

MEGÚJULÓ ENERGIA ELŐÁLLÍTÁSÁRA ÉS IDŐSZAKOS TÁROLÁSÁRA ALKALMAS MOBIL PLATFORM VIZSGÁLATA

EXAMINATION OF A MOBILE PLATFORM SUITABLE FOR PRODUCTION AND PERIODIC STORAGE OF RENEWABLE ENERGY

RÁTKAI MÁRTON
ratkaymarton@gmail.com

Összefoglalás

Korunk egyik legnagyobb problémája a folyamatosan növekvő energiaigény és annak kielégítése. Az emberiség ezt az energiát elsősorban fosszilis tüzelőanyagok elégetésével nyerte, és nyeri ma is. Az energiaárak növekedése, a környezetszennyezés és az éghajlatváltozás problémája azonban egyre inkább elősegíti az alternatív megoldások térnyerését. A hidrogén és a biogáz például jóval kisebb környezeti terhelést okoznak, mint a hagyományos energiahordozók. Más alternatív megoldásokkal, például napenergiával ötvözve ezeket a környezeti terhelés tovább mérsékelhető, és kezelhetővé válhatnak a megújuló forrásoknál gyakori problémák, az energiatermelés és -felhasználás időbeli különbözősége, az energiátárolás is.

Munkám célja egy olyan energiatermelő és -tároló berendezés lehetőségének vizsgálata volt, amely napelemek segítségével hidrogént állít elő. Ezt tárolás után biogázzal keverve vagy önmagában felhasználva villamos energia állítható elő egy mobil, konténerizált kialakítás keretében. Ezáltal képesek vagyunk a napenergiát tárolni, és tetszőleges időpontban felhasználni. Öt változattal foglalkoztam, melynek során a különböző megvalósítási lehetőségek energetikai vizsgálatát és összehasonlítását, illetve az ehhez kapcsolódó gazdasági számításokat végeztem el.

A legjobbnak a nagyméretű, gázkeverékes változat bizonyult. A villamos teljesítményre vonatkozó fajlagos költsége ennek volt a legalacsonyabb, a tárolható energiára vonatkozó pedig a második legalacsonyabb. A megtérülési időt is figyelembe véve, amely ennél volt a legrövidebb, az egyetlen, jelenlegi körülmények között gazdaságosan megvalósítható változatnak bizonyult. Egyetlen jelentősebb hátránya, hogy csak ott használható, ahol elegendő, külső forrásból biztosítható biogáz áll rendelkezésre.

Kulcsszavak: hidrogén, napelem, biogáz, megújuló energia

JEL kód: O33, Q29, Q42

Abstract

One of the largest problems of our time is the constantly growing demand for energy and its satisfaction. Humanity obtained this energy primarily by burning fossil fuels, and obtains it so even today. This is the case to be expected for a long time to come, despite of the rise of alternative energy sources. However, there is significant difference between fossil energy sources. Hydrogen and biogas, for example, have much smaller impact on the environment than

traditional sources of energy. By combining these with renewable sources, such as solar energy, the environmental impact can be further reduced, and the typical problems of renewable energy sources, the temporal difference between energy production and consumption and the storage of energy, can also become manageable.

The goal of my work was to investigate the possibility of an energy-producing and energy-storing device that produces hydrogen using solar cells. After storage, this can be used alone or mixed with biogas to produce electricity in a mobile, containerized design. This allows us to store solar energy and use it in the form of electricity at any time. I examined five versions, during which I performed their energetic analysis and comparison, as well as the related economic calculations.

The large, gas mixture using version proved to be the best. It had the lowest specific cost regarding electrical power, and the second lowest regarding stored energy. Taking into account the payback time of the investment too, which was the shortest for this version, it proved to be the only version that is economically feasible at present. Its only notable drawback is that it can only be used where there is sufficient amount of biogas provided from an external source.

Keywords: *hydrogen, solar panels, biogas, renewable energy*

Bevezetés

Korunk egyik legnagyobb problémája a folyamatosan növekvő energiaigény és annak kielégítése. Az emberiség ezt az energiát elsősorban fosszilis tüzelőanyagok elégetésével nyerte, és nyeri ma is. Ez előreláthatólag még jó ideig így lesz, az alternatív energiaforrások térnyerése ellenére is. Fosszilis és fosszilis energiaforrás között is van azonban különbség. A hidrogén és a biogáz például jóval kisebb környezeti terhelést okoznak (HASSAN et al. 2023), amely szempont a környezetszennyezés mértéke és az ezzel alighanem összefüggő éghajlatváltozás miatt fontosabb, mint valaha (GUO et al. 2023). Emellett az energiaárak folyamatos növekedése egyre inkább előtérbe helyezi az energiatakarékosságot, az alternatív, megújuló források alkalmazását – beleértve a hőszivattyús megoldásokat – és a decentralizált energiatermelést (KORZENSZKY – GÉCZI 2012, GÉCZI et al. 2013, 2014, SZÉKELY et al. 2021, PARK – WOO 2023). A megújuló források nagyrészenek, mint a napenergia, legnagyobb problémája azonban, hogy gyakran nem akkor áll rendelkezésre, amikor szükségünk van rá. Ezt csak az energia tárolásával lehet kiküszöbölni, ami villamos energia esetén nem egyszerű feladat.

