

**BODNÁR István\* – MATUSZ-KALÁSZ Dávid\*\* – FARAGÓ Dávid\*\*\* –  
PALOTÁS Árpád Bence\*\*\*\* – SIMÉNFAALVI Zoltán Károly\*\*\*\*\* –  
Villamosenergiatermelés és környezeti hatásai\*\*\*\*\***

## 1. A magyar villamosenergia-rendszer felépítése és a fogyasztók ellátása

A villamosenergia rendszer feladata, hogy folyamatosan kielégítse a fogyasztói igényeket. Ennek megoldása nem egyszerű feladat. A villamos energia egy olyan áru, ami jelentős mértékben nem, vagy csak igen nehezen tárolható, emellett mindig a megkívánt mennyiségben kell rendelkezésre állnia. Azonban pillanatnyi kiesések, ingadozások előfordulhatnak a rendszerben. Ennek oka, hogy minden percben annyi energiát kellene termelni amennyire szükség van. Azonban a fogyasztókat nem lehet korlátozni, vagy megszabni számukra az energiafogyasztás alakulását. A fogyasztói szokások változását elemezve, jó közelítéssel lehet előrejelzéseket alkalmazni a folyamatos energiaellátás érdekében.<sup>1</sup>

Egy érdekes tény, hogy legnagyobb villamosenergia fogyasztó, az azt megtermelő villamosenergia-ipar. Az erőművekben számos nagy teljesítményű szivattyú és ventilátor működik. Továbbá, számtalan kisebb energiaigényű fogyasztó (pl. világítás, műszerek) működtetését is fedezni kell. Az erőművek önfogyasztása igen eltérő lehet. A megtermelt villamos energiából levonva az erőművi önfogyasztást kapjuk a nettó villamosenergia-termelést, amelyet az erőművi rendszer a lakossági és ipari fogyasztók rendelkezésére tud bocsátani.

---

István Bodnár – Dávid Matusz-Kalász – Dávid Faragó – Árpád Bence Palotás – Zoltán Károly Siménfalvi: Electricity production and its environmental effects – Villamosenergiatermelés és környezeti hatásai. *Journal of Agricultural and Environmental Law* ISSN 1788-6171, 2020 Vol. XV No. 28 pp. 86-130, <https://doi.org/10.21029/JAEL.2020.28.86>

\* PhD, egyetemi adjunktus, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet, email: [vegybod@uni-miskolc.hu](mailto:vegybod@uni-miskolc.hu)

\*\* PhD-hallgató, egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet, email: [elkmkd@uni-miskolc.hu](mailto:elkmkd@uni-miskolc.hu)

\*\*\* PhD-hallgató, tudományos segédmunkatárs, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, email: [aramfd@uni-miskolc.hu](mailto:aramfd@uni-miskolc.hu)

\*\*\*\* DSc, dékán, intézetigazgató, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Energia- és Minőségügyi Intézet, email: [arpad.palotas@uni-miskolc.hu](mailto:arpad.palotas@uni-miskolc.hu)

\*\*\*\*\* PhD, dékán, egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, email: [simenfalvi@uni-miskolc.hu](mailto:simenfalvi@uni-miskolc.hu)

\*\*\*\*\* *A tanulmány az Igazságügyi Minisztérium jogászképzés színvonalának emelését célzó programjai keretében valósult meg.*

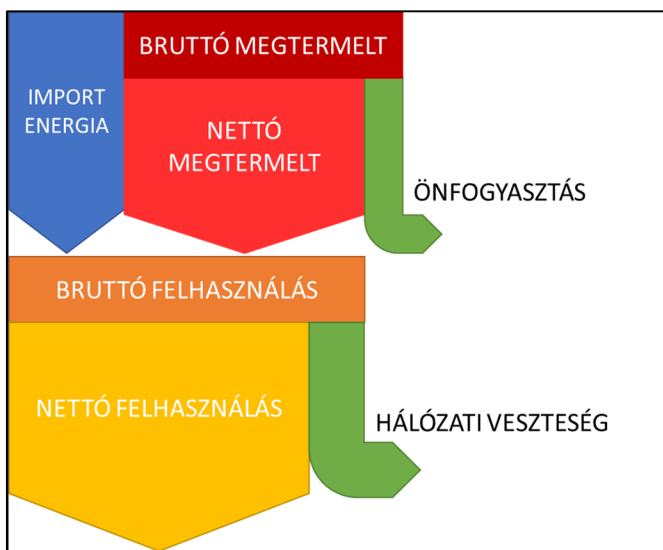
<sup>1</sup> Vajda 1984.



<https://doi.org/10.21029/JAEL.2020.28.86>

A hazai villamosenergia rendszer önfogyasztása a 80-as és 90-es években 8-9% körül mozgott, napjainkban az az érték kisebb, 6-7% közötti. Az önfogyasztáson túl a nagyméretű villamos hálózathoz adódóan hálózati veszteséggel is kell számolni, ami közel 10%-kal növeli meg a nettó villamosenergia igényt.<sup>2</sup>

Az előzőekből kiolvasható, hogy a nettó fogyasztás és a hálózati veszteség együttesen adja a bruttó fogyasztást. Továbbá az összes hazai fogyasztást a bruttó fogyasztás és az erőművi rendszer önfogyasztásának összege adja meg. Az elmúlt években, évtizedekben a hazai energiatermelés nem volt képes fedezni az összes hazai igényt. A hiányt azért nem érzékeltük, mivel a különböző országok villamos hálózata össze van kapcsolva, így a hazai fogyasztás kielégítésben külföldi termelők is részt vesznek. Magyarország a villamosenergia-ipar vonatkozásában tranzitországnak minősül. Előszörban északi szomszédjainktól vesszük az áramot és adjuk tovább délre a balkáni országoknak. Minden évben több villamos energiát veszünk, mint amit tovább adunk, ezáltal az úgynevezett importszaldónk pozitív. Ez a fennmaradó mennyiség az, ami fedezi a hazai villamosenergia-hiányt.<sup>3</sup> Az 1. ábra a magyar villamosenergiamérleget szemlélteti.



1. ábra: A magyar villamosenergia-mérleg

## 2. Az erőművek szerepe a magyar villamosenergia-rendszerben

Az villamosenergia-rendszerben működő erőműveket többféleképpen is osztályozhatjuk:

Első körben, csoportokba sorolhatjuk az erőműveket a kooperáló és nem kooperáló működésük szerint. A kooperáló erőművek az országos hálózattal összhangban dolgoznak. A nem kooperáló erőművek szigetüzemben dolgoznak, és kizárólag egy fogyasztót, vagy egy fogyasztói csoportot látnak el villamos energiával.

<sup>2</sup> Uo.

<sup>3</sup> Uo.

Egy másik csoportosítási lehetőség, ha az üzemi és a közcélú erőműveket különböztetjük meg egymástól. Az üzemi erőművek valamely üzem, egy kisebb fogyasztói csoport igényeinek kielégítése végzik. Kizárólag az üzemi menetrend igényi szerint termelnek. Azonban adhatnak el energiát a közcélú hálózat részére, amennyiben többlet keletkezik, amit az üzem nem használ el. A közcélú erőműveknek nincs célzott fogyasztói csoportja, feladatuk a rendszer összes fogyasztói igényének kielégítése, kifejezetten a közcélú hálózatra termelnek.

A közcélú erőműveket csoportosíthatjuk a megtermelt energia forrása szerint. Az elmúlt években a megtermelt energia fele a nukleáris eredetű, több mint harmada fosszilis és nagyjából 5%-a biomassza tüzelőanyagból származott. A fennmaradó rész egyéb források, és megújuló energiák fedezték. A közcélú erőműveknek a terheléselosztásban betöltött szerepe szerint beszélhetünk alap-, menetrendtartó és csúcserőművekről.

Megbízható villamosenergia-ellátás nincs alaperőművek nélkül. Ezen erőművek kihasználási időtartama igen magas (több, mint 5500 óra), továbbá folyamatosan állandó teljesítményen üzemelnek. Az ilyen erőművek felfutási és leállítási ideje hosszú, nem rugalmas rendszerek, ezért indokolt az állandó üzem. Mivel a megtermelt energia jelentős részét ezek az erőművek fedezik, a biztos üzem érdekében lényeges, hogy újak, korszerűek legyenek és jó hatásfokkal működjenek. Továbbá olcsó tüzelőanyaggal üzemeljenek, a megfizethető, olcsó energiaárak érdekében. Magyarországon ilyen alaperőmű a Paksi Atomerőmű.

Azonban az alaperőművek folyamatos állandó működésével ellentétben a villamosenergia-igény folyamatos váltakozást mutat. A menetrendtartó-erőművek feladata az igények ingadozásainak követése. A termelésüket viszonylag rugalmasan és tág határok között képesek változtatni. Általában a régebbi alaperőművek válnak fokozatosan menetrendtartóvá (pl. ilyen most a Gönyői Erőmű és ilyen volt a Tiszai és a Dunamenti Erőmű).

