

**Miskolci Egyetem**  
Műszaki Anyagtudományi Kar  
Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola



A változó feszültség jellemzőinek hatása az elektrolitikus  
hidrogénelőállítás energiahatékonyságára

Ph.D. értekezés téziszüzetete

Készítette:

**DOBÓ ZSOLT**

MSc. Kohómérnök

Tudományos vezető:

Dr. Palotás Árpád Bence, egyetemi tanár

Miskolc

2016.

## 1. Bevezetés

A hidrogén előállításának egyik legrégebbi ismert módszere a víz elektrolízis. Az elektrolit oldatba merülő elektródok között létrehozott potenciálkülönbség hatására a katódon hidrogén, az anódon oxigén fejlődik. Mivel a folyamathoz villamos energiára van szükség, ezért az ily módon történő hidrogén termelés költséges, mindazonáltal a hidrogént a villamos energia mellett a jövő egyik legígéretesebb szekunder energiahordozójaként tartják számon.

A vízbontás során lejátszódó elektrokémiai folyamatok ma már szinte teljes mértékben feltérképezett területnek számítanak, azonban szakirodalom alapján számos részterületen tapasztalhatók még hiányosságok. Az egyik ilyen terület az egyenáramtól (DC) eltérő, időben folyamatosan változó feszültség vízbontásra gyakorolt hatásainak a vizsgálata. Bár a DC-től eltérő feszültség alkalmazása sok esetben növeli a cella teljesítmény felvételét és ezzel együtt a termelt gáz térfogatáramát is, ugyanakkor ez a vízbontás hatékonyságának és áramhatásfokának csökkenését is eredményezi. A hatásfokromlás mértékét befolyásolja az oszcilláció amplitúdója, frekvenciája, ofszet értéke valamint a jelalak is. A felsorolt paraméterek alapján adott villamos jelet sokféle beállítással elő lehet állítani, a paraméter kombinációk száma rendkívül nagy. Ez jelentősen megnehezíti a folyamatosan változó villamos áram vízbontásra gyakorolt hatásainak a vizsgálatát.

Az elektródok közötti potenciálkülönbség létrehozásához ma már leginkább AC/DC vagy DC/DC tápforrásokat alkalmaznak. Alapvető kíváncságot ezekkel a tápforrásokkal az, hogy a kimeneti feszültség és áramerősség ingadozása (hullámossága) a lehető legkisebb legyen, ideális esetben nulla. Ennek eléréséhez a gyártók különböző szűrőket iktatnak az áramkörbe, melyek segítségével a tökéletes egyenáram megközelíthető. Általánosságban elmondható továbbá, hogy minél nagyobb a tápforrás teljesítménye, annál nehezebb megközelíteni a DC szintet. Ez nagyteljesítményű tápforrás esetében azt jelenti, hogy a kimeneti feszültség és áramerősség az idő függvényében folyamatosan oszcillálhat a beállított érték körül. A sok esetben nem kívánatos feszültség hullámosság és a vízbontás hatásfokának kapcsolatáról rendkívül kevés információ található a szakirodalomban, a feszültségingadozás áramhatásfokra gyakorolt hatásairól pedig a szakirodalomkutatásom során egyetlen erre vonatkozó adatot sem találtam. Az ipari méretű vízbontó cellákhoz alkalmazott tápforrások között sokszor találkozhatunk jelentős hullámossággal rendelkező tápforrásokkal. A

vízbontás szemszögéből nézve fontos kérdés, hogy mi az a maximális hullámosság, amely még nem rontja túlságosan a vízbontás hatásfokát, így a technológia gazdasági és műszaki szempontból is optimalizálható. Megfordítva a kérdést, ha egy tápforrás jelentős hullámossággal rendelkezik, akkor a kimeneti feszültség simításával milyen hatásfok növekedés érhető el?

