

Elektrolizálók: piaci és technológiai helyzetkép globális áttekintésben (International Energy Agency: „Tracking Clean Energy Progress 2023”)

Érdekes és informatív elemzés jelent meg a közelmúltban az elektrolizáló technológiák aktuális helyzetéről, piaci fejlődésükről a Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) részéről. A szélesebb kontextus, hogy a most bemutatott elemzés részét képezi az IEA tiszta energia fejlődésének nyomon követése (TCEP, *Tracking Clean Energy Progress*) című kezdeményezésnek, amely az energiarendszer több mint 50 olyan összetevőjének legújabb fejleményeit értékeli, amelyek kritikusak a tiszta energiára való áttérés szempontjából. Az értékelt összetevők között szerepelnek ágazatok, alágazatok, technológiák, infrastruktúrák és átfogó stratégiák egyaránt. Nyilvánvaló, hogy az elektrolitikus alapú hidrogénelőállítás kritikus technológiát jelent a megújuló vagy nukleáris villamos energiából származó, alacsony kibocsátású hidrogén előállításához, így az elemzett témakörök között szerepel önálló témaként immáron az elektrolízis technológia is.

A dedikáltan hidrogéntermelésre szolgáló elektrolízis-kapacitás az elmúlt években növekedett, de 2022-ben lelassult a növekedés üteme: mintegy 130 MW új kapacitás lépett üzembe, ami 45%-kal kevesebb, mint a megelőző évben. Ugyanakkor az elektrolizáló-gyártókapacitás tavaly óta több mint 25%-kal nőtt, és 2022-ben már közel évi 11 GW-ot ér el. Az összes, jelenleg előkészítés alatt álló projekt megvalósulása 2030-ra 170-365 GW telepített elektrolizáló-kapacitást eredményezhet.

Az elektrolizálók beépített kapacitása alacsony bázisról növekszik, és jelentős gyorsulásra van szükség ahhoz, hogy elérhető legyen 2050-ig az ún. Nettó Nulla Kibocsátási Forгатatókönyv (NZE, *Net Zero Emission*) célkitűzése, amely esetben a telepített elektrolizáló-kapacitás 2030-ra több mint 550 GW-ot kellene, hogy elérjen világszinten.

Régiós helyzetkép a kulcsszereplők vonatkozásában

Az előrehaladás különbözőképpen néz ki az egyes országok, régiók között, pl. jelenleg Kína vezet a beépített kapacitás terén, az Európai Unió és az Egyesült Államok fontos szakpolitikákat, stratégiákat fogadtak el e téren. Az elektrolizálók terén jelentősebb előrelépést mutató országok, régiók a következők:

- Kína vezet mind a beépített elektrolizáló-kapacitások terén, mind ezek gyártási kapacitása terén. 2022-ben közel 220 MW működő, kumulált kapacitással rendelkezett az ország és ez a szám ~750 MW működő elektrolizáló-kapacitás lesz 2023 végére. A gyártókapacitások terén jelenleg Kína önmagában a globális gyártókapacitás 40%-át adja,
- az Európai Unióban 2022-ben 80 MW/év új telepített elektrolizáló-kapacitás létesült, ami több mint kétszerese a 2021-ben telepített kapacitásnak. 2022 júliusában a Bizottság 5,4 milliárd eurós finanszírozást hagyott jóvá az első hidrogénnel kapcsolatos, közös európai érdekű fontos projekt (IPCEI), a Hy2Tech támogatására, amely a hidrogéntechnológiákra összpontosít, beleértve az elektrolizáló-gyártóknak nyújtott ösztönzőket is,
- az Egyesült Államok 2022-ben az inflációcsökkentési törvény (IRA, *Inflation Reduction Act*) keretében fontos ösztönzőket alkotott meg, egyebek mellett az elektrolizáló-gyártási kapacitások létesítésének finanszírozására szolgáló hitelt is. Az IRA rendelkezései már kezdik meghozni gyümölcsüket, és egyre több bejelentés érkezik az USA-ból új elektrolízisgyártó üzemekre vonatkozóan.

