

nyezettel való kapcsolatunkban. Az emberiség legnagyobb kihívásaira (amelyek között a népességgel, az éghajlatváltozással, az energiatermeléssel, az élelem- és vízellátással, a biodiverzitással, valamint a környezetszennyezéssel kapcsolatos elképzelések feltétlenül szerepelnek) nem léteznek külön-külön megoldások, hanem ezekre összességű választ kell keresnünk. Ennek keretében az éghajlatváltozás és a légszennyezés mérséklése együtt megvalósítható, ha a fenntarthatóság fogalmát, a kiotói jegyzőkönyv szellemiségét és a biomasszára épülő energetika, illetve kémiai ipar kihívásait és lehetőségeit komolyan vesszük. ●●●

Köszönetnyilvánítás. A kutatómunkát a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (K116788 és K132254) támogatta. Köszönetemet szeretném kifejezni az ELTE BpART Laboratórium munkatársainak, Weidinger Tamás egyetemi docensnek, Zsigriné Vasánits Anikó egyetemi adjunktusnak, Gyöngyösi András Zénó tudományos segédmunkatársnak és Thén Wanda PhD-hallgatónak, valamint korábbi kollégáimnak és tanítványaimnak értékes munkájukért és segítségükért. Bővebb információ a <http://salma.elte.hu/BpART/> címen található.

IRODALOM

- [1] US National Oceanic and Atmospheric Administration, Global Monitoring Laboratory, <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>, utolsó letöltés dátuma: 2020. 09. 13.
[2] Haszpra, L., Mérföldkövek a légköri szén-dioxid-forgalomban. Magyar Tudomány (2016) 12, 1447–1454.

- [3] Gelencsér, A., Éghajlatváltozás és emberi tevékenység. Magyar Tudomány (2017) 6, 674–679.
[4] Salma, I. et al., Fossil fuel combustion, biomass burning and biogenic sources of fine carbonaceous aerosol in the Carpathian Basin. Atmospheric Chemistry and Physics (2020) 20, 4295–4312.
[5] Salma, I., Németh, Z., Dynamic and timing properties of new aerosol particle formation and consecutive growth events. Atmospheric Chemistry and Physics (2019) 19, 5835–5852.
[6] Salma, I. et al., Influence of vegetation on occurrence and time distributions of regional new aerosol particle formation and growth, benyújtva, 2020.

ÖSSZEFOGLALÁS

SALMA IMRE: LÉGKÖRKÉMIAI FOLYAMATOK ÉS ÉGHAJLATVÁLTOZÁS

A Föld éghajlatának antropogén eredetű átalakulása többlet fűtő- és többlet hűtőhatások eredőjeként jelentkezik. Az előbbi elsősorban az üvegházgázok növekvő koncentrációjával kapcsolatos, míg az utóbbit leginkább az aeroszol közvetett hatása jelenti a felhők révén. A változás további, rendkívül fontos környezeti folyamatokkal, például a víz körforgásával, légköri keveredéssel vagy a levegőtisztasággal is kapcsolatos. A kihívások megoldását egységes környezeti szemlélettel érdemes keresnünk.

Tompos András

■ TTK Anyag- és Környezetkémiai Intézet | tompos.andras@ttk.hu

Klímaváltozás és energiaellátás, különös tekintettel a megújuló forrásokra

A hidrogén mint energiahordozó már a közeljövőben fontos szerepet játszhat a hagyományos és megújuló energiaforrások integrálásában. Ha a fel nem használt villamos energia egy részét megújuló forrásokból történő hidrogén előállítására fordítjuk, majd a kapott hidrogént az energiaágazaton kívül használjuk fel, az egyébként leszabályozott elektromos energiát megfelelően hasznosítani lehet. Az elektrolízissel kinyert hidrogén akár közvetlenül bevezethető a földgázhálózatba, akár felhasználható a közlekedésben hajtóanyagként, a vegyiparban és az acéliparban pedig energiaforrásként és redukálószerként is. A Paksi Atomerőmű bővítése és a megújuló források szélesebb körű elterjedése esetén a hidrogén-előállítás és -felhasználás Magyarországon is összekapcsolhatja a nagy energiatermelő és energiafogyasztó rendszereket és jelentősen csökkentheti azok szénlábnymát.