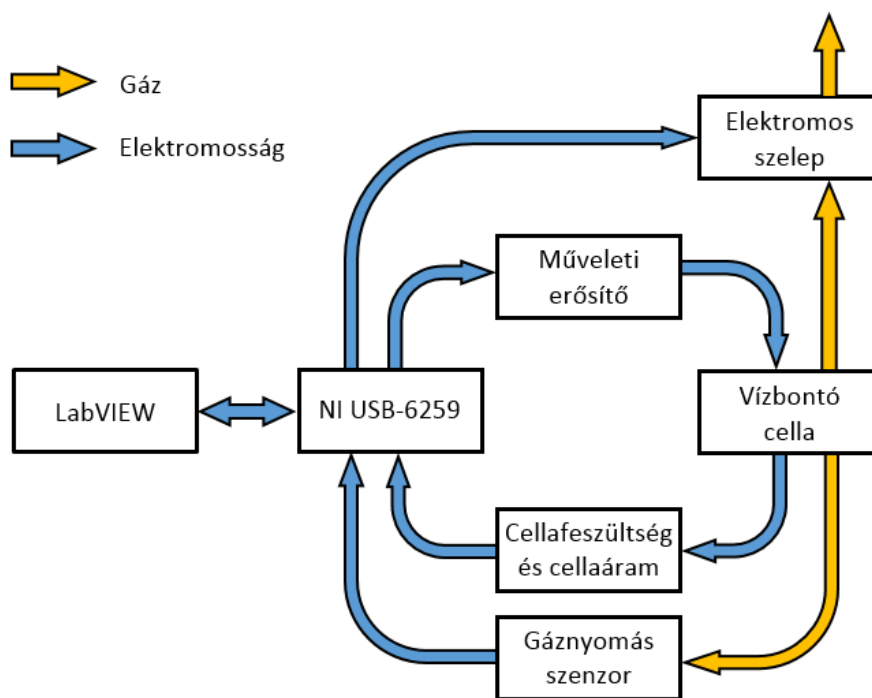
Értekezésem a tápforrás hullámosságának és a vízbontás hatásfokának az összefüggéseire fókuszál. A paraméter kombinációk rendkívül nagy számára való tekintettel egy olyan újszerű, automatikus működésű mérőrendszert terveztem és építettem, melynek segítségével nagyszámú vízbontási kísérlet végezhető el. A felügyeletet nem igénylő rendszer alapvetően az elektródokra kapcsolt villamos feszültség paramétereit (frekvencia, amplitúdó, jelalak és ofszet) változtatja egy előre meghatározott algoritmus alapján. A rendszer mindeddig több tízezer különálló mérést hajtott végre, és bár ezek csupán egy részletet fednek le a paraméter kombinációk számosságából, a mérési adatok kiértékeléséből származó eredmények segítséget nyújtanak a hullámosság és a hatásfok közötti összefüggések feltérképezésében.

## **2. Mérőrendszer**

A víz folyamatosan változó cellafeszültségű elektrolízisének vizsgálatához egy olyan automatizált, önálló működésű mérőrendszert fejlesztettem ki, melynek segítségével tetszőleges alakú feszültség kapcsolható a cellára, továbbá a jelalak paramétereit előre meghatározott algoritmus alapján változtathatók. A rendszer nagyszámú vízbontási kísérlet elvégzését teszi lehetővé viszonylag rövid időn belül, amely a jelalak paraméter kombinációinak sokasága miatt rendkívül leegyszerűsíti a feszültség „minőségével” kapcsolatos hatásfokromlás kutatását.

A mérőrendszer blokkvázlatát az 1. ábra szemlélteti. A LabVIEW szoftver és az NI USB-6259 típusú modul együtt egy mérőműszert és egy függvénygenerátort alkot. Az NI modul az analóg bemenetei segítségével méri a cellafeszültséget, a tápforrás feszültségét, a cellán átfolyó áramerősséget, valamint a gáznyomásmérő által szolgáltatott feszültség jelet. Ugyanakkor analóg kimenetei segítségével előállítja azokat a jelalakokat, amelyek villamos terhelhetőségéről a műveleti erősítő gondoskodik, továbbá egyik digitális kimenetével gondoskodik a rendszerbe épített elektromos szelep nyitásától/zárásától. A LabVIEW szoftver nyújtotta programkörnyezet lehetőséget nyújt az algoritmus igény szerinti megváltoztatására. A megépített mérőrendszer távvezérléssel is rendelkezik, amihez internet hozzáférés

szükséges. Így a rendszer távolról is irányítható, az aktuális sorozatmérés módosítható, vagy az addigi mérési eredmények lekérdezhetők.



