



TDK dolgozat

PEM tüzelőanyag-cella tervezése,
szimulációja és mérése

Készítette: Braun Barnabás

Konzulens: Kereszty Balázs

2021
Kecskemét

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS	2
1. PEM TÜZELŐANYAG-CELLA TERVEZÉSE.....	3
1.1. A TERVEZÉSI MÓDSZERTAN.....	3
1.2. KÖVETELMÉNYEK, SPECIFIKÁCIÓK ÉS BENCHMARKING	3
1.3. KONCEPCIÓK.....	5
1.3.1. Gázátvezetés vékonyfalú csővel, zik-zak-os gázvezető csatornákkal	5
1.3.2. Cső nélküli gázátvezetés, háromszögprofilú zik-zak csatornákkal	6
1.3.3. Csöves gázátvezetés, porózus anyagú csatornával	7
1.4. KONCEPCIÓK PONTOZÁSA	8
1.5. KONSTRUKCIÓS TERVEZÉS	9
1.5.1. Bipoláris lemez	9
1.5.2. MEA (membrán elektród egység) egység.....	11
1.5.3. Áramgyűjtő	12
1.5.4. Gázvezető cső	13
1.5.5. Tömítőgyűrűk.....	14
1.5.6. Központosító szár	15
1.5.7. Véggumi.....	15
1.5.8. Véglemez.....	16
1.5.9. Összehúzó szár és szárnyas anyák.....	17
1.6. ALKATRÉSZLISTA.....	17
2. A TERVEZETT TÜZELŐANYAG-CELLA EGYSÉG BIPOLÁRIS LEMEZÉNEK CFD SZIMULÁCIÓJA.....	19
2.1. BEVEZETÉS, A SZIMULÁCIÓS PROGRAM ISMERTETÉSE.....	19
2.2. ANSYS CFD SZIMULÁCIÓ FELÉPÍTÉSE	19
2.3. GEOMETRIAI MODELL LÉTREHOZÁSA	19
2.4. HÁLÓ LÉTREHOZÁSA, PEREMFELTÉTELI ZÓNÁK MEGJELÖLÉSE	21
2.5. FLUENT PARAMÉTEREZÉSE ÉS BEÁLLÍTÁSA	22
2.6. A SZIMULÁCIÓ ÉRTÉKELÉSE	26
3. PEM TÜZELŐANYAG-CELLA ALAP MÉRÉSEI	30
3.1. A MÉRÉS HELYSZÍNE	30
3.2. A LEGYÁRTOTT ALKATRÉSZEK.....	30
3.3. A CELLA ÖSSZESZERELÉSE	31
3.4. A CELLA FELHELYEZÉSE A MÉRŐ BERENDEZÉSRE	33
3.5. A MÉRÉS FUTTATÁSA ÉS KIÉRTÉKELÉSE.....	34
ÖSSZEFOGLALÁS	37
IRODALOMJEGYZÉK	38

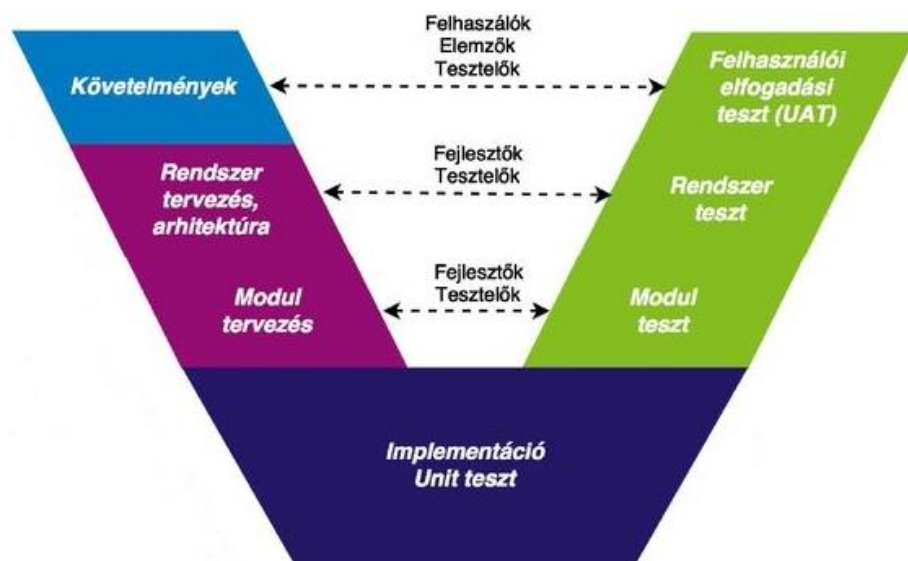
Bevezetés

Az előző évi TDK versenyen bemutattam, hogy mi és hogy miért fontos ismerkednünk a tüzelőanyag-cella technológiájával. Továbbá ismertettem, hogy milyen paramétereket fontos ismernünk, és hogy ezen paramétereket hogyan tudjuk a valóságban lemérni. Ebben az évben, viszont az előző évre támaszkodva már egy saját tüzelőanyagcellát szerettem volna megtervezni, leszimulálni, legyártatni majd ezt követően a valóságban is megmérni. A dolgozatom tehát ezt a fő három egységet érinti. A tervezési fázist, amit a V-modell tervezési módszertannal vittem véghez. Ebben a fázisban három fő koncepciót alakítottam ki, majd a tervezés legfőbb szempontjai alapján értékeltem. A nyertes koncepciót pedig átültettem a konstrukciós tervezési fázisba, ahol a köteg működéséhez szükséges összes elemet egyedileg megterveztem. Közben, a tervezéssel párhuzamosan a cellán belüli bipoláris lemez CFD szimulációját is elkészítettem. A szimulációban kapott eredményeket kiértékeltem, és több jövőbeli optimalizációs ötletet is felvettem. A tervezés és a szimuláció után következett a tüzelőanyag-cella gyártása, amelyben a Bay Zoltán Kutatóintézet segített. A gyártott cellákat ezt követően a konzulensemmel közösen összeszereltük, és a valóságban is lemértük. Az idő rövidsége miatt azonban ebben a szakaszban csak a legfőbb paramétereket tudtam megmérni, és kiértékelni. Végezetül pedig összefoglaltam az elért eredményeket.

1. PEM tüzelőanyag-cella tervezése

1.1. A tervezési módszertan

Egy hagyományos, a piacra szánt tervezés során legtöbbször valamilyen ismert tervezési módszert használunk. Jelen esetünkben, mivel saját magunknak terveztük a cellákat, így jóval nagyobb kompromisszumokat tudtunk kötni, és sok olyan fázist meg tudtunk spórolni, amit egyéb esetekben nem lehetne. Ettől függetlenül a tervezési módszerem a V-modellre épült, hiszen közel azonos lépéseken keresztül akartam eljutni a „késztermék” felé.



1.ábra: A V-modell felépítése [1]

1.2. Követelmények, specifikációk és benchmarking

Mint azt fentebb említettem a követelményekkel, valamint a specifikációkkal is viszonylag könnyű helyzetben voltam, hiszen azokat nem egy külsős megrendelő adta, hanem mi magunk tudtuk megszabni őket és szerencsémre a specifikációk száma sem volt sok. A fő dolog, ami az egész köteg felépítését meghatározza, az az aktív felület, pontosabb nevén a membrán-elektrod egység (MEA). Ezen az aktív felületen történik meg az a protoncsere, amely során elektromos energiát tudunk nyerni. A cellánkban használt MEA egységet a Természettudományi Kutatóközponttól kaptuk, így ezen méretet fixnek tekintettük, amely megadta az egész köteg alapját. Továbbá, szintén nagy segítséget nyújtottak a benchmarking részben is, ugyanis Ők már rendelkeztek egy egycellás tüzelőanyag-cella köteggel, amelyet saját kezünkben élőben megvizsgálhattunk (2.ábra.). Valamint a saját mérőállomásukat is megnézhattuk. Természetesen a benchmarkingot az interneten is folytattam, ahol számos remek kialakítást és konstrukciót ismertem meg. A benchmarking során az is világossá vált, hogy a legnagyobb szerepe a bipoláris lemezeknek

van, hiszen ezen lemezekről függ, hogy milyen hatékonysággal, és milyen ellenállással jut a MEA egységre a levegő és a hidrogén. Így fő kutatási irányt ez a rész határozta meg. A fentiek tudatában meghatároztam egy minimális nagyságú, ugyanakkor a főbb követelményeket magába foglaló követelményjegyzéket.

1.táblázat A tüzelőanyag-cellán belüli főként a bipoláris lemezekre vonatkozó követelményjegyzék

Fő jellemzők	#	Követelmények	Érték	Forrás	Prioritás
Geometria	1	MEA rész mérete	40x40mm	Tervező	MH
	2	Bipoláris lemez kompakt mérete	<80x80x8mm	Tervező	MH
	3	Mérőszensorok helyének kialakítása	megfelelő furatok	Tervező	MH
	4	A bipoláris lemez csatornái a lehetőleg kis ellenállással bírjanak	-	Tervező	D
Anyag	5	Korrózióálló anyagok	-	Tervező	MH
	6	Jó elektromos vezetőképességű bipoláris lemez	-	Tervező	MH
	7	Könnyen megmunkálható anyagok	-	Tervező	D
Gyártás	8	Hagyományos gépekkel (fűrőgép, marógép) gyártható legyen	-	Cég	MH
Szerelés	9	Egyszerű kézi szerszámokkal szerelhető legyen	-	Tervező	MH
Karbantartás	10	MEA rész egyszerűen cserélhető legyen	-	Tervező	MH
Költségek	11	3 cellás egység ára	<1500 EUR	Cég	MH

Ebben a táblázatban a fő jellemzők különböző csoportokra vannak bontva és egy-egy csoporthoz, a követelmények oszlopban található a megadott követelmény vagy specifikáció megnevezése. Ahol a megadott követelményt számszerűsíteni lehetett, ott azt megtettem, ezt az értékek oszlopban található. A forrás megjelöli, hogy az adott követelmény kitől származik. A prioritás oszlop pedig két csoportra oszlik, van egy „MH”, azaz Must Have

rész. Az ezzel megjelölt követelmények/specifikációknak minden esetben teljesülniük kell, míg a „D” – Demand-al jelölteknek nem feltétlenül szükségesek teljesülniük.