A csúcserőművek csak a villamos csúcsfogyasztás időszakában üzemelnek. Csúcskihasználási óraszámuk kevesebb mint 2000 óra/év. Erre a célra csak alacsony kivitelezési költségű erőműveket célszerű építeni, melyeknél drága tüzelőanyag és alacsony hatásfok is megengedhető, ilyenek például a gázturbinás erőművek. Ezen felül úgynevezett tartalék erőművek is szolgálatba állhatnak, kizárólag csak jelentős mértékű fogyasztói többletigény esetén kell elindulniuk. A tartalék erőművek legfeljebb évi 100-200 órát üzemelnek.<sup>4</sup>

A megújuló energiaforrások nagyobb mértékű hasznosítása az utóbbi időben egyre nagyobb hangsúlyt kap a világ és az EU országainak energia stratégiájában. Ennek oka minden ország esetében közel azonosnak mondható: Az energia-, valamint az ezzel együtt járó fosszilis energiahordozó igények folyamatos növekedése, a készletek fokozatos csökkenése eredményeképpen az energiaárak az elmúlt években drasztikusan emelkedtek (leszámítva a gazdasági világválság hatására bekövetkező kereslet visszaesést, és az ezzel együtt járó árcsökkenést), amely tendencia a jövőben is folytatódni látszik. Ennek hatása – az energiaköltségek következtében az országból folyamatosan kiáramló tőke miatt – nemzetgazdasági szempontból rendkívül

---

<sup>4</sup> Uo.

kedvezőtlenül érinti azon országokat, melyek fosszilis szükségleteiket nagyrészt importforrásból kénytelenek kielégíteni.<sup>5</sup>

A fosszilis tartalékok fokozatos csökkenésének hatására a maradék készletek a világ néhány pontján összpontosulnak (többnyire a Közel-Keleten, valamint a volt Szovjet tagállamok területén), drasztikusan csökkentve ezzel a készletek beszerezhetőségének diverzifikáltságát. Ez politikailag meglehetősen kiszolgáltatottá teszi a saját készletekkel nem rendelkező országokat, csökkentve azok energiaellátásának biztonságát. E problémákat tetézi az a tény, hogy a fosszilis energiafelhasználás révén több millió év alatt felhalmozódott, kötött, a Föld atmoszféráját károsan befolyásoló szennyezőanyagok szabadulnak fel viszonylag hirtelen gyorsasággal, olyan folyamatokat beindítva ezzel (ilyen többek között a globális felmelegedés és klímaváltozás jelensége), melyek jelentős áldozatokkal és költségekkel járó károkat okozhatnak a jövőben. Az energetika és a gazdaság energiahatékonyabbá és 'zöldebbé' tétele ugyan jelentős költségeket igényel jelen generáció részéről, azonban azok elmaradása esetén a költségek többszörösét lesz szükséges megfizetni a jövőben.<sup>6</sup>

A fosszilis energiafelhasználás kedvezőtlen hatásai Magyarországot kiemelten érintik, hiszen Magyarország primerenergia forrás igényének mintegy kétharmadát, villamosenergia igényének pedig egyharmadát import forrásokból kénytelen kielégíteni. A helyzetet tovább rontja, hogy hazánk primerenergia felhasználásának 40%-át a földgázfelhasználás teszi ki, mely földgáz nagy része egyetlen forrásból, az Ukrajnán keresztül hazánkba érkező gázvezetéken keresztül szerezhető be. Az ország energiafelhasználása ugyan csak kis mértékben növekszik, viszont a fokozatosan csökkenő hazai primerenergia kitermelés hatására az import energiaforrások részaránya folyamatosan nő. Magyarország energiaintenzitása jóval a fejlett országok átlaga alatt van, ami azt jelzi, hogy az ország gazdasági teljesítőképességéhez képest az energiafelhasználás túlzott mértékű.<sup>7</sup>

### 3. Az EU-s célkitűzések

Az előzőekben felsorolt kedvezőtlen hatások elkerülése érdekében, az utóbbi években, az Európai Unió egyre ambiciózusabb célkitűzéseket vállal az energiahatékonyság növelés és megújuló energia felhasználás területén. A következőkben a Magyarország számára kötelező érvényű előírásokat, célértékeket tekintjük át a megújuló energia felhasználás területén. Az Európai Parlament és Tanács 2009/28/EK, a megújuló energiaforrásból előállított energia támogatásáról szóló irányelve 20%-os megújuló energia részarányt ír elő az európai tagállamok részére a bruttó energiafogyasztásban 2020-ig. Magyarország 13%-os megújuló energia részarány elérését vállalta. A Direktíva előírja továbbá, hogy minden Tagállamnak biztosítania kell, hogy a megújuló forrásokból előállított energia részaránya, a közlekedési célra felhasznált végső fogyasztáson belül legalább 10%-ra növekedjen. Ennek érdekében 2020. január 1-től növelték az üzemanyagokban a biokomponens részarányát.

<sup>5</sup> Bodnár 2017.

<sup>6</sup> Uo.

<sup>7</sup> Uo.

(percentage, %)										
Megnevezés	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
A bruttó végső villamosenergia-fogyasztáson belül	7,0	7,1	6,4	6,1	6,6	7,3	7,3	7,3	7,5	8,3
Fűtési és hűtési célú	17,0	18,1	20,0	23,3	23,7	21,3	21,3	21,0	19,9	18,1
Közlekedés	5,8	6,1	6,1	5,9	6,2	6,9	7,1	7,6	7,6	7,7
A bruttó végső energiafogyasztáson belül	11,7	12,7	14,0	15,5	16,2	14,6	14,5	14,3	13,5	12,5

1. táblázat: Megújuló energiaforrások felhasználásának részaránya a bruttó végső energia fogyasztáson belül<sup>8</sup>

(terajoule, TJ)					
Termelés	2014	2015	2016	2017	2018
Kommunális hulladék megújuló	1 845	2 756	2 766	1 930	1 626
Szilárd biomassza	98 928	105 221	100 570	98 952	89 262
Biogáz	3 323	3 335	3 708	4 141	3 850
Bioüzemanyagok	12 823	16 030	17 187	17 629	18 699
Napenergia	647	956	1 346	1 749	2 759
Geotermikus energia	3 800	4 426	5 026	5 590	5 866
Víz	1 084	842	932	792	799
Szél	2 365	2 495	2 462	2 729	2 185

2. táblázat: Elsődleges megújuló energiaforrások termelése<sup>9</sup>

#### 4. Erőművi teljesítmények napjainkban

Amennyiben tanulmányozzuk Magyarország erőművi teljesítményadatait, akkor megfigyelhető, hogy az utóbbi évtizedben a beépített teljesítőképesség 10.000 MW-ról 8.500 MW-ra csökkent. Ez a jelenség az előregedett erőművek leállításának és új erőművi blokkok építésének hiányával magyarázható. Ebbe a teljesítményadatba olyan erőművek termelési kapacitása is bele lett számolva, amelyek a valóságban nem igazán üzemelnek, erre példa a Dunamenti Erőmű, a Debreceni és a Nyíregyházi Kombinált Ciklusú Erőművek, valamint a Tiszai II. Erőmű. Ezek alapján a gyakorlatban rendelkezésre álló teljesítmény 2015-ben mindösszesen csak 6.566 MW volt, amely megegyezik a beépített teljesítményünkkel, magába foglalva az alap, a menetrendtartó és a csúcserőműveket egyaránt.<sup>10</sup>

<sup>8</sup> Magyar Energetikai és Közmű-szolgáltatási Hivatal (2020).

<sup>9</sup> Uo.

<sup>10</sup> Bodnár 2017.

Mindez azt jelenti, hogy a 2012-ben jelen lévő mintegy 1.200 MW tartalékteljesítmény csaknem teljesen eltűnt. Mivel a villamosenergia-rendszer biztonságos üzemviteléhez a beépített teljesítmény 5%-át kell tartalék teljesítményként rendelkezésre bocsátani, ezért jelenleg Magyarországon ezt csak az import segítségével lehet biztosítani. A mai villamosenergia-fogyasztási szokásokat figyelembe véve, a napi csúcsfogyasztás gyakran meghaladják a 6.500 MW teljesítményigényt, így az import energia igénybevétele nélkül hazánk villamosenergia-ellátása nem megoldott.<sup>11</sup>

Magyarországnak 17 nagyermőműve van, amelyek bruttó beépített teljesítménye 6.916 MW, de ez a teljesítmény nem használható ki teljes mértékben az erőművek önfogyasztása, valamint az állandó hiány miatt. Állandó hiányt azok az erőművek idéznek elő, amelyek ugyan üzemképesek, ennek ellenére mégsem üzemeltetjük őket. Az állandó hiány mértéke 1.222 MW, így a rendelkezésre álló nagyermőművi teljesítmény 5.964 MW, ehhez jön hozzá a kiserőművek nettó 1.524 MW teljesítménye.<sup>12</sup>

## 5. Erőművi teljesítmények a jövőben

A növekvő tendencia miatt a bruttó hazai csúcsterhelés 2030-ra elérheti a 7.500 MW-ot. A jövőbeni erőműmixnek ezeket az igényeket kell kielégítenie. Nézzük meg, hogyan fog változni az erőművi kapacitás a közeljövőben.

Paks jelenlegi blokkjai most átlagosan 35 év körüliek, 2032-ben el kell kezdeni azok leállítását. Az 1950-es és '60-as években létesített erőművek többségét már bezárták és szanálták az utóbbi évtizedben. A hasonló korú erőművek közül a Mátra öregebb blokkjai, Oroszlány és Bakony erőművei szintén a tervezett élettartamuk végén járnak. Előbb-utóbb a gyorsindítású tartalék erőműveket (Lőrinci, Litér, Sajószöged) is le kell majd cserélni. Így a jelenlegi nagyermőművi kapacitás 2025-re körülbelül 5.300 MW-ra csökken, amely nem használható ki 100%-ban, miközben a fogyasztás folyamatosan bővül és a napi csúcsterhelés ekkora már meghaladhatja a 7.000 MW-ot, amely így csak igen jelentős import igénybevételével fedezhető.