Energiátmenet a hidrogéntechnológia segítségével

A Párizsi klímaegyezmény szerint a világ energiátmenetében a fosszilis-gazdaságtól a szén-dioxid-mentes gazdaság felé haladva

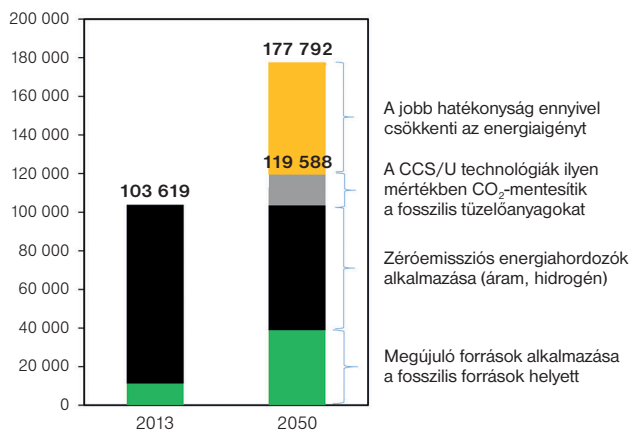
2 °C alatt kell tartani az iparosodás előtti szinthez képesti felmelegedést. Ez a cél igen ambiciózus, hiszen az energiához kapcsolható szén-dioxid-kibocsátást 900 Gt alá akarja vinni 2100-ra, amit már 2050-ben is meg fog haladni a világ, ha a jelenlegi pályán marad.

Nem kevés erőfeszítésre lesz szükség, hogy a szén-dioxid-kibocsátást 60%-kal csökkentjük 2050-ig úgy, hogy közben a Föld lakossága 2 milliárddal növekszik és ezen belül több száz millióval az olyan felzárkózó gazdaságoké, amelyek lakossága túlnyomórészt a középosztályhoz fog tartozni.

Ilyen mértékű dekarbonizációt csak az energiarendszer radikális átalakításával érhetünk el. Az **1. ábra** az energiátmenet négy pillérét mutatja be.

Az energiahatékonysági cél szerint a világ primer energiaigénye csak 10%-kal haladhatja meg a 2015. évi igényt úgy, hogy a GDP megháromszorozódik, míg a lakosság évente 70 millió fővel nő. Magyarország Nemzeti Energia- és Klímastratégia (NEKT) [2] is úgy számol, hogy az ország végső energiafelhasználása 2030-ban nem lesz több, mint a 2005-ös érték (785 toe/218 TWh), vagyis a GDP

Globális energiaigény 2013-ban és 2050-ben, TWh



1. ábra. Az energiaátmenet kihívásai [1]

- megújuló források, • fosszilis források, • CO₂-mentesített fosszilis források
- el nem használt források

növekedésének üteme egyre nagyobb mértékben haladja meg az energiafelhasználás növekedését. Magyarország 2030-at követően vállalja, hogy a végső energiafelhasználás 2005-ös szintet meghaladó növekedése esetén a növekményt kizárólag karbonsemleges energiaforrásból biztosítja.

A második pillér szerint az energiaellátást a megújuló forrásokra kell alapozni. A 2 °C-os forgatókönyv szerint a világ villamosenergia-termelésében a megújulók részaránya 23%-ról 68%-ra fog növekedni világviszonylatban, ami kihívásokat jelent az áramellátás és a kereslet összehangolásában.

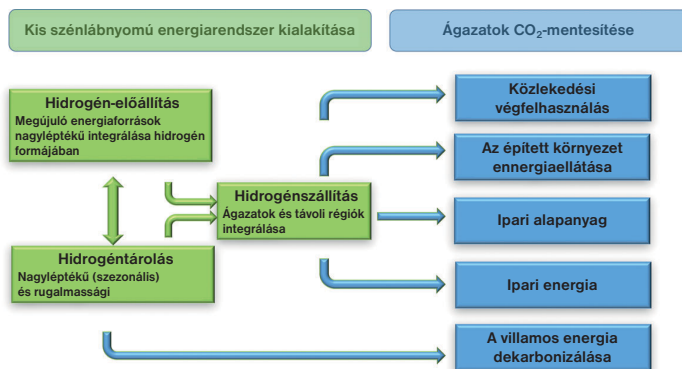
Az 1. ábrán látható harmadik pillér a végfelhasználói alkalmazásokban, azaz a közlekedésben, az épített környezetben és az ipari ágazatok energiafelhasználásában, a felhasználás helyén zéróemissziós energiaforrások használatát követeli meg. Néhány terület – a kisebb személyautók, lakossági fűtés-hűtés – könnyedén „fosszilis-mentesíthető” árammal, azonban a nagyobb hatótávolságot vagy nagyobb energiaigényt megkövetelő közlekedési alkalmazások (nehézgépjárművek, repülőgépek), illetve az ipari folyamatok hőigényének biztosítása úgy, hogy a felhasználás helyén ne legyen káros kibocsátás, már nagyobb kihívást jelent, ami csak árammal már nem valósítható meg.

Végül, a még a rendszerben maradó fosszilis energiaforrásokból felszabaduló szén-dioxidot meg kell kötni és a vegyiparban hasznosítani (carbon capture and storage and utilisation – CCSU).