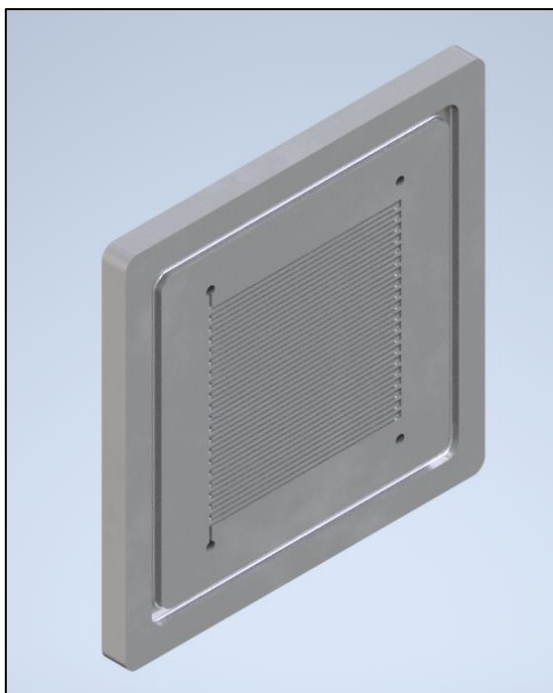
2.ábra: A TTK-n használt tüzelőanyag-cella bipoláris lemezének kialakítása

1.3. Konceptiók

A következő fejezetben a megtervezett koncepciók lesznek bemutatva, amelyek leginkább a bipoláris lemez csatorna kialakításában különböznek, hisz mint fentebb említettem, a cél a minél hatékonyabb gázrávezetés a MEA egységre, úgy, hogy az áramlás minél kevesebb ellenállással történjék meg. Ez utóbbi azért rendkívül fontos, mert, ha majd a jövőben egy sokkal több cellából álló köteget (stacket) szeretnénk megépíteni, ott már nagy hangsúly lesz azon, hogy a gázok megfelelő nyomással érjenek el a bemenettől távolabb lévő cellákhoz is.

1.3.1. Gázátvezetés vékonyfalú csővel, zik-zak-os gázvezető csatornákkal

Ebben a koncepcióban a bipoláris lemez gázvezető csatornái a TTK-n használt „zik-zak” mintához hasonlít, ahol a gázmolekuláknak a csatorna egész szakaszán végig kell haladniuk. A gázátvezetés az egyik lemeztől a másikra egy rendkívül kis átmérőjű, vékony falú csövön keresztül történik meg.



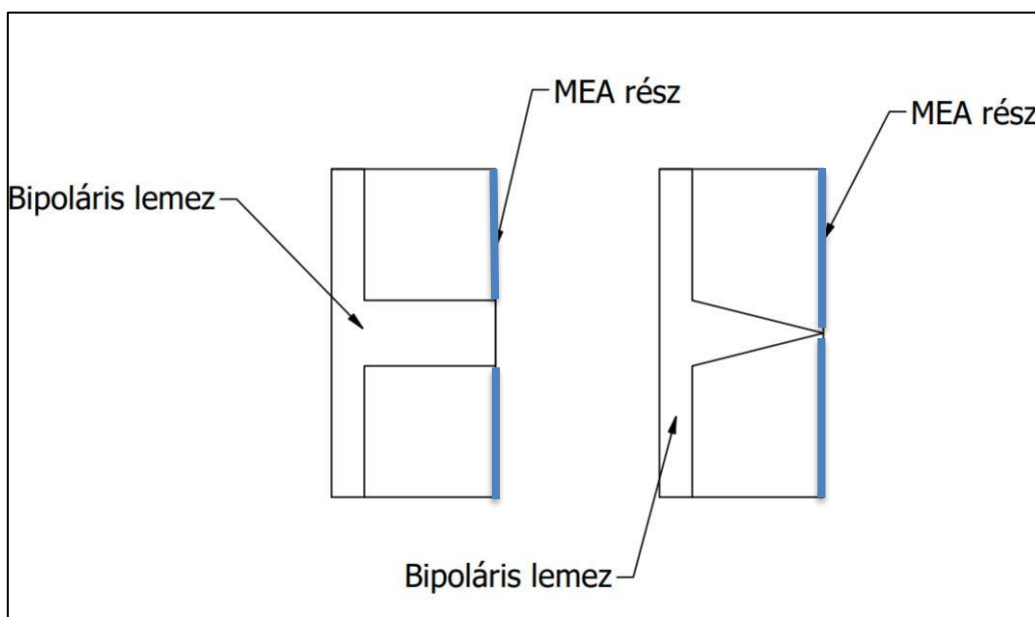
3.ábra: A legelső konstrukció, zik-zak mintás gázvezetőcsatornákkal

1.3.2. Cső nélküli gázátvezetés, háromszögprofilú zik-zak csatornákkal

A harmadik koncepció előtt egy meglehetősen sikeres brainstormingot végeztem el konzulensemmel, ahol megállapodtunk abban, hogy a csöves gázátvezetésnek több buktató faktora is van. Ilyen például a cső megmunkálása is, hiszen a vékony falvastagsága és a kis méretei extrém pontos és finom megmunkálást igényelnek. A másik ilyen faktor az áramlással kapcsolatos aggályaink voltak, hiszen a csőben elképzelhető, hogy egyes cellák kevesebb gázt kapnak. Ezért úgy döntöttünk, hogy a következő koncepciót úgy dolgozzuk ki, hogy a csövet elhagyjuk, a gázátvezetést az illesztés mentén végezzük el. Ez azonban nem egyszerű feladat, mivel a hidrogén a világegyetem legkönnyebb eleme, így érdemes tudni azt a tényt, hogy a lehető legkisebb résen keresztül is képes „elszökni”. Ezért fokozott hangsúlyt fektettünk arra, hogy ezt megelőzzük. A koncepcióban a gázátvezető résznél a lemezbe O-gyűrűt helyeztünk annak érdekében, hogy a gáz ne szökjön el, továbbá a kapcsolódó következő lemezbe szintén egy O-gyűrű található. Annak érdekében, hogy a két O-gyűrű tökéletesen tömítsen, a két O-gyűrű közé egy az alátétekhez hasonló fém gyűrűt is betettünk. A csatornaprofilon is módosítottunk, mert a brainstorming során rájöttünk, hogy a korábbi csatorna kialakítása miatt rengeteg aktív felületrészt elveszítünk. Ennek orvoslására találtam ki, hogy azzal tudjuk a legegyszerűbben megnövelni a MEA aktív felületét, ha a korábbi négyzet profilú csatornákat háromszög alakúra alakítjuk át. Első körben a már ismert „zik-zak” profilt követve alkottam meg az új koncepciót.



4.ábra: Második koncepció

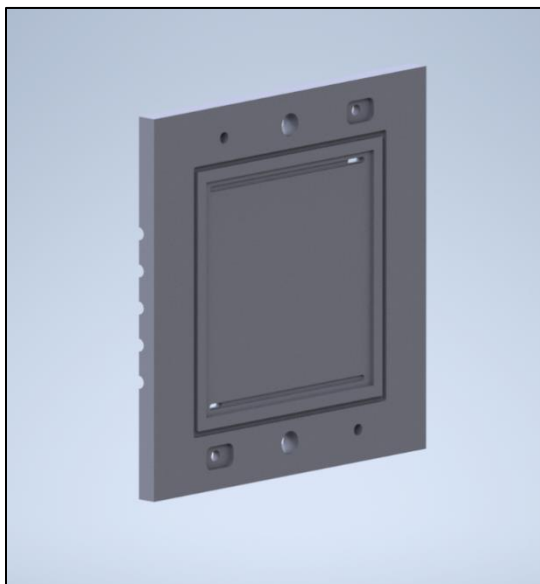


5.ábra: Sematikus ábrán a háromszög profil miatt megnövekedett MEA felület

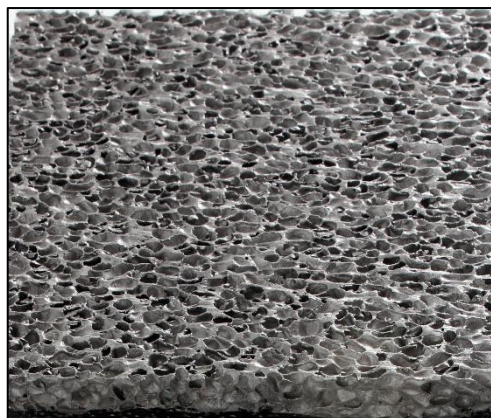
1.3.3. Csöves gázátvezetés, porózus anyagú csatornával

Az előző két koncepciót követően egy még újabb, radikálisabb ötlettel álltunk elő. Itt az előző koncepcióktól eltérően a gázok MEA egységre vezetése nem egy szabályos csatornarendszeren keresztül történik, hanem egy porózus nyílt cellás fémhab anyagon keresztül. Ez több szempontból is előnyös lehet, egyrészt a Bay Zoltán Kutatóintézet óriási tapasztalattal rendelkezik a fémhabok területén, másrészt ilyen koncepcióval a világon még senki más sem rendelkezik. A koncepció úgy valósulna meg, hogy lenne egy alap bipoláris

lemezünk, amelybe a fémhab helyét előre kimarjuk. Ezt követően elkészítjük a fémhabot a kívánt hosszra és szélességre és ezt a megfelelő méretűre szeleteljük. A két darabot pedig összeillesztjük. A gázátvezetés itt ismét egy csőrendszeren keresztül történne, mert a fémhab anyagra csak így tudjuk a gázvezetést megoldani.



a



b

6.ábra: Ötödik koncepció, a közepén lévő részbe illeszkedik a fémhab szelet

a – Ötödik koncepció bipoláris lemeze; b – nyílt cellás fémhab szelet [2]

1.4. Koncepciók pontozása

Az elkészített koncepciókat a következő pontozó mátrixban értékeltem, több olyan szempont alapján, amelyek a tervezés során kiemelten fontosak voltak. A pontozás során a kiválasztott tulajdonságok, mind egytől-egyig hasonló súlyozást kaptak, és nullától, tíz pontig értékeltem az adott szempontot. Így összesen 50 pontot lehetett elérni.