Középtávon már a most indított erőműépítési-projektek végbe mennek. Az öregedő erőművek leállítása továbbra is folytatódik. A legnagyobb blokk teljesítménye Paks 2 megépítésével 1.200 MW-ra növekszik, így szükséges a perces tartalék kapacitásának növelése is 800 MW-tal. A megújuló-kapacitás jelentős növekedése miatt szükséges valamilyen energiatárolási megoldás is (a változó hiány kompenzálására). A megújulók technológiája már annyira olcsó lesz, hogy támogatásokra nem lesz szükség.<sup>13</sup>

Ha a megújulók fajlagos beruházási költségét nézzük, akkor az látható, hogy a biomassza erőművek költségei nem változnak, viszont a napelemes rendszerű- és a szélerőművek beruházási költsége jelentősen csökkentek és tovább fognak csökkenni. Hagyományos erőművek közül jelenleg is és a jövőben is a nyílt ciklusú gázturbinás erőművek beruházási költsége a legalacsonyabb. A lignit- és feketeszén tüzelésű erőművek nagyon drágák lesznek a jövőben is. A gáztüzelésűekkel viszont az a probléma, hogy az üzemeltetési költségük nagyban függ a gáz árától,

<sup>11</sup> Uo.

<sup>12</sup> Uo.

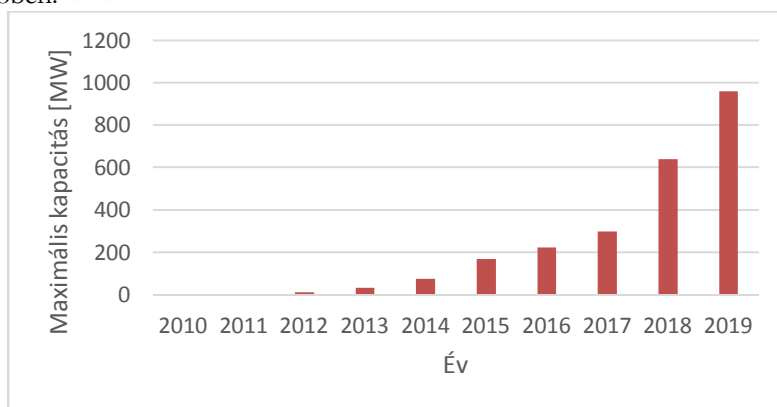
<sup>13</sup> Uo.

ez Magyarországon manapság is komoly gondot jelent. A háztartási méretű naperőművek (beépített csúcsteljesítményük kisebb, mint 50 kW) összesített teljesítménye Magyarországon exponenciális növekedést mutat. A legnagyobb ütemben a napelemes erőművek építése fejlődött.

A hazai villamosenergia-termelésben a megújuló energiák részaránya 2016-ban elérte 14,19%-ot, ami meghaladja a 2020-ra megszabott 13%-os célértéket. A megújulók egymás közti megoszlása a következő: biomassza tüzelés 47%; szélenergia 22%; biogáz 10%; vízenergia 7%, napenergia 6% és a fennmaradó 8% egyéb. Ebből jól látszik, hogy a tüzelésen alapuló biomassza képezi a megújulókból kinyert energia döntő részét. Vegyük sorra a meglévő kapacitást, és a lehetőségeket.<sup>14</sup>

A vízenergia tekintetében a földrajzi és társadalmi korlátok miatt Magyarország várhatóan nem lesz jelentős Jelenlegi legnagyobb teljesítményű vízerőművünk a kiskörei, ami 28 MW, ami az országos összteljesítmény fele. Számottevő kapacitásbővítésre a Dunán, a Paksi Atomerőmű bővítésével párhuzamosan, valamint az Északi-középhegységben tározós erőművek formájában lenne lehetőség.

A szélenergia kiaknázása 2010 óta stagnál. Jelenleg 37 szélerőmű, több mint 170 toronnyal működik az országban. A jelenlegi szabályozás megnehezíti újabb farmok létrehozását. Ezt tovább nehezíti, hogy a szakszerű karbantartásának elmulasztása miatt, egyes szélerőművek ideiglenesen leállításra kerültek. Amiben komoly lehetőség rejlik, és az utóbbi években jelentős fejlődést mutatott az a fotovoltaius erőművek csúcsteljesítményének növekedése. 2010-ben csupán 2 MW, 2014-ben 77 MW, 2018-ban már 640 MW 2019-ben pedig 960 MW volt az összkapacitás. Az egyre gyorsuló növekedés a háztartási kiserőműveknek és a nagyteljesítményű napelem-farmoknak egyaránt köszönhető. Jelenlegi legnagyobb naperőmű a paksi, 20,6 MW teljesítménnyel. Az utóbbi években jelentős teljesítményű naperőmű-park létesült még Bükkábrányban, Felsőzsolcán, Százhalombattán és Visontán, valamint számos erőmű van épülőben.<sup>15, 16, 17</sup>



2. ábra: A magyarországi napelemes erőműpark csúcsteljesítményének alakulása az elmúlt évtizedben

<sup>14</sup> Bodnár 2019.

<sup>15</sup> Gyóri 2015.

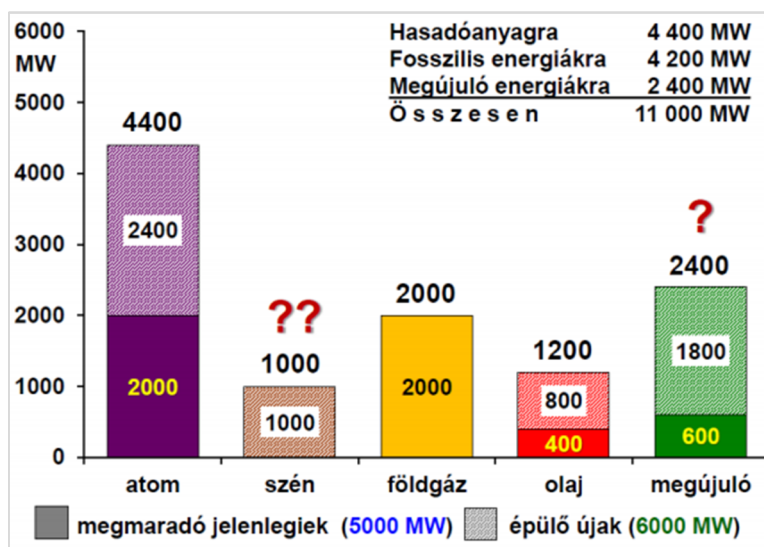
<sup>16</sup> Ziborács et al. 2017.

<sup>17</sup> Kulcsár 2018.

Hazánkban egyetlen geotermikus erőmű található 3 MW beépített kapacitással. 2017-ben létesült Turán. A további bővítésre, újabb erőművek létesítésére jelentős potenciál áll rendelkezésre, azonban a létesítés meglehetősen körülményes és kockázatos. Tovább rontja a geotermikus energia megítélését az alacsony vízhőmérséklet, ami miatt csak rossz, 6-10% hatásfokú ORC (Organic Rankine Cycle) rendszerű erőművek létesítésére van lehetőség. Geotermikus erőművek esetében a kapcsolt üzem sokkal kifizetődőbb, vagyis tárhőszolgáltatást is végeznie kell a villamosenergia-termelés mellett, mint ahogy teszi azt a turai erőmű.<sup>18</sup>

Jelenleg Magyarország a biomassza potenciáljának mintegy 15%-át használja. Amennyiben a teljes potenciált biomassza tüzelésű erőműben hasznosítanánk, akkor mintegy 2.800 MW összteljesítményű új erőművet létesíthetnénk. Természetesen a nap- és a szélenergia további bővítésében is gondolkodnunk kell, mindemellett nem felejthetjük ki a települési szilárd hulladékok és az abból készülő másod-tüzelő-anyagok erőművi hasznosítását sem.<sup>19, 20</sup>

A 3. ábra szemlélteti Magyarország 2030-ra várható erőművi teljesítmény összetételét. Ha csak Paks 2 épülne meg, akkor középtávon egy erőműves orszaggá válnánk és egyik erőművünk sem magyar tüzelőanyaggal működne.<sup>21, 22, 23</sup>



3. ábra: Beépített erőművi teljesítmények Magyarországon, prognózis 2030-ra<sup>24</sup>

<sup>18</sup> Haffner 2017.

<sup>19</sup> Bodnár 2017.

<sup>20</sup> Haffner 2018.

<sup>21</sup> Bodnár 2017.

<sup>22</sup> Aalto et al. 2017.

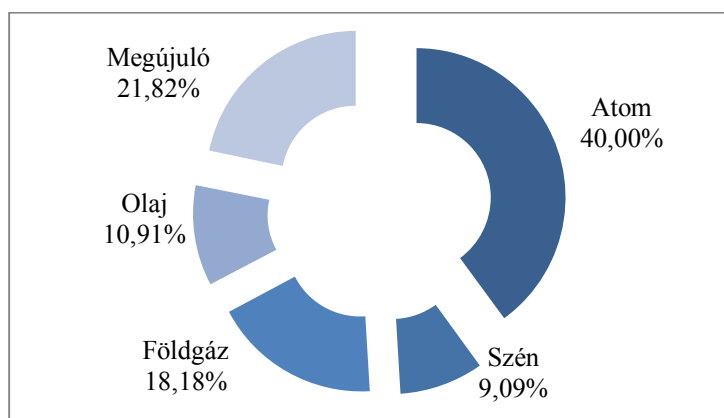
<sup>23</sup> Stóbl 2015.