A villamos energia mellett a hidrogén lesz a kibocsátásmentes energiarendszer fő energiavektora, aminek igen egyszerűen az az oka, hogy a tiszta villamos energián alapuló rendszer – a hidrogén nélkül – leküzdhetetlen akadályokkal szembesülne. A két energiavektor egymást támogatva jelentős szerephez juthat a megújuló villamosenergia-termelés integrálásában, az ellátásbiztonság erősítésében és a dekarbonizációs célok elérésében egyaránt.

A hidrogén szerepét a klímavédelemben a 2. ábra szemlélteti [1], ami alapján a hidrogén:

- Ideális energiavektorként összeköti a megújuló energiaforrásokat számos végfelhasználói lehetőséggel.
- CO₂ kibocsátásától mentes, amennyiben tiszta villamos energiát felhasználva elektrolízissel vagy CCSU-technológiát is alkalmazva földgázból állítják elő.
- Nagy távolságokba lehet szállítani, ami hozzájárul az energiszegényebb régiók és országok energiabiztonságának meg-



2. ábra. A tiszta hidrogén szerepe az energiaátmenetben [1]

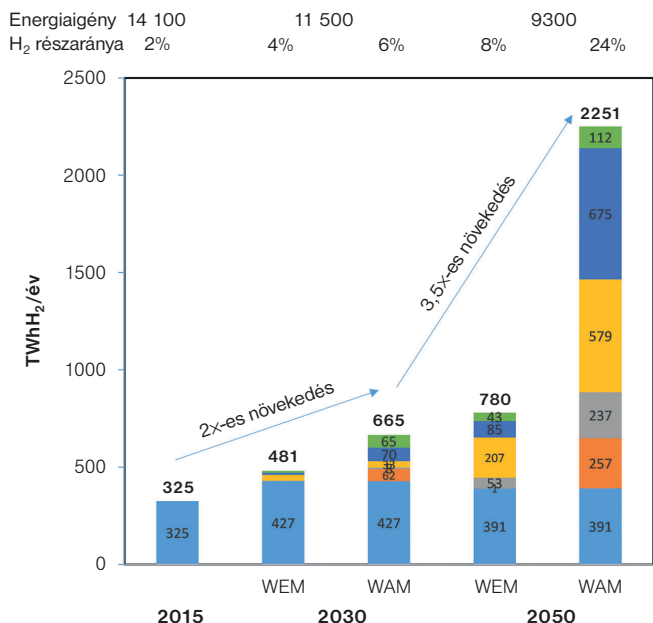
teremtéséhez. A hidrogén lehetővé teszi a jelenlegi földgáz-hálózat használatát is.

- Alkalmos veszteség nélküli szezonális tárolásra, lehetővé téve a stratégiai fosszilisenergia-tárolók kiváltását és a villamos hálózati szabályozási feladatokat. A megújuló vagy alacsony szén-dioxid-lábnyomú hidrogén nagy léptékű (szezonális) tárolása és visszaalakítása villamos energiává fontos rugalmassági lehetőség lesz a jövőbeni energiarendszerben a változó áramellátás és az energiaigény kiegyensúlyozására.
- Alkalmos a végfelhasználói alkalmazások széles spektrumának CO₂-mentesítésére, tiszta villamos és hőenergiát biztosítva mind a közlekedési, mind a telepített energiaellátás számára. Különösen azoknak az alkalmazásoknak a dekarbonizálását várhatjuk a hidrogéntől, amelyek más megfelelő műszaki megoldás hiányában nehezen villamosíthatók. Ez igaz az acéliparra és a közlekedési ágazat egy részére, így a nehézgépjárművek, a nagyméretű személyautók, a nem villamosított vasúti közlekedés és a buszok szegmensében. A légi és vízi közlekedés is hidrogénalapú speciális megoldásokat fog igényelni, mint például a szintetikus üzemanyagok (power to Liquids – PtL). A vegyiparban a jelenleg is hidrogént alkalmazó eljárások egész sora CO₂-mentesíthető a fosszilis-eredetű metán gőzreformálásán alapuló hidrogén kiváltásával megújuló vagy kis szénlábnymú hidrogénnel.

A hidrogén nem pusztán az energiaátmenet jelentette kihívások változatos megoldásának egyik lehetséges eszköze, hanem az egyik kulcsa, ami nélkül a 2050-es klímavédelmi célok biztos, hogy nem érhetőek el.

