

A „zöld” metanol szerepe a fenntartható energiagazdálkodásban

The green methanol - playing a role in sustainable energy management

J. TÓTH¹, R. MAGDA²

¹Szent István Egyetem, Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar, toth.judit@adepto.hu

²Szent István Egyetem, Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar, North-West University, South Africa
Magda.Robert@gtk.szie.hu

Absztrakt. A globális energiaigény folyamatosan növekszik, így az emberiség jövője szempontjából kiemelkedő jelentőséggel bír, hogy milyen energiaforrásokat használunk fel, milyen az energia felhasználás hatékonysága. A természeti erőforrások fenntartható módon történő hasznosításában, a fosszilis, kőolaj központú energiarendszerről való hatékony és zökkenőmentes áttérésben, az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésében a metanol kulcsszerepet tölthet be. A hosszú távú gondolkodás a megújuló energiaforrások felhasználásának bővülését eredményezi, amely kedvez a zöldmetanol-technológia terjedésének, s ezáltal egy szén-semleges üzemanyag használatának. A zöldmetanol-gyártás alapanyaga lehet szilárd települési hulladék, mezőgazdasági hulladék, szén-dioxid valamint megújuló hidrogén, s a metanolnak számos felhasználása van, mind üzemanyagként, mind kémiai alapanyagként. További lehetőséget nyújt az időszakos forrásokból származó megújuló energia feleslegének kémiai tárolására, ezáltal csökkentve a fosszilis üzemanyagoktól való függőséget. A zöld metanol gazdaságos előállíthatóságának legfőbb meghatározója az elektrolízishez alkalmazott villamos energia ára, így a szén- dioxidból kiinduló gyártás versenyképességét nagyban elősegíti a nap- és szélenergia árának csökkenése.

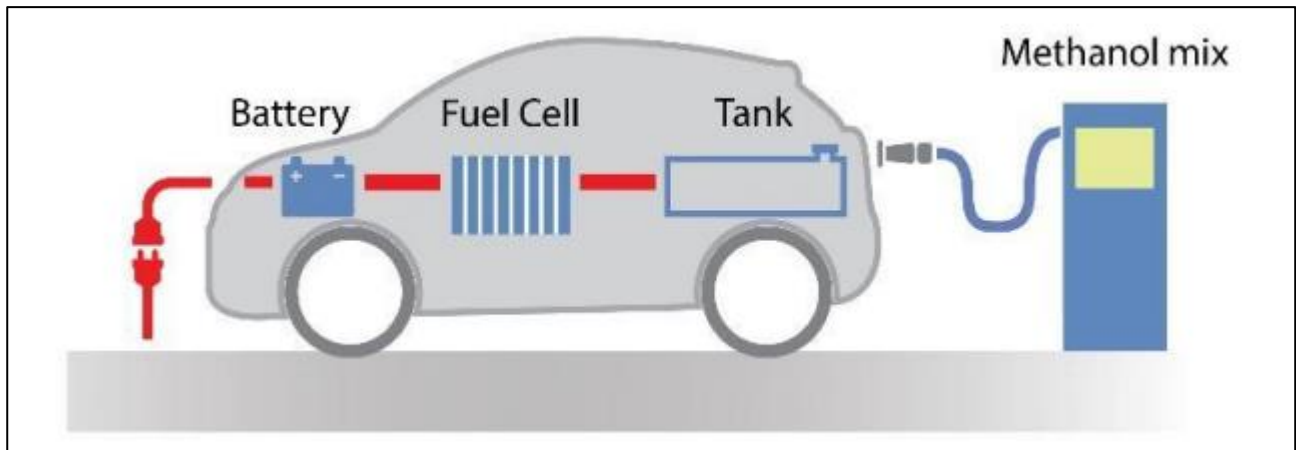
Abstract. Global energy demand is constantly increasing, so the energy sources we use, and the efficiency of energy use are of paramount importance for the future of humanity. Methanol can play a key role in the sustainable use of natural resources, in the efficient and smooth transition from a fossil oil-based energy system as well as in reducing greenhouse gas emissions. Long-term thinking will result in an increase in the use of renewable energy sources, which will favour the spread of green methanol technology and thus the use of a carbon-neutral fuel. The raw materials for the production of green methanol may include municipal solid waste, agricultural waste, renewable hydrogen and carbon dioxide and the methanol has many uses, both as fuel and chemical feedstock. It also provides an opportunity to chemically store excess renewable energy from intermittent sources, thereby reducing dependence on fossil fuels. The price of electricity used for electrolysis is the main determinant of the economical production of green methanol, so the reduction of the cost of solar and wind energy greatly contributes to the competitiveness of carbon-based production.