<sup>24</sup> Uo.



A Mátrai Erőmű hatásfoka jelenleg 29%, de újonnan üzembe helyezett ligniterőművek hatásfoka már a 43% hatásfokot is elérhetné. Mindezek miatt szükséges és indokolt erőmű építése a Mátrában is. A nagy kérdés, hogy két darab 500 MW-os blokkot ki fog megépíteni? A legnagyobb probléma az, hogy 5.400 MW-nyi alaperőművünk lesz (atom és szén), amelynek a szabályozása rugalmatlan.<sup>25, 26, 27</sup>

A 4. ábra szemlélteti a 2030-ra várható különböző energiaforrású erőművek egymáshoz viszonyított arányát. Megfigyelhető, hogy 2020-hoz képest már nem a földgáz, hanem az atomenergia fog dominálni a maga 40%-os részesedésével. A földgáztól való függősége jelentősen csökkenni fog Magyarországnak, mivel a földgáz üzemű erőművek összteljesítménye 900 MW-tal csökkeni fog.<sup>28</sup>



4. ábra: Beépített erőművi teljesítmények aránya Magyarországon, prognózis 2030-ra<sup>29</sup>

Magyarország erőműmixe kialakítható lenne úgy 2030-ra, hogy ne legyen szükség importra. A változó hiány csökken 2020-hoz képest, mert feltételezzük, hogy addigra már lesz valamilyen energiatároló a villamosenergia-rendszerben. Ha egy átlagos napi bruttó termelést kiszámolunk 2030-ban, akkor körülbelül 5.600 MW jön ki. Ekkorra a jelenlegi paksi blokkok mellett Paks 2 is üzemelni fog két 1.200 MW-os blokkal. A megújulók és egy szükséges lignittüzelésű erőmű mellett a gáztüzelésűeknek még kevesebbet kell majd menniük, mint manapság. Hajnali órákban még az is előfordulhat, hogy Paks 2 blokkjait vissza kell terhelni, ami egy alaperőműnél nem gazdaságos. Megoldható úgy is a probléma, ha exportálunk, persze ez csak akkor lehetséges, ha szomszédos országokban van, aki meg is veszi.<sup>30, 31, 32</sup>

<sup>25</sup> Bodnár 2017.

<sup>26</sup> Haffner 2018.

<sup>27</sup> Aalto et al. 2017.

<sup>28</sup> Bodnár 2017.

<sup>29</sup> Uo.

<sup>30</sup> Uo.

<sup>31</sup> Haffner 2018.

<sup>32</sup> Aalto et al. 2017.

Összességében elmondható, hogy a jövőben szükség lesz új erőművek építésére, a jelenleg még üzemelő, de folyamatosan előregedő és leállítandó alap és menetrendtartó erőművek, valamint a gyors kiegyensúlyozó képességgel rendelkező csúcserőművek pótlására. Az atomenergia mellett a lignit- és a biomassza tüzelésű erőművek, valamint a folyamatosan csökkenő bekerülési költségű nap- és szélenergia-erőművek létesítésével növelhetjük Magyarország villamosenergia-rendszerének biztonságát.

## 6. Napelemes és biomassza erőművek Magyarországon

Magyarországon a megújuló energiaforrások közül a biomassza a meghatározó. Az utóbbi években viszont rohamosan terjedtek a napelemes erőművek, amelyek telepítése a közeljövőben is mérvadó lesz. Magyarországon 2019-ben a napelemes erőművek beépített csúcsteljesítménye elérte a 960 MW-ot. Ez pont a Mátrai Erőművel megegyező kapacitás. Ennek ellenére az éves energiatermelése tizedannyi. Ez azért lehetséges, mert a Mátrai Erőmű a karbantartási leállásokon kívül folyamatosan a névleges teljesítményén tud termelni, ezért az éves csúcsteljesítmény kihasználtsági tényezője 90% felett van. Ellenben a napelemes erőművek napi 1-2 órán keresztül tudnak a névleges teljesítményükön üzemelni, mert napi szinten csak ennyi ideig érik őket ideális szögben a napfény. Amikor nem süt a Nap, akkor nem tudnak termelni. Ez napi szinte 12 óra teljes kiesést jelent. A köztes időszakban pedig Gauss-eloszlás jelleggel termelnek. Emiatt az éves csúcsteljesítmény kihasználtsági tényezőjük átlagosan 10% körül alakul. Dél-Magyarországon ez az érték elérheti a 12-14%-ot is, míg Észak-Magyarországon rendszerint 8-9%. Jelenleg Magyarországon üzemelő napelemes erőművek aktív felülete 6 km<sup>2</sup>, helyigényük a telepítés jellege miatt meghaladja a 15 km<sup>2</sup>-t. Darabszámuk 4 millió körül mozog. Amennyiben ezeket a napelemeket egymás után sorba tennénk, akkor az elsőtől az utolsóig több, mint 6.200 km-t kellene sétálnunk.

## 7. Az életciklus-elemzés

Az életciklus-elemzés (LCA- Life Cycle Assessment) napjainkban, az egyik legjobban teret hódító környezetmenedzsment rendszereszköz, amelynek alkalmazása elsősorban az egymást helyettesítő szolgáltatások, termékek és technológiák esetén a legcélravezetőbb. Az LCA kapcsán számszerűsítést és becslést végzünk arra vonatkozóan, hogy egy termék teljes élettartama során (előállítás, annak elosztása, felhasználása, a belőle képződő hulladék ártalmatlanítása) milyen környezeti terheléseket okoz, illetve milyen és mennyi természeti erőforrást használ fel (beleértve az energiakiadásokat is).<sup>33</sup> Az ISO 14040 szabvány alapján az életciklus-elemzés a következőképpen definiálható: „a termékkel kapcsolatos környezeti tényezők és potenciális hatások értékelésének olyan módszere, amely leltárt készít a termékkel kapcsolatos folyamatok rendszerének bemeneteiről és kimeneteiről; kiértékeli az ezekkel kapcsolatos potenciális környezeti hatásokat; értelmezi a leltári elemzésnek és a hatásértékelés fázisainak eredményeit a tanulmány céljainak figyelembevételével.”

<sup>33</sup> Bodnár 2017.

Az életciklus szemlélet a felelős vállalati magatartás eredményeként született meg. A folyamatosan változó piacon egyetlen vállalat sem képes tartósan sikereket elérni, ha nincs a vállalatnak környezeti menedzsmentje. A környezeti menedzsmentnek rengeteg eszköze és módszere létezik, amelyek a hatékonyabb környezeti problémák kezeléséhez járulnak hozzá. A megfelelő módszerek kiválasztását számtalan tényező nehezíti és befolyásolhatja, ilyen például a környezetpolitikai célok és a környezetvédelmi szabályozás. A környezeti politika célja a szolgáltatási és termelési tevékenységek, valamint a technológiák kibocsátásaiból származó környezetet károsító hatások minimalizálása. Ennek érdekében a termelés teljes életciklusa során figyelembe kell venni a környezetbarát termékek, illetve a tisztább termelési technológiák alkalmazásának előtérbe helyezési lehetőségét, továbbá meg kell találnunk a legkisebb környezeti kockázatot jelentő hulladékkezelési módszereket. Klasszikus értelemben környezetbarátnak csak akkor nevezhetünk egy terméket, vagy egy technológiát, ha maga a termék, illetve a gyártása és fogyasztása során keletkező hulladékoknak közvetve és közvetlenül nincs környezetterhelő hatásuk. Ebben az értelemben az adott termékre vonatkozó ökológiai mérleg a „bölcsőtől a sírig” terjedő szemléletben pozitív, de legalábbis semleges a környezetre nézve. A gyakorlatban elképzelhetetlen egy olyan termelési, és fogyasztási folyamat, ami hulladékmentesnek tekinthető, ezért maga a pozitív jelző használata ez esetben arra utal, hogy a termékekre és technológiákra vonatkozó kedvezőtlen környezeti hatások kisebbek. Egy termék vagy egy technológia környezetbarát jellegének felismerése nem egyszerű feladat és a gyakorlatban számos ellentmondással találkozhatunk. Igaz, az LCA szükségességét és hasznosságát senki sem vitatja, ennek ellenére gyakran fogalmazódnak meg olyan kritikák, miszerint a módszer nagyon időigényes, költséges és sokszor hiányos is, mivel nem mindig állnak rendelkezésre megfelelő adatok az életciklus minden egyes folyamatáról. Az eredmények értelmezésénél gyakran előfordul, hogy a rendelkezésre álló életciklus-elemzési eredmények nehezen, vagy egyáltalán nem illeszthetőek a terméktervezéshez vagy a vállalati környezetirányítás dinamikus rendszerébe.

