



---

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

METANOLGAZDASÁG: HÍD AZ ALACSONY SZÉN-DIOXID-  
KIBOCSÁTÁSÚ GAZDASÁGHOZ, MAGYARORSZÁGI VETÜLETEK

DOI: 10.54598/001390

KÉSZÍTETTE: TÓTH JUDIT

GÖDÖLLŐ

2021

**A doktori iskola megnevezése: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem  
Gazdaság- és Regionális  
Tudományi Doktori Iskola**

**tudományága: gazdálkodás- és szervezéstudományok**

**vezetője:  
tanár,**

**Prof. Dr. H.c. Popp József egyetemi**

MTA levelező tag,  
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,  
Gödöllő  
Gazdaságtudományi Intézet

**Témavezető:**

**Dr. habil Magda Róbert PhD,  
egyetemi tanár**

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,  
Gödöllő  
Gazdaságtudományi Intézet

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

## Tartalomjegyzék

<b>1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK</b> .....	4
<b>1.1. A téma aktualitása, jelentősége</b> .....	4
<b>1.2. Célkitűzések</b> .....	6
<b>1.3. Kutatási hipotézisek</b> .....	7
<b>2. ANYAG ÉS MÓDSZER</b> .....	8
<b>2.1. Életciklus-elemzések</b> .....	8
<b>2.1. A magyarországi megújuló metanolt gyártó üzem lehetőségének vizsgálata</b> .....	11
<b>3. EREDMÉNYEK ÉS AZOK MEGBESZÉLÉSE</b> .....	13
<b>3.1. Milyen hatása van az ÜHG kibocsátásra metanolgazdaságnak illetve     környezeti előnyökkel jár –e a magvalósítása</b> .....	13
3.1.1. A metanol üzemanyag hatásai .....	13
3.1.2. CCU technológiák környezeti hatásai .....	14
<b>3.2. Magyarország alapanyagellátottsága a biometanol és e-metanol gyártásához</b> .....	15
3.2.1. szén- dioxid pontforrásokra alapozott metanol üzemek lehetséges helyszínei .....	17
3.2.2. Biometanol üzemek lehetséges helyszínei .....	20
<b>3.3. A metanol gyártás energiaszükségletének fedezése</b> .....	21
<b>3.4. A gazdaságos biometanol és e- metanol gyártás perspektívája</b> .....	22
<b>4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS A JAVASLATOK</b> .....	25
<b>4.1. Hipotézisvizsgálat eredménye</b> .....	26
<b>4.2. Javaslatok</b> .....	28
<b>5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK</b> .....	30
<b>6. MELLÉKLETEK</b> .....	31
<b>6.1. Irodalomjegyzék</b> .....	31
<b>6.2. A doktori értekezés témakörében megjelent közlemények jegyzéke</b> .....	36

## 1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

### 1.1. A téma aktualitása, jelentősége

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 emberiség történetének első kb. 4000 éve során alapvetően fát alkalmaztak energiaforrásként, vagyis a megújuló energia használata volt a jellemző. Az első jelentős váltás a szén használatára való áttérés volt, ami bizonyos iparágakban már a 18. században megtörtént, míg a fűtés esetében ez a 19. századra tehető (FOUQUET 2011). A szénforrások korlátozott mennyiségének felismerése és a belső égésű motorok megjelenése újabb váltást eredményezett a 19. század végén, amikor a kőolaj felhasználásának korszaka következett. A változásoknak mindig is két fő mozgatórugója volt: egyrészt az energiahordozók árának alakulása (például a fa tüzelőanyag ára 1650 és 1740 között jelentősen emelkedett), másrészt a technológiai fejlődés. A szén, majd a kőolaj alkalmazására való átállás zökkenőmentesen történt. A földgáz felhasználásának megjelenése azonban alapvető változásokat eredményezett: felgyorsult a szárazföldi szállítmányozás, valamint megtörtént a levegő szállítási célú meghódítása is. Az energiafelhasználás robbanásszerűen megemelkedett, s ez a tendencia azóta is tart. Az energia fogyasztásának további nagymértékű emelkedése várható, mivel az ezt befolyásoló kulcsfontosságú tényezők ebbe az irányba hatnak, gondolok itt a Föld lakosságszámának, valamint az életszínvonalnak az emelkedésére. Általánosságban igaz, hogy ha az életminőség javul, akkor az egy főre jutó energiafogyasztás is nő. Ez utóbbi tulajdonképpen három tényező kombinációjaként értelmezhető: a népesség, az egy főre jutó GDP, továbbá a gazdaság energiaintenzitása (azaz a GDP egy egységére alkalmazott energia). Az előrejelzések szerint 2040-ig az energiaigény abszolút értékben nő, bár a növekedési ütem százalékos arányban lassul. Kérdés, hogy a napjainkban játszódó energiaátmenet olyan zökkenőmentes lesz-e, mint az eddigiek. Ezt döntően befolyásolja a rendelkezésre álló kőolaj- és földgázkészletek nagysága, az üvegházhatású gázok hatása a Föld éghajlatára, valamint az, hogy az alternatív energiaforrásokhoz való hozzáférés versenyképes lesz-e. 1980-ban legkésőbb 2010-re jósolták a kőolajkészletek elfogyását, de 2010-ben még további 45 évre elegendő készletet prognosztizáltak. A földgázzal kapcsolatos előrejelzések is hasonlóak, 1980-tól 2010-ig kb. 48 évről mintegy 60 évre

növekedett a készletek kimerülését jósoló mutató. Tehát a fogyasztásnövekedést ellensúlyozta, hogy az elmúlt évtizedekben gyors ütemben fedezték fel az új kőolajkészleteket, valamint a korábbi körülmények között még nem gazdaságosan kitermelhető telepek bányászata időközben gazdaságossá vált a technológiai fejlődésnek és a megváltozott környezetnek köszönhetően. Jellegzetes példa erre, hogy az USA földgázexportórré vált a „nem konvencionális” földgáztelepek hasznosítása által. Feltételezhető, hogy az elkövetkező néhány évtizedben nem fognak kimerülni a kőolaj- és földgázkészletek, mivel új lelőhelyeket fedeznek fel, továbbá új kitermelési technológiákat alkalmaznak. A legnehezebb kérdés a kőolaj és a földgáz árának megjósolása, mivel azt a politikai események nagymértékben befolyásolják (PÁPAY 2015). Az 1970-es évekbeli energiakrízis rádöbbentette a világot, hogy egyes országok gazdasága mennyire kiszolgáltatott a kőolajat termelő és exportáló államoknak. Ezt a tényt felismerve több ország lépéseket tett annak érdekében, hogy a kőolaj kiváltását célzó kísérletek, kutatások felgyorsuljanak. 1975-től több helyen folytak kísérletek kormányzati támogatással, s a kőolaj helyettesítésének problémája azóta is állandóan megjelenik a kísérleti, kutatási tevékenységekben. Napjainkban mindezt nemcsak a gazdasági függőség csökkentésének szándéka indokolja, hanem az a tény is, hogy a XXI. század egyik legnagyobb kihívása az éghajlatváltozásnak tulajdonítható problémák megoldása (SZLÁVIK 2007). Az ENSZ Klímaváltozási Konvenciójának (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) keretében 1997-ben létrejött a kiotói egyezmény, amelynek célja a légkör üvegházhatású gázkoncentrációjának stabilizálása volt, hogy a klímaváltozás és a globális felmelegedés előrelátható hatásait enyhíteni tudják. (United Nations Framework Convention on Climate Change). Az egyezmény egyik hiányossága, hogy nem javasol technológiai megoldást a probléma kezelésére, valamint csak a fejlett országok számára írt elő – többek között a kibocsátás szabályozásával kapcsolatos – 2012 végéig terjedő kötelezettségeket. A begyűjtött adatok alapján hamar nyilvánvalóvá vált, hogy globális léptékben a hosszú légköri tartózkodási idejű üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásai továbbra is ütemesen növekedtek. A fejlett gazdasággal rendelkező országok jelentős eredményeket értek el a CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentésében, de ezt ellensúlyozza a (főként ázsiai) fejlődő gazdaságok kibocsátása, s így a nettó szén-dioxid-kibocsátás továbbra is növekszik.

A célok egyértelműek, azonban a problémák megoldásához vezető út még vitatott. A tudomány segít az új alapanyagok feltalálásában és felhasználásuk kimunkálásában, az új technológiák alkalmazásában, de még nem születtek meg

az egyértelmű szakmai megoldások. A technológiai fejlesztések párhuzamosan haladnak több területen is:

- az energiaellátás terén a különböző megújuló energiák, valamint az energiatermelésre alkalmas magfűzió jelentős kutatási potenciállal bír;
- az elektromos járművek energiaellátásában az akkumulátor és a tüzelőanyag-cella versenyzik;
- a tüzelőanyag-cellák esetében a hidrogén- vagy a metanolüzemű alkalmazásokhoz kapcsolódó innovációk bírnak jelentős súllyal.

Az energiaágazat diverzifikálása egy megoldási lehetőség, s a szén-dioxid egy primer nyersanyaggá válhat, de ehhez számottevő és folyamatos kutatási erőfeszítésekre van szükség. A metanolgazdaság koncepciója és annak megvalósítása ígéretes lehetőség a globális problémák megoldására (KOTHANDARAMAN et al. 2017). A jövőbeli szakpolitikák felelősök abban, hogy a szén-dioxid hatékony és versenyképes alapanyag lesz-e, amely számos iparágban megjelenhet. Nem utolsó sorban pedig a társadalom felelőssége is, hogy a politikai döntéshozók megfontolják a tudományos eredményeket, és stratégiát építsenek fenntarthatóbb világunk megteremtéséért (KESZI SZEREMLEI – MAGDA 2015).

## 1.2. Célkitűzések

A fosszilis tüzelőanyag felhasználási területeinek jelentős részét képesek leszünk alternatív forrásokból származó energiával helyettesíteni, ugyanakkor bizonyos területeken továbbra is szükség van a széntartalmú termékekre, elég ehhez a közvetlen környezetünket alkotó tárgyakra gondolni. A széntartalmú alapanyagok használata mind az energetikában, mind a műanyaggyártásban még hosszú ideig jelen lesz, bár új technológiai útvonalak fognak megjelenni. Az új technológiák elterjedését segíti, ha a bennük rejlő kockázatokat, valamint a környezeti hatásait felmérjük és megismerjük. Az életciklus hatáselemzés (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) a környezetbe való beavatkozások közvetlen és közvetett hatásait igyekszik minél pontosabban meghatározni. A kutatásom arra irányul, hogy életciklus hatáselemzés segítségével meghatározzam a metanolgazdaság technológiai folyamataihoz társuló környezeti terhelés mértékét a rendelkezésre álló szakirodalom alapján. További kutatási célom feltárni a metanolgazdaság koncepciójának kapcsolódási pontjait az Európai Unió energiastratégiájához, a körkörös gazdasághoz, és a klímapolitikai célokhoz valamint a metanol tulajdonságai alapján bemutatni a lehetséges felhasználási területeket jövő gazdaságában és energiarendszerében a

releváns szakirodalom alapján. További célom, hogy felmérjem a megújuló metanol gyártásának hazai potenciális alapanyagait, valamint a versenyképes metanolgyártáshoz szükséges körülményeket.