1. ábra. A vízbontási sorozatmérések lebonyolításához tervezett mérőrendszer vázlatos felépítése

A vízbontó cella egy 700 ml térfogatú gáztömör edény, amely két elektródot, két gázvezető csonkot, egy hűtőrendszert és egy hőelemet tartalmaz. A cellában helyet foglaló elektródok anyaga ötvöztött acél (anyagminőség: EN 1.4307), az elektródfelület pedig  $\approx 16 \text{ cm}^2$ . Az alkalmazott oldat 30 % (m/m) koncentrációjú KOH volt. A hőmérséklet az összes mérés során  $25,5 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  volt. A cellában keletkező gáz térfogatáramának mérését nyomásmérésre vezettem vissza, melynek kalibrációjához egy olyan térfogatáram mérő eszközt terveztem és építettem, amely alkalmas rendkívül kismértékű térfogatáram mérésére.

### 3. Sorozatmérés bemutatása és eredmények

A mérőrendszer segítségével változó feszültségű vízbontási méréseket végeztem el. A szinuszosan változó feszültség paramétereit a LabVIEW programban a következő intervallumokkal és felbontással fedtem le:

- az amplitúdó változtatása nullától 2 V-ig terjedt 0,2 V lépésközökkel;

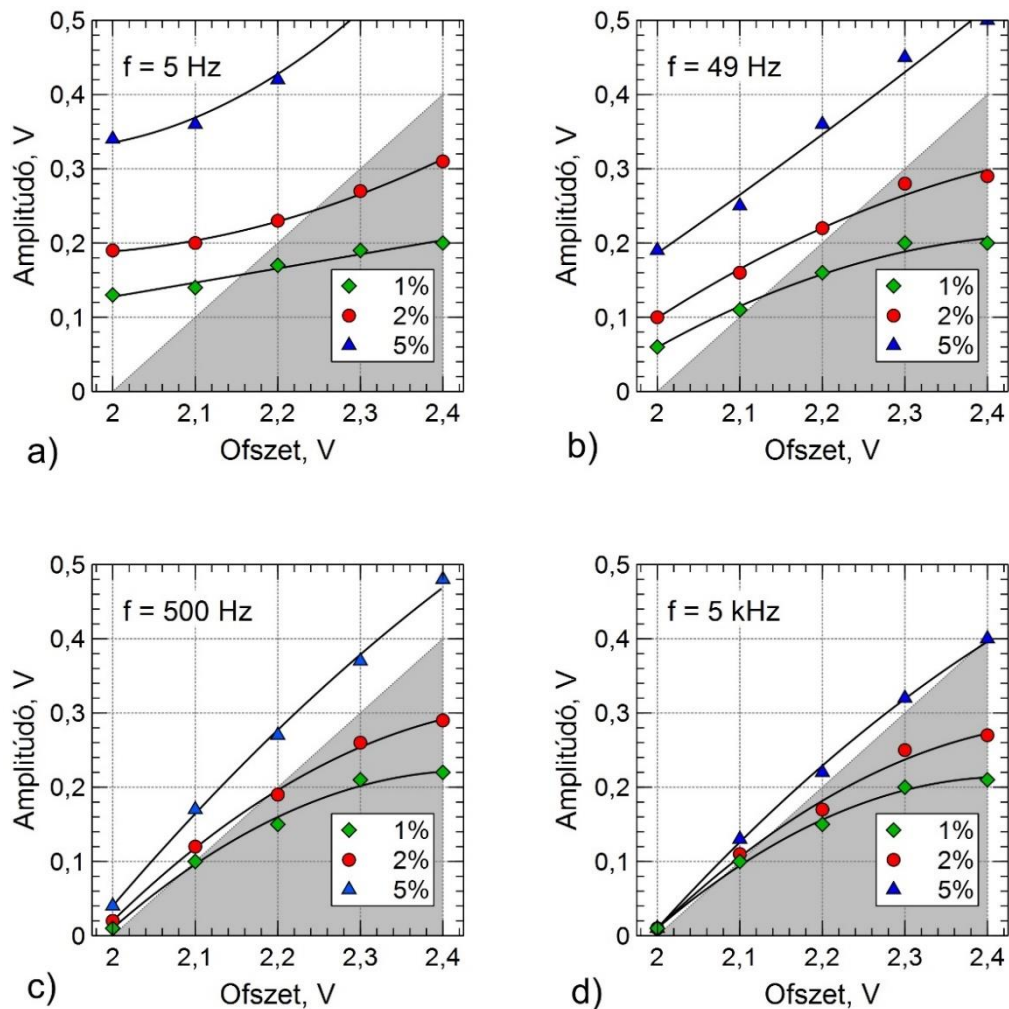
- a frekvencia változtatása 1 Hz-től 97 Hz-ig 4 Hz lépésközökkel, majd 200 Hz-től 5000 Hz-ig 100 Hz lépésközökkel terjedt;
- az ofszet változtatása 1,4 V-tól 2,8 V-ig terjedt 0,2 V lépésközökkel.