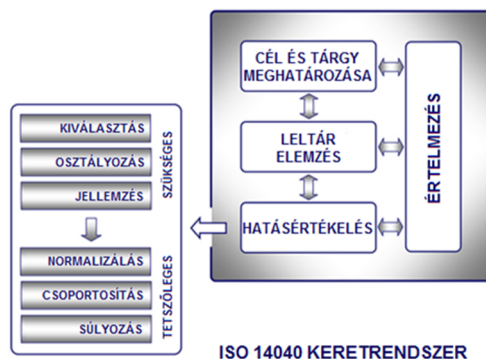
Az LCA-t eredetileg döntéstámogató eszköznek fejlesztették ki, amely környezeti szempontból tesz különbséget termékek, ill. szolgáltatások között. A teljes elemzések egyszerűsítéséhez lehetőség van a termék életciklusának csak egyes részeit vizsgálni, vagy csak bizonyos hatásokat vizsgálni a termék teljes életciklusát figyelembe véve.<sup>34</sup> Az életciklus-elemzés (LCA) egy termékkel, folyamattal, szolgáltatással vagy tevékenységgel kapcsolatos környezeti kibocsátások értékelésének folyamata, amely a következő főbb lépésekből áll: (1) a felhasznált energia és anyagok, valamint a környezetbe kibocsátott hulladékok azonosítása és mennyiségi meghatározása; (2) ezen energia- és anyagfelhasználások, valamint a környezetbe történő kibocsátások hatásának felmérése; (3) valamint a környezeti fejlesztések lehetőségeinek meghatározása és értékelése. Manapság ezek az alkalmazások magukban foglalják a kormányzati politikát, a stratégiai tervezést, a marketinget, a fogyasztói oktatást, a folyamatok fejlesztését és a terméktervezést. Ezeket az ököcímkek és a fogyasztói oktatási programok alapjául is használják az egész világon. Az ISO 14040: 2006 szerint: „Szisztematikus eljáráskészlet az anyagok és az energia bemeneteinek és kimeneteinek, valamint a kapcsolódó

---

<sup>34</sup> Uo.

környezeti hatásoknak az összegyűjtésére és vizsgálatára, amelyek közvetlenül a termék vagy szolgáltatási rendszer működésének tulajdoníthatók az életciklusa során.”

Az életciklus-felmérés négy fő szakaszból áll (5. ábra): (1) A cél és az alkalmazási kör meghatározásának fázisa: az LCA hatóköre, beleértve a rendszerhatárokat és a részletesség szintjét, a tárgytól és a tanulmány tervezett felhasználásától függ. Az LCA mélysége és szélessége jelentősen eltérhet az adott LCA céljától függően. (2) A készlet-elemzési szakasz (LCI fázis): az LCA második fázisa. Ez a bemeneti / kimeneti adatok leltára a vizsgált rendszerrel kapcsolatban. Ez magában foglalja a meghatározott tanulmány céljainak eléréséhez szükséges adatok gyűjtését. (3) A hatásvizsgálati szakasz (LCIA fázis): az LCA harmadik fázisa. Az LCIA célja, hogy kiegészítő információkat nyújtson a termékrendszer LCI-eredményeinek felméréséhez annak környezeti jelentőségének jobb megértése érdekében. (4) Értelmezési szakasz: Az életciklus-értelmezés az LCA-eljárás utolsó szakasza, amelyben az LCI vagy az LCIA, vagy mindkettő eredményeit összefoglalják és megvitatják a következtetések, ajánlások és a döntéshozatal alapjaként, az a cél és a hatály meghatározása.



5. ábra: Az LCA szakaszai<sup>35</sup>

## 8. Villamosenergiatermelés környezeti kibocsátásai

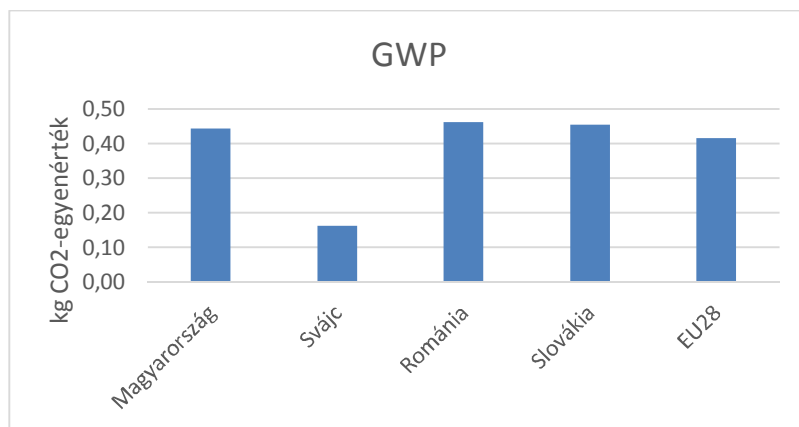
Az erőművek környezeti kibocsátásának meghatározására életciklus-értékelést végeztünk. Az elemzésekhez a leggyakrabban használt CML-értékelési módszert választottuk. A funkcionális egység 1 kWh villamos energia előállítása életciklus-megközelítés szerint. Megvizsgáltuk a hét legrepresentatívabb környezeti hatáskategória értékeit. A 4. táblázat bemutatja ezen hatáskategóriák sajátosságait.

Globális felmelegedési potenciál	GWP	kg CO <sub>2</sub> egyenérték
Savasodási potenciál	AP	kg SO <sub>2</sub> egyenérték
Eutrofizációs potenciál	EP	kg foszfát egyenérték
Ózonréteg-eltérési potenciál	ODP	kg R11 egyenérték
Kimerülő abiotikus források	ADP elements	kg ólom egyenérték
Kimerülő abiotikus fosszilis források	ADP fossil	MJ
Human toxicitási potenciál	HTP	kg DCB egyenérték

4. táblázat: A legfontosabb környezeti hatáskategóriák

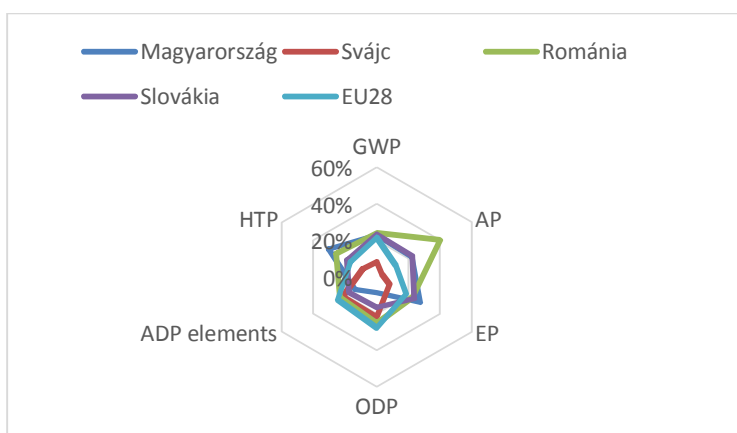
<sup>35</sup> Product Design for the Environment (2020).

A következőkben összehasonlítjuk Magyarország, Svájc, Románia, Szlovákia és az EU-28 környezeti hatáskategóriáit. Először vizsgáljuk meg külön a globális felmelegedési potenciált. Az ábra azt mutatja, hogy Romániában a legnagyobb a széndioxid-kibocsátás 1 kWh villamosenergia előállításakor. A 2019-es adatok szerint mindhárom EU-tagállam magasabb GWP-vel rendelkezik, mint az Európai Unió 28 tagállama átlaga. A svájci villamosenergia-termelésből származó karbon-lábnyom az EU-28 átlagának csaknem egyharmadát teszi ki.



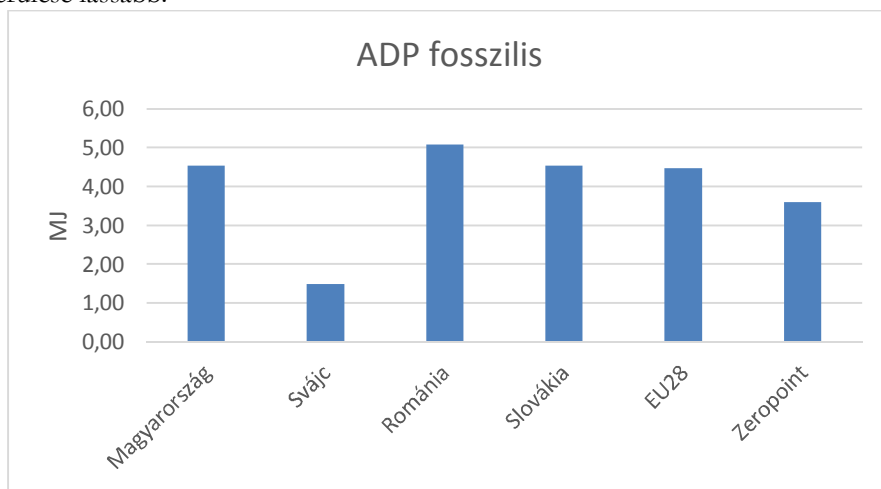
6. ábra: Normalizált szén-dioxid kibocsátás Magyarország, Svájc, Románia, Szlovákia és az EU28 átlagára nézve

A 7. ábra a különböző országok normalizált környezeti hatáskategóriáit mutatja. Látható, hogy Svájcnak a legalacsonyabb a környezeti hatása, ha 1 kWh villamos energiát termel. Szlovákia teljesítménye pontosan az EU-28 átlaga. Magyarország csak 1%-kal haladja meg ezt az értéket. Románia a legtöbb környezeti hatáskategória szempontjából kedvezőtlenebb helyzetben van, mint a vizsgált országok többi része.