### **1.3. Kutatási hipotézisek**

H<sub>1</sub> hipotézis: A metanol felhasználás környezeti előnyökkel jár, a megfelelő technológia és energiaforrások alkalmazásával előállított metanol a globális felmelegedés elleni fellépésben eredményesen alkalmazható.

H<sub>2</sub> hipotézis: A magyarországi rendelkezik a megújuló metanol gyártáshoz szükséges alapanyagokkal, elsősorban a kommunális hulladék, a szennyvíz és a biomassa felhasználása terén.

H<sub>3</sub> hipotézis: Magyarország energiatermelése nem biztosítja a megújuló metanol előállításához szükséges karbonsemleges villamos energiát

H<sub>4</sub> hipotézis: Magyarországon a megújuló metanol gyártás a jelenlegi paraméterek mellett gazdasági előnyökkel nem jár, de az energiatermelés átalakulásával ez változhat.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Az alábbi fejezet a dolgozat hipotézisnek sorrendjében mutatja be azon tudományos módszertanokat, amelyek a feltevések teszteléséhez szükségesek.

### 2.1. Életciklus-elemzések

Az életciklus fogalma Schumpeter (1939) munkássága által került be a közgazdaságtanba, mint az innovációhoz kapcsolódó fogalom, amely valamely termék, termékcsoport előállításának kezdetétől, illetve piacon való megjelenésétől a gyártás befejezéséig, illetve a piacról való kikerüléséig tart. A környezetgazdálkodásban használatos életciklus fogalom az 1990-es évek elején jelent meg, és az 1992-es Riói Konferencián már olyan eszköznek tekintették, amely a környezeti menedzsment feladatok széles köréhez alkalmazható, valamint a környezeti fenntarthatóság lényegi elemeit hangsúlyozza (TÓTHNÉ SZITA 2008).

Az EU Integrált Termékpolitika (IPP) alapvető elve, hogy minden termék valamilyen módon környezeti degradációt okoz, akár a gyártás során, akár a használat alkalmával, akár az ártalmatlanítás miatt. A termékek életciklusai hosszú és bonyolult folyamatok lehetnek: a természeti erőforrások kitermelésétől a tervezésükön, gyártásukon, összeszerelésükön, forgalmazásukon, értékesítésükön és felhasználásukon át a hulladékként történő végleges elhelyezésükig. A termékek környezeti hatásának vizsgálatára az Európai Bizottság döntése alapján az életciklus-elemzés (LCA) a legalkalmasabb eszköz, amelynek módszertani harmonizálását segítik az Európai LCA Platform létrehozásával (EURÓPAI BIZOTTSÁG 2016b). Ez az elemzés lehetővé teszi a termékek, folyamatok, modellek környezetre gyakorolt hatásainak számszerű vizsgálatát és összehasonlíthatóságát mérőszámok alapján, az ISO szabványok által meghatározott módszer szerint.

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 bemenetéről és kimeneteiről; kiértékeli az ezekkel kapcsolatos potenciális környezeti hatásokat; értelmezi a leltári elemzésnek és a hatásértékelés fázisainak eredményeit a tanulmány céljainak figyelembevételével.” (MSZ EN ISO 14040)

Az életciklus-elemzésre a következő ISO szabványok vonatkoznak:

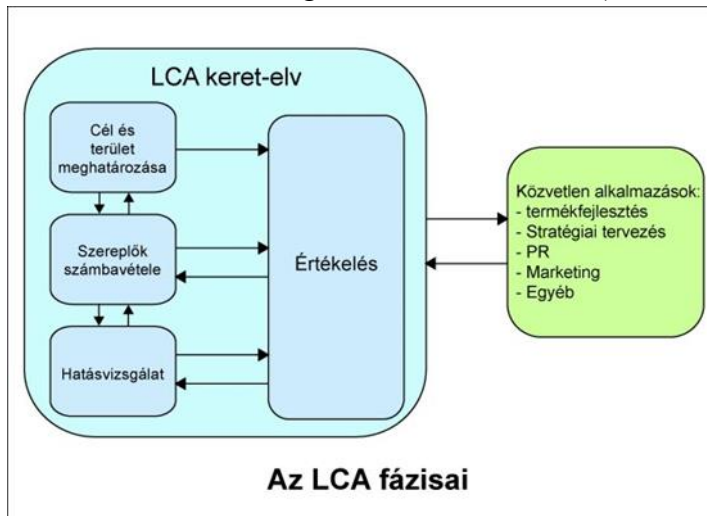


- ISO 14040:2006 Környezetközpontú irányítás – Életciklus-értékelés – Alapelvek és keretek (ISO 14040:2006);
- ISO 14044:2006 Környezetközpontú irányítás. Életciklus-értékelés. Követelmények és útmutatók (ISO 14044:2006).

Az életciklus-értékelés vizsgálat négy szakasza bontható, melyet a 1. ábra szemléltet.

A négy szakasz:

1. A cél és a rendszerhatárok kijelölése: a pontos cél és tárgy meghatározása összhangban a felhasználási szándékkal.
2. A leltáranalízis: bemeneti/kimeneti adatok jegyzéke, amely a vizsgált rendszerre vonatkozik.
3. A hatásbecslés: biztosítsa a további információt a termelési rendszer életciklus-értékelésének a megállapításához.
4. Az értékelés, értelmezés: segít a döntéshozatalban (BAKOSNÉ 2016).



1. ábra: Az életciklus-elemzés fázisai

Forrás: KISS (2013)

Az ISO 14040:2006 szabvány szerinti egyik leggyakrabban alkalmazott hatásértékelő módszer a CML 2001. Az 1. táblázat mutatja be, hogy a környezeti hatásokat több hatáskategóriára osztották fel, s az így keletkező környezeti mutatók egy mutatóvá aggregálhatók (GUINÉE 2002).

1. táblázat: A környezeti hatások hatáskategóriái

Hatáskategóriák	Referencia
Globális felmelegedésre gyakorolt hatások	kg CO <sub>2</sub> -egyenérték
Savasodási potenciál	kg SO <sub>2</sub> -egyenérték
Eutrofizációs potenciál	kg Foszfát-egyenérték
Humán toxicitási potenciál	kg DCB-egyenérték
Fotokémiai ózonképződési potenciál	kg Etilén-egyenérték
Ózonréteg vékonydása	kg CFC11-egyenérték
Erőforrások csökkenése	kg SB-egyenérték
Földi ökotoxicitás	kg DCB-egyenérték
Tengervízi ökotoxicitás	kg DCB-egyenérték
Édesvízi ökotoxicitás	kg DCB-egyenérték

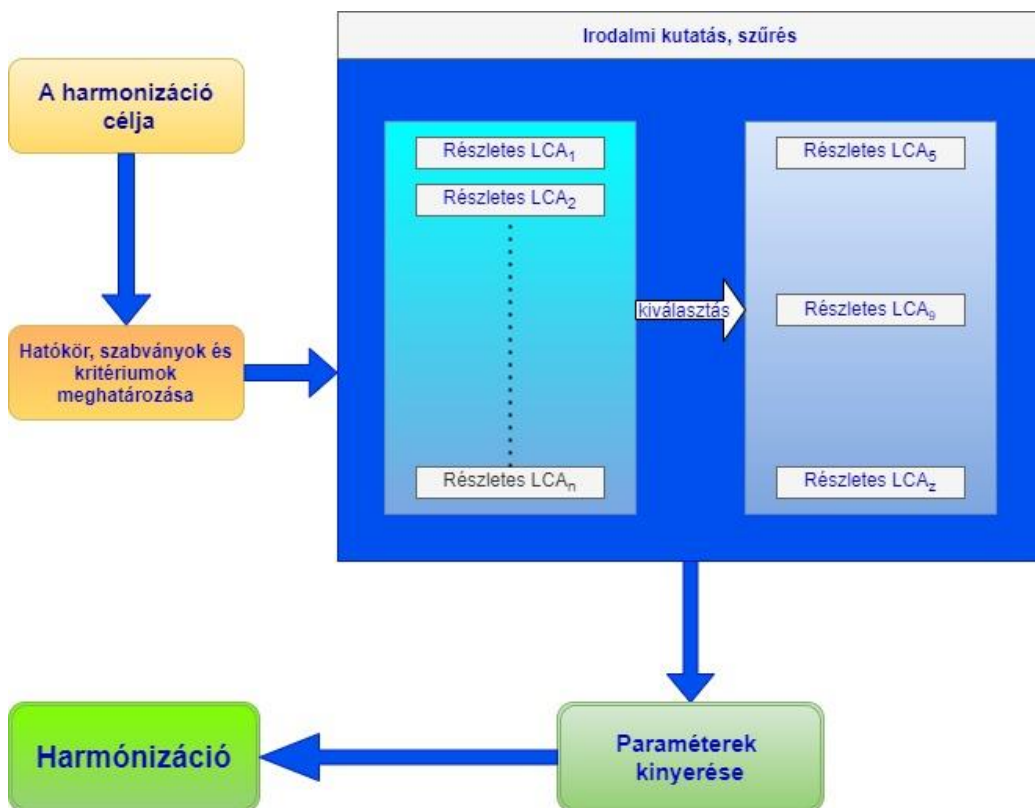
Forrás: GUINÉE (2002) alapján

Az LCA erőssége, hogy a termék életének minden fázisban összegyűjti a környezeti hatásokra vonatkozó adatokat, majd azokat összegzi. Az összesített eredményeket értelmezi, majd súlyozza és értékeli a környezeti hatások jelentősége szempontjából. A kapott eredményeket egyszerűsített mutatókba sűrítve, könnyen átlátható formában jeleníti meg.

A fosszilis üzemanyagok helyettesítését célzó kutatások és az új technológiák bevezetésének elengedhetetlen része az életciklus-elemzések elvégzése. A CO<sub>2</sub> 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.

Az LCA-eredmények halmazának elemzése alkalmas arra, hogy a könnyebben értelmezhetővé váljanak a korábbi LCA-k. Az elemzés lehetővé teszi a vizsgálatok összehasonlítását, segít beazonosítani a környezeti hatások fő mozgatórugóit, csökkenti a becslések bizonytalanságát (HEATH – MANN, 2012). Az LCA-eredmények halmazának elemzését megelőzi egy harmonizációs folyamat, amit a 2. ábra szemléltet. Az első lépés a harmonizáció

céljának meghatározása, s ez egy olyan keretet biztosít, amely a későbbi szakaszokban alkalmazott módszereket, folyamatokat megszabja. A második lépésben a vonatkozó tanulmányok áttekintése és a szűrése következik. A harmonizálendő tanulmányok tartalma nagymértékben meghatározza az elemzés hatókörét és megfelelő szűrési kritériumok alkalmazását (WARNER et al.2010, PAKURÁR et al. 2020). Ezután következik a releváns paraméterek kinyerése, majd a harmonizáció.