Ezekre a kihívásokra megoldást jelenthet egy olyan energiatermelő és -tároló berendezés, amely napelemek segítségével hidrogént állít elő. Ezt tárolás után önmagában vagy biogázzal keverve felhasználva villamos energia állítható elő egy mobil, konténerizált kialakítás keretében. Ezáltal képesek vagyunk a napenergiát tárolni, és tetszőleges időpontban felhasználni.

A napelemek olyan szilárdtest berendezések, melyek a fénysugárzás energiáját közvetlenül alakítják egyenáramú villamos energiává. A jelenleg elterjedt napelemek főleg szilícium alapanyagból készülnek és gyártásuk alapján kétféle típust különböztetnek meg. Az egyik a kristályos technológia, amely lehet mono- és polikristályos is, a másik pedig a vékonyréteg technológia (KASZA 2009, HORVÁTH 2011, GOVINDASAMY – KUMAR 2023, JIN et al. 2023).

A hidrogént, mivel a természetben csak kémiaiilag kötött formában fordul elő, vegyületeiből lehet előállítani, különböző eljárásokkal, energia befektetésével (BÖLKÉNY – VADÁSZI 2020). Ezek a források leginkább a víz és a földgáz. Jelenleg a hidrogénüzemanyag legnagyobb része, mintegy 95%-a, fosszilis tüzelőanyagokból származik és gőzreformálással állítják elő. Ez a folyamat jelentős szén-dioxid kibocsátással jár (KARPILOV – PASHCHENKO 2023).

Hidrogén nyerhető víz elektrolízisével is, ami klímasemleges eljárás is lehet, ha a folyamathoz szükséges energiát megújuló forrásból biztosítjuk. Az elektrolízis elve viszonylag egyszerű. A folyamat során a vizet villamos áram felhasználásával hidrogénné és oxigénné bontják le. Az elektrolízishez használt elektrolizátor egy egyenáramú forrásból és két nemesfémrel bevont elektródából áll, amelyeket egy elektrolit választ el egymástól. Elektrolízis fajták az alacsony hőmérsékleten végzett elektrolízis (LTE), a magas hőmérsékleten végzett elektrolízis (HTE), az alkáli elektrolízis (AE), és a protoncserélő membrán elektrolízis (PEM) (LYMBEROPOULOS et al. 2004, KUMAR – LIM 2022, KLOSE et al. 2023).

A hidrogén hosszú ideig történő, tiszta, molekuláris formában való tárolása gáz- vagy folyadék fázisban oldható meg. Jelenleg az ipar elsősorban ezt a két tárolási lehetőséget alkalmazza. Emellett lehetőség van a gáz kémiaiilag kötött formában való tárolására is (BREEZE, 2018). A gáz-halmazállapotú hidrogént olyan nyomástartó hidrogéntartályokban sűrítik és tárolják, amelyeknek gyakran hatalmas nyomást kell elviselniük. Mivel a tárolási nyomás korlátozott, a rendelkezésre álló hidrogéntárolási sűrűségek is korlátozottak. Az alacsonyabb tárolási nyomás egyszerűbb tömítési rendszereket és így mérsékeltebb üzemeltetési költségeket okoz. A nagy nyomásokon alkalmazott tartályok korszerű, kompozit anyagok alkalmazásával készülnek, beruházási költségük magas (DOBRÁNSZKY et al. 2022). Lehetőség van a hidrogén sűrűségének cseppfolyósítással történő növelésére is. Ennek előnye, hogy hatalmas hidrogéntárolási sűrűség érhető el légköri nyomáson. Ez a tárolási mód nagyobb gázmennyiségek esetén alacsonyabb költségű. Az úgynevezett párolgási veszteség miatt állandó hűtés szükséges. Ennek, csakúgy, mint cseppfolyósítási folyamatnak jelentős energiaigénye van, ami a módszer legnagyobb hátránya (SHU et al. 2023).

A hidrogénhordozókkal történő tárolás során olyan technológiákat alkalmaznak, amelyek a hidrogénnek egy másik anyaghoz történő kémiai vagy fizikai kötésén alapszanak (ARLT et al., 2012). Itt a szilárd halmazállapotban történő tárolást, a folyékony szerves energiahordozókat és a metángázzá alakítást érdemes megemlíteni (DONG et al. 2023).