Bevezetés

Az emberiség történelme rendkívül szoros kapcsolatban áll az energiahordozókkal, az azoktól való függésünk több évezredes. Az erőforrások közül az energia mindig is az egyik legfontosabb volt, mert hozzájárult az emberi társadalmak fejlődéséhez és jólétéhez. Az elmúlt évtizedekben a világgazdaság, gazdasági növekedése jelentősen ösztönözte az energiafogyasztást. Az előrejelzések szerint az energiaigény növekedésének legnagyobb része várhatóan nem OECD-országokból származik, amit az ezekben az országokban tapasztalható gyors népességyarapodás, az erőteljes gazdasági növekedés, továbbá a forgalomba hozott energiához való fokozottabb hozzáférés magyarázza [1], miközben a fejlett országoknak továbbra is hatalmas mennyiségű energiára van szükségük jelenlegi életmódjuk fenntartásához. Az emberi társadalom nagymértékben támaszkodik a fosszilis erőforrásokra és ez a függőség negatív gazdasági, környezeti és társadalmi következményekhez vezetett, mint például légköri szén-dioxid koncentrációjának növekedése, amely egyik kiváltója a globális felmelegedésnek. A fosszilis erőforrások egyenlőtlen földrajzi eloszlása politikai konfliktusokat és társadalmi bizonytalanságot eredményez. A jövőben a társadalom energia- és áruellátását megújuló energiaforrások, például napenergia, szél vagy geotermikus energia segítségével, valamint alternatív alapanyagok bevonásával kell kielégíteni, amelyek támogatják a fenntarthatósági célok elérését és globálisan előfordulnak. Ezeknek a feltételeknek megfelelnek metanolgazdaság lehetséges alapanyagai: a szilárd települési hulladék, a mezőgazdasági hulladék, a szén-dioxid valamint a megújuló hidrogén valamint az a törekvés, hogy a metanolgenyártáshoz szükséges energiát fenntartható forrásból fedezzék.

1. A metanolgazdaság koncepciója

A kőolajszármazékok helyettesítésének gondolata nem újkeletű, több mint 100 éves múlttal rendelkeznek az ilyen irányú kutatások. A 20. század elején és közepén elsősorban az energiabiztonság, az olajválság indukálták a kutatásokat, az utóbbi évtizedekben előtérbe kerültek a klímapolitikai célkitűzések megvalósítását szolgáló megoldások keresései. A lehetséges kőolajszármazékokat helyettesítő anyagok közül a metanol számtalan előnyös tulajdonsággal bír: egy egyszerű vegyület, amely csak egy szénatomot tartalmaz. Nem robbanásveszélyes és folyadék, ezért a tárolása és szállítása egyszerű. A metanol fizikai tulajdonságai nagymértékben hasonlítanak a benzinre, így közvetlenül alkalmas motorhajtóanyagként, de a benzinbe is adagolható. A közvetlen felhasználáson túl nagy jelentőséggel bír a metanolos üzemanyagcellák alkalmazása a megújuló energiaforrásokból nyert energia tárolásában. A jövő metanolüzemű autókban nem a belsőégésű motorok alkalmazásában gondolkodnak, hanem abban, hogy villanymotor és tüzelőanyag-elem hajtja őket, ahogy ezt az 1. ábra szemlélteti. A rendszer fontos előnyei közé tartozik, hogy a jelenleg már rendelkezésre álló infrastruktúra és logisztikai rendszer alkalmazható az üzemeltetéshez.



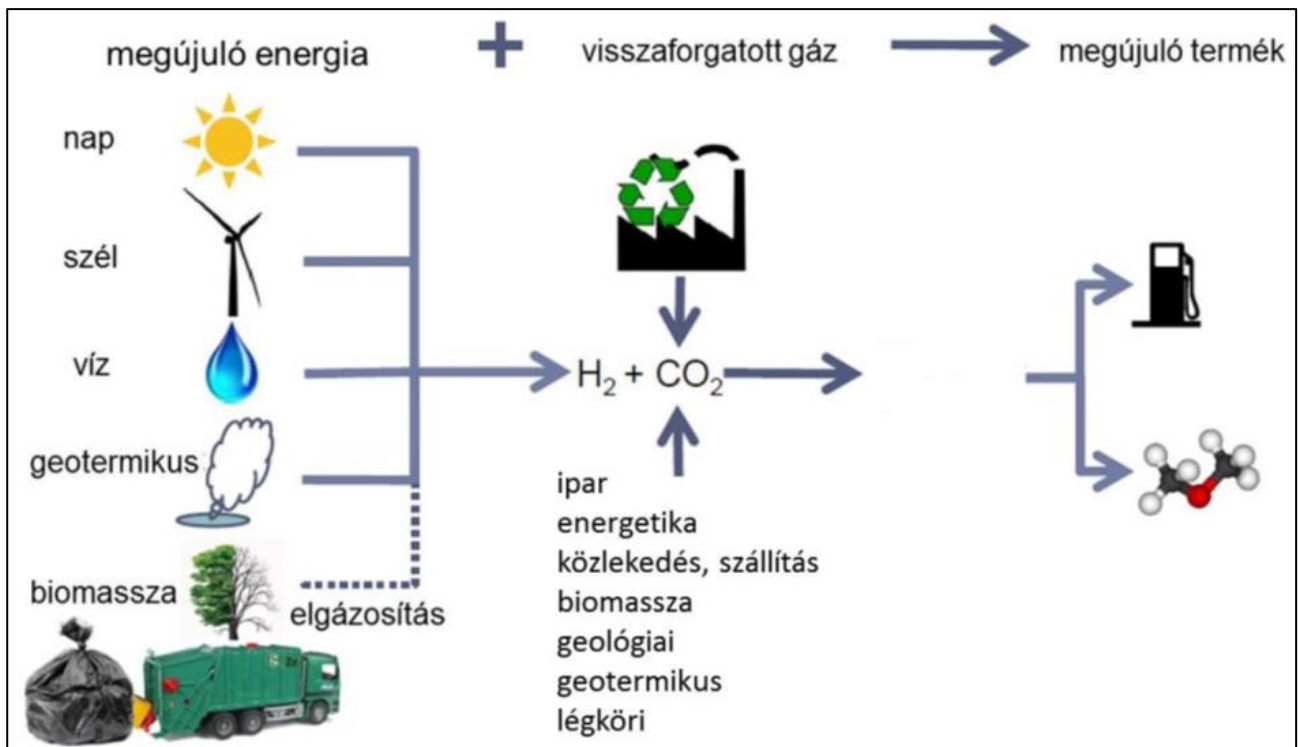
1. ábra. A jövő metanolüzemű autója (Forrás: SerEnergy)