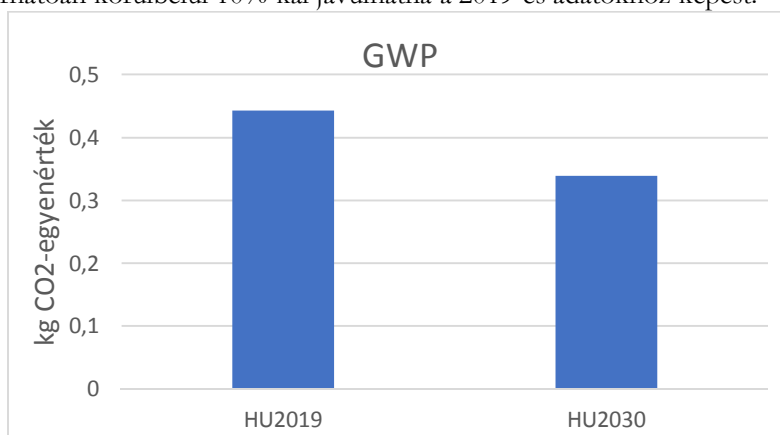
7. ábra: Normalizált környezeti hatások Magyarország, Svájc, Románia, Szlovákia és az EU28 átlagában

A 8. ábra szemlélteti a kimerülő abiotikus fosszilis forrásokat. Ez a kategória azt mutatja meg, hogy mekkora mennyiségű fosszilis tüzelőanyagot használnak fel az előállított villamosenergia-egységre vonatkoztatva; ennél fogva az abiotikus fosszilis tüzelőanyagok kimerülését mutatja. Megfigyelhető, hogy Svájc kivételével az összes országban és az EU-28-ban a villamosenergia-termelés hozama negatív. Ez azt jelenti, hogy több fosszilis energiát használunk, mint amennyi energiát tudunk termelni. Svájcban a megújuló energiaforrások magas aránya miatt a fosszilis tüzelőanyagok kimerülése lassabb.



8. ábra: Normalizált abiotikus kimerülő fosszilis források

Végül vizsgáljuk meg, hogyan alakulna Magyarország környezeti kibocsátása 2030-ra, ha a tervezett erőmű építése befejeződne, és a meglévő erőművek továbbra is üzemben maradnának. A megújuló energiaforrások közül főként a napelemes-erőművek jelentős építésére számíthatunk. A 9. ábra azt mutatja, hogy a villamosenergia-termelés karbon-lábnnyoma több mint 23%-kal csökkenhetne 2030-ra. Noha a fosszilis tüzelőanyagok kimerülése továbbra is negatív maradna, ennek ellenére mégis várhatóan körülbelül 10%-kal javulhatna a 2019-es adatokhoz képest.



9. ábra: Villamosenergiatermelés normalizált karbon-lábnnyoma 2019 és 2030 években

## 9. Erőművek környezeti kibocsátásainak csoportjai

Az erőműveket a környezeti hatásaik, kibocsátásaik alapján két csoportra lehet osztani. Az egyik csoportot azok az erőművek képviselik, amelyekben anyag-energia átalakulás van. Ezen erőművek a villamosenergia előállítása során közvetlen károsanyag kibocsátással járnak. A másik csoportban azok az erőművek találhatók, amelyek energia-energia átalakítási folyamatot valósítanak meg, így ezek közvetlenül nem rendelkeznek környezeti kibocsátással. Az első csoportba tartoznak a tüzelés útján energiát termelő erőművek, mint például a hagyományos, nem megújuló fosszilisenergiaforrást, vagy a megújuló hulladékot és a biomasszát hasznosító erőművek. A második csoportba tartoznak a klasszikus értelemben vett megújuló energiaforrások, mint a víz, a szél és a napenergia, de a hagyományos atomerőművek is. Az első csoportba tartozó erőművek között a biomasszán alapuló különbözik a többitől. Mivel a biomassza megújuló energiaforrás, és az elégetése során annyi széndioxidot termel, mint amennyit élete során megkötött, ezért szén-dioxid semlegesnek tekinthető. Azonban ez a széndioxid-semlegesség csak akkor igaz, ha legalább annyi biomasszát újítunk meg, mint amennyit felhasználunk. Igaz, ez sem teljesen igaz.<sup>36</sup>

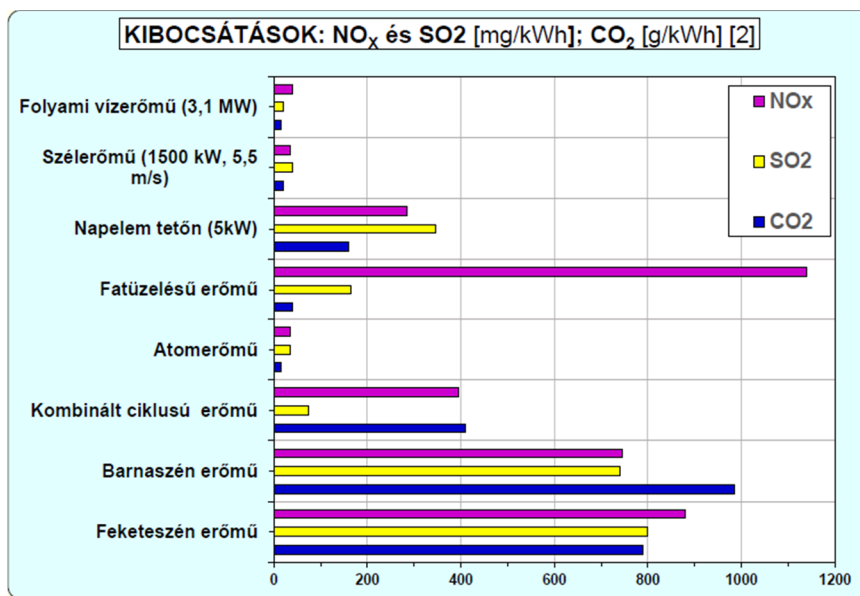
A bioüzemanyagok előállítása az utóbbi években jelentősen fejlődött. Egyes országokban a hagyományos üzemanyagokba megadott arányban bioüzemanyagokat kell keverni értékesítés előtt, de arra is találunk példát, ahol magukat az alternatív, megújuló üzemanyagokat közvetlenül az üzemanyag kutakon vásárolhatjuk meg. Más országokban pedig kifejezetten tiltják és szankcionálják a bioüzemanyagok forgalmazását és hajtóanyagként történő alkalmazását.<sup>37</sup>

A legismertebb bioüzemanyag a bioetanol, közismertebb nevén az E85, ami fosszilis benzin kiváltására alkalmas. Szín-tén ismert gázolaj-helyettesítő a biodízel, ami elsősorban növényi olajokból állítható elő. A fagázban rejlő lehetőséget, mint alternatív üzemanyag, már 1901-ben felfedezték és a II. világháború idején, a kőolajhiány időszakában előszeretettel alkalmazták a hadseregben, a civil szférában és a mezőgazdaságban járművek és gépek üzemanyagául. Az 1940-es évek elején világszerte több mint egy millió ilyen jármű volt forgalomban. Mára szinte teljesen a feledés homályába merült. Végül pedig a biogázt célszerű megemlíteni, mint a földgáz alapú autógázt helyettesítő bioüzemanyagot. Az energetikai hasznosítás legfontosabb előfeltétele, hogy a feladott hulladék nagyobb arányban tartalmazzon éghető komponenseket, mint éghetetleneket.

Az éghetetlen komponensek szilárd fázisban salakként és hamuként maradnak vissza, aminek további kezeléséről gondoskodni kell. Az utókezelés lehet lerakóban történő elhelyezés, vagy vitrifikálás (salakolvasztás), amely során a fémek visszanyerhetőek, a maradék szervesetlen összetevők pedig üvegesíthetőek. További feltétel, hogy a gyakorlatban is valósuljon meg az energia visszanyerés, tehát a rendszer energiámérlege pozitív értéket képviseljen. Nem elhanyagolható szempont, miszerint csak akkor érdemes az energetikai célú hasznosítás, ha a hulladékból termelt energia fajlagos mennyisége nagyobb, mint amennyi az anyagában történő hasznosításnál igényként jelentkezik.

<sup>36</sup> Bodnár 2017.

<sup>37</sup> Uo.



10. ábra: The exhaust comparison of the main energy sources<sup>38</sup>

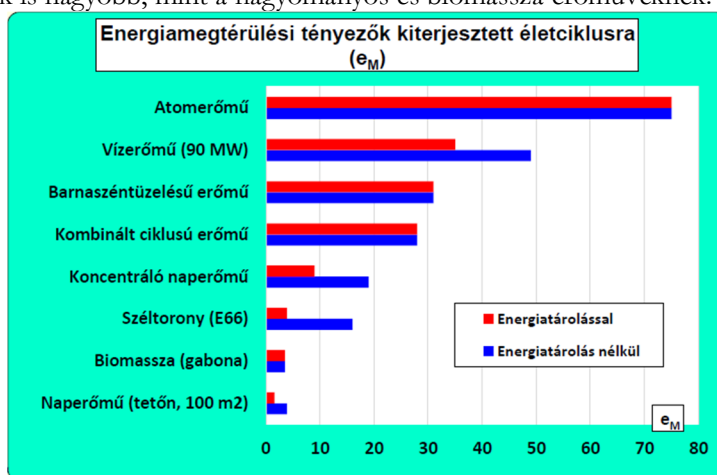
Mivel az erőművek építése, üzemeltetése és életútja végén a szanalása is energiát és jelentős nyersanyagot igényel, ezért szén-dioxid semlegesség valójában csak akkor érhető el, ha a figyelembe vesszük az előbb felsorolt folyamatok kibocsátását is. Ez azt jelenti, hogy akár 1,5-ször több biomasszát kell újratermelni, mint amennyit az erőmű felhasznál. Tehát egyre vagy egyre több biomasszát kell ültetni állandó felhasználás mellett, vagy egyre kevesebbet felhasználni azonos újratermelés mellett. Ezen elvek figyelembevételével a biomassa erőművekkel termelt villamosenergia széndioxid kibocsátása akár negatív előjelet is felvehet.