Biogáz a növénytermesztési fő-, továbbá az állattenyésztési és növénytermesztési eredetű melléktermékekből, különböző hulladékokból álló biomasszából, anaerob erjedéssel képződik (ANAND et al. 2023). Az anaerob erjesztés a metánbaktériumok életműködése. A baktériumokat leginkább azon hőmérséklet-tartományok szerint csoportosítjuk, melyek életműködéseikre a legerősebb hatást fejtik ki. Ez alapján léteznek pszichrofil baktériumok, amelyek környezeti hőmérsékleten dolgoznak, mezofil baktériumok, amelyek a 30°C és a 37°C közti hőmérsékletet szeretik, és termofil baktériumok, melyek kizárólag 40°C fölött élnek meg, és anyagcseréjük 50°C és 60°C között a legaktívabb (GALYAS – SZUNYOG 2018).

A biogáztároló-rendszereknek két fő változata létezik. A belső biogáztartályok az anaerob rothasztóba vannak beépítve, míg a külső biogáztartályok attól el vannak választva. A legegyszerűbb és legolcsóbb tárolórendszerek az alacsony nyomású rendszerek. A közepes és nagy nyomású tárolórendszerek energia-, biztonsági és tisztítási igényei költséges és több karbantartást igénylő lehetőségeket jelentenek (BIOENERGY CONSULT 2021).

Ha rendelkezésünkre áll biogáz és hidrogén is, lehetőségünk van a két gázból keveréket előállítani. A biogáz fűtőértékét a metán adja, a többi gáz az inerttartalom, így minél nagyobb a biogáz metántartalma, annál értékesebb energiaforrás. A magas szén-dioxid tartalom megnehezíti az égési folyamatot, gátolja a lángstabilitást. Ennélfogva a hidrogén hozzákeverése nemcsak hasznos, de lényegében szükséges is, ha a biogázt további feldolgozás, tisztítás nélkül akarjuk felhasználni. AMEZ et al. (2021) szerint az ideális hidrogén-biogáz keverési arány hagyományos, gáztüzelésű berendezésekben való felhasználáshoz 5% hidrogén és 95% biogáz, a biogáz összetételétől függetlenül.

A villamosenergia-igény nagy részét generátorok elégitik ki, melyek hajtását sokféleképpen meg lehet oldani. Ennek egyik lehetséges módja a gázmotor használata. Az ily módon történő villamosenergia-termelést lehetővé tevő berendezés a gázmotoros kiserőmű, amelyet röviden

gázmotornak is szoktak nevezni. A berendezés fő egységei a motorblokk (amely a dugattyús, gázüzemű belső égésű motor, a tulajdonképpeni gázmotor), a generátor és a vezérlés (FANG et al. 2023).

Az energiatermelő és -tároló berendezés megvalósítható tisztán hidrogénnel, biogáz használata nélkül is. Ekkor a hidrogént tüzelőanyag-cella segítségével alakítjuk villamos energiává. Az üzemanyagcella a hidrogén vagy más tüzelőanyagok kémiai energiáját használja fel a tiszta és hatékony villamos energia előállítására. Ha hidrogén a tüzelőanyag, akkor csak elektromosság, víz és hő keletkezik (HAN et al. 2023). Egyik legfontosabb előnyük a hagyományos hőerőgépekkel szemben a jóval magasabb hatásfok. A hidrogént használó üzemanyagcellák többfélék lehetnek. A legfontosabbak az alkálikus, a protoncserélő-membrános és a szilárd-oxidos típusok (GÜLZOW – SCHULZE 2008).

Anyag és módszer

A munka során öt változatot vizsgáltam, melynek során a különböző megvalósítási lehetőségek kialakításával, energetikai vizsgálataival és összehasonlításával, illetve az ezekhez kapcsolódó gazdasági számításokkal foglalkoztam. A hidrogén előállítása víz elektrolízisével történik, mivel ez a legkörnyezetbarátabb és az adott keretek között a leginkább megvalósítható. Tárolása gázhalmazállapotban, tartályokban valósul meg, ugyanis ez a legegyszerűbb lehetőség és elegendő tárolókapacitást biztosít. Mindegyik változatra igaz, hogy a berendezés lehetőleg a piacon elérhető legelterjedtebb egységekből összeállítható kell legyen.