Ha a hidrogéntechnológiák térnyeréséhez szükséges intézkedéseket uniós, nemzeti és helyi szinten meghozzák, akkor a hidrogén Európa teljes energiaigényének akár 24%-át is biztosíthatja, ami megfelel hozzávetőleg 2250 TWh energiaigénynek 2050-ben. Azonban a teljes értéklánc mentén (az előállítástól a végfelhasználásig) még a döntéshozók, az ipari szereplők és a befektetők összehangolt cselekvésére van szükség. Amennyiben ez az összhang nem valósul meg és a jelenlegi szakpolitikai keretek maradnak érvényben, (kiegészítő intézkedések hiányában) a hidrogéntechnológiák kapacitásainak kiépítése sokkal kisebb szintet érhet csak el, és a klímacélok nem teljesülnek. A 3. ábrán a WEM- (with existing measures) forgatókönyv megvalósulása esetén csupán 780 TWh hidrogénfogyasztást prognosztizálhatunk 2050-re, szemben az ambiciózus forgatókönyvben elvárt 2250 TWh-val. Az ambiciózus jövőkép (with additional measures, WAM) szerint az EU-ban a hidrogéntechnológiáknak köszönhetően 560 Mt szén-dioxid-kibocsátást lehet megspórolni évente, több mint 5,4 millió munkahely teremtése és mintegy 820 milliárd € éves

bevétel várható. Az európai és a globális jövőképeket 2050-re a 4. ábra szemlélteti.



3. ábra. A hidrogénfogyasztás változása szektoronként az Európai Unióban 2050-ig [3]

● fosszilis-alapú hidrogénpiacok; ● ipari alapanyag; ● ipari energia; ● épületek áram- és hőellátása; ● közlekedés; ● villamosenergia-ágazat



4. ábra. A hidrogénteknológia-telepítések és -kapacitások európai [3] és globális [1] jövőképe (2050)

A hazai hidrogénteknológia-telepítések és -kapacitások jövőképe 2030-ig a NEKT elemzése alapján

„A stratégia időtávján a hidrogén jelentős szerephez juthat a megújuló villamosenergia-termelés integrálásában, a hazai ellátás-biztonság erősítésében, és dekarbonizációs céljaink elérésében egyaránt” írja a hazai terv [2]. Ugyan bizonyos mértékű zöld hidrogén kapacitások már 2030-ig is kiépülhetnek a hagyományosan fosszilis-alapú (főleg metán vízgőzreformálása) hidrogénpiacok (pl. ammónia/metanol/olefingyártás, olajfinomítás stb.) mellett, de a kis szénlábnymó (nukleárisáram-alapú) vagy zöld hidrogénteknológiák komolyabb piaci részesedésére 2030-at követően kerülhet sor. A hazai NEKT a 2021–2030-as időtávot egyfajta előkészítő fázisnak tekinti a hidrogénteknológiák szempontjából, amelynek során közfinanszírozású alap- és alkalmazott kutatásokra, valamint azokra épülő magántőkét is bevonó innovációs és demonstrációs projektekre kell fókuszálni, a sza-

bályozási környezet akadályait elhárító intézkedéseket kell hozni és egymással szinkronban fokozatosan bővíteni a hidrogénalapú közlekedési és hidrogén-ellátási infrastruktúrát.

A közelmúltban igen tanulságos elemzés látott napvilágot, amely az EU-tagállamok NEKT-adatai mellett egyéb nyilvánosan elérhető adatokat használ fel az elemzést végző cég modellező algoritmusában [4]. Az elemzés minden EU-s tagállamra megállapította a műszakilag lehetséges megújuló-alapú elektromosenergia-termelés mértékét, ami biztatóan nagy adódot Magyarországon esetén. Elvileg 170 TWh éves megújuló villamosenergia-termelésre lennének képesek, ami 3,28-szorosa a prognosztizált teljes villamosenergia-igényünknek 2030-ban. Azonban ennek még csak töredékét fogjuk realizálni 2030-ig.

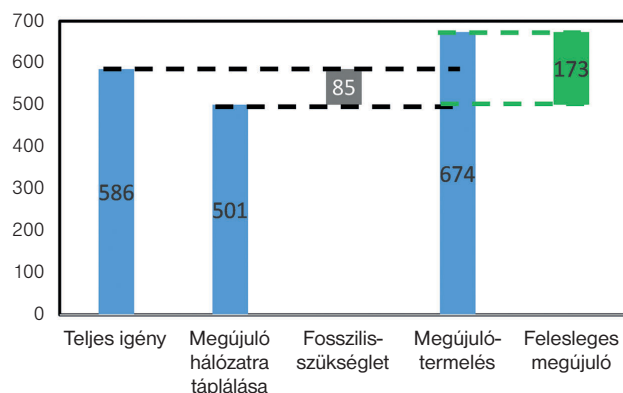
Magyarországon elsősorban a naperőműi kapacitások bővítése van napirenden. A kiegészítő intézkedéseket is figyelembe vévő WAM-forgatókönyvben 2030-ra 11–12 TWh megújuló villamosenergia-termelés várható. A termelés alapjául szolgáló tervezett beépített kapacitások 6500 MW naperőműi, 330 MW szélőműi, 796 MW biomassza-alapú áramtermelés, amihez még 57 MW vízőműi és 60 MW „egyéb” járul hozzá.