2.táblázat: Az egyes koncepciók értékelése a legfontosabb szempontok alapján

Koncepció száma	Gyárthatóság	Kompakt méret	Innováció	Egyszerűség (szerelhetőség)	Költség	ÖSSZESEN
Első	7	6	3	4	7	27
Második	5	8	8	7	4	32
Harmadik	7	7	10	7	8	39

A fenti pontozási táblázatból megállapítható volt, hogy mindenféleképpen az Harmadik (*ld. 1.3.3 fejezet*) koncepciót kell tovább vinnünk a konstrukciós tervezési fázisba. Hiszen ez a koncepció kapta, a számunkra releváns szempontok alapján a legmagasabb összpontszámot.

1.5. Konstrukciós tervezés

A konstrukciós tervezést a koncepciókhoz hasonlóan Autodesk Inventor programmal végeztem, és az előzőekben meghatározott Harmadik koncepció véglegesített, részletes kidolgozását jártam végig. A következőkben a konstrukciót alkotó főbb elemekről, azok tervezéséről lesz szó.

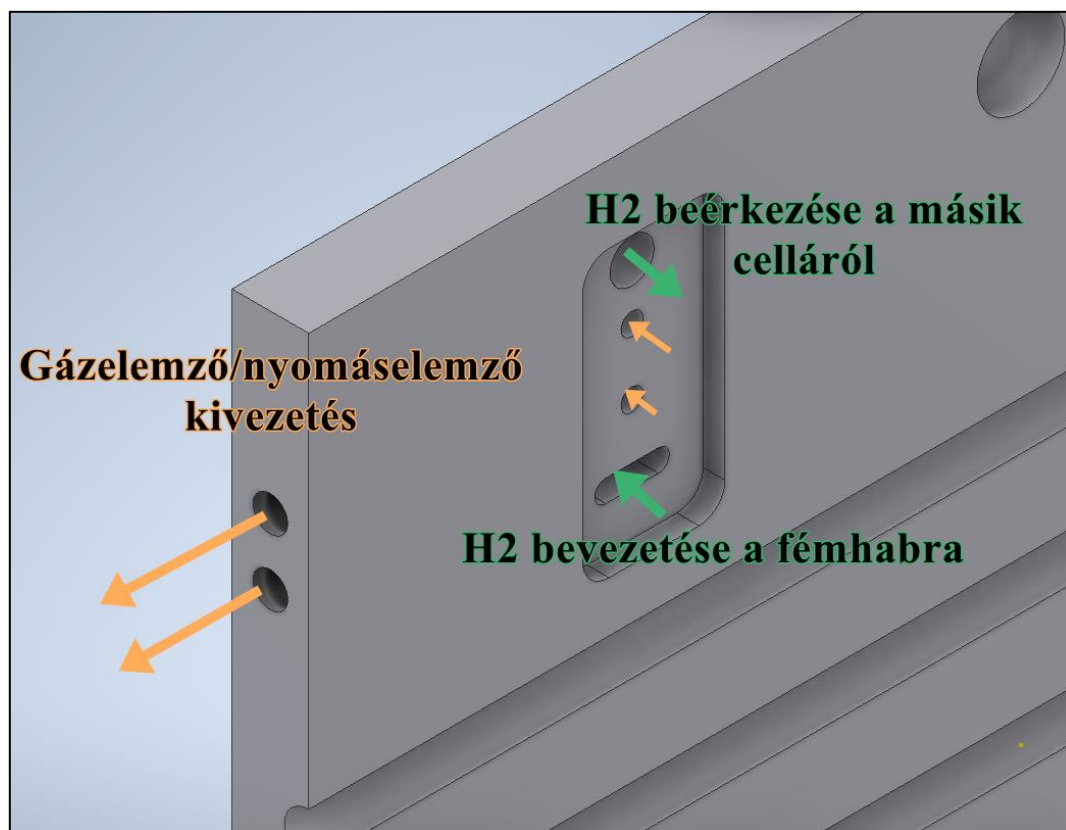
1.5.1. Bipoláris lemez

A bipoláris lemezek fő funkciója a MEA egységre történő gázvezetés (tüzelőanyagot és oxidálószer), ugyanakkor egyéb más olyan feladata is van, mint például az elektromos vezetőképesség, illetve még a hőelvezetésben, azaz a hűtésben is fontos szerepe van. Anyagát tekintve mindenféleképpen valamilyen korrózióálló acélból készül, hiszen egyrészt fontos a relatíve olcsó gyárthatóság, a jó elektromos vezetőképesség, a megfelelő szilárdság és a korrózióállóság. Esetünkben, mivel egy rendkívül újfajta megoldást próbáltunk ki, a bipoláris lemez két darabból áll. Az egyik rész a bipoláris lemez test, a másik az ebbe beleépülő nyílt cellás fémhab, ami a mi bipoláris lemezünkben a csatornákat váltja ki.

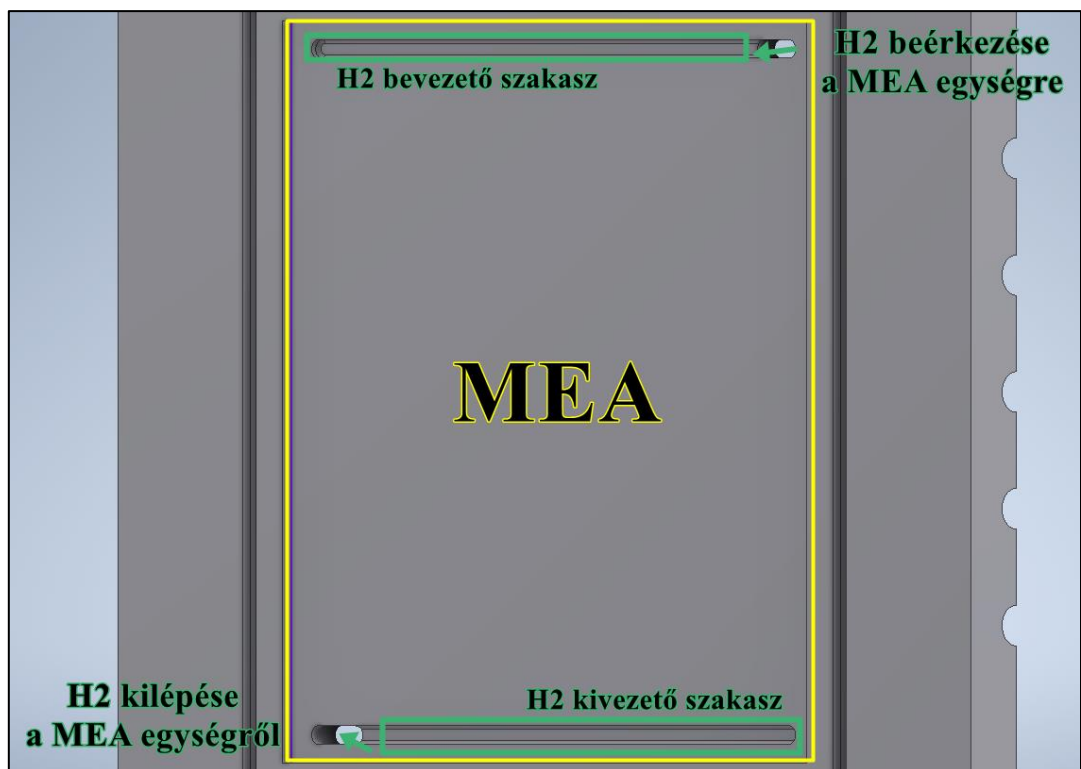
A tervezett bipoláris lemeztest egy többé-kevésbé egyszerű alkatrész, hiszen egy 65x65mm-es négyzet alapú, 3,5mm vastagságú acéllemez, amelybe furatok, és egyéb kimart területek találhatók. A furatokba majd különböző szenzorokat helyezünk, ezekkel az adott cellában lévő gáz összetételét, és nyomását tudjuk megmérni. A lemeztest hátlapján pedig több félköríves bemarást helyeztünk el. Ennek a szerepe, hogy ha két lemezt háttal összeillesztünk, akkor azok (a félkörívnek köszönhetően) kör alakú furatként jelennek meg. Ezek a lemez MEA részét teljesen lefedik, ezáltal a MEA egység hőmérsékletét sávosan tudjuk mérni. A lemeztestbe beleépülő fémhab, pedig a kapott MEA egység méretével megegyező 40x40mm-es négyzet alakú 0,7mm-es vastagságú darab.

Szilárdsági méretezést, azért nem végeztem a bipoláris lemez testre, mert tapasztalati úton tudjuk, hogy a kb. 2,5bar nyomással bevezetett gázokat az mi tüzelőanyagcellánkkal megegyező vastagságú bipoláris lemezek mindenféle méretváltozás nélkül képesek elviselni. Illetve a köteg két oldalról, a véglemezeknek köszönhetően össze is lesz szorítva. Ez az összeszorítás és megtámasztás, további stabilitást ad.

