

A szén-dioxid kibocsájtás megszüntetésének lehetőségei, hatásokok, költségek

Possibilities, efficiency and costs of eliminating carbon dioxide emissions

Möglichkeiten, Effizienz und Kosten der Eliminierung von Kohlendioxid-Emissionen

Wiegand Győző, ETE elnökhelyettes, titkarsag@ete-net.hu

Mottó: Ha valamit nem akarunk tudomásul venni, attól az még behatárolhatja a lehetőségeinket.

A CO₂ kibocsájtás megszüntetése – amit az EU 2050-re tervez végrehajtani – a meglévő energetikai technológiák teljes lecserélését igényli. Óriási aktivitás tapasztalható az új technológiák fejlesztésében, azonban szinte alig foglalkozik valaki a javasolt technikák hatásfokával és várható költségeivel. Az alábbi tanulmány ezeket a problémákat értékeli. Sajnos következtetései súlyos nehézségeket jeleznek.

The elimination of CO₂ emissions, which the EU plans to implement by 2050, requires a complete replacement of existing energy technologies. There is a huge amount of activity in the development of new technologies, but hardly anyone cares about the efficiency and expected costs of the proposed techniques. The following study assesses these problems. Unfortunately, its conclusions indicate serious difficulties.

Célok a karbonsemleges Európa megvalósításáért

Igyekeztem figyelemmel kísérni a „globális felmelegedés” megállításáért folyó világméretű „küzdelem” eseményeit. (A közelmúltban a Glasgowban tartott konferencián elhangzottak és a „vállalt intézkedések” ezt különösen aktuálissá teszik.)

Az alapcél a CO₂ kibocsájtás megszüntetése, a karbonsemlegesség elérése lenne. Ezt az EU 2050-re felvállalta. Más országok „vállalásai” sokkal lazábbak.

A karbonsemlegesség tulajdonképpen az EU-ban négy „célrendszer” elérését igényli.

- I. A villamosenergia termelés átállítása kizárólag „megújuló energiákra”. (Lényegében nap és szélerőművekre, miután az atomenergetikát nem kívánják érdemben fejleszteni, sőt a meglévő atomerőművek nagyrészének leállítását tervezik, a vízerőmű létesítés lehetőségei pedig már nem jelentősek.)
- II. A helységi fűtést átállítani döntően – villamosenergiával működtetett – hőszivattyús technológiákra. A földgázfelhasználás teljes megszüntetése. (A biomassa maradhatna, de mennyisége szigorúan korlátozott.)
- III. A közlekedésből a kőolaj termékek (benzin, gázolaj, kerozin) teljes kiiktatása, helyette vagy akkumulátorok használata vagy villamosenergia igénybevételével termelt hidrogén alkalmazása.
- IV. A vegyipari és építőipari, valamint kohászati technológiákból a földgáz (esetleg olaj) és a szén teljes kiiktatása hidrogénnel vagy más szintetikus gázzal, például metánnal való helyettesítése.

A karbonsemlegesség elérésének feladatai

Mindezek végrehajtása óriási energiátárolási, konkrétan villamosenergia tárolási feladatok megoldását, valamint a hidrogén technológia alkalmazása esetén kolosszális mennyiségű energia átalakítási és hidrogén tárolási feladat megvalósítását igényli. A szükséges energiaátalakítási és energiátárolási feladatoknak a technikai megoldásai lehetségesek. Ezeket a technológiai megoldásokat bemutató – nagyrészt laboratóriumi vagy demonstrációs célú eredményeket – ismertető és értékelő irodalom többszázezer oldalnyi terjedelmű. Mindez a szinte áttekinthetetlenül hatalmas ismerethalmaz azonban alig tartalmaz valamit ezeknek a technológiáknak a hatékonyságáról és a várható költségeiről. (A költségek jelentős részben az elérhető hatékonyságok függvényei is.)

Feladatok és következmények a villamosenergia termelésben

A kizárólag megújuló energiák igénybevételével folytatott villamosenergia termelés határfok problémái döntően nem a napelemek és a szélérőművek határfokával függenek össze¹, hanem a villamosenergia tárolás határfokával. Mind a napelemekkel, mind a szélérőművekkel történő villamosenergia termelés – ha a fosszilis tüzelésű és az atomerőművi villamosenergia termelést meg kívánjuk szüntetni – a villamosenergia tárolás igénye óriási, erre háromféle megoldás vehető figyelembe.

1. Szivattyús tározós vízerőmű létesítése. Ez esetben a kedvező szélviszonyok és besugárzási viszonyok időszakában termelt „többlet” villamosenergiát arra használjuk, hogy vizet szivattyúzzunk egy magaslaton lévő víztárolóba, ahonnan aztán az energiahiányos időszakban – sötétben és szélcsendben – leeresztve a vizet, vízturbinával villamosenergiát termelhetünk.