Fontos megjegyezni, hogy ha ezek a kapacitások egy időben 100%-on működnének, az az átlagos hazai villamos teljesítmény-igény közel másfélszeresét biztosítaná az adott pillanatban. Szerencsére azonban a csúcstermelési időszakok igen változatosan jelennek meg, ami mérsékli annak a kockázatát, hogy ilyen jellegű túlermelésre kerüljön sor, azonban a decentralizált és részben időjárásfüggő termelési struktúrából fakadó kihívásokat kezelni kell.

Az energiatermelés rövid távú ingadozásait hazánkban elsősorban a gáztüzelésű erőművek tudják egyelőre kiegyenlíteni, de a NEKT szerint teret kell adni az új, innovatív megoldások terjedésének is, mint amilyen az energiátárolás és a keresletoldali válszintézkedés. [2]

Az energiátárolás piaci lehetőségeit tárgyaló tanulmány szerint még igen nagy megújuló-penetráció esetén is számottevő a fosszilis-alapú kiegyenlítőkapacitás szükséglete [5]. Részben azért, mert a megújuló energiák szakaszosan állnak rendelkezésre, részben pedig azért, mert az új tárolókapacitás kiépítése a megújuló energiák tárolására és a villamosenergia-rendszerbe történő visszatáplálására (power-to-power, PtP) egy bizonyos méretnél túl egyelőre nem megtérülő beruházás [5]. Németország példáján keresztül mutatták be, hogy 2050-ben a teljes német villamosenergia-igényt (586 TWh) is meghaladó megújuló áramtermelésre lehet számítani (674 TWh), de a stabil energiaellátás biztosításához

5. ábra. A németországi villamosenergia-helyzet 2050-ben. Dacára a nagy mennyiségű megújuló termelésének, további fosszilis forrásokra is szükség lesz [5]



még további 85 TWh fosszilis-felhasználásra is szükség van (5. ábra). Kiszámolható, hogy mintegy 173 TWh megújuló energiával nem igazán tudnak mit kezdeni. Ha teljesen új tárolókapacitásokat építenek ki, akkor azok telepítési és működési költségei viszonylag kis telepített teljesítmény mellett is hamar meghaladják az el nem használt fosszilis tüzelőanyagok árából, illetve az azokból így nem képződő szén-dioxidból (kvóta) származó megspórolt költségeket. A fenti példában a fosszilis-igényt 49 TWh-ig tudják lecsökkenteni „költségsemleges” forgatókönyv szerint, ha új szivattyús energiatárolós üzemeket hoznak létre hozzávetőleg 65 GW összes teljesítménnyel. A szivattyús energiatárolás PtP- (azaz a teljes ciklus) hatásfoka 80%, ami rendkívül jó. A 65 GW teljesítményű tárolók egyszerre 0,5 TWh tárolására alkalmasak, de éves szinten képesek 36 TWh energia tárolására (46 TWh áram átalakításával), és még ekkor is marad 127 TWh „felesleges” megújuló áram. A megújuló áramtermelésből keletkező, el nem tárolt villamos energia potenciális mennyisége tehát nagy megújuló-penetráció mellett drasztikusan megnő. Ezeket a kapacitásokat, ha nem tudjuk tárolni, akkor vagy le kell szabályozni, vagy a megtermelt áramot ki kell vezetni a villamosenergia-ágazatból (pl. power-to-gas, PtG), ami csak akkor nem baj (sőt előnyös), ha segíti a többi ágazat dekarbonizációját.

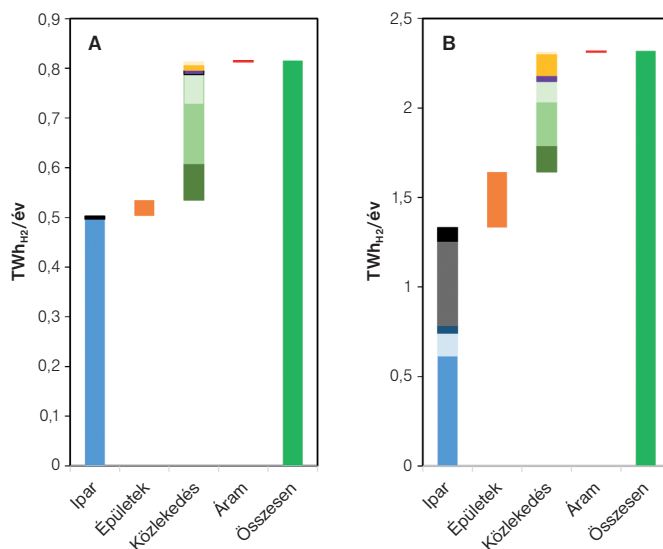
A hazai NEKT úgy kezeli a nagyméretű kapacitásokat feltételező szezonális PtP-tárolás, valamint a PtG-tárolás problémáját, hogy amennyire lehet, időben eltolja az új tárolókapacitások kiépítésének szükségességét. Ezzel összhangban a terv az, hogy megvizsgáljuk a már most is rendelkezésre álló földgáztárolói kapacitások egy részének hidrogéntárolásra való átalakításának lehetőségét, és az alacsony kihasználtságú elosztóvezetéseket kivételként alternatívájaként az elosztóvezetéseket alkalmassá kívánjuk tenni hidrogén betáplálására.

