alapanyag, illetve később a késztermék nedvességtartalma nagyban befolyásolja a tárolás során lezajló degradációs folyamatokat, a magas nedvességtartalom gyorsítja ezeket [118]. Az alapanyag előkészítése során a nedvességtartalom határozza meg a szárítási igényt. Az anyag nedvességtartalmának növekedésével exponenciálisan növekedik a szárítási igény, így növekedik az ahhoz szükséges energia- és költségigény is. Ebből adódóan szárítást igénylő alapanyag esetén a legmagasabb költségigénnyel bíró folyamatlépés a szárítás, amely a teljes előállítási költség egynegyedét is kiteheti [71]. Az anyaghoz adott víz a kondicionálás során aktiválja a kötőanyagokat, majd a préselési fázisban az anyag nedvességtartalma kenőanyagként is szolgál, befolyásolva ezzel a súrlódási tényezőt (ezáltal a hőfejlődést), a kialakuló kötések milyenségét, vagyis a késztermék mechanikai tulajdonságait is [35]. Magas, körülbelül 20% nedvességtartam felett a pellet nem áll össze [107].

A *szárazanyag-tartalom* az anyag éghető és nem éghető, hamuképző részeit foglalja magába. Ismeretével következtetni lehet az anyag nedvességtartalmára, a felmerülő szárítási költségekre. Tovább bontva, a *szénhidrátok* a szárazanyag tartalom éghető hányadát képző anyagok. A szénhidráttartalom az anyag energiatartalmát, fűtőértékét leíró alapvető tényező, az alapanyag, illetve a késztermék energetikai tulajdonságait definiálja. A *hamutartalom* ismerete szintén kulcsfontosságú pelletgyártás során. A hamutartalmat a szárazanyag tartalom nem éghető része képezi. A legmagasabb minőségi kategóriába tartozó pelletek hamutartalma nem haladja meg a 0,7%-ot, így az alapanyagban sem lehet ennél nagyobb a hamuképző komponensek aránya. A hamutartalommal erősen korreláló tényező a hamuolvadáspont. (A hamuolvadáspont vizsgálatának módjai, a hamuképző alkotóelemek ismeretében történő előre jelzés jelenleg is intenzíven kutatott terület [119] [120] [121] [122]. A későbbiekben ennek a paraméternek direkt vizsgálata kiegészítheti a hamutartalom vizsgálati csoportot.)

A *vázanyagok* az alapanyagok legfőbb összetevői. A *cellulóz tartalom* befolyásolja az anyag vízfelvételi és száradási, valamint kötési tulajdonságait is. A *holocellulóz tartalom* az anyag cellulóz és hemicellulóz tartalmát együttesen mutatja. A cellulóz tartalom ismeretében a hemicellulóz tartalomra lehet következtetni. A hemicellulóz strukturális szerkezetéből adódóan nehezebben képes leadni a vizet, egyben szárítási időt és

energiát növelő tényező. A *lignintartalom* a növényi anyagok legfontosabb természetes kötőanyaga, ami az adhézis kötések kialakulását biztosítja, ezzel a pelletek mechanikai tulajdonságát definiálja. Hidrofób tulajdonsága növeli a késztermék nedvességgel, párával szembeni ellenálló-képességét.

A járulékos anyagok ismerete több szempontból kardinális jelentőségű a pelletálás szempontjából. Az *extrakttartalom* ismerete az alapanyag számos tulajdonságát (pl. fűtőérték, mechanikai stabilitás) befolyásolja. Az ásványi anyagok az extraktok hamuképző részét alkotják, meghatározzák a hamutartalmat, és a hamuolvadási pontot. A magas ásványi anyag tartalom növeli a kopást, csökkenti a szerszámok élettartalmát. Az extraktok szerves vegyületei, egyrészt a ligninhez hasonlóan természetes kötőanyagként funkcionálnak, támogatva a kötések kialakulását, növelve a késztermék stabilitását, mechanikai tulajdonságait; másrészt jellemzően hidrofóbok, javítva ezzel a késztermék tartósságát. A különböző zsírok és olajok biztosítják a szükséges kenést a matricán történő átpréselés során, ami hatással van a préselési nyomás energiaigényére. Magas zsír, olaj, viasz vagy gyanta tartalom mellett a pelletek mechanikai tulajdonságai leromlanak, bizonyos szint felett (alapanyag-tulajdonságoktól függően) a pellet nem áll össze.

7.2. Mérési eljárásokat kiértékelő rendszer kidolgozása

A vizsgálati csoportok mérésére rendelkezésre állnak szabványosított- és egyéb eljárások, de ezeknek értékelésére, pellet gyártási folyamatba illeszthetőségének vizsgálatára ez idáig nem állt rendelkezésre eszköz, sőt ajánlás sem volt a hatékonyan alkalmazható mérések megjelölésére sem.

Az újonnan kidolgozott pelletgyártás alapanyagát szabályzó, mérési eljárásokat kiértékelő rendszer célja, hogy az alapanyag vizsgálatára alkalmas mérési eljárásokat egyértelműen osztályozza, egymással összehasonlítható módon rangsorolja, segítve ezzel a gyártók számára az optimális vizsgálati módszerek kiválasztását és folyamatba illesztését. A kidolgozott mérési eljárásokat kiértékelő rendszer új, tudományos aspektust ad az alapanyag minősítés területének, alapot biztosítva az 5.1. Alapanyag paraméterek c. fejezet konklúziójaként javasolt alapanyag paraméterek alapján történő pellet minősítési rendszer bevezetésének.

Az értékelési rendszer kidolgozásnak alapja azon vizsgálati tényezők meghatározása volt, melyek képesek közös platformra helyezni a vizsgált mérési eljárásokat. Ezt követően az tényezőket egyetlen, a pelletszektor szemszögéből vizsgált alkalmazhatósági indexbe tömörítve a rendszer alkalmassá teszi az eljárások összehasonlítását, osztályozását [106].

A fentiek érdekében a kiértékelő rendszer fejlesztése során három kiértékelési tényezőt határoztam meg, amelyek ismerete és értékelése biztosítja, hogy a mérési eljárásokat kiértékelő rendszerrel szemben támasztott követelmények maradéktalanul teljesíthetők legyenek. A három tényező a következő:

- az eljárás eszközigénye,

- az eljárás időigénye,
- az eljárás komplexitása.

Ez a három tényező alkalmas arra, hogy átfogó értékelési alapot adjon az eljárások összehasonlítására és rangsorolására. Az eljárás eszközigényén keresztül a felmerülő beruházási igény, az időigényen keresztül a folyamatba illeszthetőség, a komplexitás alapján az eljárás összetettsége, bonyolultsága is vizsgált tényezővé válik. Végül a kiértékelő rendszer három tényezőjét átfogó alkalmazhatósági index révén, értékelhetővé és osztályozhatóvá válnak az egymástól független, akár különböző vizsgálati csoportokhoz tartozó eljárások is. **Az újonnan kifejlesztett, mérési eljárásokat kiértékelő rendszer alkalmas a pelletgyártás szempontjából kedvező és kevésbé kedvező eljárások közötti különbségek feltárására, hozzájárulva ezzel az egyes mérési eljárások optimálás folyamatba illesztési lehetőségeinek meghatározásához.**

7.2.1. Eszközigény

A mérési vizsgálatok nagyban különböznek abban, hogy lefolytatásukhoz milyen gépek, berendezések, laboratóriumi eszközök szükségesek. Az eljárások tárgyilagos értékelésének egyik tényezőjének ebből adódóan az eljárás eszközigényének kell lennie.

Az eszközigény egyrészt megközelíthető a felhasznált berendezések és egyéb kellékek száma, másrészt azok értéke, beruházási igénye alapján. Önmagában egyik megközelítés sem adhat teljes képet, az összehasonlítás csak abban az esetben lehet tárgyilagos, ha mind az eszközszám, mind az eszközérték az értékelés alapját képezi.

Eszközигény érték alapján		Értékelés		Eszközигény darabszám alapján	
<i>Min</i>	<i>Max</i>			<i>Min</i>	<i>Max</i>
4 000 001 Ft		10	10	10 db	
3 300 001 Ft	4 000 000 Ft	9	7	7 db	9 db
2 800 001 Ft	3 300 000 Ft	8			
2 300 001 Ft	2 800 000 Ft	7			
1 800 001 Ft	2 300 000 Ft	6			
1 300 001 Ft	1 800 000 Ft	5	3	2 db	6 db
1 050 001 Ft	1 300 000 Ft	4			
800 001 Ft	1 050 000 Ft	3			
550 001 Ft	800 000 Ft	2			
- Ft	550 000 Ft	1	1		1 db

16. táblázat: Eszközигény értékelése
(Saját szerkesztés)

Az eszközигény meghatározásra egy olyan 10-10 osztályközös pontozási rendszert alakítottam ki, amely alkalmassá tesz a különböző eljárások eszközigény alapján történő rangsorolását.

Az eszközигény értékelésére az eljárások elemzése során meg kell vizsgálni az eljárás lefolytatásához szükséges eszközök mennyiségét és értékét. **A szabványosított mérési**

eljárások leíratai a mérések ismételtetőségének és reprodukálhatóságának érdekében pontosan definiálják, hogy milyen típusú és milyen pontosságú eszközök használhatók az eljárás lefolytatásához.

Az elemzés során 41 vizsgálati eljárást dolgoztam fel, azok mérési utasítása alapján meghatároztam az adott eljárás lefolytatásához szükséges eszközök darabszámát², és megbecsültem azok értékét. (Az értékek megbecsüléshez az Edu-Lab [122], a Cole-Parmer [123], a Carl Stuart Group [124] és a Science Lab [125] katalógusait használtam. Azon eszközök esetében, amelyek több forgalmazó kínálatában is elérhetőek voltak, a becsült vételárnak egy medián értéket választottam.)

Ezt követően a 16. táblázatban bemutatott eszközigeny értékelési osztályközök alapján besoroltam mind a 41 vizsgálati eljárást, és **meghatároztam minden metódus érték alapján számított (d_v), és darabszám alapján (d_p) számított 1-től 10-ig terjedő eszközigeny pontértékét.**

Az adott eljárás eszközigeny tényezőjét (D) a kapott két pontértéket átlagolva, majd a kerekítés szabályait figyelembe véve, egész számra kerekítve határoztam meg:

$$D = \frac{d_v + d_p}{2}$$

D - Eszközigeny tényező

d_v - Eszközigeny érték alapján [1-10]

d_p - Eszközigeny darabszám alapján [1-10]

Az így kapott egyedi érték definiálja az adott eljárás eszközigenyét, amely 1-től 10-ig terjedő értéket vehet fel. A 41 egy vizsgálat alá vont eljárás érték és eszközszám alapján kapott pontértékét, illetve az ezekből számított eszközigeny tényezőjét a 17. táblázatban mátrixba rendezve mutatom be.

Az eljárás eszközigenye alapján legkedvezőbbnek ($D=1$) azok a mérési metódusok tekinthetők, melyek lefolytatása kisszámú, alacsony vételárú eszközöket igényel csupán (pl. elektromos ellenállás mérésén alapuló kézi mérőműszerrel mért nedvességmérési eljárás). A legeszközigenyesebb eljárások ($D=10$) esetében a helyzet fordított, ezek elvégzéséhez jellemzően több, összességében magas vételárú eszközt szükséges (pl. Szénhidrát mennyiségének meghatározása HPLC-vel ASTM E1758-01 alapján).

² A vizsgálat során az eljárások lefolytatásához szükséges kis értékű laboratóriumi eszközöket (pl. csipeszek, fogók, téglék), amelyek a vizsgálati laboratóriumok alapvető felszereltségének tekinthetők, nem vettem figyelembe.

Eszköz megnevezése	Eszköz átlagos vételára	AOAC 942.05	ASTM D1102-84	ASTM E1358-97	ASTM E1534-93	ASTM E1690-08	ASTM E1721-01	ASTM E1755-01	ASTM E1756-08-01	ASTM E1756-08-02	ASTM E1758-01	ASTM E1821-08	ASTM E871-82	ASTM E872-82	Automata kézi nedvt.mérő	Automata szárító	Forró vízben oldható extrakt	Gross-Berau eljárás	Halse eljárás	Hideg vízben oldható extrakt	ISO 13906 (cellulóz)	ISO 13906 (lignin)	ISO 18122	ISO 18134-1	ISO 18134-2	ISO 18134-3	Jayme-féle eljárás	Klason eljárás	Klórozásos módszer	Kürschner-Hoffer eljárás	Normann-Jenkins- módszer	NREL/TP-510-42618	NREL/TP-510-42619-1	NREL/TP-510-42619-2	NREL/TP-510-42621-01	NREL/TP-510-42621-02	NREL/TP-510-42622	Súlyállandóság szárítás	Szerves oldószerrel oldható extrakt	Wise-féle eljárás (cellulóz)	Wise-féle eljárás (holocellulóz)	Xilolozó desztilláció					
Mintatároló	50 000 Ft	•	•			•	•	•			•	•							•	•	•	•	•				•	•	•	•	•	•	•														
Nagy pontosságú analitikai mérleg	150 000 Ft	•	•		•	•	•		•	•	•	•	•	•				•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•				
Autokláv	300 000 Ft						•				•	•																																			
Biokémiai analizátor (YSI)	3 000 000 Ft																																														
Csőkemence (vertikális)	500 000 Ft													•																																	
Desszikátor	250 000 Ft	•	•		•	•	•	•	•		•	•	•					•	•	•	•		•					•	•	•	•	•	•	•													
Desztilláló apparátus	150 000 Ft																																														
Extraktor automatizált	500 000 Ft																																														
Gázkromatográf	4 000 000 Ft											•																																			
HPLC készülék	8 000 000 Ft										•																																				
HPLC oszlop és előtétészolop	300 000 Ft										•																																				
Izzítókemence	500 000 Ft	•	•		•			•	•													•		•																							
Mikrohullámú sütő	30 000 Ft			•																																											
Hamvasztótégely	20 000 Ft	•	•		•	•		•	•				•	•																																	
Platina olvasztótégely	50 000 Ft	•																																													
Nedvességmérő (automatikus, infravörös)	250 000 Ft									•							•																														
Nedvességmérő (gyors)	150 000 Ft																																														
Rotációs párolgató vákuummal és vízfürdővel	500 000 Ft					•																																									
Soxhlet extraktor + apparátus	160 000 Ft					•																																									
Száritókemence	400 000 Ft		•					•	•	•		•	•	•				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•												
Ultraszónusos vízfürdő	300 000 Ft												•																																		
Vákuum kemence	360 000 Ft					•			•																																						
Vízfürdő	50 000 Ft						•				•	•						•	•	•								•	•	•	•	•	•	•	•	•								•	•		
Allián hűtő (visszafolyó hűtő)	300 000 Ft																		•																												
Vortex keverő	30 000 Ft												•																																		
Kékes mintaaprító	200 000 Ft	•	•			•	•	•	•	•	•	•		•				•	•	•	•	•	•					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•										
Mintaosztó	190 000 Ft	•				•	•	•	•	•	•	•		•				•	•	•	•	•	•					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
Szítarázó	200 000 Ft		•				•	•	•	•	•	•							•		•	•	•							•		•	•	•	•												
Szita-szett	110 000 Ft	•					•	•	•	•	•	•							•		•	•	•																								
Eszközök száma pontértékben kifejezve:		3	10	1	3	7	10	7	7	3	10	10	3	3	1	1	3	7	3	7	3	7	3	3	3	3	3	3	7	3	7	10	7	7	3	7	3	7	3	7	3	3	3	3			
Eszköztérték pontban kifejezett értéke:		4	6	1	3	6	7	6	6	4	10	10	3	4	1	1	3	5	5	4	6	4	6	1	1	1	4	4	5	4	5	10	6	6	2	9	6	4	6	5	4	1	1				
Eszközigény tényező:		4	8	1	3	7	9	7	7	4	10	10	3	4	1	1	3	6	6	4	7	4	7	2	2	2	4	4	6	4	6	10	7	7	3	6	7	4	7	6	4	2	2				

17. táblázat: Alapanyag minősítő eljárások számított eszközigény tényezője (Saját szerkesztés)

(Az eszközök átlagos vételárai az Edu-Lab [123], a Cole-Parmer [124], a Carl Stuart Group [125] és a Science Lab [126] adatai alapján kalkuláltak.)