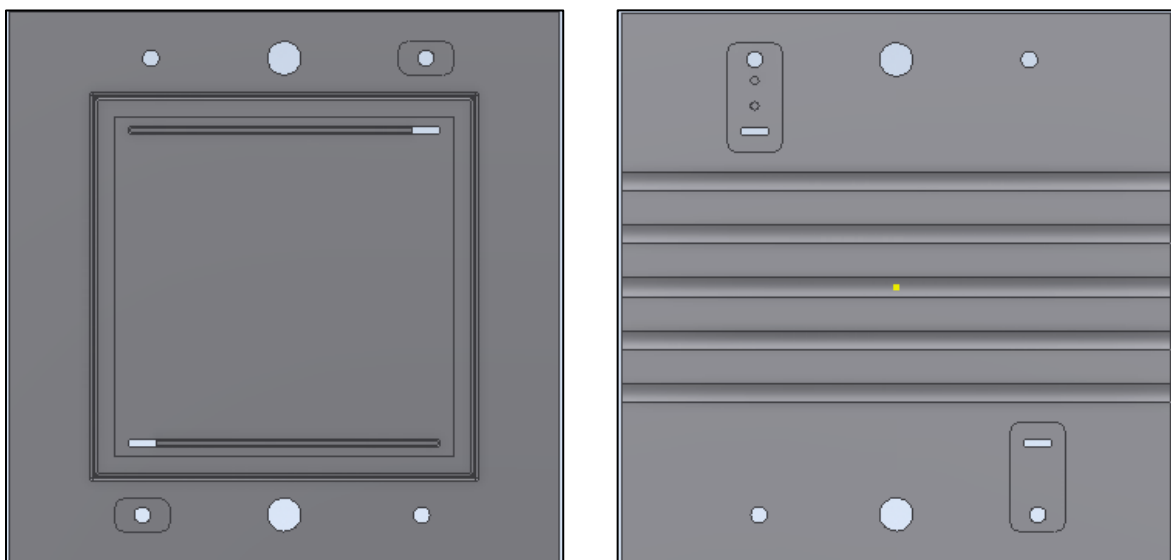
A lemezttest kialakításánál a legfőbb kihívást a gázbevezető, valamint a gázkivezető részek kidolgozása jelentette. Fontos szempont volt, hogy a gázok minél kisebb ellenállással szembesüljenek az áramlás során, és hogy mind a reagens és az oxidálószer megfelelően ki tudja tölteni a rendelkezésére álló területet. A csatornaként használt fémhab esetén pedig az volt a fő kihívás, hogy a nyílt cellákkal tarkított alkatrészdarabban megfelelő legyen a gázeloszlás, miközben a gázok minimális ellenállással tudjanak az egyik celláról a másik cellára átáramlani.



7.ábra: Az gázbevezető rész áramlásának, valamint a gázösszetétel és nyomáselemző csatorna bemutatása



8. ábra: MEA rész elhelyezkedésének és a H_2 be- és kivezető részének ábrája



a

b

9. ábra: a – Bipoláris lemeztest előlnézete; b – Bipoláris lemeztest hátulnézete

1.5.2. MEA (membrán elektród egység) egység

A tüzelőanyagcellának talán a MEA egység a legfontosabb eleme. Miért is? Mert ezen a területen, darabon történik meg az az elektrokémia reakció, amely elektromos áramot hoz létre nekünk hidrogénből és levegőben lévő oxigénből. Felépítését tekintve szimmetrikus,

amelyet 3 fő rész tesz ki. Az első réteg, amely közvetlenül a bipoláris lemez csatornáival érintkezik az úgynevezett gázdiffúziós réteg, rövidítve GDL. Ez a réteg anyagát tekintve a legtöbb esetben szénpapír, de vannak a piacon különböző speciális szénszövetek is, vastagsága általában 0,1-0,3mm. A GDL-re viszik fel a második réteget, amelyet katalizátornak hívunk, ez egy vékonyabb (kb. 0,025mm) rész, amely 3 főbb komponensből áll, egyrészt található benne finomított szén, másrészt platina, harmadrészt valamilyen ionomer. Az ionomer általában megegyezik a harmadik, azaz a középső réteggel, amit polimer elektrolit membránnak nevezzünk. Ez a polimer elektrolit membrán akadályozza meg az anód és katód oldal közötti közvetlen elektron vándorlást, hiszen a membránon keresztül csak a protonok léphetnek át. PEM tüzelőanyagcellák esetén az esetek nagy százalékában perfluoro-szulfonsavból készült membránt alkalmaznak, a szakmán belül elterjedt neve a Nafion, holott ez a név csak az egyik ilyen membrán gyártó cég által forgalmazott membránlap márkaneve.

Szerencsénkre a tervezett tüzelőanyag-cella stack-be a TTK biztosított számunkra megfelelő MEA egységet, így ezzel csak annyi dolgunk volt, hogy elhozzuk a kész MEA egységeket és azokat megfelelően beépítsük a bipoláris lemezek megfelelő részébe.

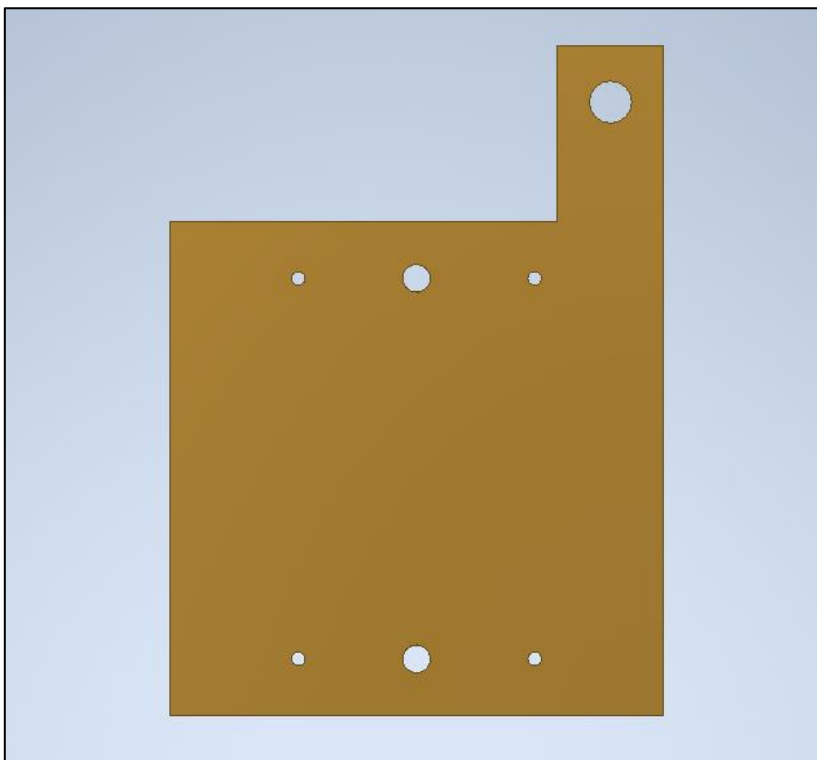


10.ábra: TTK-n használt MEA egység, még Nafion nélkül

1.5.3. Áramgyűjtő

Ahhoz, hogy a stack által keletkezett áramot „össze tudjuk gyűjteni”, szükségünk van áramgyűjtőkre is. Ezek a lemezek mindig valamilyen rendkívül jó áramvezető fémből készülnek, nem volt ez másként a mi esetünkben se, hiszen mi egy 1 mm vastagságú rézlemezt használtunk erre a célra. Ez egy teljesen egyszerű alkatrész, hisz szerepe

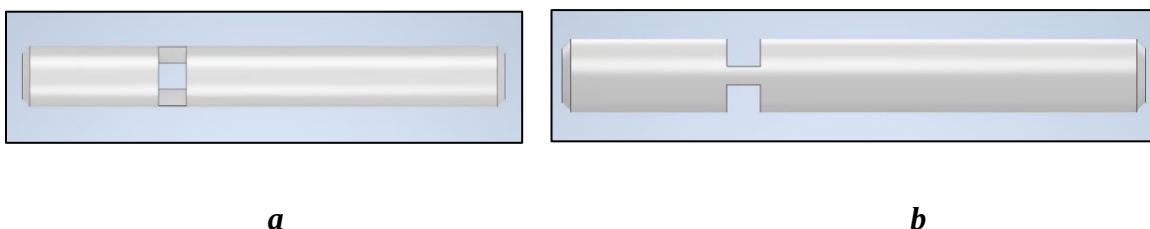
mindössze annyi, hogy a Nafion által „blokkolt” elektronokat a fogyasztó felé irányítsa. Szükséges funkciója még, hogy a stack-be vezetett gázok képesek legyenek áthaladni rajta, ezeket a megfelelő pozíciójú furatok biztosítják.



11.ábra.: Rézből készült áramgyűjtő a szükséges furatokkal

1.5.4. Gázvezető cső

A gázvezető cső feladata, hogy a bevezetett hidrogén gázt és levegőt bevezesse a bipoláris lemezekre, ahonnan a gázmolekulák a MEA-ra juthatnak. A bevezetésen kívül természetesen a kivezetési funkciót is el kell lássa. Anyagát tekintve, szükség van a korrózióállóságra és arra, hogy megmunkálhatósága se legyen bonyolult. Méretét tekintve ez egy 2mm külső átmérőjű cső, amely belső átmérője 1mm.