Az építés, üzemeltetés és szanalás környezeti hatásait a többi erőműtípusnál is figyelembe kell venni. Ez azt jelenti, hogy minden erőműnek van egy közvetett környezeti kibocsátása is, amihez hozzáadódik a közvetlen kibocsátás és ezek együttese eredményi egy erőmű valós környezeti hatásait. A fosszilis erőműveknél jellemzően a közvetlen kibocsátások a nagyobbak, akár a teljes kibocsátás 90-95%-át is kitehetik. A megújuló energiaforrásoknál, mint a biomassa fordított a helyzet. A víz, a szél és a napenergiát hasznosító erőműveknél pedig csak közvetett kibocsátásokkal kell számolnunk. A közvetett kibocsátás számítása az erőmű teljes élettartamára vonatkoztatva kerül meghatározásra. Amennyiben a tervezett élettartam alatt termelt villamosenergia mennyiségével elosztjuk az erőműépítés, üzemeltetés és szanalás során keletkező környezeti kibocsátást, akkor megkapjuk a fajlagos, egységnyi villamosenergia-termelésre jutó közvetett kibocsátások értékét. Az egyes erőművekhez eltérő és széles skálán mozgó primerigényt lehet rendelni. A primerigény lényegében kétféle osztható, az egyik anyagban, a másik energiában fejezhető ki. Tehát nyersanyag- és nyersenergiaigény.

<sup>38</sup> Körényi 2019.



Ez utóbbi szintén kifejezhető anyagigénnyel, hiszen a felhasznált energiák jellemzően fosszilis alapúak, így fosszilis anyagigényként jelentkeznek, bár továbbra is energia mértékegységben mérjük. Mivel a megújuló energiaforrások (víz, szél és napenergia) energiasűrűsége elenyésző a hagyományos és a biomassza alapú erőművekhez képest, ezért építésük nagy nyersanyag és nyersenergia igénnyel rendelkezik. A helyfoglalásuk is jelentősen nagyobb. Ezek alapján a közvetett környezeti kibocsátásuk is nagyobb, mint a hagyományos és biomassza erőműveknek.



11. ábra: Energy payback time diagram<sup>39</sup>

Szintén nem szabad figyelmen kívül hagyni az erőművek előregedéséből származó hatásfokcsökkenést, amely főként a napelemes erőműveket érinti érzékenyen. Mivel a napelemek félvezető eszközök, ezért az előregedésük intenzívebb hatásfokromlást eredményez, mint más erőműveknél. A napelemes erőműveknél egy többlet hatékonyságcsökkentő tényezővel kell számolnunk. Ez pedig a környezeti adottságokból adódó felületi szennyeződések, mint például a madárürülék és a szálló por, amelyek a napelem felületén lerakódva, termelés kiesést eredményeznek. Ezen hatásokat is valamilyen formában figyelembe kell venni a közvetett környezeti kibocsátások számításánál.

## 10. Hulladékból történő energiatermelés

A hulladékkezelés módja világszerte éles vitákat szül. A hulladékgazdálkodási piramis hivatott ezeket az ellentéteket csillapítani, mely kimondja, hogy a legmegfelelőbb problémakezelés a megelőzés és minimalizálás. Az újrahasználat és újrahasznosítás a technikai feltételeken túl helyes társadalmi hozzáállást is igényel. Továbbá a szelektív hulladékgyűjtés problematikáján túl, bizonyos tényezők ellehetetlenítik az, például étellel szennyezett hulladék. A piramis magasabb szintjén, ezáltal kevésbé kedvező megoldásként szerepel a tüzelőanyag-kiváltás. Az energetikai hasznosítás jobban terheli a környezetet, de lényegesen egyszerűbb az előkészítés,

<sup>39</sup> Uo.

és a munkafolyamatok megtervezése. A hulladék sokféle eljárással lehet energiát nyerni. Alkalmaznak hagyományos égetést, pirolízist, gázosítást és plazmatechnológiát egyaránt. Technológiától függően a hulladék képes lehet szilárd tüzelőanyag és földgáz kiváltására is, továbbá alkalmazhatók villamos- és hőerőműként működő létesítményekben egyaránt. Égetésnél hőenergia szabadul fel, valamint szilárd maradék és füstgáz keletkezik. Ennek a felhasználási lehetőségnek a felszabaduló füstgáz legnagyobb problémája és ellenérve, leginkább annak veszélyesanyag tartalma, valamint az üvegházhatást okozó komponensei, tovább gondot okoz a keletkező hamu is. Az ilyen melléktermékeket kizárólag tisztítás után szabad a környezetbe engedni. A biológiailag lebomló hulladékok esetén a fermentálás a legkedvezőbb megoldás, ahol biogáz szabadul fel. További eljárások is ismertek, amelyek során, termikus úton történik a kezelés. Az energetikai célú hasznosításon szűkebb értelemben a villamos- és a hőenergiatermelést értjük. Ide tartoznak azok a technológiák is, amelyekkel biozemplanyagot lehet előállítani, amely mechanikai energiává alakítható. A leggyakrabban alkalmazott termikus kezelési technológiák lehetőséget adnak a hulladékban rejlő energia hasznosítására. Ilyen technológia a hagyományos égetés mellett a gázosítás, a pirolízis, a plazmatechnológia, vagy éppen ezek kombinációja. Ezeket az eljárásokat gyakran hulladékból energiát technológiáknak nevezik.<sup>40</sup>

A legismertebb termikus kezelési technológiák:<sup>41</sup> (1) hagyományos égetés, amely teljes oxidációs megoldás, (2) pirolízis, amely az anyagok termikus degradációja az oxigén teljes kizására mellett, (3) gázosítás, mint másodlagos oxidációs eljárás, (4) plazmatechnológia, amely másodlagos oxidációt valósít meg, és gyakran kombinálják pirolízissel (plazma-pirolízis), vagy gázosítással (plazma-gázosítás); a technológia végeredménye éghető szintézisgáz és stabilizált üvegszalak.

A termikus kezelési technológiákat a tipikus reakciókörülményeik alapján szokás összehasonlítani (5. táblázat). Az első és legfontosabb reakciókörülmény az alkalmazott hőmérséklet, amely előzetes tájékoztatást ad a technológia környezetre gyakorolt hatásáról és a beruházási költségéről. Általánosságban elmondható, hogy a hőmérséklet növelésével csökkenthető a technológia környezetkockázati tényezője, de ezzel együtt arányosan növekedni fog a beruházási költség. A nagyobb hőmérséklet speciális anyagok, fémötvözetek és műszaki kerámiák alkalmazását igénylik, amelyek jelentős költségnövekménnyel járnak. A második reakciókörülmény az égéslevegő mennyisége, azaz a sztöchiometriai arány. Részben ez a körülmény mutatja meg, hogy mekkora lesz a füstgázkibocsátás mértéke. Az egynél nagyobb értékek esetében jelentős légfeszüléssel kell számolnunk, amely így növeli közvetlenül a kibocsátott füstgáz mennyiségét, valamint közvetve – a füstgáztisztítási rendszeren keresztül – a beruházási és üzemeltetési költségeket. A harmadik reakciókörülmény a segédáramok típusát foglalja magába. Az alkalmazott segédgáz befolyásolja a keletkező végtermékek összetételét, kezelhetőségét, fizikai- és kémiai tulajdonságait. Bizonyos technológiáknál külső hő bevitelre lehet szükség, amely földgáz, szén, vagy olaj póttüzeléssel, illetve villamos energiával valósítható meg. A keletkezett végtermékek megmutatják, hogy a technológiát elhagyó anyagok milyen formában hasznosíthatók, vagy esetlegesen milyen típusú utókezelést igényelnek. Abban az esetben, ha a keletkező végtermékek

<sup>40</sup> Bodnár 2014.

<sup>41</sup> Uo.

haszontermékek, célszerű megadni, hogy energiatermelés céljából történő hasznosításuk során milyen erőgépet alkalmazunk.

Technológia	T [°C]	Oxidációs faktor	Segédgáz	Termék	Erőgép
Pirolízis	500 1200	$\lambda = 0$ endoterm	-	pirogáz, piroolaj és pirokoks	gázmotor, gőzturbina
Hagyományos égetés	1150	$\lambda = 1,5$ exoterm	földgáz póttüzelés, levegő	füstgáz (<5% éghető), salak, hamu és pernye	gőzturbina
Gázosítás	1200 1600	$\lambda = 0,55$ másodlagos oxidáció	levegő	szintézisgáz, salak, hamu és pernye	gázmotor
Plazma-gázosítás	1200 2000	$\lambda = 0,5$ másodlagos oxidáció	levegő, gőz	szintézisgáz, üvegsalak	gázmotor
Plazmatechnológia	3000 5000	$\lambda = 0,5$ másodlagos oxidáció	gőz, O <sub>2</sub> és CO <sub>2</sub> keverék	szintézisgáz, üvegsalak	gázmotor
Földgáz- és biogáz égetése	650	$\lambda = 0,99$ exoterm	levegő	füstgáz (<3% CH <sub>4</sub> tartalom)	gázmotor
Széntüzelés	500	$\lambda = 0,99$ exoterm	levegő	füstgáz (<5% éghető), salak, hamu és pernye	gőzturbina

5. táblázat: A vizsgált technológiák és reakció körülményeik

Az erőgép típusa közvetlenül a technológiák energetikai hatékonyságát, ez pedig közvetve a gazdaságossági mutatókat, legfőképpen a megtérülési időt befolyásolja, határozza meg. Mindezek figyelembevételével célszerű a technológiákat tovább vizsgálni és az egyes összefüggéseket külön-külön ellenőrizni, összehasonlítani és értelmezni. Ahhoz, hogy a döntéshozatali folyamat során minden fontos és látszólag kevésbé fontos tényező hatása és súlya felismerhető legyen, egy átfogó modell alkalmazása válik indokolttá. A háromszögmodell az eddigi kutatási eredmények alapján megfelelően kezeli a technológiai sajátosságokat az értékelési folyamat során. Kellő körültekintést biztosít a releváns információk begyűjtésére és az összehasonlíthatóságára. Azt hozzá kell tennem, hogy a modell csak annyira pontos, amennyire pontos adatokat szolgáltat egy-egy technológia.