Meg kell jegyezni, hogy a megújuló villamos energia időszakos túltermeléséből adódó probléma kezelésének további módja a meglévő határkeresztű kapacitások bővítése, ami nemcsak azért fontos, mert a szomszédos országokkal megfelelően összekötött energiahálózat javítja a hazai ellátásbiztonságot, hanem azért is, mert a naperóműi és nukleárisalapú túltermelés energiatöbblete az interkonnektivitásnak (rendszer-összeköttetésnek) köszönhetően kiegyenlítődik a szomszédos országok piacán.

Az világos, hogy a 2030-ra tervezett hazai megújuló villamosenergia-termelés nem kíván meg sem PtP- sem PtG-tárolást, hiszen minden megtermelt energia hasznosítható az eredeti (áram) formájában, ráadásul tárolás esetén számolni kell az energiaátalakítási veszteségekkel is. Ugyanakkor fel kell készülni, hogy előbb-utóbb nálunk is a teljes éves áramigénnyel összemérhető megújuló-termelés várható. Hosszabb távon pedig a szén-dioxid kvótaárának drasztikus növekedése, valamint a nagyméretű tárolási technikák árának csökkenése az új tárolókapacitások kiépítését is lehetővé teszi.

A NEKT szerint: „Annak érdekében, hogy a szükséges innovatív megoldások alkalmazását támogatni lehessen a szezonális energiatárolásban, Magyarország pilot projekteket is tervez. Magyarország a biogáz/biométán mellett a megújuló energia felhasználásával előállított hidrogénre is alternatívaként tekint: a karbonmentes forrásokból termelt villamos energiával előállított hidrogén földgázhoz keverése innovatív, kísérleti szakaszban lévő, nagy potenciállal rendelkező, ám magas támogatási igényű opciót jelent, amely ugyancsak releváns a megújuló- és dekarbonizációs célok teljesítése szempontjából” [2].

Véleményem szerint a szintén már használatban levő tárolóinfrastruktúra „újrahasznosítását” tenné lehetővé a hidrogéntá-



6. ábra. A hidrogén becsült dekarbonizációs hatása Magyarországon a különböző ágazatokban 2030-ban a WEM- és WAM-forgatókönyvek szerint (A és B)

● olajfinomító; ● ammóniagyártás; ● olefinek; ● acélipar; ● ipari energia; ● épített környezet; ● busz; ● személyautó; ● nehézgépjármű; ● vasút; ● légi közlekedés; ● hajózás; ● áram

roló szerves folyadékok technológiája (Liquid Organic Hydrogen Carriers, LOHC). Tipikus képviselői a metil-toluol, illetve a dibenzil-toluol, amelyek tehát folyadékok, azaz a gázolaj és gázolajtermékek tárolási infrastruktúráját kiválóan tudnák hasznosítani.

Első lépésben – bármelyik hidrogéntechnológiai tárolási forma valósul is meg – a hidrogén előállításáról kell gondoskodni. A már idézett tanulmány a WEM- és WAM-forgatókönyvekre a megújuló-, elsősorban tehát naperóműi kapacitásokhoz kapcsolva, elektrolizáló berendezések telepítését prognosztizálja 300 és 900 MW összes teljesítménnyel 2030-ig hazánkban [4], aminek eredményeként 0,8, illetve 2,3 TWh éves megújulóhidrogén-igényt lehet kielégíteni. A hidrogénigények ágazatonkénti megoszlását a 6. ábra szemlélteti. A tanulmányban alkalmazott modell a fosszilis-eredetű hidrogéntermelés felhasználását nem részletezi és a hidrogén lehetséges exportját vagy importját sem veszi figyelembe. Érdeemes például megjegyezni, hogy a fosszilis hidrogén-alapú ammóniagyártás mértéke 340 kt évente, amihez hozzávetőleg 2 TWh H₂-re van szükség. A WAM-forgatókönyvben megjelenő 0,12 TWh pusztán az a hazai megújuló forrásokból megtermelt hidrogén, ami a szükséges fosszilis-mennyiségnek részbeni kiváltását teszi lehetővé.