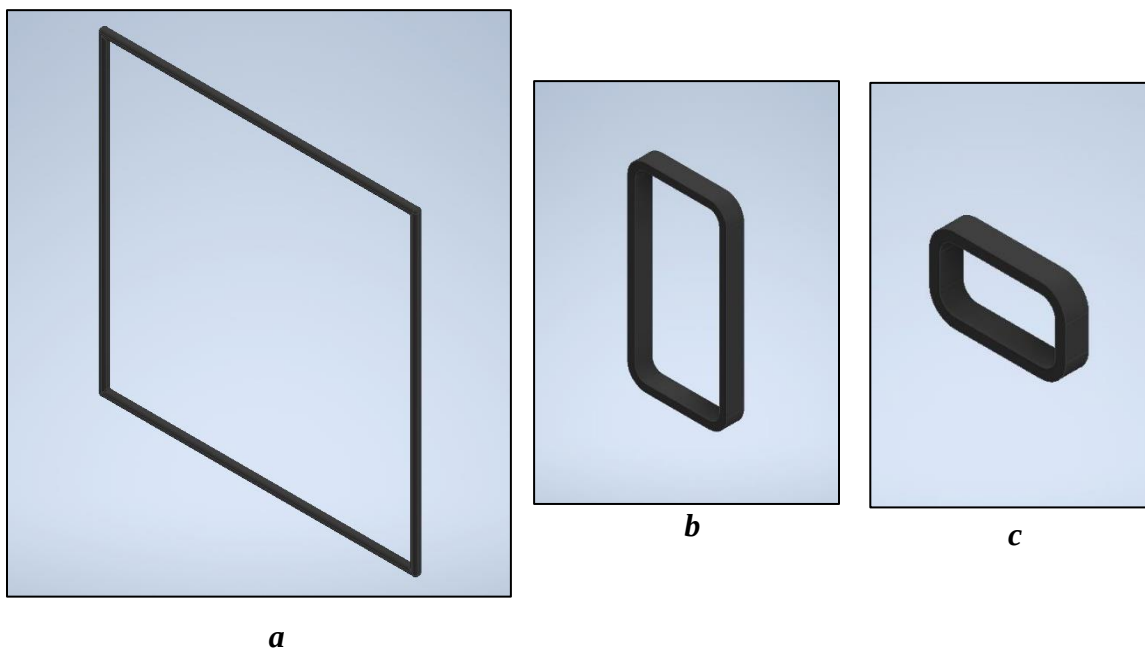


12.ábra: a - Gázvezető cső felülnézetből; b – Gázvezető cső oldalnézetből

1.5.5. Tömítőgyűrűk

Mivel a hidrogén a világegyetem legkönnyebb eleme, így rendkívül könnyen el tud szökni zárt egységekből. Ezt a tényt nekem is figyelembe kellett vennem a tüzelőanyag-cella tervezése során hiszen, ha a bevezetés, vagy a lemezek közötti gázátmenet közben valahol elveszik a gáz, akkor a köteg nem látja el a fő funkcióját, azaz nem termel áramot. Ennek kiküszöbölése érdekében minden olyan helyen, ahol a gázszivárgás esélye fennáll, tömítőgyűrűt alkalmaztam. Az egyik ilyen lehetséges pont a két bipoláris lemez közötti rés. Ezt a részt úgy oldottam meg, hogy a gázbevezető fészkeket mind a két lemezen lezártam. Ehhez kétfajta, egyedi tömítőgyűrűt kellett létrehoznom (b,c). Másik olyan problémás terület, ahonnan a gázszivárgás elindulhat, maga a MEA rész. Ezt a legegyszerűbben, úgy lehetett megoldani, ha a komplett MEA részt, úgymond „körbekerítem” és teljes egészében lezárom. Így egy olyan négyzet alakú tömítőgyűrűt terveztem, amely a fenti funkciót (MEA gázvesztésének megakadályozása) maradéktalanul teljesíti (a).

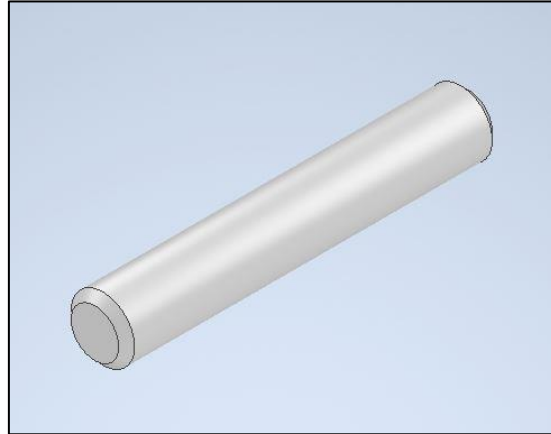
Mivel mindegyik gyűrű egyedi tervezésű és egyedi méretekkel rendelkezik, így ezeket boltokban nem tudtuk beszerezni, ezért egyedi gyártás volt szükséges. Anyagát tekintve rendkívül fontos volt az, hogy az elektrokémia korróziót is jól bírja, annak érdekében, hogy ne használódjon el rövid időn belül. A témának utána olvasva, és a TTK-n lévő szakemberekkel egyeztetve arra jutottunk, hogy a tömítőgyűrűk anyagának fluorkaucsuknak kell lennie, mert a szükséges feltételeknek ez az anyag felel meg leginkább. A szakzsargonban a fluorkaucsuk-ot leginkább Viton-nak, vagy FKM/FPM-nek nevezik.



13.ábra: a – MEA egység körüli tömítőgyűrű; b – Gázbevezető fészek körüli tömítőgyűrű;
c – Gázátvezető fészek körüli tömítőgyűrű

1.5.6. Központosító szár

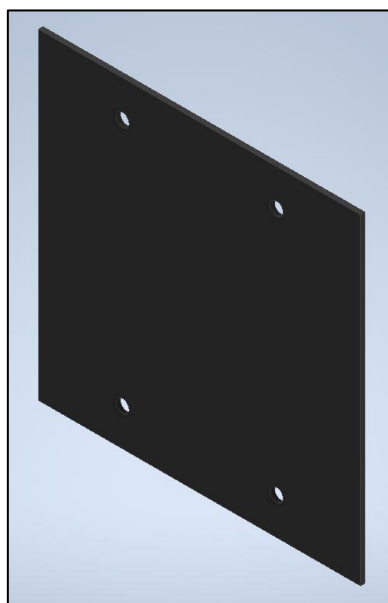
A központosító szár egyetlen feladata, hogy a bipoláris lemezeket központosítsa, ezáltal megakadályozza, hogy a különböző lemezekben lévő MEA egységek egymástól elcsúszzanak függőlegesen, vagy vízszintesen. A központosító szár egy sima henger alakú, korrózióálló fémből készült alkatrész.



14.ábra: Központosító szár

1.5.7. Véggumi

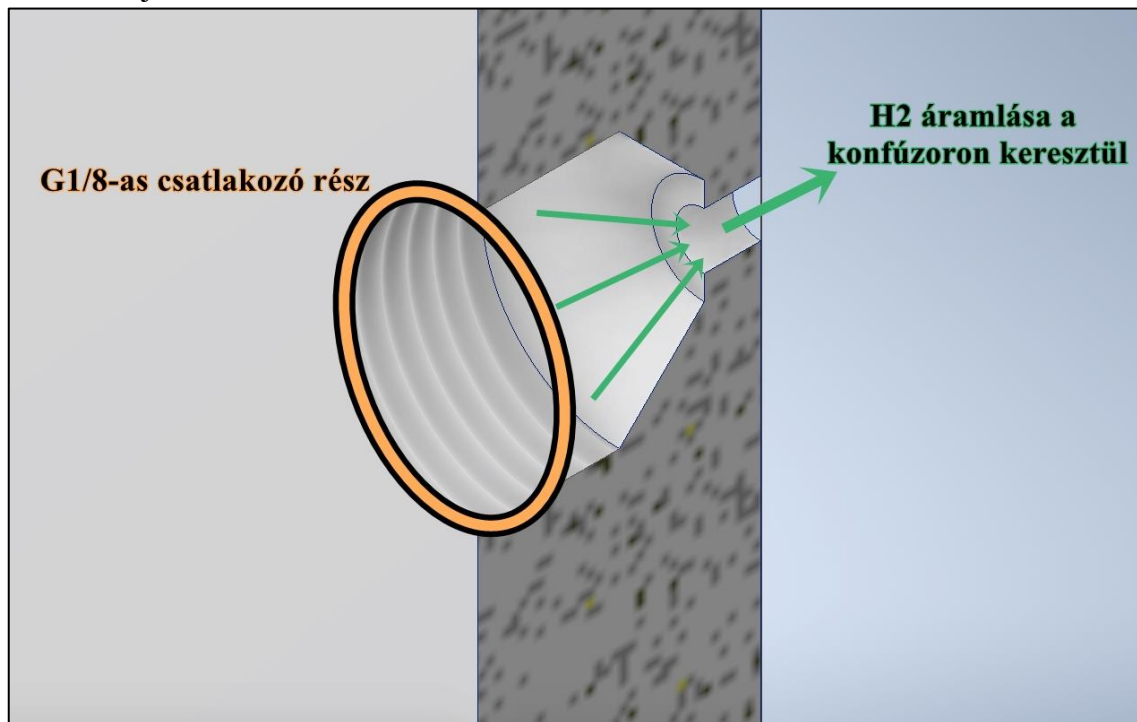
A véggumi a véglemez és az áramgyűjtő között helyezkedik el, szerepe, hogy a véglemez szigetelje. Mérete megegyezik az áramgyűjtővel, annak érdekében, hogy az áramgyűjtő egész felületét leszigetelje a véglemezről. A véggumin a bemenő és kimenő gázoknak is át kell haladni, így a megfelelő pozícióban, ezen részekben át van lyukasztva a darab. Anyagát tekintve a legfőbb szempont, hogy olcsó legyen, elektromosan szigeteljen, valamint könnyen gyártható legyen.