Az üzemanyagcella olyan elektrokémiai galvánelem, amely képes a benne lévő üzemanyag kémiai energiáját közvetlenül elektromos energiává átalakítani. Az üzemanyagcellák és galvánelemek között az a különbség, hogy amíg a galvánelemek esetében az üzemanyag felhasználása után az elemet (vagy akkumulátort) ki kell cserélni (vagy fel kell tölteni), addig az üzemanyagcellákat új üzemanyaggal folyamatosan el lehet látni. Direkt metanollal működő tüzelőanyag-cellák esetén az üzemanyag a folyékony halmazállapotú metanol. A tüzelőanyag-elemben lényegében a metanol szokatlanul alacsony hőmérsékletű égése zajlik le, vagyis a levegő oxigénjével a metanolból víz és szén-dioxid keletkezik. A tüzelőanyag-elemből az égéskor felszabaduló energiát hő helyett elektromos áramként nyerik ki [3]. A metanolüzemű üzemanyagcella egy másik fontos felhasználási területe lehet a megújuló villamos energia tárolása. A nap- és szélenergia termelés időbeli teljesítménye szélsőséges értékek között változik, ezért a folyamatos energiaellátás biztosítása érdekében szükséges tároló kapacitások létesítése, amelyek áthidalják a kisteljesítményű időszakokat.

A metanol gyártás alapanyagai

A növények képesek a napenergia segítségével szerves anyagokat létrehozni a légköri szén-dioxid megkötése által, az emberiség számára nagy kihívást jelent, hogy hatékonyan és gazdaságosan vízből és szén-dioxidból üzemanyagot állítson elő.

Ma már számos olyan módszer ismert, amely alkalmas arra, hogy szén-dioxid és hidrogén keverékéből metanolt készítsünk, a problémát a folyamatok külső energia igénye jelenti [4]. A második ábra szemlélteti, hogy a Metanolgazdaságban a metanol-előállítás bármilyen energiaforrás felhasználásával történhet és igen sokféle anyag lehet alapanyag.



2. ábra. Metanol előállítás a Metanolgazdaságban (Forrás: Stefansson, 2015)

A szerves hulladék felhasználása a metanolgazdaságban egy igen jelentős potenciállal rendelkező terület. Társadalmunkban a szerves hulladék képződése elkerülhetetlen, nagy mennyiségben bármely földrajzi területen jelen van, gondolva itt a települési szilárd hulladék és az élelmiszer-feldolgozás hulladékának szerves frakcióira. A nem újrahasznosítható anyagok még jelentős energiát tárolnak, s ennek a kinyerése, valamint tárolása a cél. A kommunális hulladék esetén a minőségi újrahasznosításra alkalmatlan hulladék lerakását helyettesíti, valamint a hulladék energetikai hasznosításakor képződő szén-dioxidot metanol formájában visszaforgatja a metanolalapú gazdaság. A hulladék illetve az égetése során képződő füstgáz ezáltal másodlagos nyersanyaggá válik.

2. A metanol-üzemanyag használat környezeti hatásai

A megújuló erőforrások felhasználásával gyártott biometanol rendkívül kedvező értékeket mutat a szén-dioxid-kibocsátás csökkentése terén, amennyiben motorhajtóanyagként használják. A 1. táblázat mutatja, hogy míg a kukoricából gyártott etanol felhasználása többlet szén-dioxid-kibocsátással jár, addig a különböző technológiák alkalmazásával nyert biometanol 65%-tól akár 95%-ig terjedő csökkenést is eredményezhet [6].