7.2.2. Időigény

Az eljárások értékelésének második aspektusa az eljárás lefolytatásához szükséges időigény. Az időigény kritikus tényező, hiszen meghatározza az adott eljárás folyamatba illeszthetőségét, amely egy olyan komplex, precíziós gyártási folyamatnál, mint a pelletgyártás meghatározó tényező lehet.

Értékelés	Időigény	
	<i>Min</i>	<i>Max</i>
10	> 50 h	
9	> 30 h	≤ 50 h
8	> 25 h	≤ 30 h
7	> 20 h	≤ 25 h
6	> 15 h	≤ 20 h
5	> 10 h	≤ 15 h
4	> 5 h	≤ 10 h
3	> 3 h	≤ 5 h
2	> 1 h	≤ 3 h
1	≤ 1 h	

18. táblázat: Időigény értékelése
(Saját szerkesztés)

Az eszköz igény meghatározásra egy szintén 10 osztályközös pontozási rendszert alakítottam ki (18. táblázat), amely alkalmassá teszik a különböző eljárások időigény alapján történő rangsorolását.

Az időigény értékelése során az eljárásokat elemezni kell az alapján, hogy az eljárás lefolytatásához az esetleges várakozási időkkel együttesen mennyi idő szükséges, számba véve a minta előkészítésének idejét is. A mérési eljárások leiratai definiálják az egyes folyamatlépések idejét, ismétlési számát, és az esetleges várakozási időket is (19. táblázat). Ily módon, ezen adatok ismeretében a metódusok átlagos időigénye megbecsülhető.

A vizsgálat alá vont 41 eljárást egyedileg elemezve, egyenként meghatároztam a lefolytatáshoz szükséges minimális és maximális vizsgálati időt, majd a kapott értékeket átlagolva definiáltam az eljárás lefolytatásának átlagos időigényét.

Ezt követően a meghatározott átlagos időszükséglet, valamint a 18. táblázatban ismertetett időigény értékelésre kialakított osztályközök alapján megállapítottam valamennyi mérési eljárás 1-től 10 pontértékig terjedő időigény tényezőjét (T).

Az eljárások egyedi időigényeit, majd az ebből képzett egyedi, 1-től 10 pontértékig terjedő időigény tényezőket a 19. táblázat ismerteti. Az időigény alapján azok az eljárások tekinthetők a lekedvezőbb eljárásoknak ($T=1$), melyek lefolytatása átlagosan

maximálisan 1 órát igényel (pl. az elektromos ellenállás mérésén alapuló kézimérőműszerrel mért nedvességmérési eljárás). Ezzel szemben az időigény szempontjából legkedvezőtlenebbnek ítélt eljárások ($T=10$) átlagos vizsgálati ideje meghaladja az 50 órát is. (pl. Strukturális szénhidráttartalom meghatározása az NREL/TP-510-42618 alapján).

Eljárások	Időigény			Időigény tényező
	Min	Max	Átl	
AOAC 942.05	2,0	3,0	2,5	2
ASTM D1102-84	5,5	9,5	7,5	4
ASTM E1358-97	0,8	0,8	0,8	1
ASTM E1534-93	5,0	9,0	7,0	4
ASTM E1690-08	60,0	120,0	90,0	10
ASTM E1721-01	16,5	56,5	36,5	9
ASTM E1755-01	11,5	51,5	31,5	9
ASTM E1756-08-01	11,5	51,5	31,5	9
ASTM E1756-08-02	5,5	9,5	7,5	4
ASTM E1758-01	14,0	62,0	38,0	9
ASTM E1821-08	20,0	100,0	60,0	10
ASTM E871-82	19,0	27,0	23,0	7
ASTM E872-82	2,0	6,0	4,0	3
Automata kézi nedvt.mérő	0,1	0,1	0,1	1
Automata szárító	1,5	3,5	2,5	2
Forró vízben oldható extrakt	4,5	8,5	6,5	4
Gross-Berau eljárás	22,5	38,5	30,5	9
Halse eljárás	24,0	36,0	30,0	8
Hideg vízben oldható extrakt	46,5	54,5	50,5	10
ISO 13906	12,0	24,0	18,0	6
ISO 13906	22,0	34,0	28,0	8
ISO 18122	6,0	10,0	8,0	4
ISO 18134-1	4,0	6,0	5,0	3
ISO 18134-2	4,0	6,0	5,0	3
ISO 18134-3	4,0	6,0	5,0	3
Jayme-féle eljárás	40,0	48,0	44,0	9
Klason eljárás	5,0	13,0	9,0	4
Klórozásos módszer	8,5	12,5	10,5	5
Kürschner-Hoffer eljárás	4,5	8,5	6,5	4
Normann-Jenkins- módszer	8,5	16,5	12,5	5
NREL/TP-510-42618	122,0	172,0	147,0	10
NREL/TP-510-42619-1	42,0	62,0	52,0	10
NREL/TP-510-42619-2	58,0	78,0	68,0	10
NREL/TP-510-42621-01	9,0	13,0	11,0	5
NREL/TP-510-42621-02	5,0	8,0	6,5	4
NREL/TP-510-42622	24,0	40,0	32,0	9
Súlyállandóig szárítás	4,0	6,0	5,0	3
Szerves oldószerrel oldható extrakt	35,0	47,0	41,0	9
Wise-féle eljárás	10,5	20,5	15,5	6
Wise-féle eljárás	11,0	13,0	12,0	5
Xilolos desztilláció	2,0	4,0	3,0	2

19. táblázat: Alapanyag minősítő eljárások számított időigény tényezője
(Saját szerkesztés)

7.2.3. Komplexitás

Az eljárás komplexitása a legösszetettebb és legnehezebben mérhető jellemző a három vizsgálati tényező közül. Az elemzés során a különböző vizsgálati eljárásokat egyenként kell elemezni, figyelembe véve, hogy a teljes vizsgálat lefolytatásához hány elhatárolható folyamatlépésre van szükség, ezek a műveleti egységek mennyire gépesíthetők, illetve mekkora humánerőforrás igényrel bírnak.

Az eljárások humánerőforrás igénye fontos tényező, ezért ennek figyelembevételére a műveleti lépésekre vonatkoztatott szorzótényezőket vezettem be. Minél nagyobb egy eljárás humánerőforrás igénye, annál nagyobb a szorzótényező értéke (20. táblázat). Ezzel a komplexitási tényező finomodott, hiszen a műveleti elemszámon túl, az eljárás gépesíthetőségét is figyelembe veszi.

A vizsgálat alá vont eljárásokat a szorzótényező alapján módosított műveleti lépésszámok alapján 1-től 10-ig történő pontozással kell értékelni, az ily módon legösszetettebbnek ítélt eljárás 10 pontot, a legegyszerűbb ítélt pedig 1 pontot kap, amely érték kifejezeti az adott eljárás komplexitási tényezőjét (C).

Humánerőforrás igény	Szorótényező	Módosított műveleti lépésszám		Értékelés
		Min	Max	
Magas	2	46		10
Közepesen magas	1,5	35	45	9
		29	34	8
		23	28	7
		19	22	6
Közepes	1	15	18	5
		11	14	4
		7	10	3
		3	6	2
Alacsony	0,5		2	1

20. táblázat: Komplexitás értékelése
(Saját szerkesztés)

Az analízis alá vont eljárásokat, a vizsgálati leírások alapján elemeztem, egyenként meghatároztam a módszer lefolytatásához szükséges, elkülöníthető műveletek számát. Az így kapott értékeket, az eljárásra meghatározott humánerőforrás igény alapján besorolt szorzótényezővel módosítottam. Így megkaptam a módosított műveleti lépésszámot, amely alapján valamennyi eljárásra külön-külön meghatároztam a komplexitási tényezőt (21. táblázat).

Legegyszerűbbnek ($C=1$) azok a mérési eljárások tekinthetők, melyek lefolytatása teljes egészében automatizált, humánerőforrás igénye minimális, elvégzése csupán egy műveleti elemből áll (pl. elektromos ellenállás mérésén alapuló kézi mérőműszerrel mért nedvességmérési eljárás). A bonyolultabb eljárások esetén, az automatizálhatósági szint alacsony, humánerőforrás igényük magas, és akár a húszat is meghaladja az

egymástól elkülönülő műveleti lépések száma (pl. ASTM E1821-08 - Biomassza anyagok szénhidrát tartalom meghatározása gázkromatográfiával).

Eljárás	Műv. lépések száma	Szorzótényező (humanerőforrás igény alapján)	Módosított műv. lépésszám	Komplexitási tényező
AOAC 942.05	3	1,0	3	2
ASTM D1102-84	5	1,0	5	2
ASTM E1358-97	2	0,5	1	1
ASTM E1534-93	9	1,0	9	3
ASTM E1690-08	19	2,0	38	9
ASTM E1721-01	24	2,0	48	10
ASTM E1755-01	12	1,0	12	4
ASTM E1756-08-01	7	1,0	7	3
ASTM E1756-08-02	3	1,0	3	2
ASTM E1758-01	23	1,5	35	9
ASTM E1821-08	26	2,0	52	10
ASTM E871-82	8	1,0	8	3
ASTM E872-82	14	1,0	14	4
Automata kézi nedvt.mérő	1	0,5	1	1
Automata szárító	2	0,5	1	1
Forró vízben oldható extrakt	5	1,0	5	2
Gross-Berau eljárás	14	1,5	21	6
Halse eljárás	13	2,0	26	7
Hideg vízben oldható extrakt	2	0,5	1	1
ISO 13906 (cellulóz)	17	2,0	34	8
ISO 13906 (lignin)	21	1,5	32	8
ISO 18122	6	0,5	3	2
ISO 18134-1	5	1,0	5	2
ISO 18134-2	5	1,0	5	2
ISO 18134-3	5	1,0	5	2
Jayme-féle eljárás	16	1,5	24	7
Klason eljárás	16	1,5	24	7
Klórozásos módszer	17	1,5	26	7
Kürschner-Hoffer eljárás	9	1,0	9	3
Normann-Jenkins- módszer	18	1,5	27	7
NREL/TP-510-42618	22	2,0	44	9
NREL/TP-510-42619-1	21	2,0	42	9
NREL/TP-510-42619-2	21	2,0	42	9
NREL/TP-510-42621-01	8	1,0	8	3
NREL/TP-510-42621-02	5	1,0	5	2
NREL/TP-510-42622	11	1,5	17	5
Súlyállandóság szárítás	5	0,5	3	2
Szerves oldószerrel oldható extrakt	12	1,5	18	5
Wise-féle eljárás (cellulóz)	16	1,5	24	7
Wise-féle eljárás (holocellulóz)	16	1,5	24	7
Xilolos desztilláció	6	1,5	9	3

21. táblázat: Alapanyag minősítő eljárások számított komplexitás tényezője
(Saját szerkesztés)

7.2.4. Alkalmazhatósági index

A vizsgálati tényezők együttes értékeléséhez szükséges egy új kiértékelési jelzőszám bevezetése. Ennek érdekében, az eljárásokra vonatkoztatott eszközigény-, időigény-, valamint komplexitási tényezőkre alapozva létrehoztam egy új, úgynevezett alkalmazhatósági indexet, amely minden mérési módszerre egyedileg képezhető mutató.

Az alkalmazhatósági index a korábban bemutatott három tényező (eszköz-, időigény és komplexitás) szorzatából képződő numerikus indexszám, értéke 1 és 1000 között változhat. A legkedvezőbb eljárások alkalmazhatósági indexe 1, a legkedvezőtlenebbeké pedig 1000 lehet.

$$A_i = D * T * C$$

A_i - Alkalmazhatósági index [1-1000]
D - Eszközigény [1-10]
T - Időigény [1-10]
C - Komplexitás [1-10]

Az megalkotott index használatával értékelhetővé, osztályozhatóvá és összehasonlíthatóvá válnak a különböző mérési eljárások, függetlenül attól, hogy azok mely vizsgálati csoportokhoz tartoznak. Ily módon segíti a gyártókat a számukra optimális vizsgálati módszerek kiválasztásában és folyamatba illesztésében. A következő fejezetben bemutatom az kiértékelő rendszer alkalmazását, és az alapján elemzem valamennyi vizsgálat alá vont mérési eljárást.

7.3. Kiértékelő rendszer alkalmazása

A kiértékelő rendszer alkalmazása során törekedtem a vizsgálat minél szélesebb körű kiterjesztésére, így 41 különböző eljárás kutattam fel.

Ezek az eljárások alkalmasak a biomasza alapanyagok 7.1. Vizsgálati csoportok meghatározása c. fejezetben definiált kritikus paramétercsoportok szerinti minősítésre. A vizsgált eljárások egy részét (25 eljárás) szabványügyi szervezetek által kiadott hivatalos metódusok, másik részét (16 eljárás) pedig egyéb (tudományos szakirodalmi eljárás, gépgyártói ajánlás) eljárások képezik. A következőkben ezen eljárások értékelése és rangsorolása kerül bemutatásra.

(Jelen vizsgálat során mind a három tényezőt azonos súllyal vettem figyelembe. A későbbiek során, attól függően, hogy a rendszert alkalmazó pelletszektor szereplő milyen a preferencia rendszerrel rendelkezik, a tényezőket (eszköz- (*D*), időigény (*T*), komplexitás (*C*)) súlyozhatók, így változtatva azok alkalmazhatósági indexben elfoglalt jelentőségét.)

7.3.1. Eljárások kiértékelése

A kiértékelés során valamennyi vizsgálat alá vont eljárást elemeztem és értékeltem a 7.2. Mérési eljárásokat kiértékelő rendszer kidolgozása c. fejezetben ismertetettek szerint, vagyis azok eszköz-, időigénye és komplexitása alapján.

Eljárás	Eszközigény	Időigény	Komplexitás	Alkalmazhatósági index
Cellulóz				
Kürschner-Hoffer eljárás	4	4	3	48
Normann-Jenkins- módszer	6	5	7	210
Wise-féle eljárás	6	6	7	252
Gross-Berau eljárás	6	9	6	324
ISO 13906	7	6	8	336
Extrakt				
Forró vízben oldható extrakt	3	4	2	24
Hideg vízben oldható extrakt	4	10	1	40
ASTM E872-82	4	3	4	48
Szerves oldószerrel oldható extrakt	7	9	5	315
ASTM E1690-08	7	10	9	630
NREL/TP-510-42619-1	7	10	9	630
NREL/TP-510-42619-2	7	10	9	630
Hamu				
AOAC 942.05	4	2	2	16
ASTM E1534-93	3	4	3	36
ISO 18122	7	4	2	56
ASTM D1102-84	8	4	2	64
ASTM E1755-01	7	9	4	252
NREL/TP-510-42622	7	9	5	315
Holocellulóz				
Wise-féle eljárás	4	5	7	140
Klórozásos módszer	6	5	7	210
Jayme-féle eljárás	4	9	7	252
Lignin				
Klason eljárás	4	4	7	112
ISO 13906	4	8	8	256
Halse eljárás	6	8	7	336
ASTM E1721-01	9	9	10	810
Nedvességtartalom				
Automata kézi nedvt.mérő	1	1	1	1
ASTM E1358-97	1	1	1	1
Automata szárító	1	2	1	2
ISO 18134-1	2	3	2	12
ISO 18134-2	2	3	2	12
ISO 18134-3	2	3	2	12
Xilolos desztilláció	2	2	3	12
Súlyállandóig szárítás	4	3	2	24
ASTM E871-82	3	7	3	63
Szárazanyag				
ASTM E1756-08-02	4	4	2	32
NREL/TP-510-42621-01	3	5	3	45
NREL/TP-510-42621-02	6	4	2	48
ASTM E1756-08-01	7	9	3	189
Szénhidrát				
ASTM E1758-01	10	9	9	810
NREL/TP-510-42618	10	10	9	900
ASTM E1821-08	10	10	10	1000

22. táblázat: Alapanyag minősítő eljárások kiértékelése
(Saját szerkesztés)

Az egyes tényezők meghatározását a korábban bemutatott osztályközös besorolás alapú pontozási rendszerrel végeztem el, majd ezt követően valamennyi eljárásra egyen-egyenként alkalmazhatósági indexet képeztem ezek szorzatából. A vizsgálati és elemzési eredményeket a 22. táblázat foglalja össze.