A felsorolt intervallumok összesen 8 ofszet, 11 amplitúdó és 74 frekvencia értéket tartalmaznak, és ezek összes kombinációja lemérésre került (6512 db mérés). Mindegyik mérés 15 s ideig tartott. Egy mérés után 5 s várakozás következett, majd 10 s időtartamra kinyitott a mágnesszelep a cellában esetlegesen létrejövő gázok elengedése végett. A szelep zárását követően 30 s várakozási idő volt beiktatva, majd ismét mérés következett az újonnan beállított feszültség paraméterekkel. A cellafeszültség, a cellaáram, a tápfeszültség és a nyomás értékét a mérőrendszer automatikusan rögzítette, mégpedig 97 Hz-ig 1000 minta/s, 200 Hz fölött 50000 minta/s gyakorisággal. A sorozatmérés végeredménye 6512 db táblázat, amelyek feldolgozása és kiértékelése manuális úton rendkívül hosszadalmas feladat, ezért a kutatásaim során több, leginkább C# programnyelven adatfeldolgozó programokat írtam.

Az egyik adatfeldolgozó program a LabVIEW program által elmentett fájlokból kiolvassa az adatokat, és minden feszültség paraméter kombinációhoz a következőket számolja ki: nyomásnövekedés sebessége, átlagos villamos teljesítmény felvétel, átlagos cellafeszültség, átlagos áramerősség, átlagos tápfeszültség, tényleges amplitúdó. A nyomásnövekedés sebessége alapján kiszámoltam és grafikonon szemléltettem a vízbontó cellában termelt gáz térfogatának amplitúdó, frekvencia, valamint ofszet függését szinuszosan változó feszültség esetében. Meghatároztam a vízbontó cella teljesítmény felvételének amplitúdó, frekvencia, és ofszet függését is. A változó feszültségű vízbontás során mért gáz térfogatáram és cella teljesítmény felvétel összefüggéseinek vizsgálatához és leírásához a vízbontó cella Randles modell szerinti ekvivalens áramköri kapcsolását alkalmaztam. A termelt gáz térfogatárama és a cella teljesítmény felvétele alapján számolható a vízbontás hatásfoka. Az eredmények alapján elmondható, hogy bontási feszültség felett (1,95 V) a legnagyobb hatásfok a tiszta egyenfeszültségnél mérhető. Bontási feszültség alatt a tiszta egyenfeszültséghez tartozó hatásfok gyakorlatilag nulla, viszont az amplitúdó növelésével és a frekvencia csökkentésével a hatásfok növelhető.

Az értekezésem egyik legfontosabb eredményét szemlélteti a 2. ábra, melyből a hatásfok adott százaléknyi csökkenéséhez szükséges ofszet és amplitúdó beállítások olvashatók ki különböző frekvenciák alkalmazásával. Így pl. 2 V ofszet és 5 Hz frekvencia beállítással 0,34 V amplitúdójú szinuszosan változó feszültséget kell a cellára kapcsolni ahhoz, hogy a

hatásfok csökkenés 5%-os legyen, míg 500 Hz mellett már 0,04 V amplitúdójú jel is elegendő ugyanilyen mértékű hatásfok csökkenés eléréséhez. A hatásfokot az egyenáramú esetben meghatározott értékekhez viszonyítottam. A grafikonokon szürkére színeztem azt a területet, amelyen belül a változó feszültség okozta változó áramerősség a periódusidő teljes időtartama alatt a pozitív tartományban található (azaz a feszültség mindvégig a bontási feszültség felett található). Megfigyelhető, hogy a szürke területen belül található adatpontok a frekvencia növelésével gyakorlatilag nem változtatják meg a helyzetüket, míg a szürke területen kívül eső adatpontok a frekvencia növelésével egyre inkább a szürke terület felé húzódnak, azaz egységnyi hatásfok csökkenéshez egyre kisebb mértékű feszültség hullámosság is elegendő.