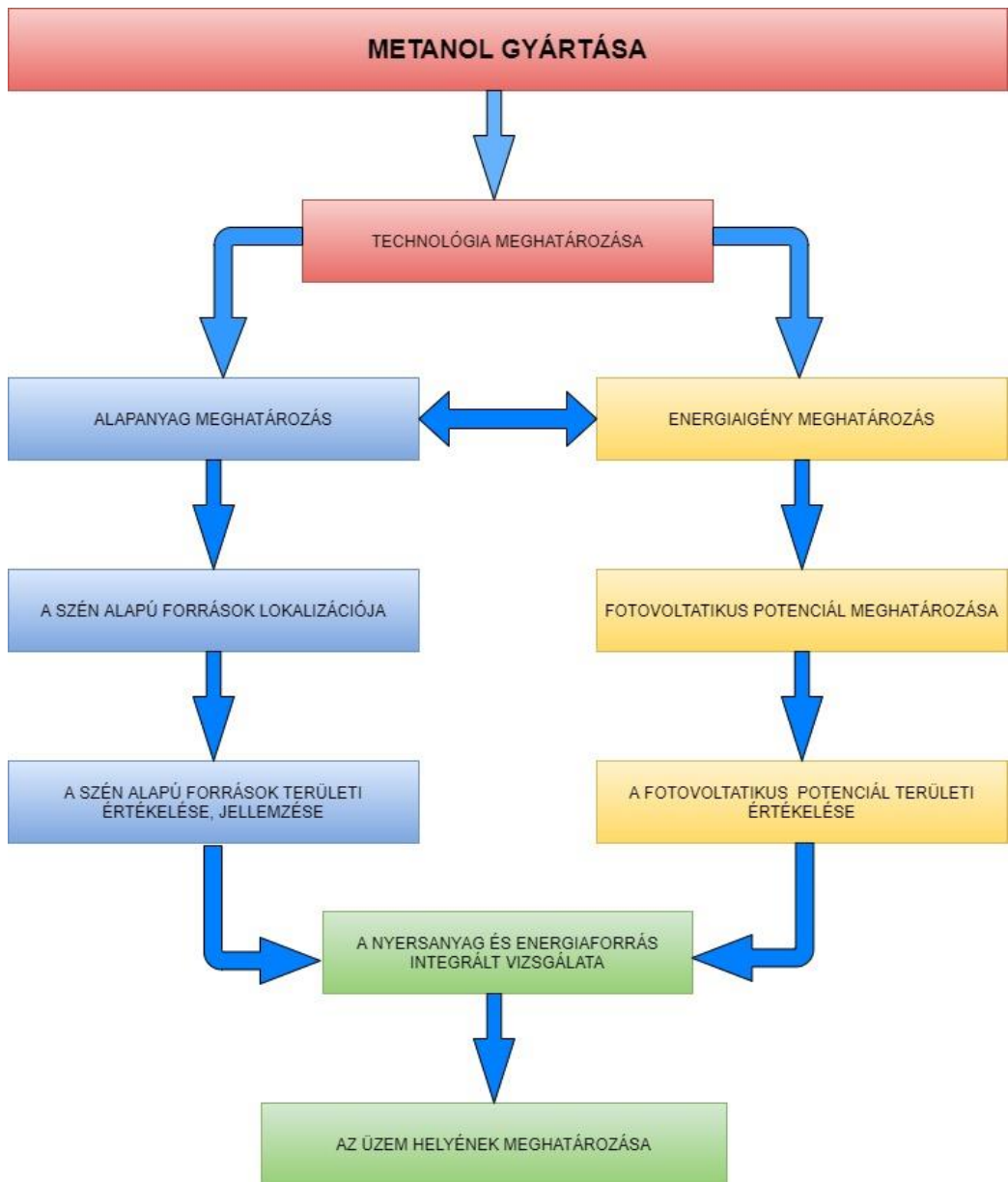
2. ábra Az életciklus elemzések harmonizációs folyamata

Forrás: Saját szerkesztés WARNER et al. (2010) alapján

### 2.1. A magyarországi megújuló metanolt gyártó üzem lehetőségének vizsgálata

A megújuló metanol üzem létesítésének kérdése komplex megközelítést igényel. A környezeti fenntarthatóság mellett vizsgálni kell műszaki, a gazdasági és pénzügyi aspektusokat is. Az értékelés hierarchikus, a műszaki megvalósíthatóság előfeltétele a gazdasági megvalósíthatóságnak, amely a pénzügyi megvalósíthatóságot determinálja (TAKÁCS et al. 2012). A műszaki megvalósíthatóság vizsgálatát a 3. ábra mutatja be. A gazdasági lehetőségek

vizsgálata a nemzetközi szakirodalomban fellelhető paraméterek adaptációjával a magyarországi körülményekhez igazítva történt.



3. ábra Metanol üzem helyének meghatározása

Forrás: Saját szerkesztés

### 3. EREDMÉNYEK ÉS AZOK MEGBESZÉLÉSE

Az alábbi fejezet mutatja be a felállított hipotézisek vizsgálatának eredményeit, melyek a gyűjtött adatok elemzésén alapulnak az előző fejezetben ismertetett módszerek használatával.

#### 3.1. Milyen hatása van az ÜHG kibocsátásra metanolgazdaságnak illetve környezeti előnyökkel jár –e a magvalósítása

A globális metanol ellátási láncok és a környezeti hatások rendszerszintű vizsgálata szükséges ahhoz, hogy a metanolgazdaság megvalósulása valóban a fenntarthatósági célok elérését szolgálja.

##### 3.1.1. A metanol üzemanyag hatásai

A világ legnagyobb metanoltermelőjeként Kína sokkal jobban előrehaladt 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, kokszológázból (COG) és földgázból. Vizsgálták, hogy a metanolalapú üzemanyag használata milyen környezeti terhelést jelent. A tanulmányban a "well-to-wheel" (WtW, azaz forrástól a kerékig) elnevezésű módszert alkalmazták, amely magába foglalta a metanol gyártását a szükséges katalizátorok, segédanyagok felhasználásának figyelembe vételével, a metanol üzemanyag kutakra való szállítását valamint az M100 üzemanyag használatát. Megállapítást nyert, hogy a domináns, szénalapú technológiával gyártott metanol magasabb környezeti terhekkkel 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 kokszológáz alapú technológia környezeti szempontból kedvezőbb, mint a szénalapú, de a benzinhez képest kedvezőtlenebb. (YAO et al. 2017).

CHAPLIN (2013) és WINTHER (2019) tanulmányait elemezve, megállapítható, hogy a biometanol üzemanyag használata alacsonyabb ÜHG kibocsátással jár mind a fosszilis forrásból gyártott metanol, mind a bioetanol használathoz képest.

### 3.1.2. CCU technológiák környezeti hatásai

A CCU technológiák azt a képet kelthetik, hogy a légkörből vagy az erőművek füstgázából származó szén-dioxid felhasználása alapanyagként egyértelműen környezetbarát, hiszen csökkenti a légkörben található szén-dioxid mennyiségét. A CCU technológiák kidolgozása, alkalmazása intenzív kutatói aktivitást mutat. A fenntarthatóság szempontjából legkedvezőbb megoldások azonosításához elengedhetetlen, hogy az egyes utak környezetre gyakorolt hatása összehasonlítható legyen, számokban kifejeződjön továbbá a meglévő folyamatokhoz képest tükröződjön az új technológiák előnye. A teljes életciklus alatt azonos kémiai szerkezetű és összetételű termék esetén a környezetre gyakorolt hatás megállapítására elegendő összehasonlítani a nyersanyagok beszerzési útvonalait és a gyártási folyamatot (ZIMMERMANN et al. 2018).

STERNBERG et al, (2017), HOPPE et al. (2017), MATZEN - DEMIREL, (2016), KIM et al. (2011), AL-KALBANI et al. (2016), MEUNIER et al. (2020), THONEMANN – MAGA, (2020) tanulmányainak elemzése alapján megállapítom, hogy a biometanol és e-metanol előállításai utak esetén sem a szénforrás, sem a hidrogénforrás nem meghatározó az ÜHG kibocsátás szempontjából, s valamennyi eljárás kedvezőbb lehet a globális felmelegedésre gyakorolt hatások tekintetében, mint a földgáz alapú metanolgyártás. A folyamatok ÜHG kibocsátását a gyártási folyamat során felhasznált villamos energia forrása határozza meg. A fosszilis alapú villamos energia használata nem jelent környezeti előnyt a metanol előállításnál a referenciához képest, sőt még a EU 27 villamos energia mix alkalmazása sem. Megújuló energiaforrások segítségével előállított hidrogén és bármely forrásból származó szén-dioxid folyamattól függetlenül egy alacsonyabb szintű globális felmelegedésre gyakorolt hatású metanol gyártás eredményez.

Az ÜHG kibocsátás csökkentése érdekében a technológiák kidolgozásánál illetve kiválasztásánál a megújuló energiaforrások használata elengedhetetlen követelmény, de GONZALEZ-GARAY és munkatársai (2019) szerint mindenképpen figyelembe kell venni az energiafelhasználás, az édesvíz és a földhasználat mértékét, ha környezetre gyakorolt valós hatást ki szeretnénk fejteni.

Vizsgálatom eredménye, hogy a megfelelő technológiával gyártott biometanol és e-metanol a fenntarthatóságot szolgáló üzemanyag, amelyet a jelenlegi szállító és elosztó hálózat használatával lehet eljuttatni a fogyasztókhoz, így az üzemanyagfelhasználás szerkezetének rövid időn belüli változtatására képes.

Nincs szükség új szállítási technológiák és újfajta elosztó állomások kidolgozására, ezért alkalmas a gyors és hatékony beavatkozásra a szén- dioxid kibocsátás csökkentésének érdekében.