A hazai végső energiafelhasználásban (218 TWh) egyelőre még nem lesz tehát jelentős szerepe a megújuló hidrogénnek, de az ágazati megoszlás jelzi, hogy mely területeken érdemes a hazai telepítéseket és fejlesztéseket, pilot projekteket kezdeményezni.

A modellben figyelembe vett adatok szerint Magyarországon a hidrogén ipari felhasználásának jelentős szerepe lehet. Az ammóniagyártásról már megemlékeztünk, de a hazai olajfinomítók is fosszilis hidrogént használnak jelenleg. Emellett a földgáz is, amely a hazai ipari villamosenergia-szükséglet 30%-át biztosítja, könnyen kiváltható megújuló hidrogénnel. A magas hőmérsékletű ipari folyamatok energiaigénye hozzávetőleg az összes ipari energiaigény 26%-át teszi ki, amit jelenleg szintén fosszilis forrásokból oldunk meg. Összességében 0,5 és 1,33 TWh H₂ kerülhet évente az ipari igények kielégítésére a WEM- és WAM-forgatókönyvek szerint 2030-ban [4].

Magyarországon, az épített környezetben, a földgázfelhasználás a teljes hazai energiaigény közel felét és a fűtési szükségletek több mint 60%-t teszi ki. Ez ugyan óriási potenciált jelentene a tiszta hidrogén számára, de 2030-ban a fosszilis források 0,03, illetve 0,3 TWh mértékű éves megújuló hidrogénnel történő kiváltását (a WEM és WAM szerint) a szektor meg sem fogja nagyban érezni.

Közlekedési eszköz	Mennyiség, db	
	WEM	WAM
személyautó	41 100	82 200
busz	500	1 000
kistehergépjármű	2 700	5 500
nehézgépjármű	410	830
vonat	3	11

1. táblázat. Becslés a közlekedési ágazatban tüzelőanyag-cellás járművek mennyiségére (2030) [4]

Mint a legtöbb EU-tagállamban, hazánkban is nagy lehetőség van a hidrogén alkalmazására a közúti közlekedésben. Az ágazat energiafelhasználásának 44%-a a nehézgépjárművekhez, buszokhoz és kistehergépjárművekhez köthető. Mivel ezeknek a szegmenseknek a dekarbonizálása nehezen oldható meg akkumulátorokkal, megnyílik az út a hidrogén előtt. Magyarországon továbbra is léteznek nem villamosított vasúti szakaszok, a teljes vasúti szegmens 30%-ában, amelyek fosszilis (dízel) energiát használnak. A további villamosítás mellett meg lehet fontolni a megújuló hidrogén használatát a CO₂-kibocsátás csökkentése érdekében. Hosszabb távon a hidrogén és a szintetikus üzemanyagok a légi közlekedés dekarbonizációjához is hozzájárulhatnak. A WEM- és WAM-forgatókönyvek szerint 2030-ban 0,27 és 0,67 TWh hidrogénigény lehetséges a közlekedési szektorban. Az **1. táblázat** az ezekhez az energiaigényekhez rendelhető gépjárműszámokat is mutatja. A becslések szerint a hidrogéntöltő állomások száma 2030-ra 80–160 között alakulhat, ami 45 000–90 000 tüzelőanyagcellás gépjármű töltésére lenne alkalmas évente. Meg kell jegyezni, hogy jelenleg nincs hidrogéntöltő kút idehaza. Ennek fényében a fenti prognózis igen merésznek tűnik, de feltehető, hogy az ország átjárhatóságának igénye az tüzelőanyag-cellás járművek elterjedésével ezeket a töltőállomás-telepítési jóslatokat valóra válthatja.

A fenti számok azt valószínűsítik, hogy a hidrogénteknológiák környezeti, gazdasági és társadalmi hatása 2030-ban még nem lesz nagyon érezhető. A modell úgy kalkulál, hogy a megújuló hidrogénhez köthető szén-dioxid-kibocsátás csökkenése 0,3–0,7 Mt CO₂ lehet a WEM- és WAM-forgatókönyv szerint, ami a szükséges kibocsátáscsökkentés 1,4–3,2%-a. A hidrogénteknológiák telepítése révén 134–360 millió euró körüli éves árbevétel realizálható, ami közel megegyezik a beruházások költségeivel és 721–1548 új álláshely jöhet létre [4].