Az első változat egy nagyméretű, gázkeverékes változat, ahol a működéshez szükséges biogázt külső forrásból kell biztosítani. Egy negyven lábás, szabványos konténer tetején helyezkednek el az egyenként 510 W csúcsteljesítményű, félcellás, monokristályos napelemek. A tárolóban került elhelyezésre egy elektrolizáló, amely egy kg hidrogént 67,8 kWh energia árán tud előállítani, az egyenként 4,2 kg gáz tárolására képes hidrogéntartályok, valamint a névleges teljesítményen üzemeltetve 125 kW villamos teljesítmény leadására képes gázmotoros kiserőmű is.

A második változat az elsőtől annyiban tér el, hogy a konténerben található a pszichrofil elven működő, biogázt előállító fermentor és a biogáztartályok is. Ebben az esetben tehát a berendezés önmaga képes előállítani a működéséhez szükséges biogázt.

A harmadik változat egy nagyméretű, csak hidrogént használó kialakítás. Felépítése az első változathoz hasonló, gázmotoros kiserőmű helyett azonban egy hidrogén-tüzelőanyagcella található a konténerben.

A negyedik változat az első kisméretű változata, aminek egy szabványos, húsz láb hosszú konténer jelenti az alapját. Ennek tetején találhatóak az egyenként 550 W csúcsteljesítményű napelemek, amelyek azért nem egyeznek meg a korábbiakkal, mert így a jobb helykihasználtság miatt nagyobb teljesítmény volt elérhető. Az elektrolizáló és a hidrogéntartályok megegyeznek, csakúgy, mint a kiserőmű. A biogáz külső forrásból biztosítandó.

Az ötödik változat a harmadik kisméretű változata. Az ötödik változat felépítésétől annyiban tér el, hogy a gázmotoros kiserőmű helyett a már korábban említett üzemanyagcella található a konténerben.

A különböző változatok összehasonlítására a következő tizenkét jellemzőt határoztam meg.

Az első a berendezés által biztosított legnagyobb villamos teljesítmény, amely a gázmotoros kiserőmű, illetve a tüzelőanyag-cella függvénye.

Ahhoz, hogy ezt a teljesítményt a rendszer egy órán keresztül képes legyen leadni, szükség van a hidrogént, a második változatnál pedig a biogázt is, egy meghatározott ideig a konténerben található tárolókba gyűjteni. Ez a legnagyobb teljesítmény egy órán át történő leadásához szükséges gyűjtési idő.

A harmadik az egy napnyi gyűjtéssel tárolható villamos energia.

A negyedik a legnagyobb tárolható villamosenergia-mennyiség, amely a tárolható gáz mennyiségétől függ.

Az ötödik az az idő, amennyi szükséges ennek a gázmennyiségnek az előállításához.

A hatodik a rendszer villamos teljesítménye, ami az egy másodperc alatt a berendezés által előállított gázból nyerhető villamos energiából számolható.

A hetedik a berendezés beruházási költsége.

A nyolcadik a megtérülési idő, amelyet úgy határoztam meg, hogy a villamos energia aktuális piaci árát figyelembe véve meghatároztam a beruházási költségből vásárolható villamosenergia-mennyiséget, és kiszámoltam, hogy a berendezés ezt mennyi idő alatt tudja előállítani.

A kilencedik a beruházási költség a rendszer villamos teljesítményére vonatkoztatva.

A tizedik a beruházási költség a legnagyobb tárolható villamosenergia-mennyiségre vonatkoztatva.

A tizenegyedik az alkalmazhatóság feltétele, ami arra utal, hogy a berendezés működéséhez mit kell biztosítani (csak víz, víz és hígtrágya, víz és biogáz). Minél kevesebb összetevőt kell alkalmazni, a berendezés annál szélesebb körben alkalmazható.

A tizenkettedik a berendezés méretére utalva a konténer nagysága, amely minél kisebb, annál előnyösebb a kisebb tömeg és helyigény következtében. Az egyes tulajdonságokat 1-től 5-ig terjedő skálán súlyoztam, majd minden változatot értékeltem szintén 1-től 5-ig annak megfelelően, hogy az adott változat abból a szempontból mennyire teljesített jól. Ennélfogva könnyen összemérhetővé vált az ötféle kialakítás.

Eredmények

A számítások alapján mindegyik változat műszakilag megvalósíthatónak bizonyult, jellemzőik pedig a következők.

Az első változat hidrogén és biogáz keverékével működik, a biogáz előállítása és tárolása azonban nem képezi a rendszer részét, ezt külön kell biztosítani. Egy 40 lábás magasított kivitelű konténer tetején található 14 darab 510 W csúcsteljesítményű napelem, benne pedig az elektrolizáló, 3 darab 850 literes hidrogéntartály és a gázmotoros kiserőmű. Összköltsége 8.541.776 Ft. A megtérülési idő 16,3 év. A rendszer villamos teljesítménye 853,34 W. A legnagyobb tárolható villamosenergia-mennyiség 813,09 kWh. Az 1 kW villamos teljesítményre eső fajlagos beruházási költség 10.009.763 Ft. Az 1 kWh tárolt villamos energiára eső fajlagos beruházási költség a legnagyobb tárolható energiamennyiség esetén 10.505 Ft.