Elmondható, hogy valamennyi paramétercsoport vizsgálatára rendelkezésre állnak különféle mérési eljárások, de a paramétercsoportokon belül nem azonosak a vizsgálat alá vont metódusok számai. Ennek oka, hogy az egyszerűbben meghatározható paraméterek vizsgálatára jellemzően több eljárás áll rendelkezésre, mint a nehezebben vizsgálható paraméterek definiálására. (A különböző paramétercsoportokban vizsgált eljárások száma: *cellulóztartalom* – 5 eljárás; *extrakttartalom* – 7 eljárás; *hamutartalom* – 6 eljárás; *holocellulóz tartalom* – 3 eljárás; *lignintartalom* – 4 eljárás; *nedvességtartalom* – 9 eljárás; *szárazanyag-tartalom* – 4 eljárás; *szénhidráttartalom* – 3 eljárás).

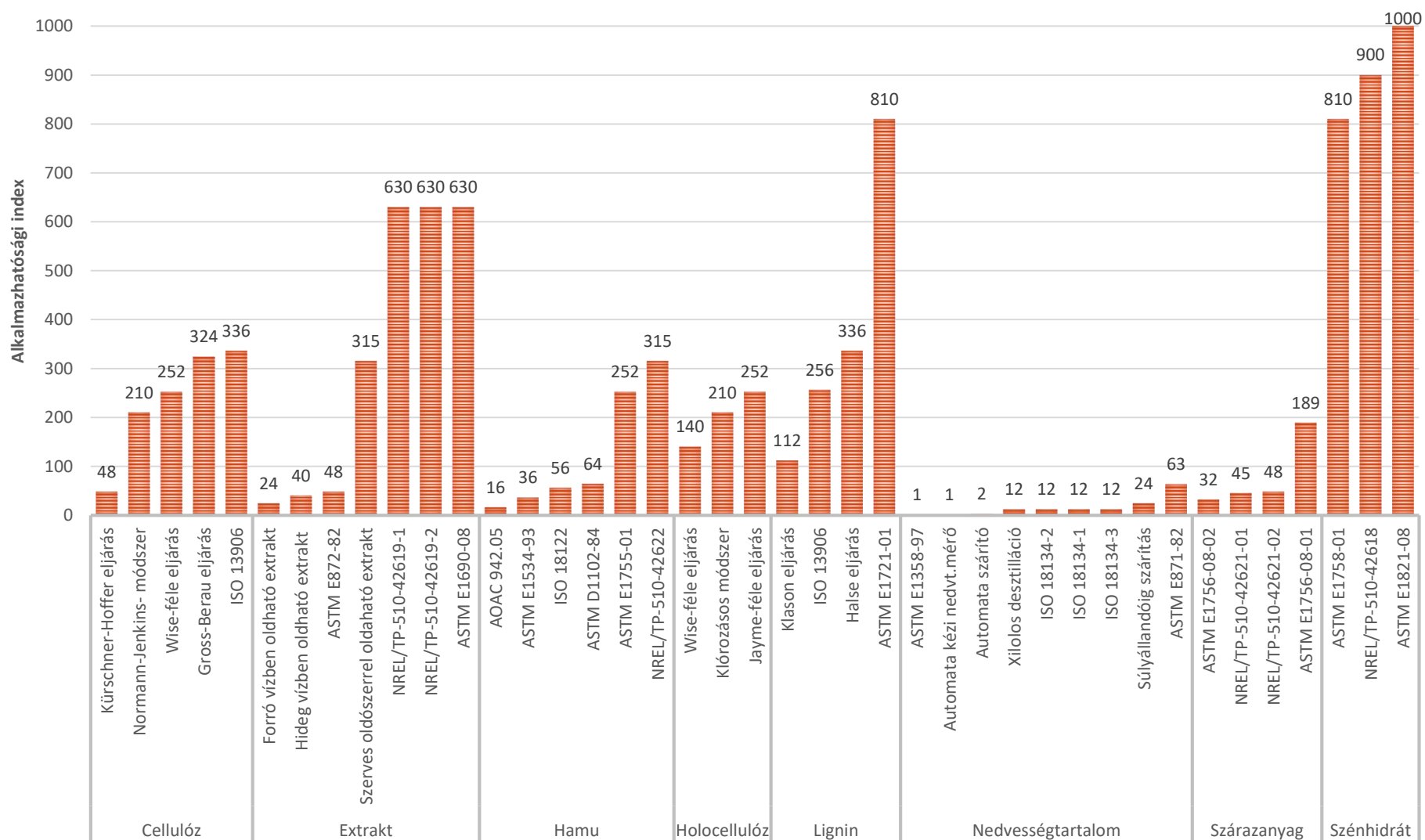
A kifejlesztett eljárás kiértékelő rendszer alkalmazásával a jövőben megjelenő új mérési eljárások is értékelhetők, besorolhatók. Az ismertetett három vizsgálati tényezőt a korábban leírtak szerint meghatározva, majd azokból alkalmazhatósági indexet képezve, a mérési forrásgyűjtemény tovább bővíthető.

7.3.2. Eljárások rangsorolása

A kifejlesztett mérési eljárásokat kiértékelő rendszer alkalmazhatósági indexével az eljárások rangsorolhatók azonos paramétercsoporton belül egymáshoz viszonyítva, és paramétercsoporttól függetlenül is (35. ábra). A 8 korábban meghatározott paramétercsoportot egymáshoz viszonyítva, a lekedvezőbb eljárások a nedvességtartalom, a legkedvezőtlenebbek pedig a szénhidráttartalom meghatározására állnak rendelkezésre.

A **nedvességtartalom** mérése jól gépesíthető eljárás, egyszerű kézi berendezések is rendelkezésre állnak a paraméter meghatározására, melyekkel az alapanyagok nedvességtartalma pár perces időintervallum alatt jó pontossággal meghatározható. Ebből adódóan (alacsony komplexitás, eszköz- és időigény) ebben a paramétercsoportban több 1-es alkalmazhatósági indexű eljárás is található. A csoporton belül a legkedvezőtlenebben ítélt eljárás az ASTM E871-82 szabványosított eljárás, melynek alkalmazhatósági indexe 63.

A **hamutartalom** mérésre, hasonlóan a nedvességtartalom méréshez, rendelkezésre állnak egyszerűbb eljárási folyamatok, de ezeknél a metódusoknál már jellemzően nagyobb az eszköz- és az időigény is. A hamutartalom meghatározására alkalmas eljárások alkalmazhatósági mutatószámai 16-315 között változnak, vagyis kedvezőbb és kevésbé kedvezőnek ítélt eljárások is rendelkezésre állnak a hamutartalom mérésére. A legoptimálisabb eljárás az AOAC 942.05, melynek alkalmazhatósági indexe 16.



35. ábra: Alapanyag minősítő eljárások rangsorolása
(Saját szerkesztés)

Az **extrakt-** és a **szárazanyag-tartalom** meghatározására is rendelkezésre állnak kedvezőnek ítélt eljárások, a legoptimálisabb eljárás az extrakt- esetén 24-es, a szárazanyag-tartalom esetén 32-es alkalmazhatósági indexszel rendelkezik.

Az extrakt tartalom meghatározására rendelkezésre álló metódusok viszont nagyobb varianciát mutatnak, hiszen ebben az esetben a legkevésbé optimális eljárás indexe 630, míg a szárazanyag-tartalom esetén ez az érték csak 189. Ennek egyik oka, hogy az extraktanyagok esetében megkülönböztethető vízben, és szerves oldószerben extrahálható rész, és ezek meghatározására különböző komplexitású eljárások állnak rendelkezésre.

A **cellulóztartalom** meghatározására a Kürschner-Hoffer féle eljárás – amely egy salétromsav-etanol elegyes kezelésen alapuló eljárás - nyújtja a legjobb alternatívát, ennek indexe 48. A legkevésbé kedvező eljárás ezen a paramétercsoporton belül az ISO 13906 metódus, amelynek alkalmazhatósági indexe 336.

A **holocellulóz-tartalom** meghatározására közel azonos alkalmazhatósági indexű eljárások állnak rendelkezésre, mint a cellulóz-tartalom vizsgálatára. A legoptimálisabb eljárás 140-es, a legkevésbé kedvező eljárás pedig 315-ös alkalmazhatósági indexű ebben a csoportban. A cellulóz és a holocellulóz tartalom meghatározásának érdekessége, hogy szabványügyi szervezet által kiadott eljárások jellemzően nem érhetők el ezeknek a paramétercsoportoknak vizsgálatára.

A **lignintartalom** meghatározására rendelkezésre álló eljárások között figyelhető meg a legnagyobb szórás az alkalmazhatóság tekintetében, hiszen a legkedvezőbb Klason-eljárás 112, a legkevésbé kívánatos ASTM E1721-01 pedig 810-es alkalmazhatósági indexszel bír.

A **szénhidráttartalom** mérésére érhetők el a legkedvezőtlenebb eljárások, mert ennek a paraméternek mérése kívánja meg a legösszetettebb, legnagyobb eszköz- és időigénnyel járó metódusokat. A vizsgálat alá vont mindhárom eljárást szabványügyi testület adta ki, és a legalacsonyabb mutatószámú eljárás is 810-es alkalmazási indexű.

Összefoglalva, a nedvesség-, a szárazanyag-, a hamu- és az extrakt tartalom meghatározására több alacsony alkalmazási indexű módszer is rendelkezésre áll. A cellulóz-, holocellulóz-, lignin-, és szénhidrát-tartalom meghatározása már nehezebb feladat, mivel ezek alkalmazhatósági indexe relatív rosszabb, magasabb értéket mutat.

A fentiek alapján az egyes paramétercsoportokon belül a következő eljárások alkalmazását javaslom:

- Nedvességtartalom: **Automata kézi nedvt. mérő** ($A_i=1$)
- Hamutartalom: **AOAC 942.05** ($A_i=16$)
- Extrakt-tartalom: **Extraktok oldása forró vízzel** ($A_i=24$)
(vízben oldható rész meghatározására)
Szerves oldószerrel oldható extrakt ($A_i=315$)
(szerves oldószerekkel oldható rész meghatározására)
- Szárazanyag-tartalom: **NREL/TP-510-42621-02** ($A_i=32$)
- Cellulóztartalom: **Kürschner-Hoffer eljárás** ($A_i=48$)
- Holocellulóz-tartalom: **Wise-féle eljárás** ($A_i=140$)

- Lignintartalom: **Klason eljárás** ($A_i=112$)
- Szénhidráttartalom: **ASTM E1758-01** ($A_i=810$)

7.4. Alapanyag mérési eljárások gyártási folyamatba illesztése

A mérési eljárások folyamatba illeszthetőségének meghatározása fontos kérdés, mert a mérési módszerek gyártási folyamatban elfoglalt pozíciója meghatározza a szabályozás erősségét, így a gyártási folyamaton lévő kontrol intenzitását is. Ebből adódóan alapvető kérdés a különböző vizsgálati csoportokhoz tartozó eljárások optimális illesztési pontjainak megismerése, amit jelen fejezetben mutatok be.

A különböző alapanyag mérési eljárások elméletileg a pellet gyártási folyamat bármely pontjához (vagy, azt megelőzően) hozzáadhatók, de a gyakorlati megvalósítás számos kérdést felvet, hiszen cél a hatékony gyakorlati megoldás és jó minőségű termék gyártása. Ha egy vizsgálati paraméter a gyártási folyamat korai szakaszban szabályozott, akkor már a folyamat elején lehetséges az eltérések/hibák detektálására, ami erős kontrollt és így hatékony és olcsóbb előállítást jelent.

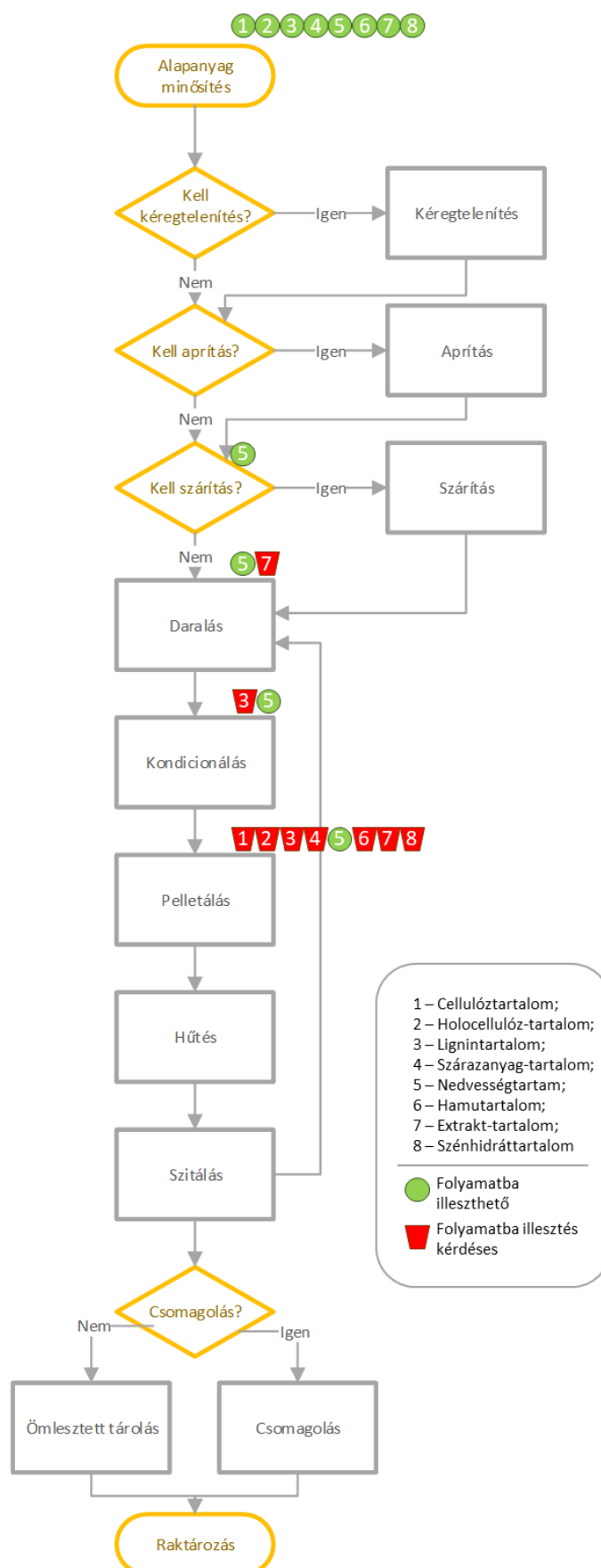
A kifejlesztett új kiértékelő rendszer alkalmazása (7.3 fejezet) láthatóvá tette, hogy a biomassza anyagok minősítésére rendelkezésre álló eljárások javarészt komplex, nagy összetettségű eljárások. Ezek a metódusok jellemzően nem, vagy csak részben automatizálhatók, lefolytatásuk humánerőforrás igényes. Az eljárások ezen tulajdonságai egyértelműen gátló tényezői a gyártási ciklus különböző folyamatlemeihez történő kapcsolásnak, így a különböző metódusok elvégzése leginkább két folyamatlépés közé ékelve értelmezhető.