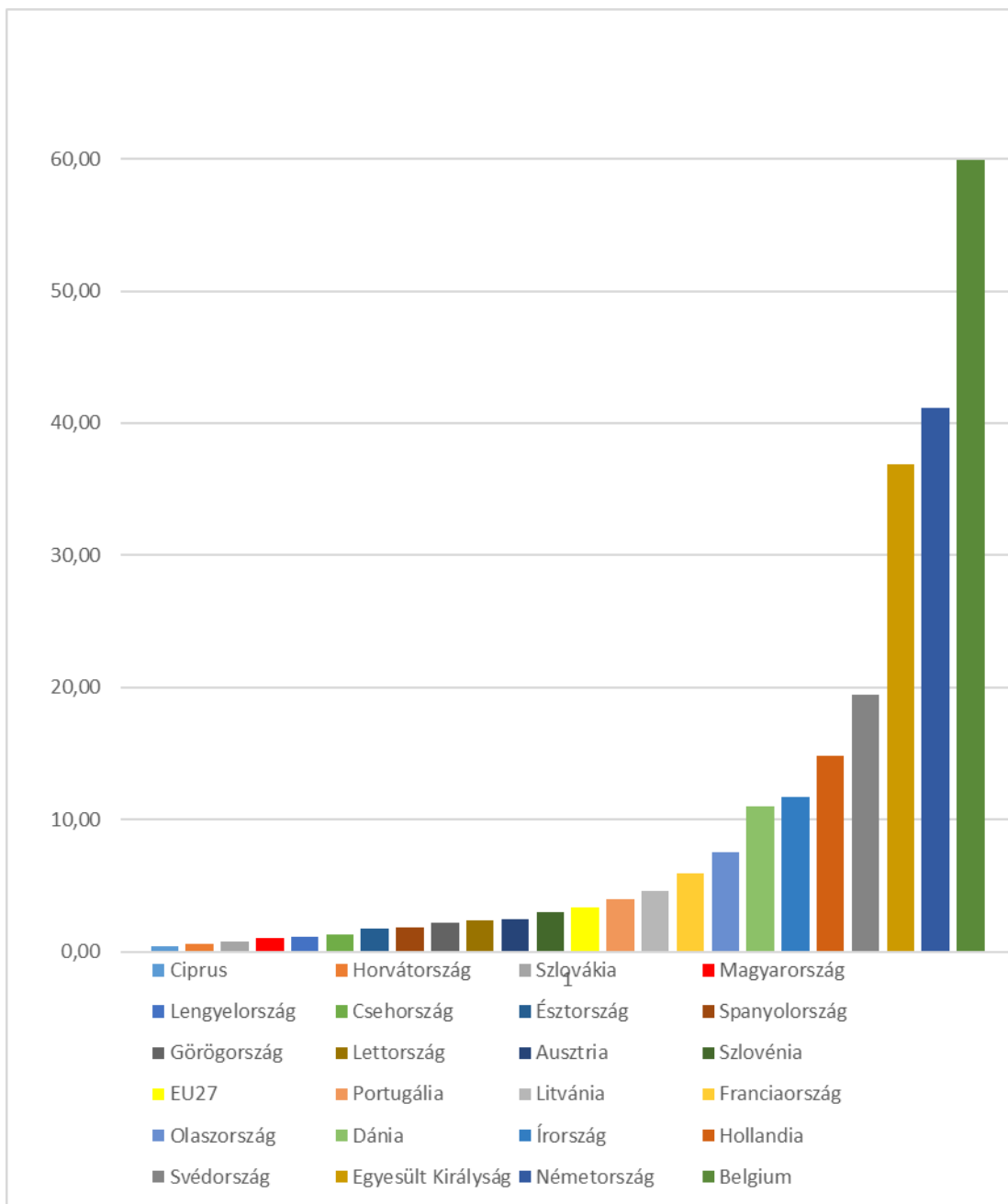
### **3.2. Magyarország alapanyagellátottsága a biometanol és e-metanol gyártásához**

Oláh György Nobel-díjas kémikus úgy gondolta, ha Izlandon megoldható lett az, hogy metanolt gyártsanak, akkor Magyarország is rendelkezik a gyártáshoz szükséges környezeti adottságokkal. Elképzelése szerint az országban található palagázra lehet ezt alapozni, amely egy fosszilis forrás, így használata nem jár környezeti előnnyel (HVG 2013). A következőkben vizsgálom, hogy milyen alapanyagok szolgálják a megújuló metanol gyártását hazánkban.

#### **Biogáz, depóniagáz**

A hulladék lerakással történő ártalmatlanítása hazánkban évtizedekig és legelterjedtebb hulladékkezelési megoldásnak számított, különösen igaz ez a települési hulladék kezelésében. A hulladéklerakóban található anyag igen heterogén akár fizikai, akár kémiai összetételének tekintetében, s a lerakást követően különböző folyamatok játszódnak le, tömörödés, bomlás. A lerakott hulladékból tehát egy úgynevezett anaerob biodegradáció során depóniagáz képződik, amely a diffúzió útján a légkörbe kerül

2018-ban az EU tagállamok által termelt depóniagáz mennyiségének és a lerakásra került hulladék mennyiségének arányából skálázással származtatott mutatót képeztem oly módon, hogy a Magyarországra vonatkozó mutató értéke 1 legyen. Az egyes országokra számolt értékeket a 4. ábra szemlélteti. Az ábra a könnyebb áttekinthetőség miatt nem tartalmazza a Finnországra vonatkozó értéket, amely 119-nek adódott továbbá a 0 értékkel rendelkező országokat, amelyek Románia, Bulgária, Málta és Luxemburg.



4. ábra: A termelt depóniaigáz és a deponált települési hulladék mennyiségének aránya az EU országokban

Forrás: Saját készítés az EUROSTAT (2020a) és EUROBSER'ER (2020) adatai alapján



A számításaim azt mutatják, hogy Finnországban igen kiemelkedő a deponált hulladék felhasználása depóniagáz termelésre, közel kétszer nagyobb, mint a második legnagyobb értékkel bíró Belgiumé. Különösen figyelemre méltó teljesítmény, mivel Finnországban a települési hulladék 1%-a kerül lerakásra. A rangsor végén Románia, Bulgária, Málta és Luxemburg szerepel. Ezek az országok nem termelnek depóniagázt, így a mutató értéke 0, miközben Luxemburg kivételével magas a települési hulladék deponálási aránya: Málta 93%, Bulgária 92%, Románia 71%, Luxemburg 7%. Magyarország a 20. helyen található, messze elmaradva az EU27 átlagtól, miközben a települési hulladék 49%-a kerül lerakóba. Az adatok elemzése alapján úgy gondolom, hogy Magyarország jelentős potenciállal bír a hulladékhasznosítás fejlesztése terén, amelynek fenntartható alternatívája a hulladékból történő metanolgyártás

### 3.2.1. szén- dioxid pontforrásokra alapozott metanol üzemek lehetséges helyszínei

A metanol üzem működéséhez szükséges nagy mennyiségű szén- dioxid szállítására a hazai viszonyok között egyetlen mód a csővezetékes szállítás. A CO<sub>2</sub> leválasztásának, befogásának helyén a gáz sűrítésére alkalmas kompresszorokat alkalmaznak. A szén- dioxid szállítása szuperkritikus állapotban történik, ezért a megfelelő nyomás és a megfelelő hőmérséklet beállítása követelmény. A szállítás során egy- egy kompresszorállomás között átlagosan 160 km távolság lehet (TIHANYI- CSETE 2012). A csővezetékes szállítás jelentős befektetést igényel, és folyamatos költség vonzata van, ezért célszerű az üzemet a pontforrások közelébe telepíteni. Az e-metanol előállítására szolgáló meglévő vagy tervezett üzemek kapacitása globálisan 1000 tonna/ év és 200 000 tonna/ év között található, amely 1441 tonna és 288 200 tonna/ év közötti szén- dioxid szükségletet jelent, tehát igen tág határok között van/lehet a metanol üzemek mérete.

A területi elhelyezkedést vizsgálva a következő nagy szén-dioxid forrásokat azonosítottam:

1. Kiemelkedően a legnagyobb éves szén- dioxid kibocsátással a Mátrai Erőmű Zrt. rendelkezik. Ez azt jelenti, hogy a 2017. évi 5 770 000 tonna szén- dioxid kibocsátási mennyiség meghaladja az országban működő egyéb erőmű és hőerőmű által együttesen kibocsátott mennyiséget.
2. A Dunaújvárosban található ISD DUNAFERR társaságcsoport Magyarország egyik legnagyobb ipari termelő vállalata, éves szén- dioxid kibocsátása 1 323 000 tonna.

3. A Baranya megyei erőművek és üzemek éves szén-dioxid kibocsátása: 1 271 000 tonna
4. A budapesti erőművek és hőerőművek éves szén- dioxid kibocsátása 1 267 000 tonna, melyet 331 000 tonnával (2014. éves adat) növel a FKF Nonprofit Zrt. általi kibocsátás, amely így összesen 1 598 000 tonna. Ehhez a csoporthoz potenciálisan csatlakozhatnak a váci és a százhalombattai üzemek, így az éves szén- dioxid kibocsátása értéke 2 675 000 tonnára növekszik.

Az alapanyag ellátottság (szén- dioxid, víz), a megújuló energia ellátás alapján a következő helyszínek alkalmasak a megújuló metanol gyártására.

Paramétereit alapján a hazai megújuló metanol gyártás úttörő szerepére a Pannónia Bio Zrt. lenne az egyik legalkalmasabb vállalkozás. Ennek okai:

- A bioetanol gyártás során, az erjesztés eredményeképpen, nagy mennyiségű és szinte 100 %-ban tiszta szén- dioxid képződik, azaz nincs szükség elnyelésre, deszorpcióra, tisztításra. Az üzemben hulladékokból termelt biogáz esetén is magas a szén- dioxid koncentráció, de annak hasznosítása esetén a szén- dioxid megkötése, tisztítása szükséges. A Pannónia Bio leányvállalata, a Pannónia Solar Zrt.
- Az üzem megfelelő vízellátással rendelkezik, a Duna partján található.
- a Pannónia Bio Zrt. a napenergia- iparágban végzett befektetéseket, 35 megawatt kapacitású naperőművel fog rendelkezni hamarosan.

A legnagyobb szén- dioxid kibocsátó a Mátrai Erőmű, mely lignitet, földgázt, hulladékot, biomasszát és ATAMIX (hulladékból előállított tüzelőanyag) keveréket használ föl az energiatermelés során. Várhatóan a lignit alapú villamos energiatermelés visszaesik az üzemben, de évi 300.000 tonna nem veszélyes hulladék fűtőanyagként történő energetikai hasznosítását, illetve biomassza energetikai hasznosítását végezheti. Az erőműben termelő szén- dioxid megkötése és felhasználása jelentősen csökkentené a hazai szén-dioxid kibocsátást, mivel az erőművi, hőerőművi kibocsátás több mint fele a Mátrai Erőműtől származik. A Mátrai Erőmű tulajdonában van 3 (Visonta, Bükkábrány, Halmajugra), jelenleg az ország legnagyobb fotovoltaikus erőműi között található erőmű, összesen 56 megawatt teljesítménnyel. A lignites egységek fokozatos kivezetését korszerűbb és környezetkímélőbb technológiák belépése kíséri, a már meglévő fotovoltaikus erőművek mellé további 200-220 megawattnyi napelempark létesítését tervezik a közeljövőben Visontán és

Bükkábrányban. Alapanyag és energia ellátottság tekintetében is megfelelő helyszín Visonta egy megújuló metanol gyár számára.

Dunaújvárosban található a hazai második legnagyobb szén- dioxid kibocsátású ipari komplexum, amit a 2. táblázat mutat be.

2. táblázat: ISD DUNAFERR társaságcsoport által kibocsátott szén-dioxid mennyisége 2017-ben

Társaság	Tevékenység	Éves szén-dioxid kibocsátás, (tonna)
ISD DUNAFERR Zrt.	Vas- és acélgyártás	992 000
ISD POWER Kft.	Villamos energia és hőtermelés	151 000
ISD Kokszoló Kft.	Kohókokszt gyártása	180 000
Összesen		1 323 000

Forrás: Saját szerkesztés EURÓPAI SZENNYEZŐANYAG-KIBOCSÁTÁSI ÉS -SZÁLLÍTÁSI NYILVÁNTARTÁS (2017) alapján

Dunaújváros közvetlen környezetében nem található jelentős fotovoltatikus erőmű, de alig több mint 40 km távolságra helyezkedik el Paks, ahol található naperőmű.