2. ábra. Adott hatásfok csökkenés eléréséhez szükséges ofszet és amplitúdó beállítások különböző frekvenciák alkalmazásával szinuszosan változó jelalak esetében

## 4. Összefoglalás

Szakirodalomkutatás alapján nyilvánvalóvá vált, hogy a tápforrás kimeneti feszültség és áramerősség ingadozásának vízbontásra gyakorolt hatásai feltérképezetlen területnek számítanak. Ebből kifolyólag választottam „A változó feszültség jellemzőinek hatása az elektrolitikus hidrogénelőállítás energiahatékonyságára” című témát. A tápforrás kimenetét olyan szinuszosan változó feszültséggel modelleztem, amelynek változtattam az ofszet értékét, az amplitúdóját és a frekvenciáját. A paraméter kombinációk számosságára való tekintettel egy olyan mérőrendszert terveztem és építettem, amelynek segítségével nagyszámú vízbontási mérés hajtható végre teljesen automatikus módon. A felügyeletet nem igénylő rendszer elvégzi a szükséges méréseket, eltárolja a mérési adatokat és speciálisan e célra fejlesztett adatfeldolgozó programok segítségével előkészíti azok kiértékelését. A legfontosabb kérdés a víz elektrolízissel kapcsolatban a hatásfok alakulása volt, de ezen túlmenően a térfogatáram, a teljesítmény és az áramhatásfok összefüggéseit is összefoglaltam. Az eredmények alapján a változó feszültségű vízbontás négy különálló esetre bontható (és egyúttal kitérek az egyes esetekhez tartozó legfontosabb megállapításokra is):

- A cellafeszültség időbeli alakulása mindvégig bontási feszültség ( $U_B$ ) alatt található. A térfogatáram ilyenkor mindig nulla, a felvett teljesítmény viszont mind az amplitúdó, mind a frekvencia növelésével nő. A vízbontás energiahatásfoka ebből kifolyólag nulla, a bevitt villamos energia a cellában hővé alakul. A cella kapacitív viselkedése meghatározó. Az áramerősség váltakozó jellegű.
- A cellafeszültség időbeli alakulásában található olyan pont, amely megegyezik  $U_B$ -vel, és az ofszet ( $U_{DC}$ ) kisebb, mint  $U_B$ . Az amplitúdó növelésével és/vagy a frekvencia csökkentésével a keletkező gáz térfogatárama és a hatásfok növekszik. A frekvencia növelésével a térfogatáram nullához közelít, a felvett teljesítmény pedig növekszik, azaz a hatásfok is nullához tart. Az áramerősség váltakozó jellegű.
- A cellafeszültség időbeli alakulásában található olyan pont, amely megegyezik  $U_B$ -vel, és  $U_{DC} > U_B$ . A hatásfok az amplitúdó és/vagy a frekvencia csökkentésével nő. A térfogatáram a frekvencia növelésével csökken, és mindig ahhoz az értékhez tart, melyet akkor kapunk, ha a változó feszültség ofszet értékével megegyező feszültség szinten ( $U_{DC}$ ) végzünk egyenáramú vízbontást. Ebből kifolyólag a térfogatáramban egy határfrekvencia mutatható ki, melynek alakulása függ az ofszet és az amplitúdó értékétől. A határfrekvenciát, mint

fogalmat, az eredmények kiértékelése során vezettem be. A felvett teljesítmény az amplitúdó és a frekvencia növelésével nő. Az áramerősség váltakozó jellegű.

- A cellafeszültség időbeli alakulása mindvégig  $U_B$  felett található. A térfogatáram értéke nem függ az amplitúdótól és a frekvenciától. A felvett teljesítmény értéke nem függ a frekvenciától, ellenben az amplitúdó növelésével nő. A hatásfok az amplitúdó növelésével parabolikus jelleggel csökken. Az áramhatásfok az amplitúdó növelésével csökken. A cella kapacitív viselkedése kevésbé meghatározó. A villamos áram a cella üzemelése közben csak egy irányba folyik.