Nemzeti Hidrogénteknológia Platform

A Nemzeti Hidrogénteknológiai Platform (NHTP) 2020 májusában kezdte meg munkáját, amelynek célja egy iparági „fehér könyv” megalkotása, a hidrogénteknológiák piaci érvényesülését elősegítő szabályozási feladatok felmérése, az európai uniós támogatások hatékony lehívásához szükséges nemzetközi kapcsolatépítés és a gazdaságfejlesztés szempontjából fontos kulcsterületek azonosítása. A hidrogénteknológiák telepítését és fejlesztését

magas hazai hozzáadott érték mellett meg kell alapozni, hogy ezek a technológiák mielőbb piaci érettségig érjenek el, ahol már a szakpolitikai mechanizmusok és a piac szabályai átvehetik és tovább folytathatják a telepítést és a kapacitásnövelést.

A munka ugyan még folyamatban van, de a platform tagjainak kompetenciái alapján valószínűsíthető már most is pár kiemelt terület, ahol jelentős hazai hozzáadott érték jelenhet meg. Ezek közé tartozhat a tüzelőanyagcella-köteg beépítése a közlekedési alkalmazások (busz, kommunális gépjármű, hajó, drón) hajtásláncába, a tüzelőanyag-cellák integrálása néhány telepített energiaellátó alkalmazásba, valamint az elektrolízisteknológia laboratóriumi célú fejlesztése. Kialakíthatjuk az elektrolizáló berendezések, valamint a tüzelőanyag-cellák egyes komponenseinek, üzemegyensúlyi és segédberendezéseinek hazai beszállítói láncát, támogatva ezzel a hazánkban ezen a területen aktív globális nagyvállalatok fejlesztéseit. Horizontális tématerületekhez tartozik a technológiák integrálása a teljes értéklánc mentén, azaz az előállítástól a szezonális tároláson keresztül – a rendelkezésre álló fosszilizistáról kapacitások és földgázhálózat műszaki és biztonsági megfelelésének megteremtésével – a végfelhasználásig, mintaprojektken keresztül, amit egybe kell kötni az oktatási és a jogszabály-előkészítési tevékenységek támogatásával. A lehetséges területeket az ősz folyamán véglegesítjük, megalapozva a magyar hidrogénstratégiát. További információk a cikk szerzőjétől, illetve a www.hfc-hungary.org/platform honlapon kaphatók. ●●●

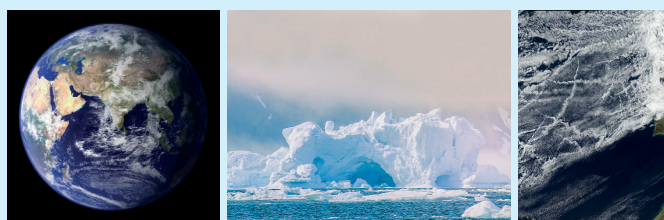
IRODALOM

- [1] Hydrogen scaling-up, Hydrogen Council, 2017.
- [2] Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve, 2020.
- [3] Hydrogen Roadmap Europe, FCH2-JU, 2019.
- [4] Opportunities for Hydrogen Energy Technologies considering the National Energy & Climate Plans, FCH2-JU, 2020.
- [5] Commercialisation of Energy Storage in Europe, Final report, FCH JU, 2015.

ÖSSZEFOGLALÁS

TOMPOS ANDRÁS: KLÍMAVÁLTOZÁS ÉS ENERGIAELLÁTÁS, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A MEGÚJULÓ FORRÁSOKRA

A klímacélok elérése és számos ágazat CO₂-mentesítése nem valószínűsíthető meg hidrogén nélkül, amire az előttünk álló évtizedben fel kell készülni. Ezt felismerve a Nemzeti Energia- és Klímaterveben (NEKT) hangsúlyosan jelennek meg a hidrogénteknológiák. Nemcsak az a cél, hogy a külföldön kifejlesztett műszaki megoldásokat itthon telepítsük, hanem arra kell törekedni, hogy megtaláljuk a hazai hozzáadott értékeket és gazdaságfejlesztési lehetőségeket. Fókuszálni kell a kutatás-fejlesztés és az innováció műszaki területeire, kezelni kell az oktatási, a piaci kihívásokat, valamint a jogi-közigazgatási környezet megváltoztatásának kihívásait is, illetve mindezek komplex rendszerét, mert csak egymással szinkronban lehet majd fokozatosan bővíteni a hidrogénellátási és felhasználási infrastruktúrát. A NEKT céljai eléréséhez még idén ki kell dolgozni a magyar hidrogénstratégiát.



Címlap: Blue Marble (NASA)

Belső borítók: Felmelegedés miatt olvadó jégtömbök az Arktiszon (csis.org)

Hátsó borító: Hajók útvonalatát követő, keskeny felhőcsíkok Portugália és Spanyolország partjainál. A hajók kipufogógázával keveredő felhőben több, de kisebb felhőcsepp keletkezik a szennyezés miatt, mint máshol: jobban szóródik a fény, mint a tiszta felhőn, ezért a csíkok fényesebbnek látszanak (NASA)