Alternatív üzemanyag	Szén-dioxid csökkentésének mértéke a hagyományos üzemanyaghoz képest %
Biodízel	84
Etanol kukoricából gyártva	-0,2
Etanol cukornádból gyártva	26
Depóniagáz	89
Metanol- BioMCN biodízel gyártásának melléktermékeként képződő glicerintől gyártva	78
Metanol- Blue Fuel Energy ipari forrásokból származó CO ₂ -ból gyártva	65-84
Metanol- Carbon Recycling International geotermikus úton kibocsátott CO ₂ -ból gyártva	85
Metanol- Chemrec papírgyártás melléktermékeiből gyártva	95
Metanol- VärmlandsMetanol erdészeti hulladék, fa aprítékból gyártva	80-90

1. táblázat: A bioüzemanyagok szén-dioxid-megtakarítása

Forrás: Saját szerkesztés (Law et. al., 2013) alapján

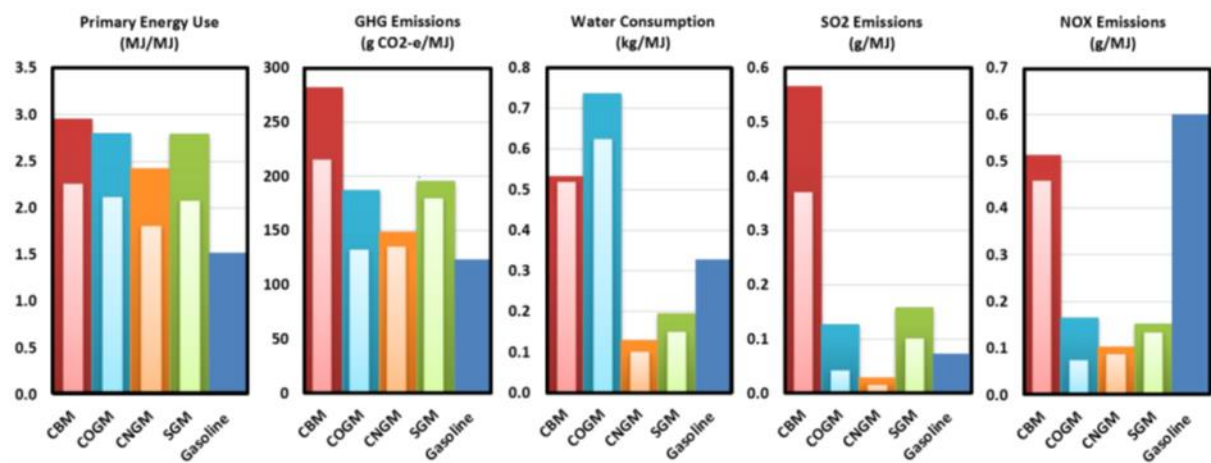
2.1.Életciklus-elemzések

A fosszilis üzemanyagok helyettesítését célzó kutatások és az új technológiák bevezetésének elengedhetetlen része az életciklus-elemzések elvégzése. A CO₂ alapanyagként való használata igen hatékony eszköz lehet a globális szén-dioxid koncentráció csökkentésében, a fosszilis energiahordozóktól való függőség mérséklésében, de a kidolgozott technológiák környezetre gyakorolt hatásainak számbavétele szükségszerű, annak érdekében, hogy rávilágítson arra, hogy az adott technológiai út valóban segíti a fenntarthatósági célok megvalósulását. Az elemzések elvégzését pont az nehezíti, ami a metanolgazdaság erőssége, azaz hogy a metanolgyártás alapanyagai számtalan forrásból származhatnak, s a folyamat során felhasznált energia szintén lehet fosszilis eredetű, nukleáris energia vagy valamilyen megújuló energia. A CO₂-alapú metanolgyártás környezeti hatásait nagyban befolyásolja az alapanyagként felhasznált szén- dioxid forrása és a gyártási folyamat legnagyobb energiaigényű részének, a hidrogén előállításának villamosenergia-igénye. Hoppe és társai [7] vizsgálatai azt mutatták, hogy a cementgyártás során valamint a hulladékégetés során termelődő CO₂ felhasználása ígéretes opció az ÜHG-kibocsátás csökkentésére, de ennek mértéke nagyban függ a helyi adottságoktól. Megújuló energiaforrások használata a hidrogén előállítására jelentősen hozzájárulnak a metanoltermelés környezeti hatásainak csökkentéséhez, ebből a szempontból kiemelkedő előnyökkel jár a szél és napenergia felhasználása.

2.1.1. Közúti közlekedéshez kapcsolódó LCA-elemzések eredménye

A világ legnagyobb metanol termelőjeként Kína sokkal jobban előre haladt a metanolgazdaság kialakítását illetően, mint bármely más ország, s ezt erős kormányzati támogatás is segíti. 2009-ben a kínai kormányzat a 85% metanol-benzin (M85) üzemanyag keverék nemzeti szabványát vezette be, elősegítve ezzel a metanolüzemű járművek használatának elterjedését. Kínában egyelőre nem a

metanolgazdaság céljainak megfelelő metanolgyártás folyik, azaz biometanol-előállítás, hanem három fosszilis alapanyagból termelik: szénből, koksizáló gázból (COG) és földgázból. Vizsgálták, hogy a különböző alapanyagokból gyártott metanol üzemanyagként való használata milyen környezeti terhelést jelent. Az eredményt a 3. ábra szemlélteti.