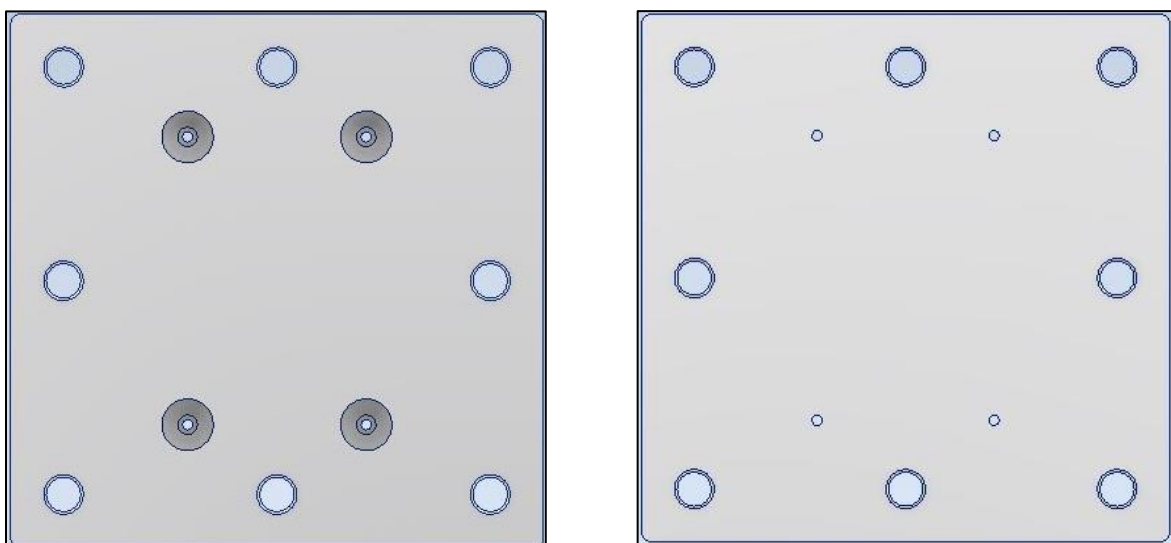
13.ábra: A véggumi kialakítása

1.5.8. Véglemez

A véglemez, egy olyan alkatrész, amelynek fő funkciója a bipoláris lemezek, az áramgyűjtők és a véggumik összeszorítása, és egyben tartása. Esetemben a véglemez egy 10mm vastagságú alumínium lemez, amely szélein furatok helyezkednek el. Ezekben a furatokban vannak az összehúzószárazak, amelyek az összeszorítóerőt kifejtik, a két végükön elhelyezett szárnyas anyáknak köszönhetően. Fontos még a véglemezekkel kapcsolatban, hogy a gázbevezetés rajtuk keresztül valósul meg. Ezt egy G1/8-os csatlakozású menetes rész biztosítja.



14.ábra: Véglemez csatlakoztatása, H₂ útja a konfúzoron keresztül

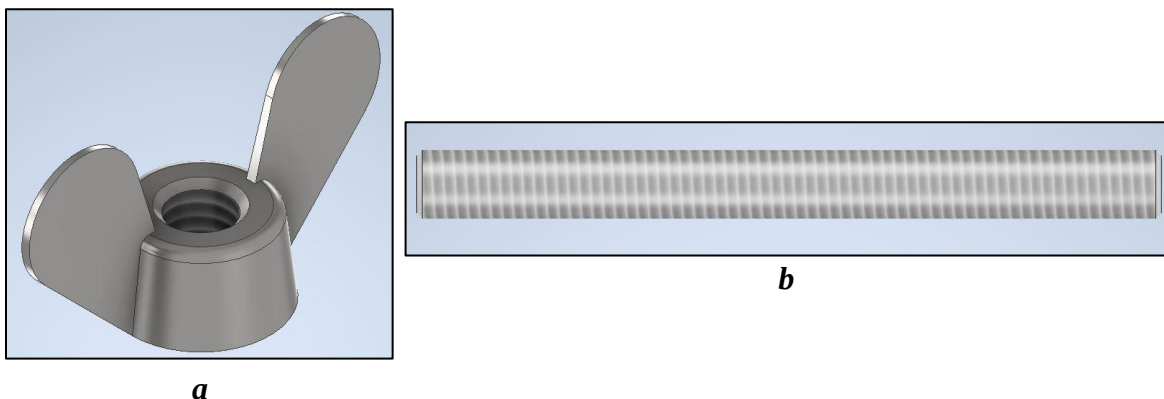


15.ábra: A véglemez elől nézetből, és hátulnézetből

1.5.9. Összehúzó szár és szárnyas anyák

Az összehúzó szár, egy egyszerű menetes szár, amely 66mm hosszúságú és M6-os menettel rendelkezik. Szerepe, hogy a véglemezeken keresztül, a két oldalt ráhelyezett szárnyas anyákkal biztosítsák a szükséges összeszorítóerőt.

A használt szárnyas anyák, egyszerű szabványos (DIN315) elemek, amelyeket a legtöbb műszaki boltban is megkaphatunk.



16.ábra: a – Használt DIN315-ös szárnyas anya; b – M6-os menettel rendelkező mentes szár

1.6. Alkatrészlista

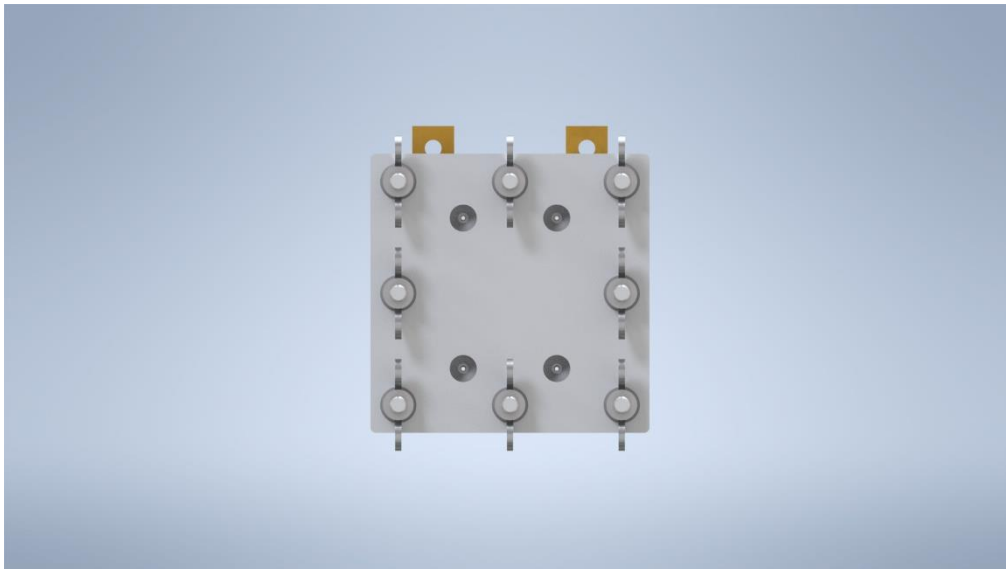
3.táblázat: Alkatrészlista

Ssz.	Alkatrész neve	Db.	Tömeg (1db)	Befoglaló méret (1db)
1.	Bipoláris lemez	2	0,096 kg	65x65x3,5mm
2.	Áramgyűjtő	2	0,066 kg	95x75x1mm
3.	Véggumi	2	0,005 kg	75x75x0,5mm
4.	Véglemez	2	0,257 kg	100x100x10mm
5.	Összehúzószár	8	0,014 kg	M6x66mm
6.	Szárnyas anya	16	0,002 kg	13x15mm
7.	MEA viton	2	0,001 kg	46x46mm
8.	Kis viton	4	0,001 kg	6,5x4x1mm
9.	Nagy viton	4	0,002 kg	13x6,5x1mm
10.	Fémhab	2	0,007 kg	40x40x0,7mm
11.	MEA	1	0,001 kg	40x40x0,3mm

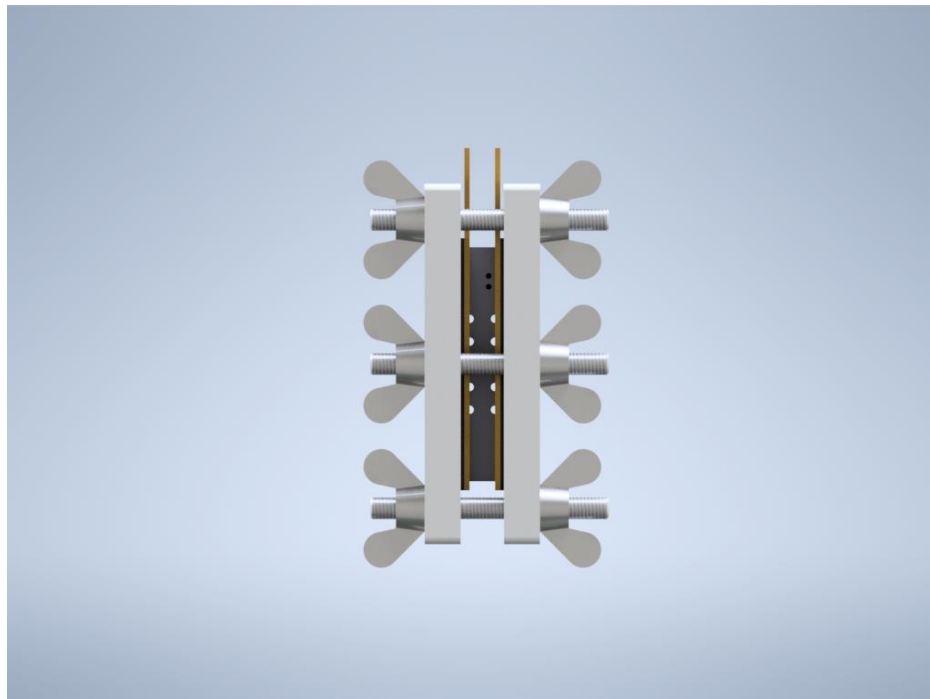
A fenti alkatrészlista egy, egy cellás kötegre vonatkozólag tartalmazza a szükséges darabszámokat. Ugyanakkor mivel a bipoláris lemezek kialakítása moduláris, így akár egytől több cellás köteget is össze lehet rakni, csak a menetes szár és a központosító szár hosszát kell változtatnunk ehhez.

Visszatérve a tervezett egy cellás kötegre, a köteg össztömege 1,021 kilogramm, befoglaló mérete (összeszerelt állapotban): 100x115x65 milliméter.

Az egy cellától elvárt összteljesítmény: 35-60 Watt, ezt az értéket a gyártást követően, méréssel tudjuk meghatározni.