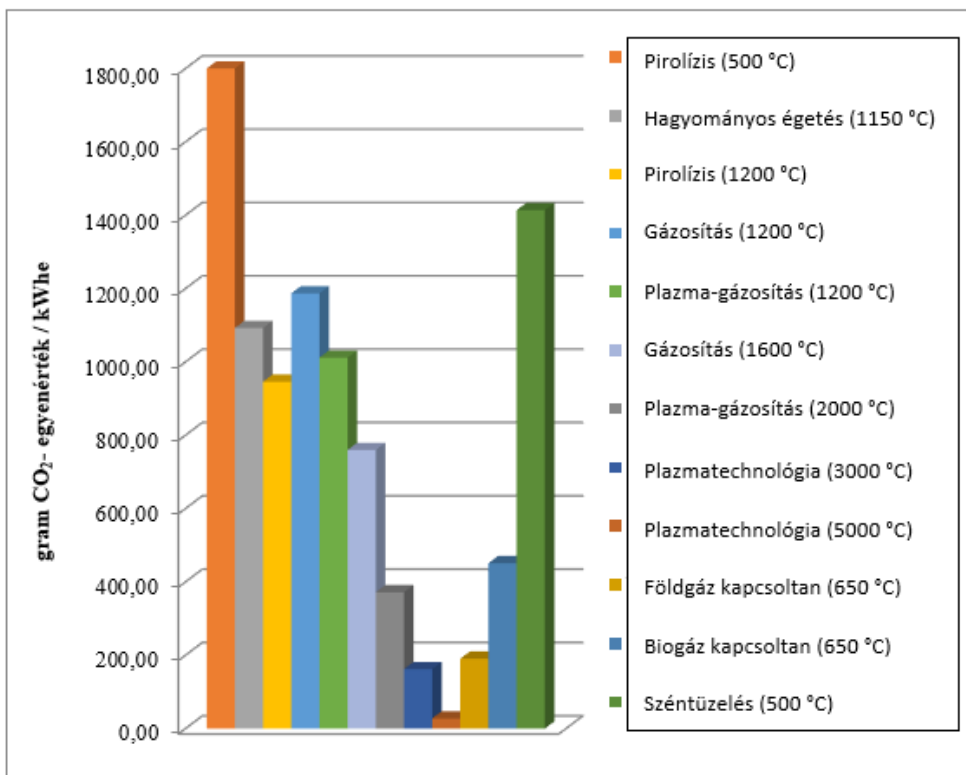
A szerves ipari hulladékok termikus úton történő kezelésére tizenegy technológiát elemeztünk. A referenciamennyiség a földgáz gázmotorral történő energiatermelése. A környezeti kategóriákból a globális felmelegedési potenciált (GWP) emeltük ki, mivel fő célunk a széndioxid-takarékos technológiák megtalálása. Ezen technológiák közül az üvegházhatást okozó összes gáz közül a szén-dioxid a legjelentősebb. A választott funkcionális egység, azaz a kezelés összehasonlításának alapja az egy kWh előállított villamosenergia. A vizsgálat peremfeltételeit a 6. táblázat tartalmazza.<sup>42</sup>

<sup>42</sup> Uo.

Rendszerhatár	Alkalmazott módszer és funkcionális egység
A hulladék feladásától a keletkező szintetikus gáz égéséig.	<b>Módszer:</b> CML 2001 <b>Funkcionális egység:</b> 1 kWh electricity (CHP)
Az erőmű működési állapota és kiaknázása	
<b>Működési állapot:</b> Normál, állandó működési állapot.	<b>Kihasználtság:</b> 75,34 % éves teljesítménykihasználtság
Környezeti hatáskategória	értékegység
Globális felmelegedési potenciál (GWP)	kg CO <sub>2</sub> - egyenérték
Hatáskategória leírása	
A GWP az üvegházhatású gázok (például CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O és FCKW) meleg hőmérséklete relatív mérőszáma a légkörben. Összehasonlítja a kérdéses gáz egy bizonyos tömegének csapdába esett hőmennyiségét egy hasonló tömegű szén-dioxid által befogott hőmennyiséggel. A GWP-t egy meghatározott időintervallumra számolják, általában 20, 100 vagy 500 évre.	

6. táblázat: Az elemzés peremfeltételei

Az eredmények alapján elmondhatjuk, hogy a legkedvezőbb eredményeket a plazma technológiákkal sikerült elérni (6. ábra). Ezek az eredmények kedvezőbbek, mint a földgázból kapcsolt energiatermeléssel történő villamosenergiatermelés a magyar átlagra vonatkoztatva. A legkedvezőtlenebb érték a pirolízisnél tapasztalható. Ez az érték 500°C hőmérsékleten magasabb, mint a magyar széntüzelésű erőmű. Ez az erőmű 1,22 kg CO<sub>2</sub>/kWh-t bocsátott ki, amelyet 2016-ra 0,9 kg-ra kellett volna csökkenteni. A magasabb hőmérsékleten végzett pirolízis (1200°C) jobb, mint a gázosítás, és a plazma-gázosítás bizonyos. A hőmérséklet emelkedése csökkentette a szén-dioxid-kibocsátást minden megtermelt kWh villamos energiánként. Ennek oka a szintézisgáz magasabb fűtőértéke. A hagyományos égetés kibocsátása az alacsonyabb hőmérsékleti gázosítás (1200°C) és a plazma-gázosítás (1200°C) között helyezkedik el.



12. ábra: Szén-dioxid kibocsátás technológiánként 1 kWh villamosenergia termelésre vonatkozóan

## 11. Összefoglalás

Napjainkban a fokozódó energiaigény egyre nagyobb kihívások elé állítja a szakembereket. Miközben a nemzetközi irányelvekhez való igazodás és a társadalmi szemléletváltás sürgeti a megújulóknak előnyben részesítését és a felhasználás hatékonyságának növelését. A jelenlegi előregedő erőművi rendszer helyettesítése számos eddig még talán fel sem tárt kérdést és feladatot tartogat. Ahhoz, hogy ezekről pontos, átfogó képet kapjunk nélkülözhetetlen a teljes életciklus elemzés alkalmazása a fenntartható energiatermelés biztosítása érdekében.

### Irodalomjegyzék

1. Aalto P, Nyssönen H, Kojo M & Pallavi P (2017) Russian Nuclear Energy Diplomacy in Finland And Hungary, *Eurasian Geography and Economics* 58(4) pp. 386–417., <https://doi.org/10.1080/15387216.2017.1396905>
2. Bodnár I (2014) Global Warming Potential of the Thermic Treatment Processes, *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, 12(2) pp. 121–126.
3. Bodnár I (2017) *Fás szárú biomasszák és települési szilárd hulladékok termikus hasznosítása*, Miskolci Egyetem, Miskolc.
4. Bodnár I (2019) *Napelem működésének alapjai, a napelemes villamosenergia-termelés elmélete és gyakorlati megvalósítása*, Miskolci Egyetem, Miskolc.
5. Győri B (2015) Napelemekkel előállított villamosenergia mennyiségének összehasonlító elemzése Magyarország és Németország vonatkozásában, *Economica* 8(3), pp. 122–127.
6. Haffner T (2017) A megújuló energiaforrások alkalmazása a villamosenergia és hőtermelésre I. Napenergia, Szélenergia, Vízipenergia, *Közép-Európai Közlemények* 10(1) pp. 99–114.
7. Haffner T (2018) A magyar energiapolitika geopolitikai aspektusai, *Közép-Európai Közlemények*, 11(3) pp. 40–57.
8. Kulcsár B (2018) Megújuló Energia Alapú Kiserőművek Aránya a Magyar Településállomány Villamosenergia-Ellátásában, in: *IX. Magyar Földrajzi Konferencia*, Debrecen, 2018. november 9-11.
9. Körényi Z (2019) Erőmű Technológiák Életciklus Alatti Anyag és Energia Felhasználása, in: *XIV. Hazai LCA Konferencia*, ÉMI, 2019.11.18., Szentendre.
10. Magyar Energetikai és Közmű-szolgáltatási Hivatal (2020), [www.mekh.hu](http://www.mekh.hu) [2020.04.24.]
11. Stróbl A (2015) A magyarországi erőműépítés jövője, főbb kérdései, *Energetikai Szakkollégium*, előadás, Budapest, 2017.
12. Vajda Gy (1984) *Energetika II.*, Akadémiai Kiadó, Budapest.
13. Product Design for the Environment (2020) [www.productdesignenvironment.info](http://www.productdesignenvironment.info) [2020.04.24.]
14. Zsiborács H, Bai A, sr Popp J, Gabnai Z, Pályi B, sr Farkas I, Hegedűsné Baranyai N, Veszélka M, Zentkó L & Pintér G (2018) Change of Real and Simulated Energy Production of Certain Photovoltaic Technologies in Relation to Orientation, Tilt Angle and Dual-Axis Sun-Tracking. A Case Study in Hungary, *Sustainability* 10(5) 1–19.