Ennek a technológiának az eredő hatásfoka jó. A víz felszivattyúzásához felhasznált villamosenergiának több, mint 75 százalékát a vízturbinákkal hajtott generátorokból visszanyerhetjük. Az eredő hatásfok öt egymást követő folyamat hatásfokának a szorzata. Veszteségek keletkeznek a vízpumpákat meghajtó villanymotoroknál és a vízpumpáknál, megjelennek a fel és leáramlást biztosító csővezetékek áramlási veszteségei, végül a vízturbináknál és a turbinák által meghajtott generátoroknál is veszteségek vannak. Itt villamosenergia kinetikus, illetve helyzeti energiává alakításáról és visszaalakításáról van szó. A technika kiforrott, csak minimális tökéletesítése lehetséges.

A szivattyús tározós erőművek alkalmazásának két korlátja van. A tárolt energia mennyisége relatíve nem lehet nagy – a magaslati víztárolók méretei behatároltak. Így például arra jók, hogy a naperőművek nappali termelési maximumának és éjszakai leállításának kiegyenlítését biztosítsák. Az esetleges több hetes szeles és szélmentes

¹ A szélérőművek és a napelemek hatásfoka nehezen definiálható. A szélérőműveknél úgy értelmezhető a hatásfok, hogy a rotorlapátok által lefedett területen átáramló levegő mechanikai energiájának a berendezés mekkora hányadát képes mechanikai, majd villamosenergiává alakítani. Szélenergia – mechanikai átalakítás hatásfokát a Betz törvény korlátozza (59,3%). A szélérőmű létesítési költsége döntően a rotorlapátok által lefedett terület nagyságától függ. Feltételezem, hogy a tervezők a rotorlapátok kialakítását és szabályozását aerodinamikailag optimalizálták. A szélérőmű árának és az általa fejlesztett villamosenergia értékének az aránya az egység teljesítménynövelésével javítható. Ez indokolja az egyre nagyobb szélérőmű egységek létesítését. A napelemek „hatásfoka” úgy értelmezhető, hogy a napelem panelt ért napsugárzás energiájának mekkora hányadát tudják villamosenergiává alakítani. A napelem telep ára közelítőleg a lefedett területtel arányos. Ha sikerül ezt a „hatásfokot” javítani, úgy javul a gazdaságosság. Így messze nem igaz az az időnként elhangzó „butaság” miszerint „a nap ingyen süt és a szél is ingyen fúj, így nincs nagy jelentősége a hatásfoknak”.

időszak fogyasztás kiegyenlítése már kezelhetetlenül óriási víztárolókat igényelne. A nyári és téli termelés és fogyasztás kiegyenlítésére pedig teljesen alkalmatlanok. (Nehézséget jelent az is, hogy létesítésük ellen lényegében ugyanazok a környezetvédők tiltakoznak, akik egyébként a CO₂ kibocsátás megszüntetését követelik.)

2. A hosszútávú – például a téli és nyári – termelési és fogyasztási mérleg kiegyenlítésére alkalmasnak tűnő technológia a vízbontás segítségével villamosenergiával termelt hidrogén előállítás, annak tárolása majd belőle a fogyasztói igényeknek megfelelően történő villamosenergia termelése lehetne. Ennek a technológiának azonban nagyon alacsony – maximum 40 százalék – az összesített hatásfoka. (Tehát a kedvező időszakban – például nyáron napsütésben és/vagy megfelelő szélviszonyok mellett – termelt villamosenergia maximum 40 százalékát lehet végül újra visszanyerni villamosenergia formájában, legalább 60 százalék elvész.) A maximum 40 százalékos hatásfok az egymást követő energiaátalakítási folyamatok eredője, amit növelnek még a szállítási és hidrogéntárolási veszteségek is. A legnagyobb veszteség azonban a termodinamika II. főtétele miatti veszteség, ami akkor keletkezik, amikor a hidrogénből akár gázturbinában, akár üzemanyag cellában újra villamosenergiát állítunk elő. Ez a veszteség kiküszöbölhetetlen! Így ahhoz, hogy a kedvezőtlen szélviszonyok esetén és sötét vagy csökkent napsugárzási körülmények között is elláthatók legyenek a fogyasztói igények a felhasznált villamosenergia legalább 2,5-szeresét kell megtermelni. 2,5-szeres erőművi teljesítményre van szükség, meg kell építeni és üzemeltetni a vízbontókat és tárolni kell a végül maximum 40 százalékos hatásfokkal drága berendezésekben újra villamosenergiává alakítható hidrogént. (Ehhez nyilván a fogyasztói igények 2,5-szeresének megfelelő teljesítményt kell beépíteni és azt a 60 százalékot is meg kell termelni, ami elvész.)