A második változat hidrogén és biogáz keverékével működik, a biogáz előállítása és tárolása is a konténerben történik. Egy 40 lábás magasított kivitelű konténer tetején található 14 darab 510 W csúcsteljesítményű napelem, benne pedig az elektrolizáló, 3 darab 850 literes hidrogéntartály, a biogázfermentor, 13 darab biogáztartály és a gázmotoros kiserőmű. Összköltsége 43.901.776 Ft. A megtérülési idő 83,8 év. A rendszer villamos teljesítménye 853,34 W. A legnagyobb tárolható villamosenergia-mennyiség 813,09 kWh. Az 1 kW villamos teljesítményre eső fajlagos beruházási költség 51.446.724 Ft. Az 1 kWh tárolt villamos energiára eső fajlagos beruházási költség a legnagyobb tárolható energiamennyiség esetén 53.992 Ft.

A harmadik változat hidrogénnel működik. Egy 40 lábás magasított kivitelű konténer tetején található 14 darab 510 W csúcsteljesítményű napelem, benne pedig az elektrolizáló, 3 darab 850 literes hidrogéntartály és a tüzelőanyag-cella. Összköltsége 7.215.776 Ft. A megtérülési idő 49,4 év. A rendszer villamos teljesítménye 237,76 W. A legnagyobb tárolható

villamosenergia-mennyiség 226,8 kWh. Az 1 kW villamos teljesítményre eső fajlagos beruházási költség 30.348.735 Ft. Az 1 kWh tárolt villamos energiára eső fajlagos beruházási költség a legnagyobb tárolható energiamennyiség esetén 31.816 Ft.

A negyedik változat az első kivitel kisméretű változata. Hidrogén és biogáz keverékével működik, a biogáz előállítása és tárolása azonban nem képezi a rendszer részét, ezt külön kell biztosítani. Egy 20 lábas magasított kivitelű konténer tetején található 6 darab 550 W csúcsteljesítményű napelem, benne pedig az elektrolizáló, 3 darab 850 literes hidrogéntartály és a gázmotoros kiserőmű. Összköltsége 6.823.304 Ft. A megtérülési idő 28,2 év. A rendszer villamos teljesítménye 394,41 W. A legnagyobb tárolható villamosenergia-mennyiség 813,09 kWh. Az 1 kW villamos teljesítményre eső fajlagos beruházási költség 17.300.238 Ft. Az 1 kWh tárolt villamos energiára eső fajlagos beruházási költség a legnagyobb tárolható energiamennyiség esetén 8.392 Ft.

Az ötödik változat a harmadik kivitel kisméretű változata. Hidrogénnel működik. Egy 20 lábas magasított kivitelű konténer tetején található 6 darab 550 W csúcsteljesítményű napelem, benne pedig az elektrolizáló, 3 darab 850 literes hidrogéntartály és a tüzelőanyag-cella. Összköltsége 5.497.304 Ft. A megtérülési idő 81,2 év. A rendszer villamos teljesítménye 110,25 W. A legnagyobb tárolható villamosenergia-mennyiség 226,8 kWh. Az 1 kW villamos teljesítményre eső fajlagos beruházási költség 49.861.354 Ft. Az 1 kWh tárolt villamos energiára eső fajlagos beruházási költség a legnagyobb tárolható energiamennyiség esetén 24.239 Ft.

Az egyes változatok tulajdonságait részletesen, és ezek alapján történt értékelésüket az 1. táblázat tartalmazza.

Következtetések

Bár a számítások alapján mindegyik változat megvalósíthatónak bizonyult műszaki szempontból, gazdaságilag már korántsem volt ez a helyzet.

A második változatra jellemző, konténerben történő biogáz-előállítás és biogáztárolás nem bizonyult gazdaságos megoldásnak. Műszakilag megvalósítható és energetikailag sem szerepelt rosszul, de a nagy beruházási költség és fajlagos költségek, valamint a több mint 80 évnyi megtérülési idő csak az utolsó előtti helyhez voltak elegendők. A pontozásból jól látható, hogy a biogázt nagyobb mennyiségben, külön erre a célra kiépített biogázüzemben célszerű termelni, ahonnan, mint külső forrásból, a működéshez szükséges mennyiséget biztosítjuk. Így a gázkeveréket használó változatok közül csak azok jöhetnek szóba, amelyek kizárólag a hidrogént állítják elő és tárolják a konténerben.