Baranya megyében található cement üzemek (Beremend és Királyegyháza) 2017-ben 890 ezer tonna szén- dioxidot bocsátottak ki. A cement üzemek füstgázában közepesen magas a szén- dioxid koncentráció, így alkalmas a szén- dioxid befogás és felhasználás technológia alkalmazására. A cement üzemek esetén a szén- dioxid kibocsátás nem küszöbölhető ki a nem fosszilis alapú hőenergia biztosításával, hiszen a cementgyártás során a mészkő bomlásakor képződik a szén- dioxid. Globálisan a beton a második legnagyobb mennyiségben használt anyag, s ez folyamatosan nagy mennyiségű szén- dioxid termelést indukál, jelentősen részesedve ezzel az üveghát hatású gázok kibocsátásából. A beton olcsó, ellenálló és biztonságos, jelenleg nincs valódi alternatívája az építőiparban. A környezeti károk mérséklésére fontos lenne legalább a cement gyártás során képződő szén- dioxidot megkötni. Beremend környezetében Pécssett és Pellérdén található nagyobb fotovoltatikus erőmű és 2020 végéig az MVM Zrt. 24 kiserőművet (0,5 megawatt) helyezett üzembe a Dél- Dunántúlon.

### 3.2.2. Biometanol üzemek lehetséges helyszínei

DINYA (2018) elemzésében, a multifaktoros összehasonlító értékelés alapján a rangsort vezető szél- és a napenergia projektek után a bioenergetikai beruházás állnak, ezzel összhangban a metanolgyártás szempontjából is nagy jelentőséggel bír a biomassza alapú gyártás. Az alapanyag kiválasztását két elvnek kell vezérelni: a rendelkezésre álló biomassza maximális hozzáadott értékű módon hasznosítása és zéró hulladék keletkezése. Az energianövények helyett az alternatív szubsztrátokra, például a különféle szektorokból származó biomassza-hulladékokra kell alapozni a gyártást.

SZALAY (2018) vizsgálata alapján a dendromassza alapú melléktermékek begyűjthető mennyiségének megyei bontású rangsorát Szabolcs- Szatmár – Bereg megye vezet. A további megyék sorrendje: Bács- Kiskun, Pest, Zala, Somogy és Borsod– Abaúj- Zemplén. A jelentősebb biomassza erőművek, fűtőművek alapanyagfelvételi igényét figyelembe véve Bács- Kiskun, Pest, Zala, Somogy megye rendelkezik jelentős felhasználható szabad alapanyag kapacitással.

2019-ben Magyarország földterületének közel 79%-át kitevő termőterület nagysága 7 millió 319 ezer hektár volt, amelynek művelési ágankénti megoszlása: 26,5 % erdő, 2,2% gyümölcsös és szőlő és 59%- szántó, 10,8% gyepek valamint a konyhakert, a nádas és a halastó egyaránt 0,5%. Gabonaféléket 2019-ben mint 2,5 millió hektáron termesztettek, melyből 1048 ezer hektáron kukoricát és 980 ezer hektáron őszi búzát (KSH 2019b). A szántóföldi növényi melléktermékei, a szalma és a szármaradványok, jelentős potenciált képvisel a biometanol gyártás számára, annak ellenére, hogy a szalma túlnyomó részét az állattenyésztés felhasználja. GYURICZA (2010) elemzése szerint az energetikai hasznosításra évente 2,2- 3,7 millió tonna szalmát, 5,0- 6,5 millió tonna kukoricaszárát és csutkát valamint 1,0- 1,2 millió tonna napraforgószárát lehet felhasználni.

Bár az állattenyésztésben bevezetett új technológiák eredményeképpen az ágazatban csökken a szalma felhasználása, a legnagyobb potenciállal a kukoricaszár és a napraforgó szár és tányér rendelkezik a lágyszárú növényi melléktermékek esetén. Mind a kukorica mind a napraforgó mellékterméknél a hasznosítás módja a beszántás, az egyéb felhasználást akadályozza a szármaradványok begyűjtésének nehézsége. A gépesített begyűjtés és a stabil, megfelelő áron történő átvétele a melléktermékeknek az eddigi csekély energetikai hasznosítási arányt jelentősen növelné (YMERI et al. 2020).A

lágyszárú növényi melléktermékek esetén kiemelkedő potenciál jellemzi Szabolcs-Szatmár-Bereg, Békés és Hajdú-Bihar megyéket, de Bács- Kiskun és Pest megyék is a rangsor első felében találhatók. A dendromassza és a lágyszárú melléktermékek együttes hasznosíthatósága alapján egy biometanol üzem megvalósítása Bács- Kiskun vagy Pest megye területén lenne kedvező.

### 3.3. A metanol gyártás energiaszükségletének fedezése

Az LCA vizsgálatok egyértelműen bizonyították, hogy a metanol előállítása során felhasznált energiaforrás szén- dioxid kibocsátása határozza meg, hogy az előállított metanol alkalmazása előnyös-e a globális felmelegedésre gyakorolt hatások tekintetében.

STENBERG és munkatársai (2017) vizsgálták a metanol és a metán széndioxidból kiinduló és fosszilis forrásokból kiinduló gyártásának a globális felmelegedésre gyakorolt hatását. Megállapították, hogy az EU-27 elektromos áram mix (2020) használata a gyártási folyamatban nem jelent környezeti előnyt. Külön- külön vizsgálva az egyes európai országokat vannak olyanok, amelyek esetében csökken a globális felmelegedésre gyakorolt hatás a széndioxidból kiinduló gyártás során, abban az esetben, ha a hidrogén alapanyag előállításához alacsony szén intenzitású elektromos áramot használnak. Franciaország és Belgium esetén az atomenergia, Norvégia és Izland esetén a megújuló energiák, míg Svédország és Svájc esetén a megújulók és atomenergia együttes felhasználása eredményezi, illetve eredményezheti a környezetbarát gyártási módot.

Az EU-ban 2018-ban az elektromos áram 32%-a , 2019-ben 34%-a származott megújuló forrásból. de a tagállamok között nagyon jelentős eltérés mutatkozik. Ausztria és Svédországban 70% fölött van a megújulók aránya, míg a rangsor alsó részén Málta helyezkedik el 8%-os aránnyal valamint Ciprus, Luxemburg és Magyarország 10%-os aránnyal (EUROSTAT 2020b). Az elmúlt két évtizedben Magyarországon a szén alapú áramtermelés mértéke jelentősen csökkent, míg a nukleáris és a megújuló energiáké növekedett. 2019-ben a nukleáris és a megújuló energiák összesen 62 %-ban részesedtek a villamos energiatermelésből, 2020-ban 63%-ban (EMBER 2020).

Stenberg és munkatársai által említett országok energiamixében a fosszilis források aránya alacsony. Izland 100%-ban megújuló forrásokra támaszkodik a villamos energiatermelésben, Svájc 1%-ban. Norvégia kevesebb mint 2%-ban, Svédország 2 %-ban, használ fosszilis forrást, míg Franciaország kevesebb mint

10%-ban, Belgium 34,5 %-ban (EMBER 2020). Ez utóbbi 2 ország potenciálisan képes lehet a környezeti előnyökkel járó metanol termelésre. Magyarország jelenlegi 38%-os fosszilis forrás aránya és a belgiumi érték között nincs szakadék, így azt a következtetést vonom le, hogy potenciálisan Magyarországon is megteremthető a megújuló metanol gyártása. Ezt támogatja, hogy az EU országokhoz hasonlóan a magyarországi áramtermelésben is a napenergia a leggyorsabban növekvő forrás. 2012-ben még kevesebb mint 0,001 TWh energiát szolgáltatott, ez az érték 2020-ban 1,625 TWh volt.

### **3.4. A gazdaságos biometanol és e- metanol gyártás perspektívája**

#### ***A villamos energiatermeléshez kapcsolódó költségek változása***

A metanol üzemek beruházási költségeinek elemzése egyértelműen mutatja, hogy a víz elektrolíziséhez szükséges berendezés a legköltségesebb elem. PÉREZ-FORTES és TZIMAS (2016) tanulmányában a 270 millió eurós beruházásból 147,7 millió euró az elektrolizáló berendezés, amely közel 55%-ot tesz ki. RIVAROLO és társai (2015) szerint a beruházási költségek még nagyobb hányadát adja az elektrolizáló berendezés: biogáz alapanyag használata esetén 54% (összes tőke költség 3,8 millió euró), szén- dioxid pontforrásból származó alapanyag esetén 86% (összes tőke költség 2,5 millió euró).

A működési költségek esetén még nagyobb hányad kapcsolódik a víz elektrolíziséhez, azaz a hidrogén előállításához, akár 90% fölötti is lehet ez az érték. Ebből adódik, hogy a biometanol és e- metanol előállítási ár meghatározója a technológiai lépések közül az elektrolízis, azaz a felhasznált villamos energia ár függvénye a metanol előállítási ára. Ezzel szemben a hagyományos technológiával készült metanol esetén az előállítási ár meghatározója a földgáz ára.

A versenyképes biometanol és e- metanol termék gyártásához a villamos energia költségének csökkentése szükséges, amelyre két lehetőség létezik: a felhasznált villamos energia ára csökken illetve az elektrolízis hatásfoka növekszik.

ZHANG és társai (2019) tanulmánya szerint az- e- metanol gyártás gazdaságosan megvalósítható, ha a villamos energia ára alacsonyabb, mint 0,047 USD / kWh. 2019-ben átlagosan 0,068 USD /kWh volt a fotovoltaikus erőművek által termelt villamos energia ára, így reális, hogy rövid időn belül 0,047 USD / kWh alá csökken.

A magyarországi naperőművek 2021. május 9-én érték el az eddigi legmagasabb termelési csúcst, s legnagyobb szeletet képviselve a hazai előállítású villamos energiából. A paksi erőmű teljesítménye viszont felére esett, mely részben a megnövekedett naperőművi teljesítmény okozott. A naperőművi kapacitások növekedésének következménye, hogy magyar árutőzsde (HUPX) másnapi piacán a villamos energia tőzsdei ára 0 vagy negatív volt. Az adatok tükrében úgy gondolom, hogy a fotovoltatikus erőművek üzemeltetése során a profit maximalizálás érdekében érdemes lehet a megtermelt villamos energiát két útvonalon hasznosítani, azaz a közvetlen rendszerbe való betáplálást kiegészíteni egy alacsony átvételi ár esetén működő metanol üzemmel.

### ***A metanol, mint hidrogéntároló***

A megújuló metanol gyártáshoz kapcsolódó gazdasági elemzések megújuló metanol és a hagyományos gyártási útvonalon gyártott metanol költségeivel és a piaci árával való összevetésen alapulnak. A nap- és szélenergiára való folyamatos áttérés során az elektromos energia tárolására a kínálat és a kereslet egyensúlyának megteremtése érdekében szükség van az energia tárolására. Jelenleg a szivattyús víztároló rendszer (PHS) a vezető technológia, a globális villamosenergia-tárolás 97% -át teszi ki (STOCKS et al. 2021) annak ellenére, hogy PHS meghatározott földrajzi viszonyok mellett alkalmazható, mint pl. a megfelelő szintkülönbség, elegendő vízmennyiség. KHAREL és SHABANI (2018) vizsgálták a nagyléptékű energia tárolás két útjának költségét: az első esetben akkumulátoros tárolást, a második esetben egy hibrid (akkumulátor és hidrogén) tárolást elemeztek. Megállapították, hogy a hibrid akkumulátor-hidrogéntároló rendszer négyszer költséghatékonyabb, mint a csak akkumulátorral üzemelő energiatároló rendszerek.