Az eljárásokra kevés kivételtől eltekintve magas időigény is jellemző, így ezek a gyártási ciklus normál folyamatáramával nehezen összehangolhatók, amely szintén kritikussá teszi a folyamatba illeszthetőség lehetőségeit.

Ezeket a faktorokat figyelembe véve a 36. ábra mutatja be a különböző paramétercsoportok meghatározására alkalmas eljárások folyamatba illesztésének alternatíváit. Az ábrán piros négyszög jelöli a paramétercsoportok elméleti folyamatba illesztésének lehetőségeit, és zöld kör jelöli az optimális folyamatba illesztési pontokat.

A cellulóztartalom (1) mérésére jellemzően nagy időigényű eljárások állnak csak rendelkezésre, ezért ezek folyamatlépések közé illesztése nehézkes, az eljárások eredményesen a gyártási folyamat megkezdése előtt, az alapanyag minősítés során végezhető el. Hasonló a helyzet a holocellulóz-tartalom (2), a lignintartalom (3), és a szárazanyag-tartalom (4) mérése során is.

Habár ezek között az eljárások között vannak kedvezőnek mondható időigényű módszerek is, alacsony gépesíthetőségi szintjük miatt, a gyártási műveletek közé nemigen ékelhetők be. A nedvességtartam (5) mérésére rendelkezésre állnak teljesen automatizált, gyors mérési eljárások is. Folyamatba illeszthetőség szempontjából ez a módszer tekinthető a legkedvezőbbnek, hiszen gyakorlatilag bármely művelet közé eredményesen integrálható.



36. ábra: Alapanyag mérési eljárások folyamatba illesztésének lehetőségei
(Saját szerkesztés)

A hamutartalom (6), az extrakt-tartalom (7), és a szénhidrát-tartalom (8) mérésére rendelkezésre álló metódusok esetében szintén fennáll a folyamatba illeszthetőség esetlegessége, hiszen valamennyi eljárásra igaz, hogy magas időigényük, vagy komplexitásuk gátló tényezőként hat. **A korábban ismertetett korlátozó tényezők (magas eszköz-, időigény és komplexitás) hatására, a legtöbb eljárás csupán a termékciklus legelején, az alapanyag ciklus során integrálható hatékonyan a folyamatba [127]. Kivételt képeznek ez alól a nedvességtartalom mérésére rendelkezésre álló, alacsony alkalmazhatósági indexszel rendelkező eljárások, melyek a termékciklus kezdeti szakaszán túl, a gyártási folyamat több pontján is sikeresen folyamatba illeszthetők.**

Természetesen a folyamat végén, a pelletálási szakaszt követően a késztermék utólag is minősíthető a mérési eljárásokkal. Ebben az esetben viszont ezek a paraméterek nem kontrolálhatók, a késztermék minősége az alapanyag eredetét alapján – jellemzően a lágy szárú alapanyagok esetén - nem jelezhető előre, így egy esetleges receptúraváltással, vagy egyéb eszközökkel nem is befolyásolható az. Ez a megoldás nem hatékony.

7.5. Javaslattétel a szabályozó eszközök kiterjesztésére

Az pellet termékciklus szabályozó eszközeinek kiértékelése rávilágított (6. Pellet ciklus szabályozó eszközeinek kiértékelése c. fejezet) a hatályos szabályozó eszközök gyengeségére, az alapanyag minőségre irányuló szabályozás meghatározó hiányára.

A következő fejezetek ennek a hiánynak a feloldására tesznek javaslatot a kifejlesztett mérés kiértékelő-rendszer szabványi átültetésével, az érintett szabályozó eszközök kiterjesztésével.

7.5.1. Kiterjesztendő szabvány megjelölése

A standardok normál fejlődését leíró folyamat során az új, magasabb szintű nemzetközi normák váltják az európai illetve a nemzeti szabványokat (6. Pellet ciklus szabályozó eszközeinek kiértékelése c. fejezet). A váltással egyidőben honosításra kerülnek a magasabb szintű szabályozás irányelvei, a korábbi szabványok harmonizációjával a nemzetközi standardok lépnek érvénybe. A pellet szabványok fejlődése követi a normál metódust, vagyis a nemzeti szabványokat az európai normák, majd a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet irányadó standardjai váltották.

A kiterjesztés alternatíváinak számbavétele során az európai biomassza közösség ernyőszervezete, az Európai Biomassza Szövetség ([European Biomass Association](#)) által kidolgozott ENplus szabványrendszert is átvizsgáltam. Az ENplus szintetizáló jellegéből adódóan magába foglalja a nemzetközi szabályozás elemeit, felépítésében és tartalmában is követi azokat. Ebből adódóan **megállapítottam, hogy a szabványmódosítást a legmagasabb szintű, az alapanyag minősítésének szempontjából releváns nemzetközi szabványsorozaton, az ISO 17225:2014 „Szilárd**

bio-tüzelőanyagok. Tüzelőanyag-előírások és -osztályok.” című standardsorozaton javasolt elvégezni, hiszen ily módon a módosítások az alacsonyabb szintű, és a szintetizáló jellegű szabályozó eszközökre is kiterjednek.

7.5.2. Szabvány szerkezet módosítása, a kiterjesztés tartalma

Az ISO 17225:2014 szabványsorozat 1., 2. és 6. kötete szabályozza a pellet tüzelőanyagokra vonatkozó előírásokat és osztályokat.

Előszó
Bevezetés
1 Alkalmazási terület
2 Rendelkező hivatkozások
3 Szakkifejezések és meghatározású
4 Jelölések és rövidítések
5 Alapelvek
6 A szilárd bio-tüzelőanyagok osztályba sorolása eredet és származás szerint
6.1 Általános előírások
6.2 Fás szárú biomassa
6.3 Lágyszárú biomassa
6.4 Gyümölcs- és szőlőmaradvány biomassa
6.5 Vízi biomasszák
6.6 Biomasszából álló keverékek és egyek
6 A szilárd bio-tüzelőanyagok osztályba sorolása alapanyag minőség alapján*
6.1 Általános előírások*
6.2 Minőségi osztályok*
7 Szilárd bio-tüzelőanyagok kereskedelmi formákon és tulajdonságokon alapuló előírása
7.1 Szilárd bio-tüzelőanyagok kereskedelmi formái
7.2 Szilárd bio-tüzelőanyagok tulajdonságainak előírásai
Mellékletek
Irodalomjegyzék

*A áthúzott szabványfejezet címek a módosítást megelőző, a *-gal jelölt szabványfejezet címek a módosítási javaslatok bevezetését követő állapotot jelenítik meg.*

23. táblázat: ISO 17225-1 szabvány szerkezete a javasolt szabványmódosításokat megelőzően és azt követően
(Saját szerkesztés)

Az 1. kötet általános elvárásokat fogalmaz meg, lefekteti a szakkifejezéseket, jelöléseket, alapelveket. A kötet 6. fejezete foglalja össze a hatályos szabályozás alapján az eredet szerinti alapanyag típusokat, az alfejezetekben meghatározza az egyes csoportokba tartozó anyagok körét (23. táblázat, amely megjelöli a szabvány javasolt változtatásainak helyét és tartalmát).

Az ISO 17225-1:2014 szabványkötet 6. fejezetének átdolgozása a következő módosító javaslatok alapján ajánlott:

Módosítási javaslat (1): Javaslom az eredet szerinti csoportosítás eltörlését, helyette új, alapanyag összetétel szerinti minőségi kategóriák meghatározását, melyek ily módon már iránymutatást adnak az új, jellemzően lágyszárú alapanyagok/alapanyag-keverékek beltartalmi értéke alapján történő kategorizálásra is.

A minőségi kategóriák meghatározása során a hatályos ISO 17225:2014 szabványsorozat 2. és 6. kötetében, a késztermék minősítésre kiadott kategóriák (13. táblázat) megtartását javaslom, azonos paraméter határértékekkel.

Ezek alapján az alapanyagok és azok keverékei lehetnek: A1, A2, B, I1, I2, I3, C³, D³ kategóriájú anyagok.

Módosítási javaslat (2): Javaslom a dolgozat 7.3. Kiértékelő rendszer alkalmazása c. fejezetében bemutatott minősített eljárások jegyzékének átvételét (a szabványban „Javasolt mérési eljárások” cím alatt megjeleníteni), minden esetben jelölve a metódusok alkalmazhatósági indexét is.

Továbbá tanácsolom a dolgozat 7.2 Mérési eljárásokat kiértékelő rendszer kidolgozása c. fejezetben ismertetett mérés kiértékelő-rendszer implementálását, ezzel támogatva a tanúsított fél számára az optimális alapanyag minősítő eljárások kiválasztását, a korábban még nem kiértékelte, egyéb eljárások esetén is.

Az ISO 17225 szabványsorozat 2. és 6. kötete külön-külön tárgyalja a fa és a nem faalapú alapanyagból készült pelletek minőségekategóriáit. A két szabványkötet felépítésében azonos, eltérés a késztermék osztályozását leíró 5. fejezetben van aszerint, hogy milyen eredetű alapanyagból készült a termék.

Az ISO 17225:2014 szabványsorozat 2. és 6. kötetének átdolgozására a következő módosító javaslatokat teszem:

Módosítási javaslat (3): ISO 17225 2. és 6. kötetének összevonásával, az alapanyag eredetétől független, tisztán minőségi osztályozás alapján történő kategóriák kialakítását javaslom. A késztermék minőségi kategóriák legyenek azonosak az alapanyag kategóriákkal – megegyezően az módosított ISO 17225-1 szabványkötettel.

Az így képzett késztermék minőségi kategóriák tehát: A1, A2, B, I1, I2, I3, C³, D³

A hatályos szabályozó eszközök a késztermékeket azok paraméterei, és az azok előállításához felhasznált alapanyag eredete alapján osztályozzák. A pelletszektor fiatal ágazat, amely sokat változott az elmúlt időszakban. A korábbi fázisban - amikor az alapanyagfelhasználás szinte kizárólag magas minőségű tiszta fás szárú alapanyagok

³ Mivel a korábbi szabályozás a faalapú és a nem faalapú pellet kategóriák kialakítása során átfedést tartalmaz, ezért a korábban nem faalapú pelletek esetén használt „A” késztermék kategória jelölését „C” jelölésre, és a „B” késztermék kategória jelölését „D” jelölésre javasolt váltani.

felhasználására korlátozódott - ez a fajta szabályozás eredményesen alkalmazhatónak bizonyult. De az új, jellemzően lágy szárú alapanyagok bevonása változásokat hozott. **Így a jelenlegi szabályozás már nem tekinthető elegendőnek**, hiszen a lágy szárú, illetve a magas a kéreg, levél- és ágrész tartalmú fás szárú anyagok, valamint ezek keverékei esetében is igaz, hogy nem prognosztizálható az anyagösszetétel az alapanyag eredete alapján úgy, mint a magas minőségű fás szárú alapanyagok esetében.

A jelenlegi szabályozás magában hordozza továbbá azt a korlátosságot is, hogy akár **a legmagasabb késztermék kategória követelményeinek is megfelelő, de lágy szárú alapanyagot is tartalmazó késztermékek nem kerülhetnek be az adott minőségi kategóriába** (hiszen ezek eredetük alapján nem lehetnek a legmagasabb minőségi kategóriába tartozó pelletek alapanyagai). **Ennek feloldása érdekében, a fent ismertetett módosítások bevezetésével javaslom kiterjeszteni a pellet szabályozó eszközöket, egy alapanyag eredettől független, összetétel alapú szabályozási rendszer bevezetésével.**

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Az energiaforrások felhasználása a tűz felfedezése óta része az emberiség életének. A felhasználási szokások folyamatos változása, az ipari és lakossági energiaigények fejlődése, a világ elsődleges energiafelhasználásának folyamatos növekedését eredményezi. Ennek a növekedésnek a mértéke egyre drasztikusabb, az elmúlt negyed évszázadban 60%-os igénynövekedés generálódott. Az energiafogyasztást számos tényező befolyásolja. Az adott régió népsűrűsége mellett fontos indikátorok a régióra jellemző időjárási körülmények; a rendelkezésre álló/beszerezhető energiaforrások mennyisége és ára; az energiafogyasztási kultúra; a jellemző energia hatékonysági mutatók; valamint az ipari fejlettség és termelési adatok is.

A növekvő energiaigény kielégítése folyamatos kihívások elé állítja az emberiséget. A Föld fogyó energiaforrásai kapcsán ellátás-biztonsági kérdést vet fel a készletek folyamatosan csökkenése, illetve több állam számára a források lokális elérhetősége is. A megújuló energiaforrások készletei abszolút mértékben nem csökkenek, vagy utánpótlásuk állandó, gyors és folyamatos. Ezek esetében a helyhez kötöttség, az időben változó mértékű rendelkezésre állás, és a tárolhatóság állít kihívásokat, habár ezt a nehézséget egy optimálisan diverzifikált energiamix képes megfelelően kezelni.

A megújuló-energia szektor - többek között az előbbiekből kifolyólag is - folyamatos bővül globális szinten, **a világ végső energiafogyasztásának már csaknem egyötödét megújuló forrásokból fedezik.** A megújuló energiaforrások hasznosításában vezető szerepe van biomassza anyagoknak, a felhasznált **megújuló források több mint 75%-a biomassza eredetű.** Ennek egyik oka, hogy ezen anyagok különböző módú hasznosításával hőenergia, villamos-energia, és folyékony- illetve gáznemű üzemanyag is előállítható. **Ezek közül az anyagok közül tűnnek ki a pellet tüzelőanyagok.** A pelletek gyártása során a különböző biomassza alapanyagokat tömörítéses eljárással, hengeres alakú, kisméretű, alacsony nedvesség tartalmú és magas fűtőértékű biotüzelőanyagokká alakítják. **A pelletek pozitív tulajdonságainak köszönhetően piacuk folyamatosan bővül,** a legyártott és forgalomba hozott tüzelőanyag mennyisége intenzíven növekedik.

Európa a pellet-piac legmeghatározóbb szereplője, a tűzipelletek több mint háromnegyede Európán belül kerül felhasználásra, és a gyártott mennyiség csaknem fele is ehhez a régióhoz köthető. Magyarország piaci szerepe egyelőre csekély, de az ország adottságai, valamint az európai piac dinamikája, várakozással teli lehetőségeket vázol.

A pelletek típusát az alapján lehet meghatározni, hogy gyártásukhoz milyen alapanyagokat használnak fel. Ezek szerint a tűzipelletek lehetnek fapelletek, és nem faalapú, úgynevezett agripelletek. **A vezető szerep jelenleg még a fapelleteké mind a gyártás, mind a kereskedelem szempontjából, de megjelentek, és egyre nagyobb teret hódítanak az agripelletek is.**

A folyamatos piaci bővülés, a piaci szereplők számának növekedése a pelletek kapcsán megkövetelte az egységesített normák bevezetését, standardizálását. A

szabályozó szerepet kezdetben a nemzeti szabványok töltötték be, amelyek erős alapot adtak a későbbi európai- és nemzetközi standardoknak egyaránt.