A kapacitások fejlődése, technológiai megoszlása

Bár a globálisan belépű új elektrolizáló-kapacitások mértéke - a meglévő lendület ellenére - némi lassulást mutatott 2022-ben, de a beépített kapacitás világszinten így is majdnem elérte a 3 GW-ot 2023-ban. A következő táblázat elektrolizáló típusonként és összegzett formában is bemutatja a kumulált elektrolizáló kapacitás alakulását az utóbbi öt évben (, melyek közül a 2023-ra vonatkozó érték még csak előzetes becslés).

1. táblázat: a beépített elektrolizáló-kapacitás technológiai megoszlás szerint, és a „Net Zero Emissions 2050” forgatókönyv megvalósulásához szükséges kapacitás értéke 2030-ra (forrás: IEA, 2022)

Year	Alkaline (MW)	PEM (MW)	Other/unknown (MW)	Total (MW)
2019	164	80	13	257
2020	197	108	14	319
2021	354	147	58	559
2022	404	217	66	687
2023e	1152	921	811	2884
...				
2030 – NZE	-	-	-	560 000

Megjegyzés: a táblázat csak a dedikáltan hidrogén-előállítást szolgáló elektrolizáló kapacitásokat tartalmazza; a klór-alkáli iparban használt elektrolizálókat nem. A 2023. évre vonatkozó adat előzetes becslés (lásd „e” index – „estimaion”), amely időközi adatokon és a már meghozott végső beruházási döntéseken (FID) alapuló projektek várható 2023-as üzembe lépésével együtt értendő. (A klóralkáli ipar említése azért lényeges, mert itt régóta és széles körben használnak elektrolizálókat, és e szektorban a beépített kapacitás meghaladja a 20 GW-ot. A klóralkáli ipar az elektrolízist klór és nátrium-hidroxid – előállítására használja sok évtizede.)

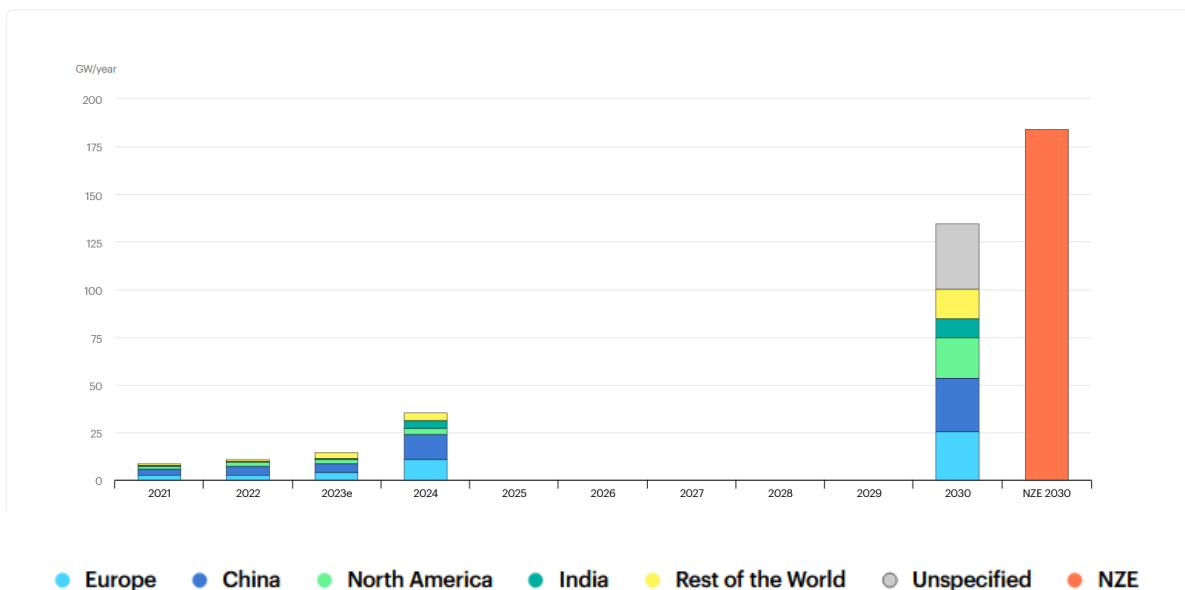
Az elektrolizálók célzottan hidrogéntermelésre történő alkalmazásának üteme csak a 2010-es évek végén kezdett – érzékelhető módon - felgyorsulni. Az éves kapacitásbővítések jelentős növekedése 2021-ben, a telepítés rekordévében volt tapasztalható, amikor több mint 200 MW elektrolízis-kapacitás lépett működésbe világszinten. Az ígéretes projektbejelentések ellenére a kapacitásbővítés 2022-ben 130 MW/év értékre lassult, a teljes beépített kapacitás tavaly év végére pedig mintegy 690 MW volt. Az egyik kínai megaprojekt (*Ningxia Solar Hydrogen Project*) egymaga 150 MW-tal járult hozzá a 2021-es bővüléshez, ami önmagában (egyetlen projektként) közel kétharmadát adta a teljes kapacitás-növekedésnek. A 2022-es növekedés üteme már újra a korábbi évek trendjéhez igazodott. Ugyanakkor a kínai piacról érkező bejelentések a nagyobb, több száz MW-os nagyságrendű projektek irányába mutató tendenciát jeleznek.