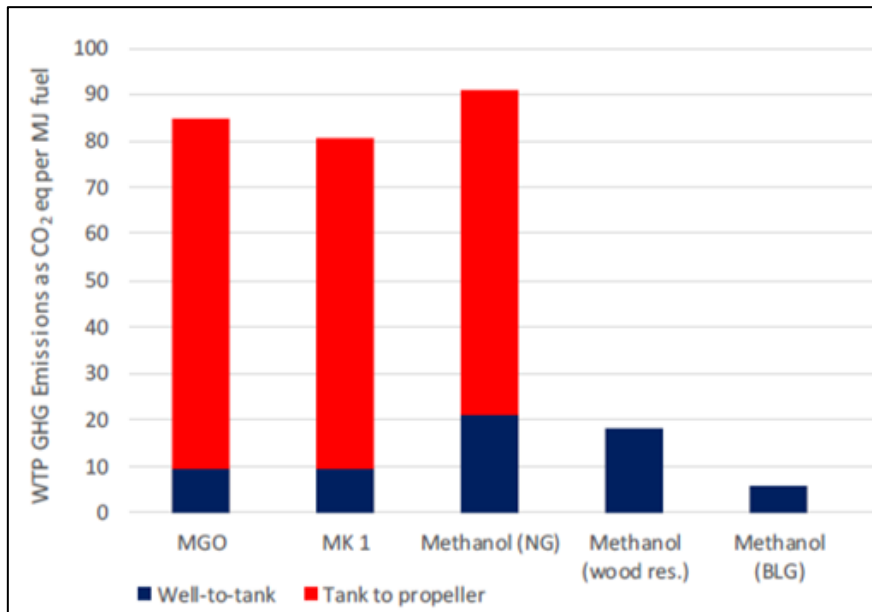
3. ábra. Négyféle kiindulási anyagból gyártott metanol és a benzin használatnak környezeti terhei (CBM: szénalapú metanol; COGM: koksizáló gáz alapú metanol; CNGM: hagyományos földgáz alapú metanol; SGM: palagáz alapú metanol)
Forrás: (Yao et. al., 2017)

Megállapítást nyert, hogy a domináns, szénalapú technológiával gyártott metanol magasabb környezeti terhekkel jár, mint a benzin használata. A környezeti terhelés a nagyobb energia- és vízfogyasztásban mutatkozott meg, valamint az üvegházhatású gázok és a kén-dioxid kibocsátásában. A kínai kormányzat által támogatott koksizáló gáz alapú technológia környezeti szempontból kedvezőbb, mint a szénalapú, de a benzinhoz képest kedvezőtlenebb [8].

2.1.2. Vizi közlekedéshez kapcsolódó LCA-elemzések eredménye

A kén-dioxid, a nitrogén-oxidok és az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére irányuló együttes erőfeszítések jelentős változást igényelnek a tengeri szállítmányozás terén. A hajózási társaságok számára az egyik lehetőség, hogy változtatnak a felhasznált üzemanyagon. Nagyobb hajók üzemanyagaként Svédországban vizsgálták a cseppfolyósított földgáz (LNG), a cseppfolyósított biogáz (LBG), a metanol és a biometanol környezeti hatásait. Az életciklus-elemzés kimutatta, hogy a földgáz, illetve a földgázból gyártott metanol az éghajlatváltozás megelőzésének szempontjából nem kedvezőbb, mint a dízelolaj üzemanyag, csupán a szállítás közbeni környezeti terhelés csökken. A biomasszából előállított metán és metanol felhasználása egyforma mértékben csökkentheti a hajózás hatását az éghajlatváltozásra [9]. A kisebb hajók esetén, mint például állami tulajdonban lévő kompok, az üzemeltetőknek célkitűzéseik vannak az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése tekintetében. A célok elérését Sustainable Marine Methanol (SUMMETH) projekt segíti, amely megújuló metanol-üzemanyag felhasználásának fejlesztését végzi. A SUMMETH által végzett életciklus-elemzés eredményét az ÜHG-kibocsátás tekintetében az 4. ábra szemlélteti. A megújuló alapanyagokból, például famaradványokból és cellulózyár fekete folyadékából előállított metanol az üvegházhatású gázok kibocsátásának 75-90%-os csökkentését eredményezheti. A fosszilis

alapanyagból előállított metanol valamivel magasabb üvegházhatást okozó gázkibocsátást eredményez, mint a hagyományos kőolaj-üzemanyagok.