Ezek közül a második helyen végzett négyes számú, kisméretű változat nem rendelkezik sokkal rosszabb tulajdonságokkal, mint nagyobb párja. Beruházási költsége és a tárolható villamos energiára vetített fajlagos költsége pedig még alacsonyabb is, de az első változat előnyösebb volta ezt háttérbe szorítja. A kisebb méret kevesebb napelem elhelyezését teszi lehetővé, ezért az egész rendszer sokkal lassabban tudja előállítani a tárolni kívánt energiát, ami a megtérülési időn is meglátszik. Ettől függetlenül elmondható, hogy ha a jelenlegi körülmények között ez a változat nem is gazdaságos, a jövőben komoly lehetőséget rejt magában. A villamos energia árának várható növekedése, a részegységek árának a műszaki fejlődésből következő csökkenése, valamint az esetleges állami támogatás nagyban csökkentheti a megtérülési időt, amellyel ez a változat is piacképesé válhat. Mindezek a többi változatra is igazak.

A harmadik, csak hidrogént használó, nagyméretű berendezésnél komoly előnyt jelent, hogy míg a gázkeverékes változat csak olyan helyen használható, ahol megfelelő mennyiségű, külső forrásból biztosított biogáz áll rendelkezésre, addig a tüzelőanyag-cellás lényegében bárhol,

hiszen működéséhez csak vízre van szükség. Hátránya azonban a gázkeverékes változatokkal szemben, hogy itt csak a hidrogén szolgáltat energiát. Gázkeverék hiányában a rendszer energiatermelése lassabb. Ebből következik az is, hogy a tüzelőanyag-cella jóval kisebb maximális teljesítmény leadására képes, mint a gázmotoros kiserőmű, hiszen az ehhez szükséges gáz előállítása még így is jelentősen hosszabb ideig tart. A nagyméretű üzemanyagcellás változat a harmadik helyen végzett.

Ennek kisméretű verziója az ötös számú változat, amely a második változatnál is rosszabbul szerepelve az utolsó helyen végzett. A legfőbb probléma a nagyon lassú energiatermelés, és az ebből adódó hatalmas, a rendszer villamos teljesítményére vonatkoztatott fajlagos beruházási költség és a rendkívül hosszú megtérülési idő.

1. táblázat: Az öt változat legfontosabb jellemzői és értékelésük

		<i>Első változat</i>	<i>Második változat</i>	<i>Harmadik változat</i>	<i>Negyedik változat</i>	<i>Ötödik változat</i>
	<i>Jellemzők [zárójelben a jellemző súlyzó faktor száma]</i>					
1	<i>Legnagyobb leadható villamos teljesítmény [4]</i>	125 kW (5)	125 kW (5)	50 kW (3)	125 kW (5)	50 kW (3)
2	<i>Legnagyobb teljesítmény egy órán át történő leadásához szükséges gyűjtési idő [5]</i>	6 nap (5)	6 nap (5)	9 nap (4)	13 nap (3)	19 nap (1)
3	<i>Egy napnyi gyűjtéssel tárolható villamos energia [5]</i>	20,5 kWh (5)	20,5 kWh (5)	5,7 kWh (3)	9,5 kWh (4)	2,65 kWh (2)
4	<i>Legnagyobb tárolható villamosenergia- mennyiség [3]</i>	813 kWh (5)	813 kWh (5)	226,8 kWh (4)	813 kWh (5)	226,8 kWh (4)
5	<i>Legnagyobb tárolható villamosenergia- mennyiség előállításához szükséges idő [3]</i>	40 nap (5)	40 nap (5)	40 nap (5)	86 nap (4)	86 nap (4)
6	<i>A rendszer villamos teljesítménye [4]</i>	853,34 W (5)	853,34 W (5)	237,76 W (3)	394,41 W (4)	110,25 W (2)
7	<i>A berendezés beruházási költsége [3]</i>	8.541.776 Ft (3)	43.901.776 Ft (1)	7.215.776 Ft (4)	6.823.304 Ft (4)	5.497.304 Ft (5)
8	<i>Megtérülési idő [5]</i>	16,3 év (5)	83,8 év (1)	49,4 év (3)	28,2 év (4)	81,2 év (1)
9	<i>Fajlagos beruházási költség 1 kW villamos teljesítményre [5]</i>	10.009.763 Ft (5)	51.446.724 Ft (1)	30.348.735 Ft (3)	17.300.238 Ft (4)	49.861.354 Ft (2)