A jelenleg fejlesztés alatt álló projektek és azok várható üzembe helyezésének időpontja alapján a globális elektrolízis-kapacitás 2023 végére közel 3 GW-ot érhet el, ami 2022-hez képest több mint négyszeres növekedést jelentene a teljes kapacitásban. Ha az összes, jelenleg előkészítés alatt álló projekt megvalósul, a globális elektrolízis-kapacitás 2030-ra elérheti a 170-365 GW-ot. Ebben Európa és Ausztrália áll az élen, a tervezett kapacitások kb. felével, majd Latin-Amerika következik a bejelentett projektek mintegy 15%-ával. E projektek fejlesztését azonban továbbra is bizonytalanság övezi, amelynek fő akadályai a jövőbeni kereslet bizonytalansága, a szabályozás és a tanúsítás tisztázatlansága, a hidrogén végső fogyasztókhöz való eljuttatásához szükséges infrastruktúra hiánya, valamint - a feltörekvő gazdaságok esetében - az alacsony költségű finanszírozáshoz való nagyon korlátozott hozzáférés.

Azonban még ezen előrevetített, gyorsléptékűnek tűnő fejlesztési ütemet is túl kéne haladni, mert az 1. táblázatból az is látható, hogy a *Net Zero* (NZE) forgatókönyv eléréséhez 2030-ra ~560 GW beépített elektrolizáló-kapacitásra lenne szükség, ami a fentebbi, előrevetített érték(tartomány) ~1,5-3-szorosa. Az elektrolizáló projekt 'pipeline'-t elvileg tehát még gyorsabb ütemben kellene realizálni.

Gyártói kapacitások

Az elektrolizáló-gyártók már megkezdtek termelési kapacitásaik bővítését a kereslet jövőbeni növekedésére vonatkozó várakozások alapján. A 1. ábra idősorban és a főbb régiók szerinti megoszlásban, továbbá a 2030-ra várható előrejelzés szerint is mutatja az elektrolizáló-gyártási kapacitásokat GW/év mértékegységben.



1. ábra: elektrolizáló-gyártási kapacitások időszora és földrajzi megoszlása, valamint a „Net Zero Emissions (NZE) 2050” forgatókönyv megvalósulásához szükséges gyártókapacitás 2030-ra (forrás: IEA. Licence: CC BY 4.0)

A globális elektrolizáló-gyártókapacitás 2022-ben megközelítette a 11 GW/év értéket, ami több mint 25%-os növekedést jelent az előző évhez képest. A globális gyártási kapacitás kétharmadát Európa és Kína adja. Mivel az elmúlt években a kifejezetten hidrogén előállítására szolgáló elektrolízis üzemek kapacitásának bővítése x10 és x100 MW közötti nagyságrendben történt, e technológia globális gyártási kapacitása jelenleg nagyrészt kihasználatlan (még a klóralkáli alkalmazásokhoz kapcsolódó telepítésekkel együtt is). A gyártók a jelenlegi piaci növekedést az egyre nagyobb szabású projektet bejelentéseire, a jövőbeni keresletnövekedésre vonatkozó várakozásokra, valamint az ambiciózus nemzeti szakpolitikákra alapozzák.