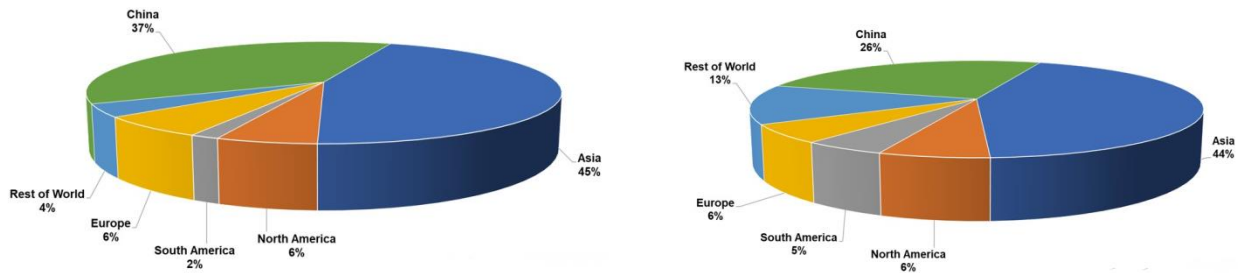
4. ábra. ÜHG-kibocsátás összehasonlítása különböző alapanyagból gyártott metanol és gázolaj használata esetén (NG: földgázalapú metanol; wood res.: fahulladék alapú metanol; BLG: papíripari melléktermék elgázosításával nyert metanol; MGO: tengeri gázolaj; MK 1 dízelolaj)

Forrás: Ellis és Svanberg, 2018

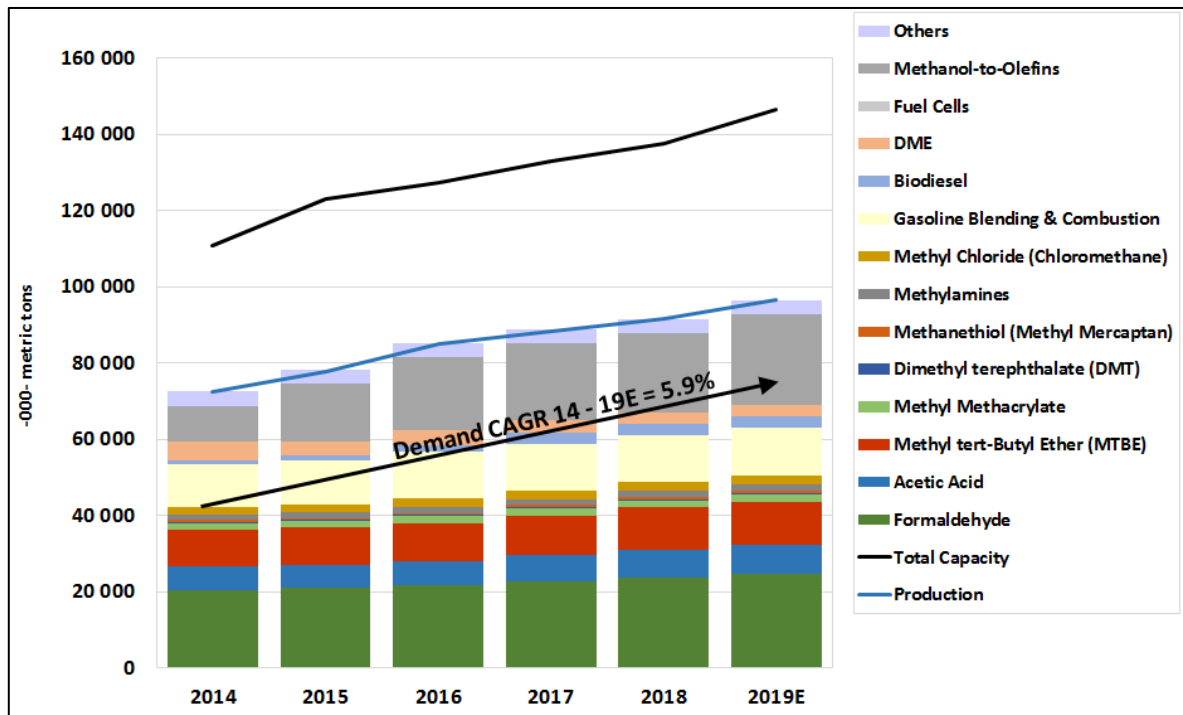
A megújuló alapanyagokból előállított metanol (famaradvány és papíripari hulladék gázosítása) égéséből származó szén-dioxid-kibocsátás nulla, mivel az égés során felszabaduló CO₂ mennyisége megegyezik a növény fotoszintézis során felvett CO₂ mennyiségével. Ez összhangban áll az üvegházhatást okozó gázok vagy a bioüzemanyagok kiszámításának az EU megújuló energiáról szóló irányelv (2009/28 / EK) szabályaival. A „Well to tank” folyamatban van ÜHG-kibocsátás, amely a termelési folyamatnak, a szállításnak tulajdonítható. A metanol-tüzelőanyagok használatának további környezeti előnye, hogy használatuk jelentősen csökkenti a részecskekibocsátást és az NO_x-kibocsátást [10].

3. Gazdasági vonatkozások

Globális szinten több mint 100 metanolüzem működik, melyek egyaránt megtalálhatóak Ázsiában, Észak- és Dél-Amerikában, Európában, Afrikában. A 5. ábra mutatja Ázsia, s kiemelten Kína vezető szerepét a metanolgyártásban és -felhasználásban. Ezt a pozíciót az magyarázza, hogy a metanolt nemcsak mint vegyipari alapanyagot használják Kínában, hanem folyamatosan növekvő mértékben van jelen az üzemanyag- és energiaszektorban. A kínai kormány ösztönzi a metanolüzemű járművek használatát és az ehhez kapcsolódó kutatásokat, fejlesztéseket [11]. Az erőteljes innovációs tevékenység szolgálja a globális metanolfelhasználás növekvő ütemét, s ezen belül is az üzemanyagokhoz és üzemanyagcellákhoz kapcsolódó igény növekedését, amit az 6. ábra szemléltet.