Az eddig elvégzett vízbontási méréseim alapján elmondható, hogy a felsorolt négy eset háromszög, fűrészfog és négyszög jelalakok alkalmazásánál is érvényes. A felsorolt hatásokon túlmenően a változó feszültségnek egyéb hatásai is lehetnek, pl. az elektród passziválódásának elősegítése. Az általános hatások pontos feltérképezése azonban túlmutat az értekezésemben kitűzött célokra, következtetések levonásához a bemutatott eredményeken túlmenően további kísérletekre lenne szükség.

Az előzőleg felsorolt négy eset közül az utolsó kiemelkedő fontosságú a nagy teljesítményű tápforrások miatt, ugyanis az ipari DC tápforrások leggyakrabban ehhez hasonló esetet produkálnak. Kis teljesítmények esetében a tápforrások feszültségének hullámossága viszonylag egyszerűen csökkenthető és olyan szinten tartható, amely nem okoz üzemzavart a megvárt áramkörben. A tápforrás teljesítményének növelésével azonban a hullámosság csökkentése egyre nagyobb kihívást jelent és egyre költségesebb, így az ipari tápforrások sok esetben jelentős hullámossággal rendelkeznek. Az értekezés egyik legfontosabb eredménye annak a kimutatásnak, hogy a tápforrások kimenetén mérhető feszültség egyenetlenség önmagában is rontja a vízbontás hatásfokát, ezért ipari méretekben különös jelentősége van a megfelelő tápforrás kiválasztásának.

## **5. A kutatás hasznosíthatósága**

A lúgos közegben végzett víz elektrolízis hatásfokát számos tényező befolyásolja, melyek egy része még ma is intenzíven kutatott terület. A témával kapcsolatos publikációk azonban rendkívül keveset foglalkoznak a tápforrás és a vízbontó cella kapcsolatával, és sok esetben akkor is állandó áramerősség és feszültség értékkel számolnak, ha a tápforrás kimenetének



hullámossága számottevő. Az értekezésem eredményei rávilágítanak arra, hogy a vízbontó cellára kapcsolt változó feszültség rontja a vízbontás hatásfokát és az elektrolízis áramhatásfokát, továbbá képet kapunk arról is, hogy a jelalak paramétereinek változtatásával ez milyen mértékben történik meg. Ez utóbbiról a szakirodalomkutatásom során nem találtam információkat. A tápforrás kimeneti feszültség ingadozásának káros hatásairól az elektrokémián belül először azokon a területeken jelentek meg publikációk, ahol a hullámosság egyértelmű, szemmel látható termék minőség romlást eredményezett. Ilyen terület pl. a fémbevonatok készítése, ahol a feszültség hullámosságának változtatása hatással van a bevonat felépítésére, struktúrájára. A vízbontás során azonban nincs termék minőség romlás, viszont a tápforrás hullámosságának a hatásfokromláson túlmenően olyan hatásai is lehetnek, mint pl. az elektródpassziváció vagy a cella élettartamának csökkenése. A felsorolt esetek egy új kutatási területet képeznek, bővítve ezáltal a vízbontás hatásfokát befolyásoló tényezők számát. Így a megépítésre kerülő vízbontási technológiák még a tervezési fázisában pontosabban tervezhetők, és egy tápforrás kiválasztással vagy tervezéssel kapcsolatos döntéshozatal is racionálisabb lehet.

A hidrogén, mint energiatároló vagy energiahordozó elterjedésének gátja, hogy előállítás, szállítása és tárolása a fosszilis energiahordozókhöz viszonyítva drága. A rendelkezésre álló technológiák gazdasági szempontból nem tudnak versenyezni a fosszilis energiahordozókkal. Ennek ellenére leginkább a fejlett országokban olyan irányú, részben politikai törekvések mutatkoznak, amik elősegítik a hidrogén, mint energiaforrás elterjedését. Ehhez nemcsak a technológiával kapcsolatos költségcsökkentés járul hozzá, de a hatékonyabb előállítás és tárolás is. Ehhez pedig szükséges ismerni minden olyan körülményt, ami befolyásolja az adott technológia hatékonyságát. A tápforrás kimeneti feszültségének minőségével kapcsolatos kutatás ezt az ismeretkört bővíti.