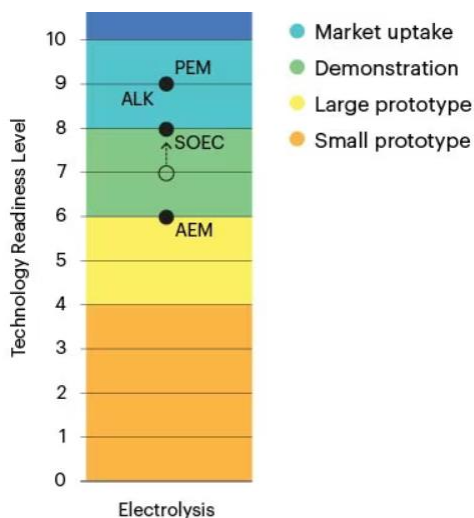
A vállalati bejelentések alapján az elektrolizáló-gyártási kapacitások globálisan 2030-ra meghaladhatják a 130 GW/év értéket. Ez az NZE forgatókönyv megvalósulásához szükséges kapacitásnak közel háromnegyedét teszi ki. Az európai és kínai gyártás még mindig az élen járna 2030-ban, az ekkori globális kapacitás egy-egy ötödét reprezentálva. A mérleg „negatív serpenyőjében” az van, hogy 2030-ig tervezett összes tervnek eddig kevesebb mint 10%-a jutott el a végleges beruházási döntésig, 25%-át pedig még nem meghatározott helyszínnel jelentették be. Ez azt jelzi, hogy a jövőbeni gyártási kapacitások telepítése viszonylag nagyfokú bizonytalanságot mutat, amelyet jelentős mértékben befolyásolhat az egyes országok támogató szakpolitikai háttere (vagy annak hiánya).

Innováció

A lúgos és PEM típusú elektrolizáló technológiák kereskedelmi forgalomban kaphatók, érett technológiák (TRL-9 szinten vannak), de szakpolitikai támogatásra és fejlesztésekre van szükségük ahhoz, hogy versenyképesek legyenek a fosszilis alapú hidrogénelőállításához képest. A szilárd-oxidos (SOEC) elektrolizálók is gyorsan közelítenek a kereskedelmi érettséghez; idén áprilisban egy 2,6 MW-os SOEC elektrolizáló egységet helyeztek üzembe a hollandiai Neste finomítóban. Néhány héttel később egy 4 MW-os SOEC rendszer lépett üzembe Kaliforniában a NASA egyik kutatóegységénél. A Bloom Energy és a Topsoe cégek is fejlesztik SOEC gyártókapacitásaikat; utóbbi cég Dániában egy 500 MW/év (SOEC) gyártókapacitású üzemot épít, amely várhatóan 2025-ben kezdi a gyártást. Az anioncserélő membrános (AEM) elektrolizálók a fejlesztés korábbi szakaszában vannak: gyártják és forgalmazzák is ezeket, de még nagyon kis léptékben. Az Alchemr cég már rendelkezik néhány kW-léptékű AEM elektrolizálóval, az Enapter pedig 2023-tól kis léptékben már gyártani kívánja AEM elektrolizálóját Németországban.

Az egyes elektrolizáló típusok tőkeköltségeit nehéz összehasonlítani, mivel gyakran nincs elegendő információ az egyes rendszer „hatóköréről” vagy a legfontosabb paramétereikről (pl. megbízható élettartam adatok, degradációs ráták, O&M szükségletek). A lúgos elektrolizáló-technológia költségei azonban az elmúlt évtizedekben általában mérsékelten csökkentek, míg a PEM-technológia jelentős költségcsökkenést mutatott, bár még mindig mintegy 30%-kal drágább,

mint a lúgos rendszerek. Ezeket a költségcsökkentéseket többnyire K+F tevékenység révén valósították meg, jelentős piaci elterjedés hiányában. A telepített elektrolizáló rendszerek beruházási költségei jelenleg az alkális (lúgos) technológiák esetében 500 – 1.400 USD/kW_e között mozognak, és 1.100 – 1.800 USD/kW_e között a PEM technológia esetében, míg a SOEC becsült fajlagos költsége 2.800 – 5.600 USD/kW_e között mozog.