5. ábra. Globális metanolkereslet és -kínálat regionális megoszlása (Forrás: MMSA)

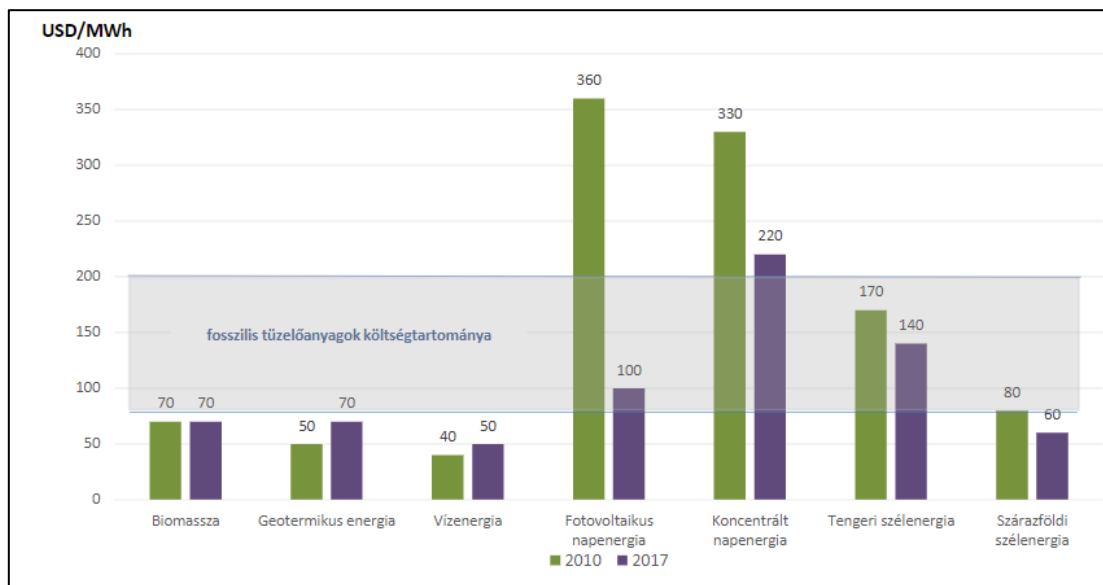


6. ábra. Globális metanol kereslet és -kínálat (Forrás: MMSA)

Jelenleg a metanolgyártás túlnyomóan fosszilis alapanyagokra támaszkodik, a globálisan előállított metanol 85%-a szén és földgáz alapú. A környezeti fenntarthatóság megköveteli, a fosszilis eredetű alapanyagok helyettesítését alternatív alapanyagokkal a metanolgyártás során. Bazzanella és Ausfelder számításai szerint a cement művi füstgázban található szén-monoxid versenyképes áron alakítható át metanollá, miközben a cementipar "zöldítését" segíti. A zöldmetanol-gyártó üzem létesítésének legnagyobb költségét (75%) a hidrogén előállítására szolgáló eletrolizáló egység képviseli [13]. A technológiai fejlődés várhatóan ezen egység árának csökkenését eredményezi, s ez megjelenik a metanol-előállítás költségcsökkenésében. A metanolgyártás gazdaságos megvalósítását az elektromos energia ára döntően befolyásolja, a metanol ára és az elektromos energia költségei közötti korreláció szinte lineáris [14, 15]. Az Európai Unió Horizont 2020 keretprogramja keretében valósult meg a MefCO₂ projekt, melynek célja egy innovatív zöld technológiai út kifejlesztése: erőművi füstgázból metanol gyártása megújuló energia segítségével. A kidolgozott technológia rugalmas, képes különböző összetételű füstgázokat alapanyagként használni. A hagyományos fosszilis erőművek füstgáza mellett a biomassza hőerőművek füstgázát is képes metanollá alakítani. Belotti és

munkatársai vizsgálták, egy a MefCO₂ projekt-ben alkalmazott erőmű gazdaságosan képes-e működni Németországban, Olaszországban illetve Kínában. Eredményeik azt mutatták, hogy az olaszországi magas villamosenergia-ár mellett nem lehet piaci alapon működtetni az üzemet, míg a németországi alacsonyabb villamosenergia-ár lehetővé teszi ezt, azzal a feltétellel, hogy a melléktermékként képződő oxigént megfelelő áron lehet értékesíteni. A legkedvezőbbnek a kínai üzem bizonyult, a metanol-előállítás költsége kevesebb mint 200 euró/tonna.

A vizsgálatok egyértelműen kimutatták, hogy a versenyképes zöldmetanol-gyártás "olcsó" megújuló energia felhasználással valósítható meg. A 7. ábra szemlélteti a megújuló energiák termelési költségeinek változását, mivel ez biztató tendenciát mutat, valóssá válhat a gazdaságos zöldmetanol-előállítás.