17.ábra: Renderelt kép az összeszerelt egy cellás kötegről (előlről)



18.ábra: Renderelt kép az összeszerelt egy cellás kötegről (oldalról)

2. A tervezett tüzelőanyag-cella egység bipoláris lemezének CFD szimulációja

2.1. Bevezetés, a szimulációs program ismertetése

Az elvégzett CFD szimuláció során az Ansys CFD felületét használtam. Fontos tudni, hogy az Ansys egy olyan programcsomag, amely rendkívül széleskörű, sokféle numerikus szimulációt tartalmaz. Megtalálható benne CFD, CFX, VEM és még számos más fajta szimulációs eszköz is. Engem a munka során elsősorban a CFD, azaz a „computational fluid dynamics” (magyarul: számítógépes folyadékdinamika) érdekelt, hiszen a bipoláris lemezen történő gázrészecskék mozgását ezzel a szimulációs eszközzel tudtam vizsgálni.

Mivel a megalkotott és jóváhagyott koncepciónk nem szabályos struktúrákból álló csatornákat tartalmazott, hanem egy nyílt cellás fémhabot, így ez új kihívást jelentett számomra, hiszen az Ansys-ban eddig csak előre meghatározott geometriákkal dolgoztam. Szerencsére azonban az Ansys-on belül van olyan beállítási lehetőség, amellyel porózus közegeket lehet beállítani. Mivel a méretek és a közeg információ is adottak voltak, így neki láthattam a szimuláció felépítésének.

2.2. Ansys CFD szimuláció felépítése

Az Ansys-ban a szimulációt megelőzően a „workbench” felületen fel kell venni a vizsgált geometriát, majd ebből a geometriából egy hálót kell generálnunk (mesh) úgy, hogy a geometriára vonatkozó peremfeltételei zónákat is ismertetnünk kell a programmal. Ezen lépéseket követően kezdődik maga a Fluent felület használata az Ansys-ban. Itt először a különböző anyagjellemzőket és magát a szükséges fizikai modellt szükséges deklarálnunk. Amennyiben ezekkel is megvagyunk, akkor következnek a numerikus paraméterek számértékeinek megadása és a megoldás inicializálása. Az előre beállított iterációk lefutását követően kapjuk meg a szimuláció adatait, amelyet különböző módokon (hálók, vektorok stb.), különböző területeken értékelhetünk.

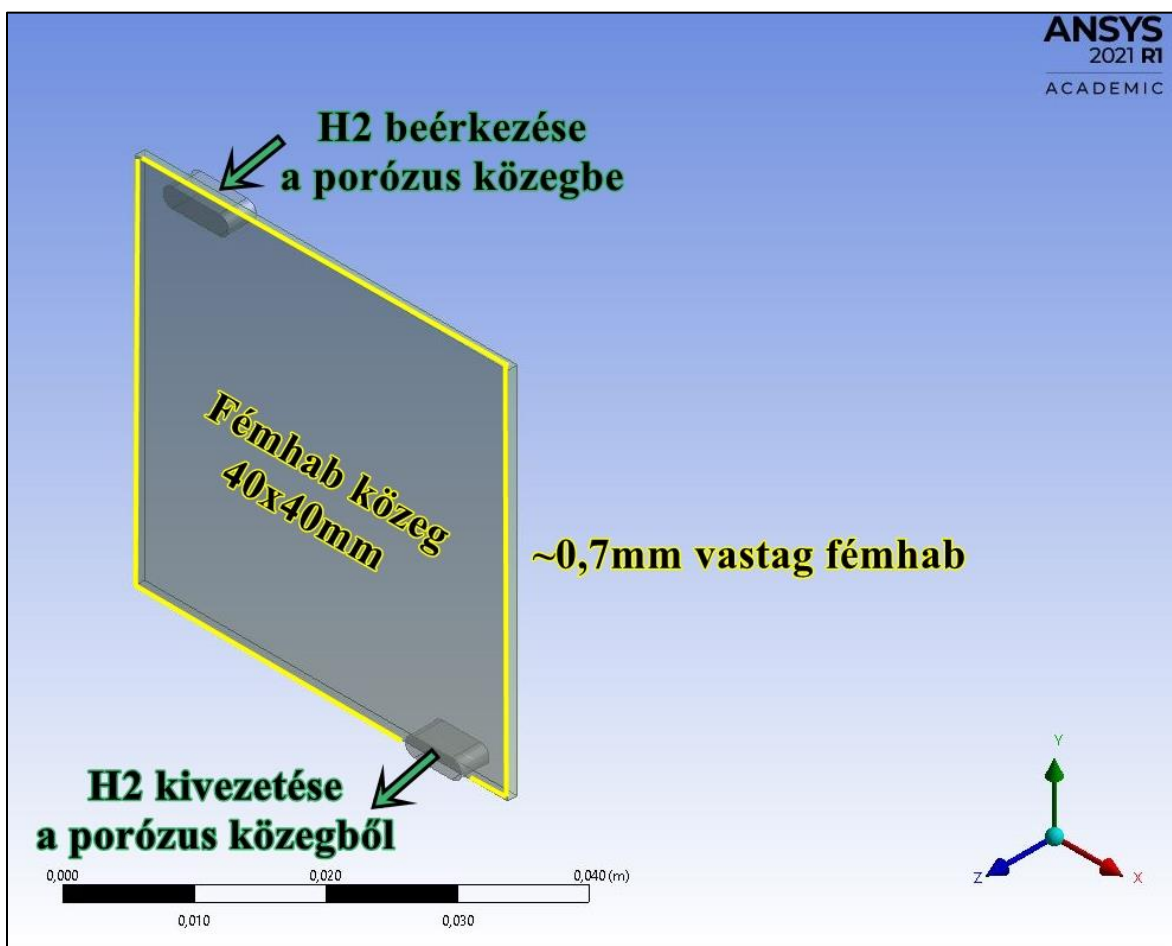
2.3. Geometriai modell létrehozása

Mint ahogy azt már fentebb említettem, a szimuláció során engem a MEA egységen történő gázáramlás érdekelt. Ez azt jelentette, hogy a szimuláció során elég volt egy egyszerűsített modellt használnom, és nem kellett a teljes bipoláris lemezt felvinnem a rendszerbe. Ez hatalmas egyszerűsítést jelentett hiszen, ha csak magát a beáramlási csatornát, a köztes fémhabot, valamint a kiáramlási csatornát kellett vizsgálnom. Az

egyszerűség előnye, hogy így a vizsgált geometria viszonylag kevés számú hálót (mesh) tartalmaz, így otthonról is tudtam használni az Ansys-t, hiszen tudniillik, hogy az Ansys diákverziójában a mesh hálók értéke korlátozva van.

A modellt nem külső STP fájl integrálásával hoztam létre, hanem az Ansys-ba beépített rajzoló szoftverrel, az úgynevezett DesignModeler-el. A DesignModeler egy rendkívül egyszerű program, amelyet leginkább az AutoCAD-hez lehet hasonlítani, mind felépítésben, mind tudásban.

A létrehozott modellt 3 fő területre lehet osztani. Az első a beáramlási csatorna, ahol beérkezik a hidrogén vagy a levegő. A második rész a négyzet alapú 40x40mm-es közeg, amely a fémhabot hivatott képviselni, míg a harmadik rész (amely megegyezik az első résszel) a fémhabon keresztüláramló gázok kivezetésért felelős.

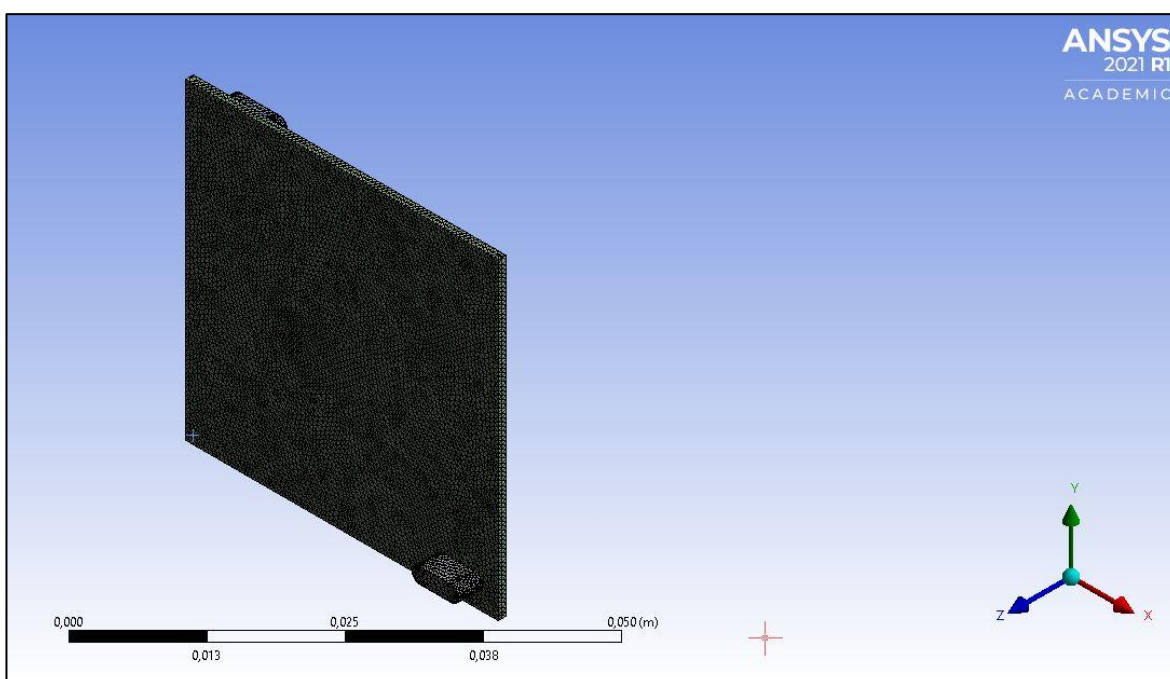


19.ábra: A DesignModeler-ben felépített egyszerűsített geometriai modell

A geometria létrehozása után következett a hálógenerálás, amit a következő fejeztben fejtek ki (ld. 2.4. fejezet).