2. ábra: elektrolizáló típusok technológiai érettségi szintje, TRL. (forrás: IEA. 2023)

A kifejezetten hidrogén előállítására szolgáló elektrolizálókat hagyományosan kis mennyiségben, és „rés piacokra” (*niche*) gyártották, de a gyártási kapacitások várható növekedése a méretgazdaságosság és az automatizálás révén várhatóan csökkenteni fogja a beruházási költségeket valamennyi elektrolizáló-technológia esetében. Az elektrolízis üzemek ellátási láncainak optimalizálása várhatóan szintén költségcsökkenést eredményez.

Az elektrolizáló létesítmények hatásfokának alakulása hasonlóan bonyolult kérdés, mivel a hatásfok a rendszer kialakításától és az optimalizálási céloktól függ. Az alkális és a PEM elektrolizálókat hasonló hatásfokkal rendelkeznek, és - a kialakítástól függően - rugalmasan működhetnek, lehetővé téve a fluktuáló megújuló villamosenergia-forrásokkal való közvetlen összekapcsolást. A SOEC-rendszerek magasabb elektromos hatásfokot értek el (a Sunfire 84%-ot ért el¹, bár ez nem hasonlítható össze közvetlenül más technológiákkal, mivel a SOEC-rendszereknél jelentős hőbevitelre van szükség), és ígéretes megoldást jelenthetnek ott, ahol magas hőmérsékletű „hulladék hő” áll rendelkezésre (például ipari központokban, mivel a SOEC működéséhez 650 °C-nál magasabb hőmérsékletre van szükség). Az elmúlt néhány évben új elektrolizálókat különösen magas hatásfokról számoltak be, mint például a Hysata² kapilláris elektrolízis-technológiája (80%-os hatásfok, fűtőértéken számolva).

Az innováció a kritikus anyagok, főleg a nemesfémek használatának csökkentése terén is érzékelhető. Például 2023-ban egy start-up cég (Bspkl³) tőkét gyűjtött egy olyan katalizátorral bevont membrán (CCM) kereskedelmi forgalomba hozatalához, amely a hagyományos PEM-konstrukciókhoz képest 25-ször kevesebb irídiumot és platinát tartalmaz. A Clean Power Hydrogen⁴ (CPH2) olyan membránmentes elektrolizálót fejlesztett ki, amely nem használ platinacsoportba tartozó fémeket (PGM), ugyanakkor növelheti a rendszer élettartamát.

Szakpolitikák

A különböző, de főként energetikai jellegű szakpolitikák, stratégiák révén egyes országok jelentősen megnövelték az elektrolizáló-kapacitások kiépítésére irányuló törekvéseiket. Egyre több kormányzat határoz meg célokat az alacsony karbonintenzitású hidrogéngyártó kapacitások kiépítésére, hogy jelezze – a piac felé is – a hidrogéntechnológiákkal kapcsolatos hosszútávú elképzeléseit. Ez némi lendületet ad az iparág számára; az elektrolizáló kapacitások kiépítésére vonatkozó nemzeti célok összege jelenleg ~160-210 GW, ami 10%-os növekedést jelent 2022-hez képest. A kormányok

¹ <https://www.sunfire.de/en/news/detail/worlds-largest-high-temperature-electrolyzer-achieves-record-efficiency#:~:text=%E2%80%9CFor%20the%20first%20time%2C%20the,one%20else%20has%20achieved%20before>

² <https://hysata.com/technology/>

³ <https://www.bspkl.co/>

⁴ <https://www.cph2.com/>

új mechanizmusokat kezdtek elfogadni a projektfejlesztők támogatására és a beruházási kockázatok mérséklésére. Számos kormány kezdett el támogatás, kölcsön, adókedvezmény és széndioxid-különbözet alapján szerződéses (CCfD⁵) formájában szakpolitikai eszközöket bevezetni a piac korai fejlesztése érdekében:

- Egyesült Államok: 2021-ben az amerikai kongresszus elfogadta a kétpárti infrastrukturális törvényt (*Bipartisan Infrastructure Act*), amely támogatást nyújt hidrogénközpontok létrehozásához (a kiválasztott projekteket 2023 harmadik negyedévében jelentik be); valamint ösztönzőket az infrastruktúra és az elektrolizáló-gyártás előmozdítására. A 2022 augusztusában aláírt IRA törvény (*Inflation Reduction Act*)⁶ számos adókedvezményt és pályázati támogatást kínál a hidrogéntechnológiák támogatására, ami várhatóan pozitív hatással lesz az elektrolizáló rendszerek telepítésére és a gyártóüzemeikre is,
- Európai Unió: az Európai Bizottság 2022. júliusában 5,4 milliárd eurós finanszírozást hagyott jóvá az első, hidrogénnel kapcsolatos, közös európai érdekű fontos projekt (IPCEI⁷) támogatására, amelynek középpontjában a hidrogéntechnológiák állnak. 2023 februárjában a Bizottság elfogadta azt a felhatalmazáson alapuló jogi aktust, amely meghatározza a megújulóknak (RFNBO-nak) minősülő hidrogén előállítás kritériumait és ez végül júliusban hatályba is lépett. 2023 márciusában elindult az Európai Hidrogén Bank, amelynek célja, hogy fedezze az EU-n belül előállított és importált megújuló alapú hidrogénnel szembeni kezdeti zöld prémiumot. Az első, 'pilot' jellegű árverés 2023 harmadik negyedévében indul,
- Németország: 2021-ben elindította a H2Global kezdeményezést, amely a CCfD megközelítéshez hasonló mechanizmust alkalmaz és a keresleti és kínálati árak közötti különbséget a német kormány által nyújtott támogatással kompenzálja. A pályázati eljárás 2022 decemberében indult⁸, az ez alapján várható első szállítások legkorábban 2024 végére várhatóak, bár a közelmúltban meghosszabbították a határidőket,
- Egyesült Királyság: 2021-ben a CCfD-khez hasonló megközelítésen alapuló, low-carbon hidrogénre vonatkozó üzleti modellt mutatott be, amely 2022-ben nyilvános konzultáción ment keresztül. A kormány 2022 júliusa és 2023 januárja között megnyitotta az első Elektrolitikus Allokációs Fordulót, és előválogatta a projekteket, amelyek célja min. 250 MW kapacitás támogatása volt. A második allokációs forduló 2023 végén várható.

Beruházások:

Az elektrolizálók telepítésébe történő beruházás továbbra is növekszik, az előző évhez képest több mint kétszeresére nőtt. Annak ellenére, hogy 2022-ben az elektrolizáló-kapacitásnövelés alacsonyabb volt a 2021-es eddigi történelmi csúcshoz képest, az e területre irányuló beruházások továbbra is növekednek, ami a teljes 'projekt pipeline'-nak és a szakpolitikai támogatásnak köszönhető. Számos projekt van építés alatt és várhatóan 2023-ban lép működésbe egy 260 MW-os kínai létesítmény, amelyre a finanszírozást már lekötötték. Becslések szerint a 2022-es beruházások globálisan meghaladják a 0,6 milliárd USD-t, ami több mint kétszerese az előző évi ráfordításnak. Ennek nagy része kormányzati finanszírozásra támaszkodik, olyan támogatásra, amely továbbra is segíti a projektek életképességét. Azonban még túl korai konklúziót levonni arra vonatkozóan, hogy a közelmúltban elfogadott jelentős hidrogén szakpolitikák teljes hatása tükröződik-e a projektberuházásokban.

Forrás:

International Energy Agency: „Tracking Clean Energy Progress 2023 – Electrolysers

<https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/electrolysers#tracking>

⁵ CCfD: Carbon Contracts for Difference

⁶ <https://www.hfc-hungary.org/jelentes-tamogatások-a-hidrogenszektor-fejlesztésére-az-usa-ban/>

⁷ https://www.hfc-hungary.org/Hydrogen_IPCEI_2019_final.pdf

⁸ Hidrogén Hírlevél, #2023/1 (6. oldal.) https://hfc-hungary.org/H2_Hirlevel_2023_1_marcius.pdf