7. ábra. Megújuló energiatermelési technológiák globális fajlagos energiatermelési költsége, 2010–2017 (USD/MWh)

Forrás: Európai Számvevőszék, az IRENA „Renewable power generation costs in 2017” című jelentése alapján, 17. o.

A világ első zöldmetanol-gyártó üzeme Izlandon épült, ahol az összes primer energiafogyasztás több mint 85%-a megújuló energiaforrásokból származik (70% geotermikus és 18% vízenergia). Ezek a források viszonylag olcsó villamos energiát termelnek, így lehetőség van ezen energiaigényes iparág fejlődésére. Globálisan jelenleg 6 kereskedelmi zöldmetanol-üzem létezik az izlandi üzemen kívül: A kanadai Enerkem, a Holland BioMCN, a német BASF és Innogy valamint a dán New Fuel és Nordic Green.

4. Következtetések

A metanol egy sokoldalúan felhasználható vegyipari alapanyag, üzemanyag, sőt az egyik legrugalmasabb energiaforrás, amelyet manapság ismerünk. Az életciklus-elemzések egyértelműen rávilágítottak a megújuló alapanyagokból gyártott metanol üzemanyagként való felhasználásának környezeti előnyeire. A metanol gyártási technológiák nagy mennyiségű elektromos áramot igényelnek, így a fenntarthatósághoz kapcsolódó előnyök mértéke a felhasznált energiaforrásoktól

függ. A metanol gyártáshoz kapcsolódó technológiák fejlesztése elengedhetetlen, hogy a zöldmetanol-előállítási költsége versenyképes legyen a fosszilis eredetű metanol előállításának költségeivel. Az áramtermelésben növekszik a megújuló energiaforrások aránya, amely segíti a metanolgazdaság megvalósítását, de ehhez elengedhetetlen a hatékony politikai segítség.

Hivatkozások

- [1] U.S. Energy Information Administration (2017): *International Energy Outlook 2017* <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>. Letöltés ideje: 2019. május 18.
- [2] SerEnergy. <https://serenergy.com/>
- [3] Oláh Gy. – Ánizsfeld R. (2002): *Új generációjú üzemanyagcellák*, Magyar Tudomány. 2002/12. 1564-1569 p.
- [4] Oláh György, Alain Goepfert, G.K. Surya Prakash: *Kőolaj és a földgáz után: a metanolgazdaság* Better Kiadó Budapest, 2007
- [5] Benedikt Stefansson (2015). *European Methanol Policy Forum* Brussels October 13. https://eu-ems.com/event_images/presentations/Benedikt%20Stefansson%20presentation.pdf
- [6] Law K. – Rosenfeld J. – Jackson M. (2013): *Methanol as a Renewable Energy Resource - White Paper*, Methanol Institute, Alexandria, 26 p. 1. <http://www.ourenergypolicy.org/methanol-as-a-renewable-energy-resource/>. Letöltés ideje: 2019. szeptember 14.
- [7] Hoppe, W. - Thonemann, N. - Bringezu, S. (2017). *Life Cycle Assessment of Carbon Dioxide-Based Production of Methane and Methanol and Derived Polymers*. Journal of Industrial Ecology, 22(2), 327–340. doi:10.1111/jiec.12583
- [8] Yao Y. – Chang Y. – Huang R. – Zhang L. – Masanet E. (2017): Environmental Implications of Methanol Economy in China: Well-to-Wheel Comparison of Energy and Environmental Emissions for Different Methanol Fuel Production Pathways. Journal of Cleaner Production, 172, 1381-1390. doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.232
- [9] Brynolf, S. – Fridell, E. – Andersson, K. (2014). *Environmental assessment of marine fuels: liquefied natural gas, liquefied biogas, methanol and bio-methanol*, Journal of Cleaner Production (2014), doi:10.1016/j.jclepro.2014.03.052
- [10] Ellis, J – Svanberg, M (2018): *SUMMETH – Sustainable Marine Methanol Deliverable D5.1 Expected benefits, strategies, and implementation of methanol as a marine fuel for the smaller vessel fleet* <http://summeth.marinemethanol.com/?page=reports>
- [11] Methanol Institute. <http://www.methanol.org>
- [12] Methanol Market Services Asia (MMSA). <https://www.methanolmsa.com/>
- [13] Bazzanella, A.M. - Ausfelder, F. (2017), *Low Carbon Energy and Feedstock for the European Chemical Industry*, DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technike, Frankfurt am Main.
- [14] Bellotti, D. - Rivarolo, M. - Magistri, L. (2019). *Economic feasibility of methanol synthesis as a method for CO2 reduction and energy storage*. Energy Procedia, 158, 4721–4728. doi:10.1016/j.egypro.2019.01.730
- [15] Atsonios K. - Panopoulou, D. – Kakarasab, E. (2016). *Investigation of technical and economic aspects for methanol production through CO2 hydrogenation*, International Journal of Hydrogen Energy. Volume 41, Issue 4, 2202-2214. doi:10.1016/j.ijhydene.2015.12.074