A hidrogén technológiát népszerűsítő optimista kicsengésű hírek erről a problémáról nem tájékoztatnak és arról sem hallunk szinte semmit, hogy mindez mibe kerül? Mibe kerül az a technológiai rendszer, amely a naperőművek háromszoros nyári villamosenergia termelésének nagyrészt képes hidrogénné konvertálni, azt körülbelül fél évre letárolni, majd a befektetett energia 60 százalékának elvesztését követően télen a fogyasztók rendelkezésére bocsájtani? Óriási beruházásokat kell végrehajtani, miközben a megtermelt villamosenergia 60 százaléka csak a környezetet melegíti.

3. Az akkumulátoros villamosenergia tárolás hatásfoka lényegesen jobb, mint a hidrogéntechnológiáé. A lítium ion akkumulátorokba betáplált villamosenergia kb. 80 százaléka ugyancsak villamosenergia formájában visszanyerhető. (A 20 százalék veszteségbe az egyenirányító és váltóárammá visszaalakító konverterek, valamint a transzformátorok és a hálózat veszteségei is „beleférnek”).

Az akkumulátorokkal a fő probléma a magas árak. (A remélhető ár is legalább 100 USD/kWh.) A szélmentes időszak kiegyenlítéséhez szükséges akkumulátorok ára már az elviselhetetlenség szintjén lenne. A téli-nyári kiegyenlítéshez szükséges akkuk ára pedig például Magyarországon az ország több évi GDP ráfordítását igényelné. További probléma a szükséges nyersanyagok (lítium, kobalt, ritka fémek stb.) biztosítása, valamint az irdatlan mennyiségű elhasznált akkumulátor feldolgozása és újrahasznosítása lenne. Ez az út járhatatlan.

Mindebből egyértelműen látható, hogy nagy mennyiségű villamosenergia hosszabb időre történő tárolása megoldatlan és a belátható jövőben – például 2050-ig – megoldhatatlan. A még legígéretesebbnek tűnő hidrogén technológiai sem járható út, aminek fő oka a következetesen

elhallgatott nagyon alacsony hatásfok és részben ennek következtében várható elviselhetetlen költségek.

A helységi fűtés átállítása hőszivattyús rendszerre nem vet fel jelentős hatásfok problémát. Az e célra felhasznált villamosenergia – a hőszivattyús rendszer révén az adott körülmények által meghatározott – „jósági szorzószám-szoros” mennyiségű helységi fűtési energiát szolgáltat. (Ez a bevitt villamosenergia 2,5-3,5-szöröse.) Itt az alapprobléma az, hogy a többlet villamosenergia igény a téli fűtési időszakban jelenik meg, amikor a napelemek teljesítménye a minimális.² (Emiatt kellene a naperőművek nyári villamosenergia termelésének nagyrészt tárolni és télen felhasználni, ami a megelőzően kifejtettek miatt elviselhető költségek mellett megoldhatatlan.)

Feladatok és következmények a közlekedésben

Bonyolultabb összefüggések vannak a közlekedésben. A már jelentős mértékben – a személygépkocsik 1-2 százaléka – alkalmazott technológia a villamos meghajtás. A szükséges villamosenergiát a gépkocsik által szállított akkumulátorok biztosítják. Ez a technika elég jó hatásfokkal hasznosítja a villamosenergiát. Az akkutöltésre felhasznált villamosenergia kb. 80 százaléka mechanikai energia formájában megjelenik a gépkocsi meghajtó kerekein. Ha a villamosenergiát megújuló energiából állítjuk elő vagy esetleg atomerőművekben, úgy széndioxid kibocsátás nem történik.³ (Természetesen megjelennek az óriási mennyiségű akkumulátor előállításának és kb. tízévenkénti cseréjének, valamint az elhasznált akkuk feldolgozásának problémái és költségei. A világ akkumulátor gyártását körülbelül ötvenszeresére kellene növelni, miközben az akkugyárak létesítése miatt is nagyrészt azok a környezetvédők tiltakoznak legelszántabban, akik a CO₂ kibocsátás megszüntetését követelik.)

Ennél is sokkal kedvezőtlenebb a helyzet, ha – esetleg részben a megelőző zárójelben szereplő problémák miatt – a hidrogén technológiát terveznék alkalmazni a gépjárművek energia ellátására.