Azon meglévő üzemeknél, ahol a hidrogént elektrolízis útján állítják elő, fontos lehet megismerni a tápforrás felépítéséből és működéséből adódó hatékonyságcsökkentő tényezőket. Ha egy vízbontó cellára kapcsolt feszültség jelentős hullámossággal rendelkezik, úgy megvizsgálható, hogy az egyenfeszültség (további) simításával milyen hatékonyság és/vagy áramhatásfok növekedés érhető el. Az esetlegesen beépítésre kerülő plusz szűrő csökkenti a fogyasztást, vagy azonos fogyasztás mellett növeli a termelékenységet.

## 6. Tézisek

1. A változó feszültség és a vízbontás hatékonysága közötti kapcsolat vizsgálatához olyan mérési elvet dolgoztam ki, melynek alkalmazásával elvileg tetszőleges számú vízbontási mérés végezhető el teljesen automatikus módon. A felügyeletet nem igénylő rendszer előre meghatározott algoritmus alapján állítja elő a különböző frekvencia, amplitúdó és ofszet értékkel, valamint adott jelalakokkal rendelkező feszültséget, amelyet határozott időre rákapcsol a cellára, közben pedig információt gyűjt a mérésekről. A mérési elv minden olyan elektrolízis során alkalmazható, melynél gáz halmazállapotú termék keletkezik.
2. A mérési eredményeim alapján megállapítottam, hogy a vízbontás során szinuszosan változó feszültség esetében a térfogatáram csak akkor függ a frekvenciától, ha a cellafeszültség alakulásában van olyan pont, amely megegyezik a bontási feszültséggel. A frekvencia növelésével ez esetben a térfogatáram mindig arra az értékre áll be, amelyet akkor kapunk, ha az időben változó feszültség átlagértékével megegyező egyenfeszültséggel végzünk vízbontást. Bevezettem a határfrekvencia fogalmát, amely a térfogatáram állandósuláshoz tartozó frekvencia értéket jelenti. A határfrekvencia és az amplitúdó közötti összefüggés szinuszosan változó feszültség esetében 2,2 V átlagos cellafeszültségig konkáv, 2,3 V-on közel lineáris, 2,4 V-tól pedig konvex jellegű.
3. A mérési eredményeim alapján megállapítottam, hogy a szinuszosan változó feszültség amplitúdójának növelésével teljesítmény felvétel növekedés tapasztalható az általam vizsgált frekvenciatartományban (1-5000 Hz), továbbá a felvett teljesítmény csak abban az esetben frekvenciafüggetlen, ha a cellafeszültség minden pontja a bontási feszültség felett található. Ha ez nem teljesül, úgy a felvett teljesítmény a frekvencia növekedésével logaritmusos összefüggés szerint nő.
4. A mérési eredményeim alapján megállapítottam, hogy a szinuszosan változó feszültség amplitúdójának növelésével energiahatékonyság és áramhatásfok csökkenés tapasztalható 1-5000 Hz frekvenciatartományban. Ha az átlagos cellafeszültség nagyobb mint a bontási feszültség, úgy az amplitúdó növelésével az energiahatékonyság

először parabolikus összefüggés szerint csökken, majd ha a cellafeszültség időbeli alakulása az amplitúdónövelés hatására eléri a bontási feszültséget, úgy a hatékonyság a további amplitúdó növelés hatására már közel lineáris összefüggés szerint csökken. Az áramhatásfok az amplitúdó növelésével lineárisan csökken, ha a cellafeszültség nagyobb, mint a bontási feszültség.

## 7. A témához kapcsolódó publikációk

- [1] Zs. Dobó, T. Kulcsár, T. Kékesi. *Electromechanical system with alternative current supply for the electrorefining of tin in HCl solutions*. XXVI. microCAD International Scientific Conference, Miskolc, 2012.
- [2] Zs. Dobó, T. Kulcsár, T. Kékesi. *Electrorefining of tin in pure acid solutions by mechanically controlled cathode deposition and solar power utilization*. *Materials Science and Engineering*, 37, No. 2, pp. 19-26, 2012.
- [3] Tibor Kulcsár, Zsolt Dobó, Tamás Kékesi. *The effect of micro-impulse current on the morphology of tin electrodeposited from chloride solutions*. *Materials Science Forum*, Vol. 752, pp. 294-303, 2013, ISSN 0255-5476.
- [4] Dobó Zsolt, Palotás Árpád Bence. *Mérőkör kialakítása a víz változó áramú elektrolízisének vizsgálatához*. *Magyar Energetika*, XXI./2, pp. 44-48, 2014, ISSN 1216-8599.
- [5] Dobó Zsolt, Palotás Árpád Bence. *Háromszög alakú villamos jel frekvencia és amplitúdó változtatásának hatása a vízbontás során termelt hidrogén mennyiségére*. *Tavaszi Szél Konferenciakötet*, pp. 308-320, 2014.
- [6] Zsolt Dobó, Árpád Bence Palotás. *Triangular and square voltage waveforms in water electrolysis – influence of frequency and amplitude change*. *Materials Science and Engineering*, 40, No. 1, pp. 56-63, 2015.