A hidrogén tárolásának egyik módja a kémiai tárolás, amelyben a metanol kitüntetett szereppel rendelkezik kedvező tulajdonságai miatt, pl. 1 mól metanol 4 mólnyi H atomot tartalmaz, ami azt jelenti, hogy 1 m<sup>3</sup> metanol 99 kg hidrogént tárol. A hidrogéntároló szerep alapján a metanol gyártásának gazdaságosságát, árának versenyképességét a többi hidrogéntároló lehetőséghez képest érdemes vizsgálni.

A hidrogén tárolására alkalmas rendszerek méretét meghatározza, hogy egységnyi térfogatban mekkora tömegű hidrogént képes tárolni. Az ammónia rendelkezik a legnagyobb tárolási sűrűséggel, a második helyen a metanol található. A rangsor végén helyezkedik el a tiszta hidrogén tárolása. Az elemi hidrogéntárolási sűrűsége 700 bar nyomáson 2,5 –szer, 200 bar nyomáson 4-szer, 100 bar nyomáson több mint 12- szer kisebb, mint a metanolé

(ANDERSSON és GRÖNKVIST 2019). A hidrogén elemi formában történő szállítása és elosztása új technológiák kidolgozását igényli, amelyhez társul jelentős kutatási költség. A szállítási költségekre DEMIR és DINCER (2017) 2,73- 2,86 USD/ kg hidrogén értékeket kapott, annak függvényében, hogy csővezetéken vagy tartálykocsival szállítják a hidrogént az üzemből a közeli városokba. 1 m<sup>3</sup> metanol 99 kg hidrogént tárol, ilyen mennyiségű elemi hidrogén tartálykocsival történő szállításának költsége több, mint 280 USD.

DIAS és munkatársai (2020) a hidrogén tárolás és szállítás költségeit hasonlították össze az elemi hidrogén és a kémiai hidrogén tárolás esetén. Vizsgálatuk magába foglalta a gyártás, a tárolás és a szállítás elemeit és költségeit. A metanol (szállítás tartálykocsival) használata esetén legalacsonyabbak a költségek 219 euró, míg az elemi gáz halmazállapotú hidrogén alkalmazása a legmagasabb költségű, azaz 513 euró tartálykocsival történő szállítással és 492 euró csővezetékes szállítással. A második legalacsonyabb költséggel a folyékony hidrogén alkalmazása rendelkezik, s csak ezt követi a metán és az ammónia használata. A költségek az üzemanyag 1 MWh óra egységére és 30 euró/ tonna szén- dioxid ár mellett értendők.

A fenti adatok azt mutatják, hogy az energiatárolás szempontjából a hidrogén formájában történő tárolás gazdaságosabb lehet, mint az egyéb módok, illetve széles körben alkalmazható, mivel alkalmazásához nincs szükség speciális földrajzi körülményekre. Fontos kiemelni, hogy a hidrogén energiatároló funkciója nem azonos az elemi hidrogén előállításával és felhasználásával. A hidrogén biztonságos használata megköveteli a kémiai tárolók alkalmazását, amelynek egyik anyaga lehet a metanol. A metanol folyadék és stabilis vegyület, tárolása egyszerű, s hosszú távon veszteség nélkül megoldható, valamint a tárolási költség elhanyagolható. A metanol logisztikája a már létező szállító és elosztó eszközök segítségével történhet, így szolgálva az energia rendszerek rövidtávon megvalósítható átalakítását költséghatékony módon.



## 4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS A JAVASLATOK

Az éghajlatváltozás napjaink egyik legnagyobb kihívást és fenyegetettséget jelentő problémája. Erre komplex módon kell választ keresni és adni, hogy képesek legyünk a negatív folyamatokat lassítani, megfordítani. Az Európai Unió energiapolitikai stratégiája az ellátásbiztonság, a fenntarthatóság és gazdaságosság hármására épül. Az egyik elem irányában történő egyoldalú elmozdulás kihat a másik két elemre is. A közelmúlt és jelen történései, a koronavírus krízis, világosan rámutatott a megbízható villamosenergia- ellátás fontosságára, mint az otthonról történő munkavégzés alapfeltételére. Ugyanakkor megjelenik egy újabb pillér az energia-politikában, a társadalmi elfogadás, amely eredményeképpen a nemzetgazdaság alsóbb szintjein is felértékelődik az energiatervezés. A klímaváltozást kísérő ökoszisztéma károsodások következtében erősödő gazdasági, szociális és politikai nyomás a megújuló energiarendszerek fejlesztését, térnyerését eredményezte. Ha az áramtermelés relatív változását forrás szerinti bontásban vizsgáljuk, látszik, hogy a jövőben a megújuló energiaforrások elterjedtebbek lesznek, mint bármikor. Ennek következtében nagy kapacitású tárolórendszerekre lesz szükség a folyamatos energiaáramlás biztosításához, ellensúlyozandó az adott időpontban fellépő elégtelen helyi megújuló energiaforrásokból származó termelést. A stratégiai energiatartalékok tárolásának feladatára sem az akkumulátorok, sem az elemi hidrogén nem alkalmas, a Power – To – X technológiák megkerülhetetlenek a probléma megoldásában.

A megújuló energiák és a CO<sub>2</sub> megkötés közötti technológiai kapcsolat kihasználása pozitív változást eredményez a légköri szén- dioxid kibocsátás csökkentésében s a fosszilis üzemanyagoktól való függetlenedés növelésében. Ez a megközelítés egy CO<sub>2</sub> hurok kialakulását demonstrálja, mivel az égés során kibocsátott anyag újra hasznosítása és újra felhasználása történik. A Power-to-X technológiák iránt egyre nagyobb az érdeklődés, mivel valójában képesek a megújuló energiát vegyi anyagokká és üzemanyaggá konvertálni, amelyek könnyen tárolhatók és szállíthatók. Ideális esetben a fosszilis tüzelőanyagok hasznosítása az élet valamennyi területéről száműzhető a légköri a CO<sub>2</sub> felhasználása által.

A metanolgazdaság lényegében egy olyan körkörös gazdaság kialakítását jelenti, melynek révén megvalósítható az energiatermelés és egyéb ipari folyamatok során keletkezett szennyezőanyag és hulladék megkötése, rendszerbe való kapcsolása a karbonsemleges energiaforrások segítségével.

## 4.1. Hipotézisvizsgálat eredménye

A szakirodalmi feldolgozás és a saját kutatásom alapján az értekezés elején ismertetett hipotézisek vizsgálatának eredményét az alábbiakban ismertetem.

**H<sub>1</sub> hipotézis: A metanol felhasználás környezeti előnyökkel jár, a megfelelő technológia és energiaforrások alkalmazásával előállított metanol a globális felmelegedés elleni fellépésben eredményesen alkalmazható.**

Első hipotézisemet teljes mértékben elfogadom, mert a metanolgazdaság környezeti terheit vizsgáló szakirodalmat elemezve megállapítottam, hogy technológiáktól függetlenül a gyártási folyamat energiaszükségletének fedezésére szolgáló energia szénintenzitása határozza meg a globális felmelegedésre gyakorolt hatást. Karbonsemleges villamos energiaforrásokat alkalmazva a globális felmelegedésre gyakorolt hatás jelentősen alacsonyabb, mint a hagyományos úton gyártott metanol esetében továbbá belső égésű motorok üzemanyagaként felhasználva is kedvezőbb értékekkel rendelkezik, mint a benzin. A metanolgazdaság koncepciója, amennyiben a megújuló metanol gyártást és hasznosítást értjük alatta, szolgálja a fenntartható fejlődési, a klímapolitikai célok elérését valamint a körkörös gazdaságra való áttérést.

**H<sub>2</sub> hipotézis: A magyarországi rendelkezik a megújuló metanol gyártáshoz szükséges alapanyagokkal, elsősorban a kommunális hulladék, a szennyvíz és a biomassza felhasználása terén.**

Hipotézisemet, amely szerint Magyarországon rendelkezésre állnak a biometanol és e-metanol előállításához szükséges alapanyagok, igazoltnak tekintem. Az e-metanol gyártás alapanyagát az erőművek, hőerőművek és a cementiparhoz kapcsolódó üzemek által kibocsátott szén-dioxid szolgáltatja. A nemzetközi tapasztalatok és szakirodalom alapján a termelődő „hulladék szén-dioxid” mennyisége elegendő több metanol gyártó üzem alapanyag igényének fedezésére. A pontforrások közül kiemelkedő lehetőséggel rendelkezik a bioetanol gyártó üzem, mert szinte 100%-os tisztaságú szén- dioxid képződik az erjesztési folyamat mellék termékeként, így a technológia egyszerűsödik, azaz gáz a tisztítás és elnyelés lépések nem szükségesek. További előnye a bioetanol mellék termékének felhasználásnak hogy a metanolgyártás és felhasználás zéró szén- dioxid kibocsátással jár, ami az erőművi és egyéb ipari pontforrásokra nem igaz. A nem biomasszát használó erőművi és egyéb ipari pontforrások alkalmazása a metanol gyártásban jelentősen csökkenti a szén-dioxid kibocsátást a fosszilis források alkalmazásával nyert metanolhoz képest, de nem tekinthetők zéró kibocsátású útvonalaknak. A biomassza alapanyagot

felhasználó és a DAC technológiát alkalmazó metanol gyártás és felhasználás zéró szén - dioxid kibocsátással jár. A magyarországi biomassza hulladékok felhasználása jelentős potenciállal rendelkezik. Kisebb mennyiségben dendromassza és nagy mennyiségben lágyszárú növények termesztéséből származó melléktermék és hulladék hasznosítása nem történik meg jelenleg, így szabad kapacitásként mutatkoznak a biometanol gyártás számára. A nemzetközi adatokkal összehasonlítva a hazai adatokat a kommunális hulladék, a depóniagáz és a szennyvíziszap felhasználásában rejlő lehetőségeket is alacsony szinten használjuk ki.

### **H3 hipotézis: Magyarország energiatermelése nem biztosítja a megújuló metanol előállításához szükséges karbonsemleges villamos energiát.**

A metanolgazdaság térnyerésének legfőbb gátja a hidrogén alapanyag előállításának magas villamos energiaigénye. A megújuló metanol gyártás során a hidrogént a víz elektrolízise során nyerik megújuló energia felhasználásával, amely jóval energia igényesebb útvonal, mint földgáz alapú metanol gyártás. Az Európai Unió tagállamai nettó energiainportőrök, 2018-ban az energiafüggőségi ráta meghaladta az 50,0%-ot. Magyarország esetében a 2015 és 2019 közötti időszakban a villamosenergia importaránya éves szinten 27,6% és 31,6% között alakult, így a nagy energiaigényű technológia bevezetéséhez szükséges a primer energiatermelés növelése. Kormányzati cél, hogy a villamosenergia import középtávon nulla szintre csökkenjen.

A magyarországi az életszínvonal (egy főre jutó GDP) dinamikus növekedése ellenére az ország szén- dioxid kibocsátása csökkenő tendenciát mutat, mivel az energiaintenzitás és az energiaellátás szénintenzitása folyamatosan csökken. 2019-ben a Magyarországon megtermelt villamos energia 56 százaléka karbonmentes forrásból származott, de ennek 90 százalékát a Paksi Atomerőmű állította elő. Szintén középtávú törekvés, hogy villamosenergia termelés szerkezetében 50-50%-ban az atomenergia és a napenergia szerepeljen, s ezt alátámasztják a statisztikai adatok, melyek elemzése rávilágított arra, hogy a magyarországi villamosenergia termelésben a naperőmű a legdinamikusabban növekvő erőmű típus.