Míg a kezdeti eszközök jellemzően csak a lakossági felhasználású fapelletek szabályozására tértek ki, a modern eszközök már tárgyalják az ipari felhasználású, sőt egyes esetekben az agripelletek szabályozását is. Ezek az eszközök - a kezdeti és a modern eszközök is - a pellet termékciklus egyes részterületeit képesek csupán lefedni, a teljes termékciklust átfogó normarendszert egyik sem állít fel. **Valamennyi eszköz esetében megfigyelhető az a hiányosság, hogy alapanyagokra vonatkozó minőségi elvárásokat nem fogalmazznak meg.** Mivel a kialakuló késztermék jellemzők milyensége döntően az alapanyag paraméterekre vezethető vissza, ezt a hiányosságot kritikus elemként kell értelmezni.

Az alapanyagok minőségének kontrolálására rendelkezésre állnak szabványosított és egyéb eljárások, amelyek alkalmasak az alapanyag paraméterek meghatározására. **A dolgozat 8 kritikus alapanyag paramétertípust** (nedvességtartalom; szárazanyag-tartalom; szénhidráttartalom; hamutartalom; cellulóztartalom holocellulóz-tartalom; lignintartalom; extrakt-tartalom) **definiál, melyek kontrolálásával szabályozható a magas minőségű késztermékgyártás, még lágy szárú alapanyagok felhasználása esetén is.**

A biomassa anyagok minősítésére rendelkezésre álló eljárások javarészt komplex, nagy összetettségű eljárások, ebből adódóan az optimális eljárások **kiválasztása támogatást igényel.** Erre korábban nem állt rendelkezésre eszköz, de a dolgozatban bemutatott új mérési eljárásokat kiértékelő rendszer feloldja ezt a hiányt, értékelhetővé és rangsorolhatóvá téve az eljárásokat.

Az új rendszer a mérési metódusokat három tényező alapján rangsorolja:

- Eszközigény, melyet a felhasznált eszközök, anyagok és berendezések száma és becsült értéke határoz meg.
- Időigény, melyet a vizsgálati minták előkészítési ideje, valamint az esetleges várakozási idővel növelt vizsgálati idő definiál.
- Komplexitás, melyet az eljárás bonyolultsága, összetettsége, és az elvégzés körülményessége ad meg.

A különböző vizsgálatok értékelése során mindhárom tényező 1-től 10-ig terjedő pontértéket vehet fel (*a legjobb: 1, a legrosszabb: 10*), melyek szorzata együttesen adja az adott eljárás alkalmazhatósági indexét. Az értékelési rendszer alapján a legkedvezőbb eljárás alkalmazhatósági indexe 1, a legkedvezőtlenebb pedig 1000.

A dolgozat 41 különböző – a 8 kritikus alapanyag paraméter vizsgálatára irányuló - mérési metódust értékelését foglalja magába. Összességében megállapítható, hogy a nedvesség-, a szárazanyag-, a hamu- és az extrakt tartalom meghatározására több kedvezőnek mondható, alacsony alkalmazási indexű eljárás is rendelkezésre áll. Ezzel szemben állnak a cellulóz-, holocellulóz-, lignin-, és szénhidrát-tartalom meghatározására szolgáló vizsgálatokkal, melyek alkalmazhatósági indexe relatív

rosszabb, magasabb értéket mutat. A dolgozatban **vizsgálati csoportonként megjelöltem az alkalmazhatósági index alapján legjobbnak ítélt eljárásokat.**

A különböző alapanyag mérési eljárások elméletileg a pellet gyártási folyamat bármely pontjához hozzáadhatók, de a mérési eljárásokat kiértékelő rendszer eredményei rávilágítanak, hogy a rendelkezésre álló eljárások komplexitása, nagy idő- és humánerőforrás igénye nehézkessé teszi azok folyamatba illeszthetőségét. Az ismertetett korlátozó tényezők hatására, a legtöbb eljárás csupán a termékciklus kezdetén, az alapanyag ciklus során integrálható eredményesen a folyamatba. Kivételt képeznek ez alól a nedvességtartalom mérésére rendelkezésre álló alacsony alkalmazhatósági indexszel rendelkező eljárások, melyek a termékciklus kezdeti szakaszán túl, a gyártási folyamat több pontján is sikeresen folyamatba illeszthetők. **A dolgozatban megjelöltem, hogy mely eljárást, mely pellet életciklus- és értéklánc pozícióban érdemes alkalmazni.**

A dolgozat eredményei választ adnak a pellet termékciklus szabályozó- és mérőrendszerének kiterjesztésére. Az értekezés kutatási eredményei átültethetők a gyakorlatba, melynek hatékony alternatívát biztosítanak az **ISO 17225:2014 szabványsorozat továbbfejlesztésére tett javaslatok**, amelyben megjelöltem, hogy milyen tartalmi és formai kiegészítésekkel kell a szabványsorozatot módosítani.

A dolgozat a kitűzött célokat elérte, a disszertáció kutatási eredményei tudományos részletességgel és átfogóan publikálásra kerültek a megfelelő hazai és nemzetközi fórumokon.

9. TÉZISEK, ÚJ KUTATÁSI EREDMÉNYEK

- (T1) Az agripelletek alapanyagául szolgáló lágyszárú anyagok kémiai összetételük alapján nagy változékonyságot mutatnak, eredet (faj) alapján összetételük nem tekinthetőek állandónak. Ezért ezen alapanyagok esetében a jelenleginél lényegesen magasabb szintű szabályozását és ellenőrzését kell bevezetni. A minőségsszabályozó eszközök eltérést mutatnak azzal kapcsolatban, hogy a teljes pellet termékciklus mely részterületeit képesek lefedni, valamennyi eszköz esetében fennáll az a meghatározó hiányosság, hogy az alapanyagok minőségi szabályozására nem terjednek ki, ezért szükséges a szabványok kiegészítése.

(3.3.1. Alapanyag ciklus, 5. Pellet termékciklus jellemzőinek meghatározása)

Publikálva:

- Konrád K., Németh G.: Fa- és agripelletek tüzeléstechnikai tulajdonságaival összefüggő kutatások alapjai. Sopron, ERFARET Nonprofit Kft., 2013., *Faipar*, 61. kötet, old.: 28-34.
- Konrád K., Viharos Zs. J., Németh G.: Minőségsszabályozási rendszerek kiterjesztése pellet alapanyagokra. Kolozsvár, XVII. Nemzetközi Energetika-Elektrotechnika Konferencia (ENELKO), 2016. old.: 72-77.
- Konrád K., Viharos Zs. J.: Pellet termékciklus szabályozásának, mérésének rendszere és kihívásai. Keszthely, XXII. Ifjúsági Tudományos Fórum, 2016. old.: 1-6. ISBN:978-963-9639-83-6.
- Konrád K., Viharos Zs. J.: Hungary: raw material quality as a crucial factor. Wels, *European Pellet Conference*, 2018. március 1.

- (T2) A megfelelő minőségű pellet előállításához az alapanyag minősége erősen meghatározó, a pelletgyártási folyamat szabályozása csak korlátozottan tudja a végtermék minőségét befolyásolni. A pelletek gyártása során alapanyagul szolgáló szilárd biogén anyagok molekuláris szerkezetének, illetve elemi összetételének, azaz az alapanyag paraméterek ismerete nem csak a végtermék tüzeléstechnikai paramétereire enged következtetni, hanem teljes gyártási folyamatot szabályozhatóvá teszi. Az alapanyag paraméterek ismeretével a gyártási receptúrák egyszerűbben, gazdaságosabban kialakíthatóvá válnak, amivel még változó paraméterű alapanyagok felhasználása esetén is biztosítható a késztermék minőség-ingadozásának alacsony szinten tartása.

(5. Pellet termékciklus jellemzőinek meghatározása)

Publikálva:

- Konrád K., Viharos Zs. J., Németh G.: Minőségsszabályozási rendszerek kiterjesztése pellet alapanyagokra. Kolozsvár, XVII. Nemzetközi Energetika-Elektrotechnika Konferencia (ENELKO), 2016. old.: 72-77.
- Konrád K., Viharos Zs. J.: Pellet termékciklus szabályozásának, mérésének rendszere és kihívásai. Keszthely, XXII. Ifjúsági Tudományos Fórum, 2016. old.: 1-6. ISBN:978-963-9639-83-6.
- Konrád K., Viharos Zs. J., Németh G.: Evaluation, ranking and positioning of measurement methods for pellet production. *Measurement*, 2018, 124. kötet, old.: 568-574.

- (T3) A biomassa alapanyagok minősítésére szolgáló analitikai eljárások között folyamatba illeszthetőség szempontjából jelentős különbség van. Új, komplex mérési eljárásokat kiértékelő rendszert dolgoztam ki, amely a biomassa anyagok mérésére alkalmas metódusokat eszközígyényük, időígyényük és komplexitásuk alapján képes egyedileg elemezni. A kifejlesztett alkalmazhatósági index

használatával értékelhetővé, osztályozhatóvá és összehasonlíthatóvá válnak a különböző mérési eljárások.

(7.2. Mérési eljárásokat kiértékelő rendszer kidolgozása)

Publikálva:

- Konrád K., Viharos Zs. J., Németh G.: *Evaluation, ranking and positioning of measurement methods for pellet production. Measurement*, 2018, 124. kötet, old.: 568-574.
- Konrád K., Viharos Zs. J., Németh G.: *Raw material measurement methods evaluation and ranking for pellet production*. Budapest, *International Measurement Confederation (IMEKO)*, 2017. old.: 164-169. ISBN:978-92-990075-

(T4) A kifejlesztett mérési eljárásokat kiértékelő rendszer alkalmazásával meghatároztam a pellet termékciklusba illeszthetőség szempontjából legkedvezőbb eljárásokat. Megállapítottam, hogy a nedvességtartam mérés kivételével – amelyre rendelkezésre áll teljesen automatizált, egy műveleti elemből álló metódus - a mérési eljárások csupán a termékciklus kezdetén, az alapanyag ciklus során integrálhatók hatékonyan a gyártási ciklusba.

(7.3. Kiértékelő rendszer alkalmazása, 7.4. Alapanyag mérési eljárások gyártási folyamatba illesztése)

Publikálva:

- Konrád K., Viharos Zs. J., Németh G.: *Evaluation, ranking and positioning of measurement methods for pellet production. Measurement*, 2018, 124. kötet, old.: 568-574.
- Konrád K., Viharos Zs. J., Németh G.: *Raw material measurement methods evaluation and ranking for pellet production*. Budapest, *International Measurement Confederation (IMEKO)*, 2017. old.: 164-169. ISBN:978-92-990075-

(T5) Megjelöltem, hogy a kiterjesztést az ISO 17225:2014 szabványsorozaton kell elvégezni. Leírtam, hogy milyen tartalommal és milyen módon kell kiegészíteni a meglévő szabályozó eszközöket. A megjelölt szabványszerkezeti és –tartalmi módosítások feloldják az alapanyag minősítés hiányára visszavezethető defektust, ajánlást tesznek a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet számára.

(7.5. Javaslattétel a szabályozó eszközök kiterjesztésére)

Publikálva:

- Konrád K., Viharos Zs. J.: *Hungary: raw material quality as a crucial factor*. Wels, *European Pellet Conference*, 2018. március 1.

10. IRODALOMJEGYZÉK

1. **Szemmelveiszné dr. Hodvogner Katalin.** *Energiahordozók.* Miskolc : Miskolci Egyetemi Kiadó, 1998. old.: 256.
2. **Mózes, Mihály.** *Az ipari forradalmak kora.* Budapest : Ikva Kiadó, 1991. old.: 122. ISBN: 9637760010.
3. **Morris, Neil.** *Az ipari forradalom - A modern ipar felemelkedése.* Budapest : Nemzeti Tankönyvkiadó, 2010. old.: 48. ISBN: 9789631965377.
4. **British Petroleum.** BP Statistical Review of World Energy. *www.bp.com.* [Online] [Hivatkozva: 2017. október 5.] <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>.
5. **Stoerring, Dagmara.** Energiapolitika: Általános elvek. [Online] [Hivatkozva: 2018. március 3.] http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/hu/displayFtu.html?ftuid=FTU_2.4.7.html.
6. **Nemzeti Fejlesztési Minisztérium.** Nemzeti energiastratégia 2030. Budapest : Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2012. ISBN 978-963-89328-1-5.
7. **Európai Bizottság.** Energia 2020 - Stratégia a versenyképes, fenntartható és biztonságos energiaforrásokért. Brüsszel : ismeretlen szerző, 2010.
8. **Horváth, Zoltán.** *Kézikönyv az Európai Unióról.* Budapest : Lap- és Könyvkiadó Kft., 2011. old.: 684. ISBN: 9789632581293.
9. *Transition to sustainability in the twenty-first century: the contribution of science and technology. Report of the World Conference of Scientific Academies.* Tokió : ismeretlen szerző, 2000.
10. **Európai Bizottság.** *Energiapolitika.* Luxemburg : Európai Unió Kiadóhivatala, 2015. ISBN 978-92-79-42199-0.
11. —. *A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának - Éghajlat-és energiapolitikai keret a 2020-2030-as időszakra.* Brüsszel : Európai Bizottság, 2014.
12. —. *A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának - 2050-ig szóló energiaügyi ütemterv.* Brüsszel : Európai Bizottság, 2011.
13. **Magyarország kormánya.** *Magyarország energiapolitikája 2007-2020.* Budapest : Magyarország kormánya.
14. **Nemzeti Fejlesztési Minisztérium.** *Magyarország megújuló energia hasznosítási cselekvési terve 2010-2020.* Budapest : Nemzeti Fejlesztési Minisztérium. ISBN 978-963-89328-0-8.
15. *Renewable energy in the EU.* **Eurostat.** Brüsszel : Eurostat, 2018., 17/2018. kötet.
16. **Fankhauser, Sam és Jotzo, Frank.** Economic growth and development with low-carbon energy. *WIREs.* 2017., Climate Change. kötet.
17. **Magyarország kormánya.** *IV. Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Terv.* Budapest : Magyarország kormánya, 2017.
18. **International Energy Agency.** IEA Atlas of Energy. *www.iea.org.* [Online] [Hivatkozva: 2017. november 11.] <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/-1002896040/1>.
19. **Központi Statisztikai Hivatal.** A világ népessége kontinensek szerint, 1950–2100. [Online] [Hivatkozva: 2017. november 12.] https://www.ksh.hu/interaktiv/grafikonok/vilag_nepessege.html.
20. **Enerdata.** Global Energy Statistical Yearbook 2017. *www.enerdata.net.* [Online] [Hivatkozva: 2017. november 5.] <https://www.enerdata.net/publications/world-energy-statistics-supply-and-demand.html>.
21. **The World Bank.** GDP per capita. [Online] [Hivatkozva: 2017. november 11.] <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?locations=CN>.
22. —. Sustainable Energy for All. *data.worldbank.org.* [Online] [Hivatkozva: 2017. november 30.] <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=sustainable-energy-for-all>.