## 7.1 További publikációk

- [1] Alberto Pettinau, Zsolt Dobó, Zoltán Köntös, Andor Zsemeri. *Experimental characterization of a high sulfur Hungarian brown coal for its potential industrial applications*. Fuel Processing Technology, Vol. 122, pp. 1-11, 2014. IF: 3,352.
- [2] Zsolt Dobó, Helga Kovács, Pál Tóth, Árpád B. Palotás. *Investigation of natural gas theft by magnetic remanence mapping*. Forensic Science International, Vol. 245, pp. 1-6, 2014. IF: 2,14.
- [3] Zs. Dobó, Á. B. Palotás. *Vizsgálatok lakossági gázmérők mágneses manipulálásának utólagos kimutathatóságára*. Magyar Energetika, pp. 28-31, 2012.
- [4] Zs. Dobó, Á. B. Palotás. *Lakossági gázmérők mágneses manipulálásának utólagos kimutathatósága*. Víz, Gáz, Fűtéstechnika, 2012 május, 42-45.
- [5] T. Ferenczi, Zs. Dobó. *Aerogél tartalmú tűzálló falazatok vizsgálata*. Bányászati és Kohászati Lapok, 145, 2012/3, 39-42.
- [6] Zs. Dobó, Á. B. Palotás. *Lakossági gázmérők mérőszerkezetében kialakuló bemaródások vizsgálata*. Magyar Energetika, 2013. február.
- [7] Zs. Dobó, Á. B. Palotás. *Lakossági gázmérők mérőszerkezetében kialakuló bemaródások vizsgálata*. Víz, Gáz, Fűtéstechnika, 2013. március, 30-36.
- [8] L. Winkler, B. Gyarmati, Zs. Dobó, Á. B. Palotás. *Emmission Measurements in Natural Gas Flames*. 4th European Combustion Meeting (ECM), Bécs, 2009.
- [9] I. Szűcs, Zs. Dobó, Á. B. Palotás. *Hysteresis In The Ion Current Characteristics Of Natural Gas Combustion*. XXXIII. International Symposium on Combustion, Peking, 2010.
- [10] T. Koos, Z. Dobo, P. Toth, K. Szemmelveisz and A.B. Palotas. *Analysis of Solid and Gaseous Emissions for Coal-Biomass Co- Combustion*. 36th Int'l Technical Conference on Clean Coal & Fuel Technologies. FL, USA, 2011.
- [11] Szabadalom. *Programozott katódtömörítéssel és áramvezérléssel működő berendezés forrasztási ónhulladék elektrolitos raffinálására és eljárás ennek megvalósítására*. Ügyszám: P1100722. Lajstromszám: 229836. Részesedés: 25%. Bejelentés dátuma: 2011.12.28.

- [12] Szabadalom. *Betét egység nagy sebességű gázégők égési-hatásfokának javításához*. Ügyszám: P1200614. Lajstromszám: 230115. Részesedés 9%. Bejelentés dátuma: 2012.10.26.
- [13] Szabadalmi bejelentés. *Folyamatosan tömörített forgó katóddal és anódpotenciálra szabályozott árammal működő elektrolizáló berendezés forrasztási ónhulladék raffinálására és eljárás ennek megvalósítására*. Ügyszám: P1500265. Részesedés: 33%. Bejelentés dátuma: 2015.06.01.
- [14] Használati mintaoltalom. *Mérőeszköz fizikai jellemzők pillanatnyi értékének megjelenítésére*. Ügyszám: U1200158. Lajstromszám: 4191. Részesedés: 40%. Bejelentés dátuma: 2012.08.06.