Pillanatnyilag sem a kollektíven termelt villamosenergia mennyisége, sem a forrásának szerkezete nem megfelelő a megújuló metanol gyártására, de a kormányzati törekvések és az energiatermeléssel kapcsolatos tendenciák azt ígérik, hogy 10 éven belül ez megváltozik. A fotovoltatikus erőművek üzemeltetése során a profit maximalizálás érdekében már a közelebbi jövőben

érdemes lehet a megtermelt villamos energiát két útvonalon hasznosítani, azaz a közvetlen rendszerbe való betáplálást kiegészíteni egy alacsony átvételi ár esetén működő metanol üzemmel, amely a tárolókapacitások bővítését vonja maga után.

A hipotézisem beigazolódott, de az Európai Unió és ezzel összhangban Magyarország energia stratégiája, klímapolitikai céljai 10 éven belül pozitívan változtathatják meg a metanolgazdaság perspektíváját.

**H4 hipotézis: Magyarországon a megújuló metanol gyártás a jelenlegi paraméterek mellett gazdasági előnyökkel nem jár, de az energiatermelés átalakulásával ez változhat.**

Ez a hipotézis megerősítést nyert. A metanolgazdaság gazdaságosságát a hidrogéntermeléshez szükséges energia ára határozza meg. Amennyiben az e-metanol gyártásához szükséges villamosenergia ára 0,047 USD / kWh alá esik, a fosszilis forrású metanollal szemben is gazdaságos lehet a gyártása. Jelenleg a fotovoltatikus erőművek 5% - a képes ezen az áron villamos energiát termelni. de a völgyidőszaki áramtermelés kihasználása metanolgyártásra lehetőség a többi erőmű számára is. A gazdaságos megújuló metanol gyártást segíti a jelenleg nagy kereslettel bíró, melléktermékként keletkező oxigén befogása és értékesítése. További lehetőség a gazdasági ösztönzők, támogatások alkalmazása.

## 4.2. Javaslatok

J<sub>1</sub>: A metanolgazdasághoz, a technológiai megoldásaihoz gyakran társul az „ígéretes technológia” kifejezés, amely nem alkalmas sem környezeti fenntarthatóság szolgálatának, sem a gazdaságosság kérdésének kifejezésére. A szubjektív kategóriák nem alkalmasak a jövő technológia megoldásai közül az emberiség céljait leginkább segítő lehetőségek azonosítására. A környezeti célok számbavételére az életciklus elemzések olyan nemzetközileg elfogadott szabványos módjára van szükség, amelynek alapelemei az átláthatóság és az összehasonlíthatóság. Ez esetben az életciklus elemzések biztosítják a döntési folyamatok szilárd alapját.

J<sub>2</sub>: Az Európai Unió stratégiájában a hidrogén az integrált energiarendszer dekarbonizációjának kulcsa. Az elemi hidrogén tárolása és szállítása veszélyes, nincs kiforrott technológiája. A kutatások a hidrogén fizikai vagy kémiai megkötése, majd felszabadítása felé fordultak. Ilyen kémiai megkötést jelent a metanol formában történő tárolás. A metanol tehát kettős funkcióval

rendelkezik: szén-dioxidtároló és nagy mennyiségű hidrogén tárolására alkalmas (1 m<sup>3</sup> metanol 99 kg hidrogént tartalmaz). A jövőben metanolgazdaság gazdaságosságának kérdését nem lehet csupán a fosszilis metanollal szemben vizsgálni. Ha a metanol hidrogéntároló szerepet tölt be, akkor az egyéb hidrogéntároló lehetőségekkel kell összehasonlítani mind a gazdasági vonatkozásokat, mind a környezeti terheket.

J<sub>3</sub>: Magyarország esetében megvalósításra érdemes egy olyan metanol gyártást célzó projekt, amely kihasználja a körkörös gazdaság és az ipari szimbiózisban rejlő lehetőségeket, s hasznosítja a fotovoltatikus erőművek üzemeltetése során a megtermelt villamos energiát alacsony átvételi ár esetén.

## 5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A bevezetésben megfogalmazott célkitűzések figyelembevételével, kutatásaim alapján az új és újszerű tudományos eredményeimet az alábbiak szerint összegzem:

1. A kutatás újszerű eredményének tekintem a metanolgazdaság koncepciójának komplex és rendszerszemléletű összefoglalását, az Európai Unió energiastratégiájához és körkörös gazdasághoz, a klímapolitikai célokhoz való kapcsolódásának strukturált bemutatását a releváns szakirodalom alapján.
2. A metanol gyártáshoz kapcsolódó LCA-eredmények halmazának harmonizációja és az azt követő elemzése segítségével beazonosítottam a megújuló metanol gyártás környezeti hatásainak fő mozgatórugóit.
3. Meghatároztam a megújuló metanolgyártás alapanyagainak magyarországi előfordulását, a források földrajzi elhelyezkedése és műszaki paraméterek alapján javaslatot tettem egy lehetséges metanol üzem építésének helyére.
4. Magyarország primer energia és kiemelten a villamos energia felhasználásának és termelésének valamint az előrevetített változások figyelembe vételével meghatároztam a metanol gyártás lehetőségeit.
5. Bizonyítottam, hogy a metanol hidrogénen keresztül történő energiatárolás szerepe meghatározza a metanolgazdasághoz kapcsolódó gazdaságossági számítások alapvetéseit.

## 6. MELLÉKLETEK

### 6.1. Irodalomjegyzék

1. AL-KALBANI, H., XUAN, J., GARCÍA, S., & WANG, H. (2016): Comparative energetic assessment of methanol production from CO<sub>2</sub>: Chemical versus electrochemical process. In: *Applied Energy*, 165 1-13.p. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.027>
2. ANDERSSON, J., & GRÖNKVIST, S. (2019): Large-scale storage of hydrogen. In: *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(23) 11901-11919.p. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.063>
3. BAKOSNÉ BÖRÖCZ, M. (2016): Az életcikluslemzés módszerének használata és a karbonlábnyom számítás alapjai. Gödöllő: Szent István Egyetemi Kiadó. 40 p.
4. CHAPLIN, A. G. (2013): Renewable Methanol: An Analysis of Technological Potentials in Light of the EU Biofuels Policy Objectives of Greenhouse Gas Savings, Security of Supply and Employment, Aalborg University, 2013. [https://projekter.aau.dk/projekter/files/77407997/Masters\\_Thesis\\_AGC.pdf](https://projekter.aau.dk/projekter/files/77407997/Masters_Thesis_AGC.pdf). Lekérdezés időpontja: 2021.04.10.
5. DEMIR, M. E., & DINCER, I. (2018): Cost assessment and evaluation of various hydrogen delivery scenarios. In: *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(22) 10420-10430p. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.08.002>
6. DIAS, V., POCHE, M., CONTINO, F., & JEANMART, H. (2020): Energy and Economic Costs of Chemical Storage. In: *Frontiers in Mechanical Engineering*, 6 21.p. <https://doi.org/10.3389/fmech.2020.00021>
7. DINYA, L. (2018): Biomassza-alapú energiatermelés és fenntartható energiagazdálkodás: a múlt és a jövő. In: *Magyar Tudomány*, 179(8) 1184–1196.p.
8. FOUQUET, R. (2011): A brief history of energy. In J. Evans & L. C. Hunt (Eds.), *International handbook on the economics of energy* Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing. 848 p.
9. GONZÁLEZ-GARAY, A., FREI, M. S., AL-QAHTANI, A., MONDELLI, C., GUILLÉN-GOSÁLBEZ, G., & PÉREZ-RAMÍREZ, J. (2019): Plant-to-planet analysis of CO<sub>2</sub>-based methanol processes. In: *Energy and Environmental Science*, 12(12) 3425-3436.p. <https://doi.org/10.1039/c9ee01673b>

10. GUINÉE, J.B. (2002): Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, Boston. 692 p.
11. GYURICZA, CS. (2010): Energia biomassából: esély vagy átok? In: *Agrofórum: a növényvédők és növénytermesztők havilapja*, 21(5) 68-72p.
12. HEATH, G. A., & MANN, M. K. (2012): Background and Reflections on the Life Cycle Assessment Harmonization Project. In: *Journal of Industrial Ecology*, 16. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00478.x>
13. HOPPE, W., THONEMANN, N., & BRINGEZU, S. (2018): Life Cycle Assessment of Carbon Dioxide–Based Production of Methane and Methanol and Derived Polymers. In: *Journal of Industrial Ecology*, 22(2) 327-340.p. <https://doi.org/10.1111/jiec.12583>
14. KESZI SZEREMLEI, A., & MAGDA, R. (2015): Sustainable Production and Consumption. In: *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*, 4 (2) 57–61.p
15. KHAREL, S., & SHABANI, B. (2018): Hydrogen as a long-term large-scale energy storage solution to support renewables. In: *Energies*, 11(10) 2825. <https://doi.org/10.3390/en11102825>
16. KIM, J.; HENAO, C. A.; JOHNSON, T. A.; DEDRICK, D. E.; MILLER, J.E.; STECHEL, E. B.; & MARAVELIAS, C. T (2011). Methanol Production from CO<sub>2</sub> Using Solar-Thermal Energy: Process Development and Techno- Economic Analysis. In: *Energy & Environmental Science*, 4 3122–3132.p.
17. KISS E. (2013): Környezetvédelem. [https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0013\\_kornyezetvedelem/9\\_1\\_az\\_eletciklus\\_elemzes\\_bemutatasa.html](https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0013_kornyezetvedelem/9_1_az_eletciklus_elemzes_bemutatasa.html).  
Lekérdezés időpontja: 2018.05.20.
18. KOTHANDARAMAN, J., KAR, S., SEN, R., GOEPPERT, A., OLAH, G. A., & PRAKASH, G. K. S. (2017): Efficient Reversible Hydrogen Carrier System Based on Amine Reforming of Methanol. In: *Journal of the American Chemical Society*, 139(7) 2549–2552. p. <https://doi.org/10.1021/jacs.6b11637>
19. MATZEN, M., & DEMIREL, Y. (2016): Methanol and dimethyl ether from renewable hydrogen and carbon dioxide: Alternative fuels production and life-cycle assessment. In: *Journal of Cleaner Production*, 139 1068–1077. p. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.163>
20. MEUNIER, N., CHAUVY, R., MOUHOUBI, S., THOMAS, D., & DE WEIRELD, G. (2020): Alternative production of methanol from