23. **Eurostat.** Energy statistics - Supply, transformation and consumption [nrg_10 adabázis]. *ec.europa.eu/eurostat*. [Online] [Hivatkozva: 2017. október 29.] http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_100a&lang=en.
24. **REN21.** *Renewables 2017 - Global status report*. Párizs : REN21, 2017. ISBN 978-3-9818107-6-9.
25. **World Bioenergy Association.** *Global bioenergy statistics*. 2017.
26. **European Biomass Association.** *European Bioenergy Outlook*. 2017.
27. **World Energy Council.** *World Energy Resources*. 2016.
28. **Döring, Stefan.** *Power from pellets*. Berlin : Springer, 2013. old.: 223. ISBN 978-3-642-19961-5.
29. *Wood fuel properties and fuel products from woods*. **A. J. Baker.** East Lansing : Fuel Wood Management and Utilization Seminar, 1982., old.: 14-25.
30. **Pellet Club Japan.** History of wood pellet. [Online] [Hivatkozva: 2018. július 19.] <http://www.pelletclub.jp/en/pellet/history.html>.
31. **Biomass Industrial Innovative Projects.** Origins of the Wood Pellet. [Online] [Hivatkozva: 2018. július 19.] <http://biomassproject.blogspot.com/2014/02/origins-of-wood-pellet.html>.
32. **PMMER Wood Pellet.** History of Wood & Biomass Pellets. [Online] [Hivatkozva: 2018. július 19.] <https://www.pmmr.com/technical-guide/history-of-wood-biomass-pellets.html>.
33. **Deutsches Biomasseforschungszentrum.** From Biomass to Solid Fuel. Lipcse : DBFZ.
34. **Fenyvesi, László, Ferencz, Ákos és Tóvári, Péter.** *A tűzipellet*. Budapest : Cser Kiadó Kft., 2008. old.: 88. ISBN 9789639759848.
35. **Obernberger, I. és Thek, G.** *The pellet handbook*. London : Earthscan Ltd., 2010. old.: 549. ISBN 978-1-84407-631-4.
36. *Preparation and characterization of fuel pellets from woody biomass, agro-residues and their corresponding hydrochars*. **Zhengang Liu, Augustine Quek, R. Balasubramanian.** New York : Elsevier Applied Science, 2014., Applied Energy, 113. kötet, old.: 1315-1322. ISSN 0306-2619.
37. *A Review of Pellets from Different Sources*. **Teresa Miranda, Irene Montero, Francisco José Sepúlveda, José Ignacio Arranz, Carmen Victoria Rojas and Sergio Nogales** . Bázel : MDPI, 2015., Materials, 8. kötet, old.: 1413-1427. ISSN 1996-1944.
38. *The economic potential of wood pellet production from alternative, low-value wood sources in the southeast of the U.S.* **Ric Hoefnagels, Martin Junginger, André Faaij.** New York : Elsevier Applied Science, 2014., Biomass and Bioenergy, 71. kötet, old.: 443-454. ISSN 0961-9534.
39. *Portuguese pellets market: Analysis of the production and utilization constraints*. **Eliseu Monteiro, Vishveshwar Mantha, Abel Rouboa.** New York : American Chemical Society, 2012., Energy Policy, 42. kötet, old.: 129-135. ISSN 0301-4215.
40. *The wood pellet market in Austria: A structural market model analysis*. **Christa Kristöfela, Christoph Strassera, Erwin Schmidb, Ulrich B. Morawetz.** New York : American Chemical Society, 2016., Energy Policy, 88. kötet, old.: 402-412. ISSN 0301-4215.
41. *The suitability of wood pellet heating for domestic households: A review of literature*. **Harriet Thomasona, Christine Liddellb.** New York : Elsevier Applied Science, 2015., Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42. kötet, old.: 1362-1369. ISSN 1364-0321.
42. *European wood pellet market integration – A study of the residential sector*. **Olle Olsson, Bengt Hillring, Johan Vinterbäck.** New York : Elsevier Applied Science, 2011., Biomass and Bioenergy, 35. kötet, old.: 153-160. ISSN 0961-9534.
43. *Variability of biomass chemical composition and rapid analysis using FT-NIR techniques*. **Lu Liu; X. Philip Ye; Alvin R. Womac; Shahab Sokha.** New York : Elsevier Applied Science, 2010., Carbohydrate Polymers, 81. kötet, old.: 820-829. ISSN: 0144-8617.
44. *Understanding biomass feedstock variability*. **Kevin L Kenney; William A Smith; Garold L Gresham;** London : Taylor & Francis Group, 2013., Biofuels, 4. kötet, old.: 111-127. ISSN: 1759-7277.

45. *Közönséges nád (Phragmites australis) pelletálási technológiájának vizsgálata – I. rész: Az alapanyag tulajdonságai.* **Magoss, Endre, Vityi, Andrea és Richter, Zoltán.** Sopron : ERFARET Nonprofit Kft., 2015., 63/1. kötet, old.: 21-26. ISSN 0014-6897.
46. **International Organization for Standardization.** ISO 17225-1:2014. *Solid biofuels - Fuel specifications and classes.*
47. **European Committee for Standardization.** EN 14961:2010. *Solid biofuels - Fuel specifications and classes.*
48. **European Pellet Council (EPC).** ENplus:2015. *Quality Certification Scheme For Wood Pellets.*
49. **European Committee for Standardization.** EN 15234:2012. *Solid biofuels - Fuel quality assurance.*
50. **CT Pellet.** How to Choose the Best Wood Pellets. [Online] [Hivatkozva: 2018. július 19.] http://www.ctpellet.com/best_wood_pellets.aspx.
51. *Colorimetric patterns of wood pellets and their relations with quality and energy parameters.* **Andrea Sgarbossa, Corrado Costa, Paolo Menesatti, Francesca Antonucci, Federico Pallottino, Michela Zanetti, Stefano Grigolato, Raffaele Cavalli.** New York : Elsevier Applied Science, 2014., Fuel, 137. kötet, old.: 70-76. ISSN 0016-2361.
52. *Elemental analyses of pine bark and wood in an environmental study.* **K.E. Saarela; L. Harju; J. Rajander; J.O. Lill és S.J. Heselius; A. Lindroos; K. Mattsson.** New York : Elsevier, 2005., Science of The Total Environment, 343. kötet, old.: 231-241. ISSN: 0048-9697.
53. *An overview of the chemical composition of biomass.* **S.V.Vassilev; D. Baxter; L.K.Anderse;C.G. Vassilev.** New York : Elsevier, 2010., 89. kötet, old.: 8913-933. ISSN: 0016-2361.
54. *Review of sustainable biomass pellets production – A study for agricultural residues pellets' market in Greece.* **V. Karkania, E. Fanara, A. Zabaniotou.** New York : Elsevier Applied Science, 2012., Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16. kötet, old.: 1426-1436. ISSN 1364-0321.
55. *Development of agri-pellet production cost and optimum size.* **Arifa Sultana, Amit Kumara, Don Harfield.** New York : Elsevier Applied Science, 2010., Bioresource Technology, 101. kötet, old.: 5609-5621. ISSN 0960-8524.
56. *Agripellet előállítás alapanyagbázis vizsgálata Magyarországon.* **Papp, Viktória, Szalay, Dóra és Gaál, László.** Eger : Líceum Kiadó, 2016., Journal of Central European Green Innovation, 2. kötet, old.: 1-13.
57. **CARBOROBOT Kft.** Agripellet fajták. [Online] [Hivatkozva: 2018. július 19.] <http://www.carborobot.hu/hu/agripellet.htm>.
58. **Matthews, Fiona.** The global outlook for wood pellet markets. *WPAC Annual Conference.* Ottawa : Hawkins Wright Ltd., 2017.
59. **European Pellet Council.** *Pellet market overview.* Brüsszel : AEBIOM, 2017.
60. *Heating values of wood pellets from different species.* **C.Telmo, J .Lousada.** New York : Elsevier Applied Science, 2011., Biomass and bioenergy, 35. kötet. ISSN 0961-9534.
61. **IEA Bioenergy.** *Global Wood Pellet Industry and Trade Study.* Brüsszel : IEA Bioenergy, 2017. ISBN 978-1-910154-32-8.
62. **Strauss, William.** Global pellet market outlook in 2017. *Canadian Biomass.* [Online] [Hivatkozva: 2017. június 17.] <https://www.canadianbiomassmagazine.ca/pellets/growing-demand-for-pellets-6074>.
63. **Konrád, Krisztina és Viharos, Zsolt János.** *Hungary: raw material quality as a crucial factor.* Wels : European Pellet Conference 2018, 2018. március 1.
64. *A life-cycle comparison of the energy, environmental and economic impacts of coal versus wood pellets for generating heat in China.* **Changbo Wanga, Yuan Changc, Lixiao Zhanga, Mingyue Panga, Yan Hao.** New York : Elsevier Applied Science, 2016., Energy. ISSN 0360-5442.
65. **Macrotrends.** Macrotrends - The Premier Research Platform for Long Term Investors. *Brent Crude Oil Prices - 10 Year Daily Chart.* [Online] Macrotrends LLC. [Hivatkozva: 2018. július 08.] <http://www.macrotrends.net/2480/brent-crude-oil-prices-10-year-daily-chart>.

66. —. Macrotrends - The Premier Research Platform for Long Term Investors. *Heating Oil Prices - 30 Year Historical Chart*. [Online] Macrotrends LLC. [Hivatkozva: 2018. július 08.] <http://www.macrotrends.net/2479/heating-oil-prices-historical-chart-data>.
67. **World Nuclear Association**. Heat Values of Various Fuels. [Online] [Hivatkozva: 2018. július 16.] <http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx>.
68. **Blair, Louisa**. Wood pellet market update. *Nordic Baltic Bioenergy Conference*. Helsinki : Hawkins Wright Ltd., 2017.
69. **IEA Bioenergy**. *Global Wood Pellet Industry Market and Trade Study*. Brüsszel : IEA Bioenergy, 2011.
70. **Bingham, John**. The global outlook for wood pellet markets. *WPAC Annual Conference*. Harrison Hot Springs : Hawkins Wright Ltd., 2016.
71. *Wood pellet production costs under Austrian and in comparison to Swedish framework conditions*. **Gerold Thek, Ingwald Obernberger**. New York : Elsevier Applied Science, 2004., Biomass and Bioenergy, 27. kötet, old.: 671-693. ISSN 0961-9534.
72. *Economic sustainability for wood pellets production – A comparative study between Finland, Germany, Norway, Sweden and the US*. **Erik Trømborg, Tapio Ranta, Jörg Schweinle, Birger Solberg, Geir Skjevrak, Douglas G. Tiffany**. New York : Elsevier Applied Science, 2013., Biomass and Bioenergy, 57. kötet, old.: 68-77. ISSN 0961-9534.
73. *Present and future trends in pellet markets, raw materials, and supply logistics in Sweden and Finland*. **Mari Selkimäki, Blas Mola-Yudegoa, Dominik Rösera, Robert Prinza, Lauri Sikanen**. New York : Elsevier Applied Science, 2010., Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14. kötet, old.: 3068-3075. ISSN 1364-0321.
74. **European Pellet Council**. Pellet market overview. Brüsszel : AEBIOM, 2016.
75. *The European wood pellet markets: current status and prospects for 2020*. **Richard Sikkema, Monika Steiner, Martin Junginger, Wolfgang Hiegl, Morten Tony Hansen, Andre Faaij**. New Jersey : Wiley, 2011., Biofuels Bioproducts and Biorefining. SSN 1932-104X.
76. **European Biomass Association**. *European Bioenergy Outlook*. 2016.
77. **Pelletsatlas**. *Pellet market country report Hungary*. München : Pelletsatlas, 2009.
78. *A pelletgyártás helyzete és fejlődési irányai*. **Burján, Emese**. Sopron : InnoLignum Konferencia, 2009.
79. **KMEC Engineering**. Biomass Pellet Fuel Market Across Hungary. [Online] [Hivatkozva: 2018. július 18.] <http://www.biomasspelletplant.com/news/pellet-market-hungary.html>.
80. **Magyar Köztársaság Korálmánya**. *Környezet és Energia Operatív program 2007-2013*.
81. **Jakab, Andrea**. Védjegyet vezetett be a Magyar Pellet Egyesület. *FATÁJ Online*. [Online] 2009. [Hivatkozva: 2018. július 18.] http://www.fataj.hu/2009/06/040/200906040_Magyar-Pellet-Egyesulet_vedjegye.php.
82. **Európai Bizottság**. Intelligent Energy Europe. [Online] [Hivatkozva: 2018. július 19.] <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/partners/hpa>.
83. *Fa- és agripelletek tüzeléstechnikai tulajdonságaival összefüggő kutatások alapjai*. **Konrád, Krisztina és Németh, Gábor**. Sopron : ERFARET Nonprofit Kft., 2013., Faipar, 61. kötet, old.: 28-34.
84. **Molnár, Sándor**. *Faanyagismeret*. Budapest : Szaktudás Kiadó Ház Rt., 2004. old.: 472. ISBN: 9789639553170.
85. *Pellet production from agricultural raw materials – A systems study*. **Daniel Nilsson, Sven Bernesson, Per-Anders Hansson**. New York : Elsevier Applied Science, 2011., Biomass and Bioenergy, 35. kötet, old.: 679-689. ISSN 0961-9534.
86. *New European Pellets Standards*. **Alakangas E**. 2010.
87. *Renewable Energy from Biomass*. **Kaltschmitt M, Thran D, Smith KR**. Cambridge : Academic Press, 2003., Encyclopedia of Physical Science and Technology, 14. kötet, old.: 203-228. ISBN 978-0122269301.
88. **Gerencsér, Kinga**. *Fűrészipari technológia - Rönktér*. Sopron : Nyugat-Magyarországi Egyetem, 2008. (egyetemi jegyzet).

89. —. Fűrészipari technológia - Készárutér. Sopron : Nyugat-Magyarországi Egyetem, 2008. (egyetemi jegyzet).
90. *Assessing the integration of torrefaction into wood pellet production.* **Mahdi Mobini, Jörn-Christian Meyer, Frederik Trippe, Taraneh Sowlati, Magnus Fröhling, Frank Schultmann.** New York : Elsevier Applied Science, 2014., Journal of Cleaner Production, 78. kötet, old.: 216-225. ISSN 0959-6526.
91. *Torrefaction Influence on Pelletability and Pellet Quality of Norwegian Forest Residues.* **Nevena Mišljenović, Quang-Vu Bach, Khanh-Quang Tran, Carlos Salas-Bringas, Øyvind Skreiberg.** Washington : ACS Publications, 2014., Energy & Fuels, 28. kötet, old.: 2554-2561. ISSN 1520-5029.
92. *Lab and Bench-Scale Pelletization of Torrefied Wood Chips - Process Optimization and Pellet Quality.* **Lei Shang, Niels Peter K. Nielsen, Wolfgang Stelte, Jonas Dahl, Jesper Ahrenfeldt, Jens Kai Holm, Maria Puig Arnavat, Lars S. Bach, Ulrik B. Henriksen.** New York : Springer, 2013., BioEnergy Research, 7. kötet, old.: 87-94. ISSN 1939-1234.
93. **Greschik, Gyula.** *Anyagmozgató gépek.* Budapest : Tankönyvkiadó, 1987. old.: 310.
94. **Verdes, Sándor.** *Anyagmozgatás és gépei.* Veszprém : Pannon Egyetem, 2012. old.: 141. (egyetemi jegyzet).
95. **Pánczél, Zoltán.** *Anyagmozgatás, csomagolás, raktározás.* Győr : Széchenyi István Egyetem, 2006. old.: 266. (egyetemi jegyzet).
96. *From wood pellets to wood chips, risks of degradation and emissions from the storage of woody biomass – A short review.* **Esa Alakoskia, Miia Jämsénä, David Agarc, Elina Tampio, Margareta Wihersaarib.** New York : Elsevier Applied Science, 2016., Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54. kötet, old.: 376-383. ISSN 1364-0321.
97. *Simulation of temperature and moisture changes during storage of woody biomass owing to weather variability.* **Alemayehu H. Bedane, Muhammad T. Afzal, Shahab Sokhansanj.** New York : Elsevier Applied Science, 2011., Biomass and Bioenergy, 35. kötet, old.: 3147-3151. ISSN 0961-9534.
98. *Logistics issues of biomass: The storage problem and the multi-biomass supply chain.* **Athanasios A. Rentizelas, Athanasios J. Tolis, Ilias P. Tatsiopoulos.** New York : Elsevier Applied Science, 2009., Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13. kötet, old.: 887-894. ISSN 1364-0321.
99. *Storage and drying of wood fuel.* **R Jirjis.** New York : Elsevier Applied Science, 1995., Biomass and Bioenergy, 9. kötet, old.: 181-190. ISSN 0961-9534.
100. *Effect of extractives and storage on the pelletizing process of sawdust.* **Niels Peter K. Nielsen, Douglas J. Gardner, Claus Felby.** New York : Elsevier Applied Science, 2010., Fuel, 89. kötet, old.: 94-98. ISSN 0016-2361.
101. *Storage effects on pelletised sawdust, logging residues and bark.* **Päivi Lehtikangas.** New York : Elsevier Applied Science, 2000., Biomass and Bioenergy, 19. kötet, old.: 287-293. ISSN 0961-9534.
102. *Storage as a tool to improve wood fuel quality.* **Martha Andreia Brand, Graciela Inês Bolzon de Muñiz, Waldir Ferreira Quirino, José Otávio Brito.** New York : Elsevier Applied Science, 2011., Biomass and Bioenergy, 35. kötet, old.: 2581-2588. ISSN 0961-9534.
103. *Chemical properties of solid biofuels—significance and impact.* **Ingwald Obernberger, Thomas Brunner, Georg Bärnthaler.** New York : Elsevier Applied Science, 2006., Biomass and Bioenergy, 30. kötet, old.: 973-982. ISSN 0961-9534.
104. *The influence of raw material characteristics on the industrial pelletizing process and pellet quality.* **Mehrdad Arshadia, Rolf Grefb, Paul Geladia, Sten-Axel Dahlqvist, Torbjörn Lestander.** New York : Elsevier Applied Science, 2008., Fuel Processing Technology, 89. kötet, old.: 1442-1447. ISSN 0378-3820.
105. *Effect of pelletizing conditions on combustion behaviour of single wood pellet.* **Amit Kumar Biswas, Magnus Rudolfsson, Markus Broström, Kentaro Umeki.** New York : Elsevier Applied Science, 2014., Applied Energy, 119. kötet, old.: 79-84. ISSN 0306-2619.
106. *Evaluation, ranking and positioning of measurement methods for pellet production.* **Konrád, Krisztina, Viharos, Zsolt János és Németh, Gábor.** 2018., Measurement, 124. kötet, old.: 568-574.
107. **Kocsis, Zoltán.** *A fa szemcsés halmazok tömörítésének rheológiája és energetikája a pelletálási tartományban.* Sopron : Nyugat-magyarországi Egyetem, 2014. old.: 134. Doktori (PhD) értekezés.