10	<i>fajlagos beruházási költség 1 kWh tárolt villamos energiára [4]</i>	10.505 Ft (5)	53.992 Ft (1)	31.816 Ft (4)	8.392 Ft (5)	24.239 Ft (4)
11	<i>Alkalmazhatóság feltétele [3]</i>	Víz és biogáz külső forrásból (2)	Víz és hígtrágya külső forrásból (3)	Víz külső forrásból (5)	Víz és biogáz külső forrásból (2)	Víz külső forrásból (5)
12	<i>Konténer nagysága [2]</i>	Szabványos, 40 lábas, magasított (4)	Szabványos, 40 lábas, magasított (4)	Szabványos, 40 lábas, magasított (4)	Szabványos, 20 lábas, magasított (5)	Szabványos, 20 lábas, magasított (5)
	Összpontszám	213	154	167	186	130

Az öt változat közül kétségtelenül az első bizonyult a legjobbnak, sőt ez az egyetlen, amely akár jelenleg is gazdaságosan megvalósítható. Bekerülési költsége 8.541.776 Ft, ami a második legmagasabb ugyan, de ennek a legkisebb a teljesítményre vetített fajlagos költsége (10.009.763 Ft) és a megtérülési ideje is (16,3 év), valamint a tárolható villamos energiára vetített fajlagos költsége a második legalacsonyabb (10.505 Ft). Kedvező jellemzőihez nagyban hozzájárul az, hogy a működéséhez szükséges biogázt külső forrásból kell biztosítani, ami egyben a berendezés legnagyobb hátránya is, hiszen csak ott használható, ahol ez adott. Működése egy év alatt 16 kg-mal csökkenti a szén-dioxid kibocsátást tisztán földgáztüzeléshez képest. A berendezés egyik legnagyobb előnye, hogy olyan helyeken is elérhetővé teszi a villamos energiát, amelyek a hálózattól messze esnek. A biogázszükséglet miatt elsősorban a megfelelő mezőgazdasági üzemek környezetében alkalmazható, de nemcsak az üzemek saját szükségleteinek kielégítésére, hanem akár a lakosság ellátására is. Jelentősége vitathatatlan, hiszen a jövőben komolyan segíthet a villamosenergia tárolásának nehéz feladatát megvalósítani, továbbá sokat tehet a decentralizált energiatermelés, az energiafüggetlenség megvalósítása és a környezet terhelésének csökkentése érdekében.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Dr. Oldal Istvánnak, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Műszaki Intézete docensének, aki nagyban hozzájárult a munka megvalósulásához.

Hivatkozott források

AMEZ, ISABEL – BOLONIO, DAVID – CASTELLS, BLANCA – GARCÍA-MARTÍNEZ, MARÍA JESÚS – GARCÍA-TORRENT, JAVIER – LLAMAS, BERNARDO – LORENZO, JOSÉ L. – ORTEGA, MARCELO F. (2021): Experimental Study of Biogas-Hydrogen Mixtures Combustion in Conventional Natural Gas Systems; *Energy, Resources and the Environment*. <https://doi.org/10.3390/app11146513>

ANAND, KUNDAN – KUMAR, BHAVNESH – MITTAL, ALOK PRAKASH (2023): Feasibility analysis of biogas plant for the northern plains of India, *Energy for Sustainable Development*, 74, 454–462. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.05.002>

ARLT, WOLFGANG – TEICHMANN, DANIEL – WASSERSCHIED, PETER (2012): Liquid Organic Hydrogen Carriers as an efficient vector for the transport and storage of renewable energy, *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(23), 18118–18132. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.08.066>