- industrial CO<sub>2</sub>. In: *Renewable Energy*, 146 1192–1203.p. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.010>
21. PAKURÁR, M., KHAN, M. A., BENEDEK, A., & OLÁH, J. (2020): The impact of green practices, cooperation and innovation on the performance of supply chains using statistical method of meta-analysis. In: *Journal of International Studies*, 13(3) 111-128.p. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2020/13-3/8>
  22. PÁPAY, J. (2015): Konvencionális és nem konvencionális kőolaj- és földgázkitermelő eljárások. In: *Magyar Tudomány*, 2015(11) 1285-1294.p.
  23. PÉREZ-FORTES, M., & TZIMAS, E. (2016): Techno-economic and environmental evaluation of CO<sub>2</sub> utilisation for fuel production. Synthesis of methanol and formic acid. In: *Scientific and Technical Research Series*.
  24. RIVAROLO, M., BELLOTTI, D., MAGISTRI, L., & MASSARDO, A. F. (2016): Feasibility study of methanol production from different renewable sources and thermo-economic analysis. In: *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(4) 2105–2116.p. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.12.128>
  25. STERNBERG, A., JENS, C. M., & BARDOW, A. (2017): Life cycle assessment of CO<sub>2</sub>-based C1-chemicals. In: *Green Chemistry*, 19(9) 2244–2259.p. <https://doi.org/10.1039/c6gc02852g>
  26. STOCKS, M., STOCKS, R., LU, B., CHENG, C., & BLAKERS, A. (2021): Global Atlas of Closed-Loop Pumped Hydro Energy Storage. In: *Joule*, 5(1) 270–284.p. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.11.015>
  27. SZALAY, D. (2018): Energetikai célú dendromassza termesztés és hasznosítás lehetséges szerepe a lignocellulóz biohajtóanyag üzemek alapanyag ellátásában. Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében, Soproni Egyetem Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola
  28. SZLÁVIK, J. (2007): Környezet-gazdaságtan. Budapest: TYPOTEX. 260 p.
  29. TAKÁCS, I., NAGY-KOVÁCS, E., & MARSELEK, S. (2012): A biomassza energiacélú felhasználásának energetikai és gazdasági kritériumai. In: Kis-Simon Tünde, Tóth Éva (szerk.). "A mezőgazdaságtól a vidékgazda(g)ságig" 54. Georgikon Napok. Keszthely. p. 465-475
  30. THONEMANN, N., & MAGA, D. (2020): Life Cycle Assessment of Steel Mill Gas-Based Methanol Production within the Carbon2Chem® Project. In: *Chemie-Ingenieur-Technik*, 92(10) 1425–1430.p. <https://doi.org/10.1002/cite.202000051>

31. TIHANYI, L., & CSETE, J. (2012): A CO<sub>2</sub> lánc – CO<sub>2</sub> leválasztása, szállítása és tárolása. In: *Műszaki Földtudományi Közlemények*, 83 (1) 221–235.p.
32. TÓTHNÉ SZITA, K. (2008): ÉLETCIKLUS-ELEMZÉS, ÉLETCIKLUS HATÁSÉRTÉKELÉS. Miskolc: Miskolci Egyetemi Kiadó.
33. WARNER, E., HEATH, G.A., & O'DONOUGHUE, P., (2010): Harmonization of energy generation life cycle assessments (LCA). FY2010 LCA Milestone Report, Colorado.
34. WINTHER, K. (2019), Methanol as motor fuel, Danish Technological Institute Teknologiparken Kongsvang Allé 29 8000 Aarhus C Transport og Elektriske Systemer ISBN: J.nr. 64018-0719, p 59.
35. YAO, Y., CHANG, Y., HUANG, R., ZHANG, L., & MASANET, E. (2018): Environmental implications of the methanol economy in China: well-to-wheel comparison of energy and environmental emissions for different methanol fuel production pathways. In: *Journal of Cleaner Production*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.232>
36. YMERI, P., GYURICZA, C., & FOGARASSY, C. (2020): Farmers' attitudes towards the use of biomass as renewable energy-A case study from Southeastern Europe. In: *Sustainability (Switzerland)*, 12(10) 4009 p. <https://doi.org/10.3390/SU12104009>
37. ZHANG, H., WANG, L., VAN HERLE, J., MARÉCHAL, F., & DESIDERI, U. (2019): Techno-economic optimization of CO<sub>2</sub>-to-methanol with solid-oxide electrolyzer. In: *Energies*, 12(19) 3742.p. <https://doi.org/10.3390/en12193742>.
38. ZIMMERMANN, A., MÜLLER, L. J., & MARXEN, A. (2018): Techno-Economic Assessment & Life-Cycle Assessment Guidelines for CO<sub>2</sub> Utilization. CO<sub>2</sub>Chem Media and Publishing Ltd. ISBN 978-1-9164639-0-5 DOI: 10.3998/2027.42/145436.

#### **Internetes források**

39. EMBER (2020): <https://ember-climate.org/project/eu-power-sector-2020/> Lekérdezés időpontja: 2021.02.22.
40. EUROBSER'Er (2020): Biogas barometer 2020 <https://www.euroobserver.org/> Lekérdezés időpontja: 2021.04.05.
41. EURÓPAI BIZOTTSÁG (2016b): Integrált Termékpolitika, Integrated Product Policy 1.<http://ec.europa.eu/environment/ipp/>. Lekérdezés időpontja: 2018.05.20.  
EUROSTAT (2020a): Waste statistics <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics->

- [explained/index.php?title=Waste\\_statistics](#) Lekérdezés időpontja: 2021.01.22..
42. EUROSTAT (2020b): Renewable energy statistics.  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable energy statistics#Share of renewable energy more than doubled between 2004 and 2019](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Share_of_renewable_energy_more_than_doubled_between_2004_and_2019) Lekérdezés időpontja: 2021.01.22.
43. EURÓPAI SZENNYEZŐANYAG-KIBOCSÁTÁSI ÉS -SZÁLLÍTÁSI NYILVÁNTARTÁS (2017): <https://prtr.eea.europa.eu/#/home> Lekérdezés időpontja: 2021.03.28.
44. HVG (2013): [https://hvg.hu/cegauto/20131027 Nobeldijas tipp Magyarország új üzemanya](https://hvg.hu/cegauto/20131027_Nobeldijas_tipp_Magyarország_uj_uzemanya) Lekérdezés időpontja: 2021.03.28.
45. KSH (2019b): A fontosabb növények vetésterülete, 2019. június 1. <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/vet/vet1906.pdf> Lekérdezés időpontja: 2021.05.11.
46. MSZ EN ISO 14040:2006.  
[https://www.mszt.hu/mszt/portal/user/anon/page/default.psml/js\\_panename/msztStandardDetails?cikkszam=141792](https://www.mszt.hu/mszt/portal/user/anon/page/default.psml/js_panename/msztStandardDetails?cikkszam=141792). Lekérdezés időpontja: 2018.05.18

## 6.2. A doktori értekezés témakörében megjelent közlemények jegyzéke

### Magyar nyelvű tudományos folyóiratcikkek

1. SZLOVÁK, S. – TÓTH, J. (2018): A bioetanol közlekedési célú alkalmazásának kérdései a fenntartható fejlődés aspektusából. In: *A FALU*, 33 (1) 23-34. p.6. 5
2. TÓTH, J. – MAGDA, R. (2019): A „zöld” metanol szerepe a fenntartható energiagazdálkodásban. In: *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING AND MANAGEMENT SCIENCES / MŰSZAKI ÉS MENEDZSMENT TUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK*, 4 (4) 249-258. p.

### Idegen nyelvű tudományos folyóiratcikkek

3. TÓTH, J. – MAGDA, R. (2017): DIFFERENCES OF THE PRIMARY ENERGY CONSUMPTION OF THE COUNTRIES ALL OVER THE WORLD. In: *APSTRACT - APPLIED STUDIES IN AGRIBUSINESS AND COMMERCE*, 11 (3-4) 145-152. p.
4. TÓTH, J. – SZLOVÁK, S. – MAGDA, R. (2018): Innovations connected to methanol in the service of blue economy. In: *VISEGRAD JOURNAL ON BIOECONOMY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT*, 7 (1) 7-10. p.
5. MAGDA, R. – TÓTH, J. (2019): THE CONNECTION OF THE METHANOL ECONOMY TO THE CONCEPT OF THE CIRCULAR ECONOMY AND ITS IMPACT ON SUSTAINABILITY. In: *VISEGRAD JOURNAL ON BIOECONOMY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT*, 8 (2) 58-62. p.

### Magyar nyelvű, konferencia-kiadványokban megjelent publikációk

6. TÓTH, J. – MAGDA, R. (2017): Metanol-kulcs a fenntarthatósághoz. In: *LIX. GEORGIKON NAPOK (2017) (Keszthely). A múlt mérföldkövei és a jövő kihívásai: 220 éves a Georgikon*. Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar. p. 558-566.
7. CSAPÓ, I. – TÓTH, J. (2018): A fenntarthatóságot segítő innovációk támogatása menedzsment tanácsadással. In: *KÖZGAZDÁSZ DOKTORANDUSZOK ÉS KUTATÓK TÉLI KONFERENCIÁJA (2018) (Gödöllő). Közgazdász Doktoranduszok és Kutatók IV. Téli Konferenciája: Konferenciakötet*. Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége. p. 41- 50.

8. TÓTH, J. – MAGDA, R. (2018): Metanol – a fenntarthatóságot szolgáló üzleti modellek szereplője. In: XVI. NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS NAPOK (2018) (Gyöngyös): „Fenntarthatósági kihívások és válaszok” - A Tudományos Napok Publikációi. Gyöngyös: EKE Líceum Kiadó p. 1779-1787.
9. TÓTH, J. (2019): A „hurok zárása” lehetőségek a szén-dioxid megkötésére. In: KÖZGAZDÁSZ DOKTORANDUSZOK ÉS KUTATÓK TÉLI KONFERENCIÁJA (2019) (Gödöllő). Közgazdász Doktoranduszok és Kutatók V. Téli Konferenciája: Konferenciakötet. Gödöllő: Doktoranduszok Országos Szövetsége. p. 662- 670.

### **Idegen nyelvű, konferencia-kiadványokban megjelent publikációk**

10. TÓTH, J. – MAGDA, R. (2018): The possibility of producing biomass-based methanol - hungarian projections. IN: BUSINESS AND MANAGEMENT SCIENCES: NEW CHALLENGES IN THEORY AND PRACTICE 25TH ANNIVERSARY OF THE DOCTORAL SCHOOL OF MANAGEMENT AND BUSINESS ADMINISTRATION (2018) (Gödöllő). Proceedings of the international conference “business and management sciences: new challenges in theory and practice” / "Gazdálkodás- és szervezéstudomány: Új kihívások az elméletben és gyakorlatban" nemzetközi tudományos konferencia tanulmánykötete. Gödöllő: Szent István Egyetemi Kiadó p. 131-139.
11. SZLOVÁK, S. – TÓTH, J. (2018): Potential of production of first and second generation bioethanol – Hungarian aspects In: XVI. NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS NAPOK (2018) (Gyöngyös): „Fenntarthatósági kihívások és válaszok” - A Tudományos Napok Publikációi. Gyöngyös: EKE Líceum Kiadó p. 1713-1721.
12. TÓTH, J. (2018): Innovations Connected to Methanol in the Service of Circular Economy. In: 14TH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECONOMICS AND BUSINESS: CHALLENGES IN THE CARPATHIAN BASIN (2018) (Csíkszereda). Konferenciakötet. Csíkszereda: Sapientia Hungarian University of Transylvania p. 308-317.

### **Könyvrészletek**

13. MAGDA, R. – SZLOVÁK, S. – TÓTH, J. (2021): The role of using bioalcohol fuels in sustainable development. 133- 146. p. In: BOCHTIS,

D. – ACHILLAS, D. – BANIAS, G. – LAMPRIDI, M. (Editors): *Bio-Economy and Agri-production*. Academic Press, ISBN 9780128197745