108. *A study of bonding and failure mechanisms in fuel pellets from different biomass resources.* **Wolfgang Stelte, Jens K. Holm, Anand R. Sanadi, Søren Barsberg, Jesper Ahrenfeldt, Ulrik B. Henriksen.** New York : Elsevier Applied Science, 2011., Biomass and Bioenergy, 35. kötet, old.: 910-918. ISSN 0961-9534.
109. *Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders.* **Donghui Lu, Lope G. Tabil, Decheng Wang, Guanghui Wang, Shahram Emami.** New York : Elsevier Applied Science, 2014., Biomass and Bioenergy, 69. kötet, old.: 287-296. ISSN 0961-9534.
110. *Effects of raw material moisture content, densification pressure and temperature on some properties of Norway spruce pellets.* **Christofer Rhén, Rolf Gref, Michael Sjöström, Iwan Wästerlund.** New York : Elsevier Applied Science, 2005., Fuel Processing Technology, 87. kötet, old.: 11-16. ISSN 0378-3820.
111. *Emission from realistic utilization of wood pellet stove.* **G. Toscano, D. Duca, A. Amato, A. Pizzi.** New York : Elsevier Applied Science, 2014., Energy, 68. kötet, old.: 644-650. ISSN 0360-5442.
112. **International Organization for Standardization.** *Economic benefits of standards.* Genève : ISO, 2014. ISBN 978-92-67-10620-5.
113. **Peter Hatto.** *Standards and Standardization Handbook.* Brüsszel : Európai Bizottság, 2010.
114. **Pelletsatlas.** *Advancement of pellets-related European standards.* München : Pelletatlas, 2009.
115. **Bioenergy Europe.** ENplus history. [Online] [Hivatkozva: 2018. augusztus 17.] <https://www.enplus-pellets.eu>.
116. **Konrád, Krisztina, Viharos, Zsolt János és Németh, Gábor.** Minőségsszabályozási rendszerek kiterjesztése pellet alapanyagokra. Kolozsvár : XVII. Nemzetközi Energetika-Elektrotechnika Konferencia (ENELKO), 2016. old.: 72-77.
117. **Konrád, Krisztina és Viharos, Zsolt János.** Pellet termékciklus szabályozásának, mérésének rendszere és kihívásai. Keszthely : XXII. Ifjúsági Tudományos Fórum, 2016. old.: 1-6. ISBN:978-963-9639-83-6.
118. *Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark.* **Päivi Lehtikangas.** New York : Elsevier Applied Science, 2001., Biomass and Bioenergy, 20. kötet, old.: 351-360. ISSN 0961-9534.
119. *Experimental study on ash fusion characteristics of biomass.* **Xiang Fang és Li Jia.** New York : Elsevier, 2012., Bioresource Technology, 104. kötet, old.: 769-774. ISSN: 0960-8524.
120. *Ash melting temperature prediction from chemical composition of biomass ash.* **Michael Holubcik, Jozef Jandacka és Milan Malcho.** 2015., The Holistic Approach to Environment, 3. kötet, old.: 119-125. ISSN: 1848-0071.
121. *Ash melting behaviour of wheat straw blends with wood and reed.* **Siim Link, Patrik Yrjas és Leena Hupa.** New York : Elsevier, 2018., 124. kötet, old.: 11-20. ISSN: 0960-1481.
122. *Ash contents and ash-forming elements of biomass and their significance for solid biofuel combustion.* **S.V. Vassilev;C.G.Vassileva;Y.C. Song;W.Y Li; Jeng.**
123. **EDU-LAB Ltd.** *In science together catalog.* 2017. old.: 436.
124. **Cole-Parmer Instrument Company.** *Biofuels Lab Equipment & Supplies.* 2016. old.: 55.
125. **Carl Stuart Group.** *Lab Unlimited - Laboratory catalogue.* old.: 1580.
126. **Science LAB.** *Scientific supplies & equipment catalog.* 2014. old.: 120.
127. **Konrád, Krisztina, Viharos, Zsolt János és Németh, Gábor.** Raw material measurement methods evaluation and ranking for pellet production. Budapest : International Measurement Confederation (IMEKO), 2017. old.: 164-169. ISBN:978-92-990075-5-6.

11. ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Primer energiahordozók és –források csoportosítása (Saját szerkesztés Hodvagner [1] munkája alapján)	13
2. ábra: Az energiapolitika kialakításának alappillérei [6].....	14
3. ábra: Európa kőolaj és –földgáz importjának forrásai [10].....	16
4. ábra: Végső energiafogyasztás a 2015-ben a világban [18].....	19
5. ábra: A világ elsődleges energiafogyasztása régióként, 1990-2016 között (Saját szerkesztés az Enerdata [20] adatai alapján)	20
6. ábra: Az energiakereskedelem egyenlege és annak változása a világban 1990 és 2016 között, régióként (Saját szerkesztés az Enerdata [20] és a BP [4] adatai alapján)	21
7. ábra: A megújuló energiaforrások részarányának változása a világban 1990 és 2014 között, régióként (Saját szerkesztés az Enerdata [20], a BP [4] és a The World Bank [22] adatai alapján)	22
8. ábra: Európa elsődleges energiatermelésének, bruttó belső fogyasztásának és energiafüggőségének alakulása 1990-2015 között (Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján).....	23
9. ábra: Európa energiafüggőségének változása energiaforrásokként 1990-2015 között (Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján)	24
10. ábra: Európa elsődleges energiahordozó termelésének változása 2000-2015 között (Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján)	25
11. ábra: EU-28 és az európai országok bruttó energiafogyasztásának összetétele 2015-ben (Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján)	26
12. ábra: Magyarország elsődleges energiatermelésének, bruttó belső fogyasztásának és energiafüggőségének alakulása 1990-2015 között (Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján) ...	28
13. ábra: Magyarország energiafüggőségének változása energiaforrásokként 1990-2015 között (Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján)	29
14. ábra: Magyarország elsődleges energiahordozó termelésének változása 2000-2015 között (Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján)	29
15. ábra: Magyarország bruttó belső energiafogyasztása 1990-2015 között (Saját szerkesztés az Eurostat [23] adatai alapján)	30
16. ábra: Megújuló energiaforrások becsült megoszlása a teljes végső energiafogyasztásban, 2015-ben [24].....	31
17. ábra: Biomasszából előállított energia a világon, forrásonként (Saját szerkesztés a WBA [25] és az AEBIOM [26] adatai alapján).....	32
18. ábra: Az EU-28 bruttó végső bioenergiafogyasztása [26]	33
19. ábra: Az EU-28 bruttó végső bioenergiafogyasztásának megoszlása szektoronként 2015-ben [26]...	33
20. ábra: Megújuló energiaforrások megoszlása az EU villamos energia előállításában 2015-ben [26] ...	35
21. ábra: Járművek meghajtására szolgáló bioüzemanyagok gyártása régióként [27].....	36
22. ábra: Példák különböző alapanyagú és gyártási folyamatú pelletekre [33]	37
23. ábra: Példák különböző alapanyagú fapellettekre [50].....	40
24. ábra: Példák különböző alapanyagú agripellettekre [57].....	42
25. ábra: Előállított faalapú pelletek mennyisége 2000-2016 között millió tonnában [59]	43
26. ábra: Előállított és elfogyasztott faalapú pelletek területi megoszlása, kereskedelme [26]	44
27. ábra: A nyersolaj és a fűtőolaj piaci árának alakulása 2008-2018 között (Saját szerkesztés a Macrotrends [65] [66], az IEA [61] és az EPC [59] adatai alapján.).....	45
28. ábra: A faalapú pelletek fogyasztásának (felül) és termelésének (alul) aránya és változása Európában 2013-2016 között (Saját szerkesztés az IEA [61] és az EPC [59] adatai alapján.)	47
29. ábra: A faalapú pelletek termelése és fogyasztása Európa országaiban 2016-ban [59].....	48
30. ábra: A termelési kapacitás és a tényleges termelés változása a Magyar pellet piacon 2006 és 2016 között (Saját szerkesztés az AEBIOM [26] [76], EPC [59] [74], IEA Bioenergy [61] [69], Pelletsatlas [77], MPE [78] és a KMEC [79] adatai alapján.)	54
31. ábra: Pellet termékciklus (Saját szerkesztés)	57
32. ábra: A fapelletgyártás technológiai folyamatábrája [35]	59
33. ábra: Gyűrűs (a) és sík (b) típusú pelletmatricák [35]	63

34. ábra: Minőségtanúsító jelölések az ENplus rendszer szerint (felül hivatalos színes verzió, alul hivatalos monokróm verzió).....	88
35. ábra: Alapanyag minősítő eljárások rangsorolása (Saját szerkesztés)	104
36. ábra: Alapanyag mérési eljárások folyamatba illesztésének lehetőségei (Saját szerkesztés)	107

12. TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: A faalapú pelletek termelési kapacitásának és tényleges termelésének változása az Európai Unióban 2014-2016 között (Saját szerkesztés az AEBIOM [76] [26] és az EPC [74] [59] adatai alapján.)	50
2. táblázat: A faalapú pelletek fogyasztásának változása az Európai Unióban 2014-2016 között (Saját szerkesztés az AEBIOM [76] [26] és az EPC [74] [59] adatai alapján.)	53
3. táblázat: A technológiai folyamatlépések tipikus hibái és azok hatásai (Saját szerkesztés)	70
4. táblázat: Késztermék paraméterek és az azokat befolyásoló tényezők (Saját szerkesztés)	71
5. táblázat: ÖNORM M7135:1990 szabvány fapelletekre vonatkozó minőségkövetelményei	74
6. táblázat: DIN 51731:1996 szabvány fapelletekre vonatkozó minőségkövetelményei	75
7. táblázat: NF granulés biocombustibles szabvány pelletekre vonatkozó minőségkategóriái és követelményei	76
8. táblázat: CTI R04/5 szabvány pelletekre vonatkozó minőségkategóriái és követelményei	77
9. táblázat: EN 14961:2010 szabványsorozat elemei	78
10. táblázat: EN 14961:2010 szabványsorozat pelletekre vonatkozó minőségkategóriái és követelményei	80
11. táblázat: EN 15234:2012 szabványsorozat elemei	81
12. táblázat: ISO 17225:2014 szabványsorozat elemei	82
13. táblázat: ISO 17225:2014 szabványsorozat pelletekre vonatkozó minőségkategóriái és követelményei	83
14. táblázat: ENplus szabvány pelletekre vonatkozó minőségkategóriái és követelményei	86
15. táblázat: Minőségsszabályozó eszközök hatóköréi (Saját szerkesztés)	89
16. táblázat: Eszközigény értékelése (Saját szerkesztés)	94
17. táblázat: Alapanyag minősítő eljárások számított eszközigény tényezője (Saját szerkesztés) (Az eszközök átlagos vételárai az Edu-Lab [123], a Cole-Parmer [124], a Carl Stuart Group [125] és a Science Lab [126] adatai alapján kalkuláltak.)	96
18. táblázat: Időigény értékelése (Saját szerkesztés)	97
19. táblázat: Alapanyag minősítő eljárások számított időigény tényezője (Saját szerkesztés)	98
20. táblázat: Komplexitás értékelése (Saját szerkesztés)	99
21. táblázat: Alapanyag minősítő eljárások számított komplexitás tényezője (Saját szerkesztés)	100
22. táblázat: Alapanyag minősítő eljárások kiértékelése (Saját szerkesztés)	102
23. táblázat: ISO 17225-1 szabvány szerkezete a javasolt szabványmódosításokat megelőzően és azt követően (Saját szerkesztés)	109

13. MELLÉKLETEK

1. számú melléklet: A www.uzletiajanlatok.hu online kereskedelmi portálon „pelletüzem” és „pellet üzem” kulcsszavakra indított keresési eredmények kivonata.