Ez esetben a megújuló energiával működő – vagy esetleg atomerőművekben fejlesztett – villamosenergiával vízbontásos technológiával először hidrogént kell termelni. (Itt már jelentős veszteségek keletkeznek.) A hidrogént el kell juttassuk a töltőállomásokra, illetve átmenetileg tárolnunk kell. (Ez sokba kerül, de a veszteségek remélhetőleg nem túl nagyok.) Végül a gépkocsikat vagy hidrogénnel üzemeltetett belsőégésű motorral vagy hidrogénnel működtetett tüzelőanyag cellákkal termelt villamosenergiával hajtjuk meg.

² A helységi fűtés teljes átállása a hőszivattyús rendszerekre a villamosenergia igények 60-70 százalékkal történő növekedését eredményezné. Ezt az óriási villamosenergia többletet, amely ráadásul a téli időszakban jelenik meg, teljes egészében megújuló energiával, esetleg atomenergiával kellene fedezni. Ez csak a nyáron termelt villamosenergia nagy részének téli történő átvitelével lenne megoldható. Ha a hőszivattyúk villamosenergia igényét fosszilis energiával működő erőműben állítjuk elő, akkor széntüzelés esetén legalább kétszeres, gáztüzelés esetén pedig kb. ugyanannyi CO₂ kibocsátás jelenik meg, mintha a fűtést közvetlen gáztüzeléssel kondenzációs kazánok biztosítanák. A szükséges berendezések ára pedig legalább négyszerese lenne a közvetlen gáztüzelés készülékeinek.

³ Ha a villanyt széntüzelésű erőműben állítjuk elő, úgy az akkumulátorral működő villanyautó kb. kétszer annyi CO₂ kibocsátást eredményez, mintha benzinnel vagy dízelolajjal működne. Ha a villamosenergia termelése gáztüzelésű erőműben történik, akkor a CO₂ kibocsátás kb. azonos a benzin vagy dízelolaj hajtásával, miközben a szükséges berendezések ára széntüzelésnél közel háromszorosa, gáztüzelésnél is legalább kétszerese lenne a benzinüzemű vagy dízelmotoros megoldásnak.

Mindkét esetben kiküszöbölhetetlenül megjelenik a termodinamika II. főtétele által meghatározott veszteség. Az összes veszteséget figyelembe véve a felhasznált villamosenergia, 30, maximum 35 százaléka jelenhet meg a gépkocsik meghajtó kerekein mechanikus energia formájában. (65-70 százaléka a megtermelt villamosenergiának elvész, csak a környezetet fűti.) Ráadásul ezt a nagyon szerény eredményt is rosszul kihasználható, drága berendezésekkel tudjuk elérni és megújuló energiával működő erőművet is kb. háromszor annyit kell építeni, mint amennyi mechanikus energia a gépkocsik meghajtó kerekeire eljuttatható.

A hidrogéntechnológia propagálói ezeket a nyilvánvaló problémákat elhallgatják. A valóságban ezek az alacsony hatásfok miatti problémák a hidrogén technológia alkalmazhatóságát mind a hosszabbtávú villamosenergia tárolásban, mind a közlekedés CO₂ mentesítésében lényegében értelmetlenné teszik.

Feladatok és következmények az iparban

A negyedik „célrendszer” a vegyipari, építőanyagipari és kohászati technológiákból a földgáz és a szén kiváltása a technológiák teljes átalakítását és új, eddig nem alkalmazott megoldásokat igényel. Ahol ez lehetséges a közvetlen villamosenergia felhasználás indokolt. Ez esetben jobb hatásfokokat lehet elérni. A hidrogén vagy a szintetikus metán használata esetén azonban itt is megjelennek a termodinamika II. főtétele miatti elkerülhetetlen veszteségek. (Sehol nem lehet másodfajú perpetuum mobilét építeni.)

A leírtakból egyértelműen következik, hogy a hidrogéntechnológia sem a villamosenergia tárolásban, sem a gépkocsi üzemeltetésben nem olyan ígéretes, mint amilyennek sokan vélik. Széleskörű alkalmazását szinte megoldhatatlan problémák akadályozzák.⁴

⁴ Ismereteim szerint ma kerekén 90 Mt hidrogént termelnek a világon, amit a vegyipar és a kőolaj finomítók használnak fel. Ennek 99 százaléka földgázból előállított, úgynevezett „szürkehidrogén”. (A földgázban lévő szénből természetesen CO₂ kibocsájtás lesz.) A hidrogénnel történő villamosenergia tárolás és a teljes gépkocsiállomány hidrogénnel történő működtetése több Mdt/év „zöldhidrogént” igényelne. Ezt a gigantikus „zöldhidrogén” termelést gyakorlatilag a nulláról kellene 30 év alatt felfejleszteni.