- BIOENERGY CONSULT (2021): Types of Biogas Storage Systems, Elérhető: <https://www.bioenergyconsult.com/biogas-storage/> Letöltés: 2023.10.22.
- BÖLKÉNY ILDIKÓ – VADÁSZI Marianna (2020): Hidrogén előállításának lehetőségei, XIII. Tudomány- és Technikatörténeti Online Konferencia
- BREEZE, PAUL (2018): Chapter 8 - Hydrogen Energy Storage, *Power System Energy Storage Technologies*, 69-77. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812902-9.00008-0>
- DOBRÁNSZKY JÁNOS – KATULA LEVENTE – VARBAI BALÁZS (2022): A hidrogén tárolásának és szállításának lehetőségei, *Anyagvizsgálók lapja* 2022/II.
- DONG, XUEQIANG – GONG, MAOQIONG – WANG, HAOCHENG – YANG, JINGYAO (2023): Performances comparison of adsorption hydrogen storage tanks at a wide temperature and pressure zone, *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.03.351>
- FANG, ZHENCHANG – DONG, XINYU – LV, ZHAO – QIAO, XINQI – SUN, CHUNHUA – TANG, XINCHENG – WANG, LINTAO – YU, XIANGYU (2023): Study on supercritical CO₂ power cycles for natural gas engine energy cascade utilization, *Applied Thermal Engineering*, 225. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120255>
- GALYAS ANNA BELLA – SZUNYOG ISTVÁN (2018): Biogáz-előkészítés I., Miskolci Egyetem
- GÉCZI GÁBOR – KORZENSZKY PÉTER – BENSE LÁSZLÓ (2013): Ideális körülmények a levegő-víz hőszivattyú uszodatechnikai alkalmazása során. *Magyar Épületgépészet* 62(7–8), 7–10. Elérhető: <http://www.epgeponline.hu/lapszamok/cikk/2013/6/112> letöltés: 2023.08.22.
- GÉCZI GÁBOR – BENSE LÁSZLÓ – KORZENSZKY PÉTER (2014): Water Tempering of Pools Using Air to Water Heat Pump Environmental Friendly Solution. *Rocznik Ochrona Srodowiska* 16, 115–128. Elérhető: https://ros.edu.pl/images/roczniki/2014/pp_2014_01_07.pdf letöltés: 2023.08.22.
- GOVINDASAMY, DHANUSIYA – KUMAR, ASHWANI (2023): Experimental analysis of solar panel efficiency improvement with composite phase change materials, *Renewable Energy*, 212, 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.05.028>
- GUO, ENYU – HE, BO – ZHANG, JINLIANG (2023): Effects of photovoltaic panel type on optimum sizing of an electrical energy storage system using a stochastic optimization approach, *Journal of Energy Storage*, 72, Part D. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108581>
- GÜLZOW, E.; SCHULZE, M. (2008): Alkaline Fuel Cell, Materials for Fuel Cells. <https://doi.org/10.1533/9781845694838.64>
- HAN, JAESU; KIM, YOUNGHYEON; YU, SANGSEOK (2023): Establishment of energy management strategy of 50 kW PEMFC hybrid system, *Energy Reports*, 9, 2745–2756. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.01.096>
- HASSAN, QUSAY – ALGBURI, SAMEER – SAMEEN, AWS ZUHAIR – SALMAN, HAYDER M. – JASZCZUR, MAREK (2023): Green hydrogen: A pathway to a sustainable energy future, *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.321>
- HORVÁTH RÓBERT (2011): Megújuló energia 122p.
- JIN, GUANGMING – QIN, LIULI – ZHU, JUN (2023): High-efficiency and cost-effective manufacturing of solar cells based on localized surface plasmonic resonance, *Optical Materials*, 141, 113897. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.113897>
- KARPILOV, IGOR – PASHCHENKO, DMITRY (2023): Steam methane reforming over a preheated packed bed: Heat and mass transfer in a transient process, *Thermal Science and Engineering Progress*, 42, 101868. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.101868>
- KASZA ANETT (2009): A napenergia és szélenergia alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata hazánkban, *Hadmérnök* 4(2).

KLOSE, ANSELM – LANGE, HANNES – LIPPMANN, WOLFGANG – URBAS, LEON (2023): Technical evaluation of the flexibility of water electrolysis systems to increase energy flexibility: A review, *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.044>

KORZENSZKY PÉTER EMŐD – GÉCZI GÁBOR (2012): Heat Pump Application in Food Technology. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* 2(2), 493-500. Elérhető: <https://office2.jmbfs.org/index.php/JMBFS/article/view/7157> letöltés: 2023.08.22.

KUMAR, S. SHIVA – LIM, HANKWON (2022): An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production, *Energy Reports*, 8, 13793–13813. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.127>

LYMBEROPOULOS, NICOLAOS – VARKARAKI, ELLI – ZOULIAS, EMMANUEL (2004): A Review on Water Electrolysis

PARK, JIYONG - WOO, JONGROUL (2023): Analyzing consumers' willingness to purchase energy-efficient appliances in response to energy price changes: Case study of South Korea, *Energy Economics*, 127, Part A. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107088>

SHU, ZHIYONG – LIANG, WENQING – QIN, BENKE – LEI, GANG – WANG, TIANXIANG – HUANG, LEI – CHE, BANGXIANG – ZHENG, XIAOHONG – QIAN, HUA (2023): Transient flow dynamics behaviors during quick shut-off of ball valves in liquid hydrogen pipelines and storage systems, *Journal of Energy Storage*, 73, Part C. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109049>

SZÉKELY LÁSZLÓ – KICSINY RICHÁRD – HERMANUCZ PÉTER – GÉCZI GÁBOR (2021): Explicit analytical solution of a differential equation model for solar heating systems. *Solar Energy* 222, 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.007>

Szerző

Rátkai Márton

gépészmérnök hallgató
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.
ratkaymarton@gmail.com

A műre a Creative Commons 4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik: [CC-BY-NC-ND-4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