Időpont	Hirdetés típusa	Hirdetése tárgya	Hirdetés
2012.06.25	Kínál	Pelletüzemi egységek	Pelletüzemi gépegységek eladók. Technológia tartó váz, szalagos hűtő, ciklon-cellás adagolóval, szállító csigák, fémleválasztó szalagos mágnes stb.
2012.10.25	Keres	Befektető pelletüzem	Tőkével rendelkező befektetőt (üzlettársat) keresek pelletáló gyártóvonal üzemeltetéséhez. Jelentős mennyiségű alapanyag folyamatos beszerzéséhez, kiegészítő berendezések és gépek vásárlásához szükséges a befektetői tőke (részben lehet saját alapanyag is az ország területéről ese...
2012.10.28	Keres	Befektetőt pelletüzemhez	Működő pellet üzem befektetőt keres 5 Mft készpénzzel. Az üzem Vajslón van, teljesítménye tonna/óra , Din+ minőségű pellet előállítására alkalmas.
2014.02.09	Kínál	pelletüzem	Pelletüzemi gépek eladók. Dobszáritók, pellet prés, szállítógépek, tartályok, adagolók stb. Eladó komplett lucerna pelletáló üzem.
2014.07.22	Kínál	Pelletüzemi berendezések	Pelletüzemi berendezések eladók. Komplett pelletüzem, dobszáritók, darálók, ciklonok , pellet hűtők stb. Vállalkozunk komplett pelletüzem építésére, új ill. felújított gépekből.
2014.10.17	Kínál	Pelletüzemi berendezések	PELLETÜZEMI BEREDEZÉSEK eladók. Pelletprések, fűrészpör szárítók, darálók, ciklonok, cellás légzárók, ventilátorok, rédler, serleges felvonó. Vállaljuk komplett pelletáló üzem tervezését, építését.
2015.03.08	Kínál	pelletüzem eladó	Pelletüzem eladó. Eladás tárgyat képez az ingatlan - 1200 m2 csarnok 2000 n2 beépítetlen terület, egy tonna kapacitású technológia -. az üzem egy hónap alatt újra indítható. A projekt megvásárlása esetén biztosított fenyő fűrészpör alapanyag. Fotókat és részletes ajánlatot kérek...
2018.04.30	Kínál	2 t-ás pelletüzem eladó - alkalmi lehetőség!	Magyar tulajdonban levő, alapanyag hiány miatt tartósan álló, teljesen automatizált, komplett, 2 t/ó teljesítményű, szuper állapotú komplett pelletgyártó üzem nagyon-nagyon kedvező áron és ugyanilyen fizetési feltételekkel eladó. A gyártott pellet egy részére a tulajdonos biztos ...
2018.05.13	Kínál	2 t-ás pelletüzem kompletten, kiváló állapotban	Magyar tulajdonban levő, alapanyag hiány miatt tartósan álló, teljesen automatizált, komplett, 2 t/ó teljesítményű, szuper állapotú komplett pelletgyártó üzem nagyon-nagyon kedvező áron és ugyanilyen fizetési feltételekkel eladó. A gyártott pellet egy részére a tulajdonos biztos ...
2010.12.16.	Kínál	EGF dobszáritó és pellet üzem berendezései eladók	Eladó EGF típusu dobszáritó. ugyan itt eladók pellet üzem gépegységei: pelletprés, hűtő, daráló, ciklonok stb.
2011.05.08.	Kínál	Pellet üzem	Üzlettársat keresek pellet üzem létesítéséhez, épület, alapanyag, részben gépek, olcsó munkaerő ,megvan komoly érdeklődőket keresek részletekért kersen telefonon vagy mailban.
2011.08.04.	Kínál	Pellet üzem	Egyedi Pellet üzemek tervezése, kivitelezése.1t/h kapacitástól Már meglévő üzemek felújítása, szerzése. Kiszolgáló berendezések gyártása Kérjen ajánlatot e-mailben.
2012.05.12.	Keres	Pellet üzem	Pellet üzem beintítéséhez komoly üzlettársat keresek, részben gépek megvanak üzemhelység ill. raktár is alapanyagot tudok biztosítani az üzem ellátásához,összegezerően közös kalkulációt végeznénk, tőke szükséges hívjon bizalommal.
2012.11.26.	Kínál	Pellet üzem Ukrajnában eladó	2010 óta működő pelletüzem eladó Kárpátalján. A berendezések lehetővé teszik,hogy napi 20 tonna pelletet gyártsanak. Komplett termelősor, egyszerű felépítésű és könnyen karbantartható megoldások lettek beépítve. A szárító kazánja elektronikus vezérlésű 2011-es modell 2 MW fűtőte...
2013.05.21.	Kínál	Pellet üzem eladó	Takarmány keverő, pelletáló üzem eladó. Jelenlegi állapot: használt. Vállaljuk az üzem bontását, felújítását, felépítését. Üzem teljesítménye: 10 tonna/óra
2013.10.21.	Kínál	Pellet üzem	Pellet üzem eladó. Felújított gépegységekből összeállított pellet üzem eladó. pelletprés, daráló, hűtő, csomagoló stb.

2014.08.26.	Kínál	Pellet üzemi berendezések	Pelletgyártó üzemi berendezések egyben vagy külön eladók. Vállaljuk komplett pellet üzemek tervezését, új és felújított gépegységekből az üzem összeszerelését.
2014.11.20.	Keres	Pellet üzem bővítés	Pellet üzem bővítéshez keresünk befektető partnert. Alapanyag és termék piac adott.
2015.01.19.	Kínál	Pellet üzemi berendezések	Pelletüzemi berendezések raktárról. Készleten dobszáritók, pelletprések, darálók, szállító gépek, ciklonok, ventilátorok stb. A felsorolt gépegységekből komplett pelletüzem összeállítható.
2015.02.14.	Kínál	Pellet üzem eladó	Pellet üzem eladó. Teljesítmény: egy tonna óránként. Részegységek: dobszáritó, daráló, pelletprés, tartály, hűtő, anyagmozgató gépek, vezérlés stb. Az üzem új és felújított gépegységekből áll. Alkalmas fa és lágyszárú növények pelletálására. Kérésre részletes ajánlatot küldünk.
2015.03.02.	Kínál	Pellet üzemi berendezések	Pelletüzemi gépek, berendezések eladók. Dobszáritók, pelletprések, pellet hűtők, szállító gépek, darálók, stb. Vállaljuk komplett üzemek építését, felújítását. Komplett projekteket /épület, technológia, alapanyag, piac/ szervezése, bonyolítása.
2015.06.20.	Kínál	Pellet üzem és pellet üzemi gépek	Komplett pellet üzem és pellet üzemi gépek, berendezések eladók. Az üzem alkalmas fa származékok, lágyszárú növényi szarak pelletálására. Gépegységek: pelletprés, kalapácsos darálók, ventilátorok, ciklonok, hűtők, szállító gépek stb.
2015.07.12.	Kínál	Pellet üzem eladó	Pellet üzemi technológia eladó. Nyugdíjba vonulás miatt eladó az üzem. Az üzem Szlovákiában található, Salgótarjánától 30 km-re. Technológia 2007-ben került beüzemelésre. Részai: BS-6 dobszáritó, dobrosta, közbenő tartályok, szállító gépek, 700 kg teljesítményű pelletprés, csomag...
2016.05.26.	Kínál	Pellet üzem és pellet üzemi gépek	Eladó raktárkészlet: pelletálóprés, fűrészpor száritó berendezések, kalapácsos darálók, serleges felhordók, pellet hűtők, ventilátorok, ciklonok stb. Vállaljuk komplett üzemek tervezését, építését. Vállaljuk továbbá gépek felújítását.
2017.03.08.	Kínál	Pellet üzem és pellet üzemi gépek	Eladó pelletüzem a jó árnál is olcsóbban! Részegységek: pelletprés, daráló, kalapácsos daráló, elevátor, alapanyag tartály, pellet hűtő, Stela szalagos száritó+kazán, áramfejlesztő, vibrórosta, elektromos szekrény, vezérlés, csomagoló stb.
2017.04.04.	Kínál	Pellet Üzem	Eladó egy jelenleg is üzemelő pellet üzem, teljesen automatizált gyártó sorral! - prés 1600 kW motor kapacitás 1,5 T/óra (csigaszállító adagolás) - malom 75 kW 1600 kg/óra - száritó berendezés 1000 kg/óra (elszívóval ciklonos adagolással) - szecskázógép (aprító) 1000 kg/óra - al...
2017.05.09.	Kínál	Pellet üzem	Pellet üzem ár alatt eladó. Származási ország: Németország. Értékesítés oka: profilváltás. Az üzem 2007-ben épült. Kapacitás: egy tonna/óra. Ár: helyszínen 30 millió forint. Cégünk további gépelemeket kínál eladásra: serleges felvonó, kalapácsos daráló, tartálykitároló, ciklono...
2017.08.20.	Kínál	Pellet üzem	Eladó pellet üzem. Származás: Németország. Évjárat: 2007. Három évet dolgozott. Induló alapanyag: apríték, fűrészpor. Teljesítmény: egy tonna óránként. Bontás, szállítás, összeépítés megoldható. Fő egységek: szalagos száritó, préselés, hűtés, tartályok, darálók. Tartalék alkatrész...
2018.07.02.	Kínál	Pellet üzem eladó	Pelletgyártó gépsor, sürgősen eladó! Újszerű állapot, Magyar gyártmány, kapacitása: 350kg/ó, pellet átmérő: 6mm Fa és agripellet gyártására is alkalmas. Telephellyel együtt eladó! Iár: 11.000.000.-Ft+áfa Helyszín: 3954 Györgytelek

2. számú melléklet: Szilárd bioüzemanyagok osztályozása eredetük és forrásuk alapján az EN 14961-1:2010 és az ISO 17225-1:2014 szabvány szerint

1. Fás szárú biomassa	1.1. Erdészeti, ültetvényi és egyéb kitermelt fa	1.1.1. Egész fák gyökerek nélkül	1.1.1.1. Lombhullató 1.1.1.2. Tűlevelű 1.1.1.3. Rövid vágásfordulójú faültetvény 1.1.1.4. Bokrok 1.1.1.5. Keverékek és elegyek
		1.1.2. Egész fák gyökerekkel	1.1.2.1. Lombhullató 1.1.2.2. Tűlevelű 1.1.2.3. Rövid vágásfordulójú faültetvény 1.1.2.4. Bokrok 1.1.2.5. Keverékek és elegyek
		1.1.3. Fatörzs	1.1.2.1. Lombhullató kéreg nélkül 1.1.2.2. Tűlevelű kéreg nélkül 1.1.2.3. Lombhullató kéreggel 1.1.2.4. Tűlevelű kéreggel 1.1.2.5. Keverékek és elegyek
		1.1.4. Fafeldolgozási maradékok	1.1.4.1. Friss/zöld lombhullató (leveleket is beleértve) 1.1.4.2. Friss/zöld tűlevelű (tűleveleket is beleértve) 1.1.4.3. Tárolt, lombhullató 1.1.4.4. Tárolt, tűlevelű 1.1.4.5. Keverékek és elegyek
		1.1.5. Tuskók/gyökerek	1.1.5.1. Lombhullató 1.1.5.2. Tűlevelű 1.1.5.3. Rövid vágásfordulójú faültetvény 1.1.5.4. Bokrok 1.1.5.5. Keverékek és elegyek
		1.1.6. Fakéreg (erdészeti műveletekből) ¹	
		1.1.7. Kertekből, parkokból, útmenti karbantartásból, szőlészetből és gyümölcskertészetből elkülönített fa	
		1.1.8. Keverékek és elegyek	
	1.2. Fafeldolgozó ipari melléktermékek és maradékok	1.2.1. Kémiaileg kezeletlen famaradékok	1.2.1.1. Lombhullató kéreg nélkül 1.2.1.2. Tűlevelű kéreg nélkül 1.2.1.3. Lombhullató kéreggel 1.2.1.4. Tűlevelű kéreggel 1.2.1.5. Keverék (ipari műveletből)
		1.2.2. Kémiaileg kezelt famaradékok, rostok és faalkotók	1.2.2.1. Kéreg nélkül 1.2.2.2. Kéreggel 1.2.2.3. Kéreg ¹ 1.2.2.4. Rostok és fa-összetevők
		1.2.3. Keverékek és elegyek	
	1.3. Használt fa	1.3.1. Kémiaileg kezeletlen fa	1.3.1.1. Kéreg nélkül 1.3.1.2. Kéreggel 1.3.1.3. Kéreg
		1.3.2. Kémiaileg kezelt fa	1.3.2.1. Kéreg nélkül 1.3.2.2. Kéreggel 1.3.2.3. Kéreg
		1.3.3. Keverékek és elegyek	
	1.4. Keverékek és elegyek		
	2. Lágyszárú biomassa	2.1 Lágyszárú biomassa mezőgazdaságból és kertészetből	2.1.1. Gabonanövények
2.1.2. Fűfélék			2.1.2.1. Egész növény 2.1.2.2. Szalmarészek 2.1.2.3. Magvak és termések 2.1.2.4. Burkok és héjak 2.1.2.5. Bambusz 2.1.2.6. Keverékek és elegyek
2.1.3. Olajnövények			2.1.3.1. Egész növény 2.1.3.2. Szárak és levelek 2.1.3.3. Magvak és termések 2.1.3.4. Burkok és héjak 2.1.3.5. Keverékek és elegyek
2.1.4. Gyökérgumós növények			2.1.4.1. Egész növény 2.1.4.2. Szárak és levelek 2.1.4.3. Gyökér 2.1.4.4. Keverékek és elegyek
2.1.5. Hüvelyesek			2.1.5.1. Egész növény 2.1.5.2. Szárak és levelek

		2.1.5.3. Gyümölcs 2.1.5.4. Hüvelyek 2.1.5.5. Keverékek és elegyek	2.1.6. Virágok	2.1.6.1. Egész növény 2.1.6.2. Szárak és levelek 2.1.6.3. Magvak 2.1.6.4. Keverékek és elegyek	2.1.7. Kertekből, parkokból, útmenti karbantartásból, szőlészetből és gyümölcskertészetből elkülönített lágy szárú biomassza	2.1.8. Keverékek és elegyek		
	2.2. Növényfeldolgozó ipari melléktermékek és maradékok ²	2.2.1. Kémiaileg kezeletlen lágy szárú maradékok	2.2.1.1. Gabonanövények és fűfélék 2.2.1.2. Olajnövények 2.2.1.3. Gyökérgumós növények 2.2.1.4. Hüvelyesek 2.2.1.5. Virágok 2.2.1.6. Keverékek és elegyek	2.2.2. Kémiaileg kezelt lágy szárú maradékok	2.2.2.1. Gabonanövények és fűfélék 2.2.2.2. Olajnövények 2.2.2.3. Gyökérgumós növények 2.2.2.4. Hüvelyesek 2.2.2.5. Virágok 2.2.2.6. Keverékek és elegyek			
		2.2.3. Keverékek és elegyek						
	2.3. Keverékek és elegyek							
	3. Gyümölcseredő biomassza	3.1. Gyümölcstermesztési és kertészeti gyümölcs		3.1.1. Bogyók		3.1.1.1. Egész bogyó 3.1.1.2. Hús 3.1.1.3. Magvak 3.1.1.4. Keverékek és elegyek	3.1.2. Csonthéjas/magvas gyümölcsök	3.1.2.1. Egész gyümölcs 3.1.2.2. Hús 3.1.2.3. Csonthéj/mag 3.1.2.4. Keverékek és elegyek
3.1.4. Keverékek és elegyek								
3.2. Gyümölcsfeldolgozó ipari melléktermékek és maradékok ²			3.2.1. Kémiaileg kezeletlen gyümölcs-maradékok	3.2.1.1. Bogyók 3.2.1.2. Csonthéjas/magvas gyümölcsök 3.2.1.3. Diók és makkok 3.2.1.4. Nyers olívapogácsa 3.2.1.5. Keverékek és elegyek	3.2.2. Kémiaileg kezelt gyümölcs-maradékok	3.2.2.1. Bogyók 3.2.2.2. Csonthéjas/magvas gyümölcsök 3.2.2.3. Diók és makkok 3.2.2.4. Extrahált olívapogácsa 3.2.2.5. Keverékek és elegyek		
			3.2.3. Keverékek és elegyek					
4. Vízi biomassza		4.1. Alga	4.1.1. Mikroalga ³					
			4.1.2. Makroalga ³					
			4.1.3. Keverékek és elegyek					
		4.2. Vízjácint						
		4.3. Tavi és tengeri fű	4.3.1. Tavi fű ³					
			4.3.2. Tengeri fű	4.3.2.1. Kék tengeri fű ³				
	4.3.2.2. Zöld tengeri fű ³							
	4.3.2.3. Kék-zöld tengeri fű ³							
	4.3.2.4. Barna tengeri fű ³							
	4.3.2.5. Piros tengeri fű ³							
4.3.3. Keverékek és elegyek								
4.4. Nádag	4.4.1. Közönséges nád							
	4.4.2. Egyéb nád faj							
	4.4.3. Keverékek és elegyek							
4.5. Keverékek és elegyek								
5. Keverékek és elegyek	5.1. Keverékek							
	5.2. Elegyek							

¹ A dugógyártási maradék benne van a fakéreg alcsoportban.

² A kategória tartalmazza az élelmiszeripar maradékait és melléktermékeit is.

³ Fajtanévet latinul meg kell adni.

Megjegyzések:

- Az EN 14961-1:2010 szabvány az 1.1.3. kategóriát nem bontja szét kéreg nélküli és kérges alcsoportokra, csupán fajta szerint bont.

- A 4. főcsoportot az EN 14961-1:2010 szabvány nem tartalmazza.