2.4. Háló létrehozása, peremfeltételi zónák megjelölése

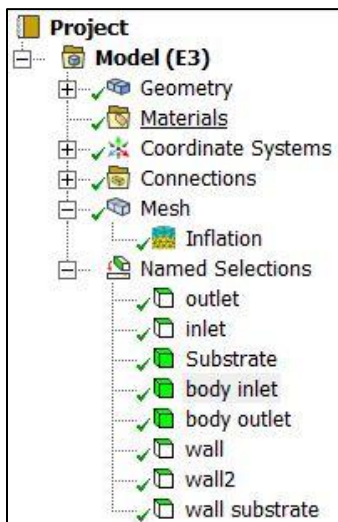
A meglévő geometriát ahhoz, hogy CFD szimuláció alá tudjuk vetni, szükségünk van a geometriát behálózni (meshing). Az Ansys ebben is segítségünkre van, hiszen gyárilag beépített hálógeneráló programmal rendelkezik. A háló beállítása úgy történik, hogy először egy „inflation” -t kell hozzárendelnünk az adott geometriához. Itt kiválasztjuk, hogy CFD fizikai preferenciát szeretnénk, amihez „solver” -ként a Fluent-et adjuk meg. Ha ezzel megvagyunk, akkor pedig be kell állítanunk olyan paramétereket, mint a fal vastagság, a hálók mérete. Az én modellem esetében a fal vastagság: 0,00005mm, a hálók mérete pedig szintén: 0,0005mm. Ezen lépések teljesítését követően tudunk hálót generálni, amit a „Generate” gombbal tudunk véghez vinni.



20.ábra: A vizsgálandó modell hálógenerálást követően

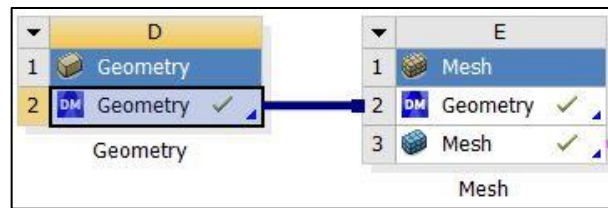
Miután a program létrehozta a kívánt hálót, nem volt más dolgom mint, hogy a különböző zónákat kijelöljem a modellen.

Zónákból kétfajtát használtam a „body” -t és a „face” -t. A body a modell három részét tudja külön-külön kiválasztani, míg a face-el, felületeket tudunk megkülönböztetni. A legfontosabb lépés ilyenkor, hogy meghatározzuk a bemenetet és a kimenetet, értelemszerűen ezeket a face zónákkal jelöltem ki, de emellett body-ként is definiáltam őket. Mivel a 3-rész nem egy homogén közegből áll, így fontos volt, hogy a modell elemi részét alkotó porózus felület is külön body-ként legyen megadva. Illetve végül, de nem utolsósorban fontos volt még külön-külön a három body-hoz tartozó falakat is meghatároznom. Így a következő megnevezett zónákat határoztam meg:



a

21.ábra: a - A megadott peremfeltételi zónák a „Named Selections” alatt

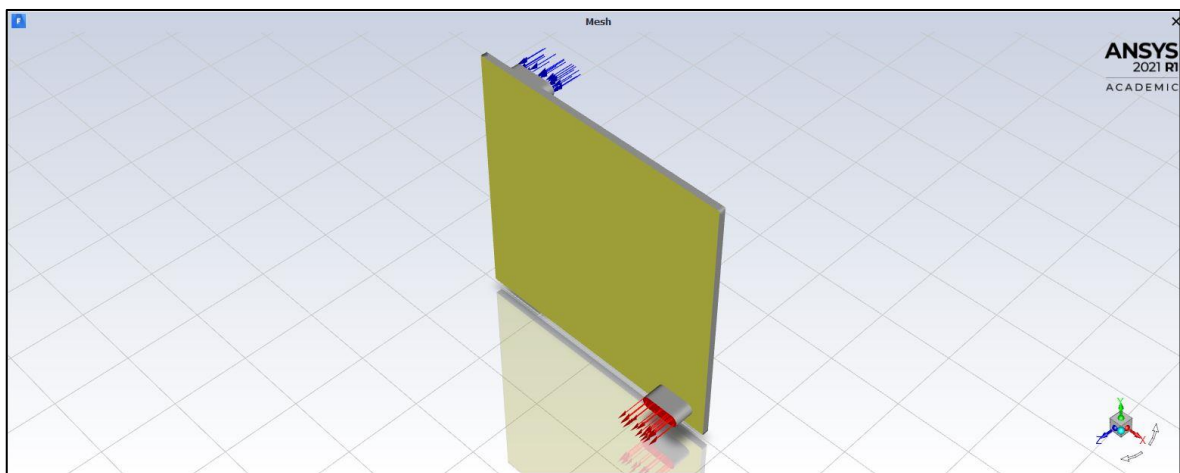


b

b - A háló létrehozásának és peremfeltételi zónák megjelölésének kimenete

2.5. FLUENT paraméterezése és beállítása

A hálógenerálást és a peremfeltételi zónák meghatározása után következik az Ansys Fluent programja, amelyben megtalálható az áramlások vizsgálata. Ilyenkor a már kreált geometriát és a hozzá generált hálót kell a Fluent -el társítani, majd a Fluent -et indítani. Az indítás előtt minden esetben felugrik egy ablak, ahol beállítható, hogy a szimuláció 2D -ben, vagy 3D-ben fusson.



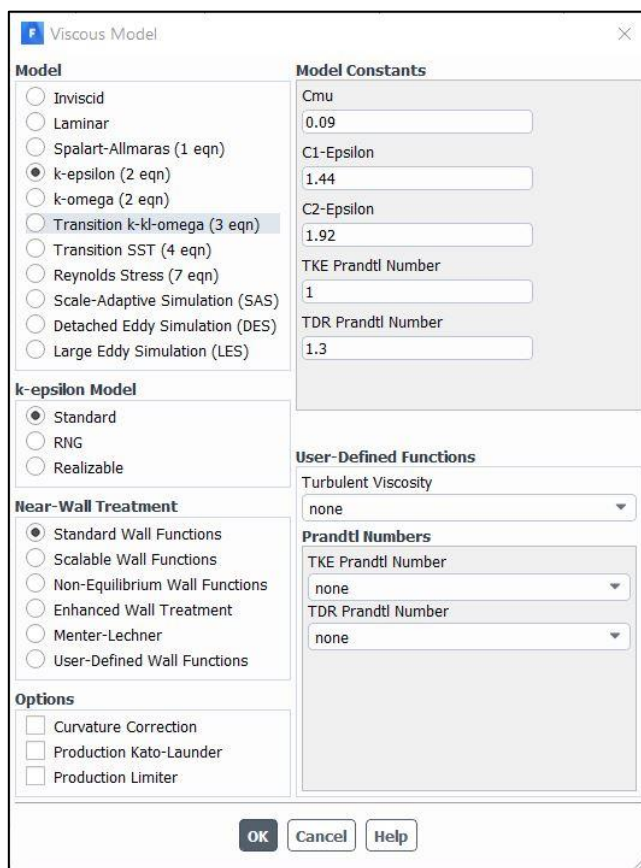
22.ábra: A Fluent-ben megjelenített modell (kék nyíl – beáramlás; piros nyíl – kiáramlás)

Továbbá beállítható, hogy a szimuláció számításakor a számítógépben található processzor hány magját használhatja-e a program, illetve, hogy használhatja-e a gép GPU -

ját is. Az én esetemben, mivel 0,7mm-es vastagsággal rendelkezik a fémhab, így mindenképp szükséges volt a 3D szimuláció. A számítógépem egy négy magos i5-ös CPU-val rendelkezik, így a gyors eredmények érdekében az egész erőforrást a szimulációnak adtam, tehát négy maggal dolgozhatott a program.

Miután végeztünk a launcher beállításával, következett a Fluent paraméterezése és beállítása. Legelső és legfontosabb beállítás, hogy a „solver” milyen típusú legyen, a sebesség milyen formában legyen mérve és hogy az időt miként értelmezzük a szimuláció során. A számomra megfelelő beállítások a típusnál a nyomás alapú, a sebességnél az abszolút, míg az időnél az állandó a tranziens helyett.

A solver típusok kijelölés után a Fluent által használt modellt kellett kiválasztani, majd azt külön paraméterezni. Mivel gázok áramlását szeretnénk tanulmányozni, így kétségtelenül az esetünkben a „k-epsilon” nevezetű modell legjobb választás. Az Ansys minden esetben a választott modellhez rendel egy alapértelmezett beállítást, amit akár módosítani is lehet, esetemben erre nem volt szükség, tehát a k-epsilon modell alapértelmezett beállításával haladtam tovább a szimuláció paraméterezésében.



23.ábra: A k-epsilon modell beállítása

Következő lépésként szükséges volt a szimulációban futó anyagoknak, és azok legalapvetőbb tulajdonságainak a meghatározása. Szerencsére az Ansys-ban alapértelmezetten rendkívül sok anyag megtalálható, akár több halmazállapotban is, így könnyű dolgom volt, mert a hidrogén kiválasztása után már csak ellenőriznem kellett, hogy az ott megadott sűrűség és viszkozitás érték megegyezik-e a szakirodalom értékeivel.

The screenshot shows the 'Properties' dialog box in Ansys. It contains two sections: 'Density [kg/m³]' and 'Viscosity [kg/(m s)]'. Each section has a dropdown menu set to 'constant' and an 'Edit...' button. Below the dropdowns, the values are displayed in text boxes: '0.08189' for Density and '8.411e-06' for Viscosity.

24.ábra: A programnak szükséges tulajdonságok a vizsgált anyagról

Harmadik lépésként a cella zónákhoz kell hozzárendelnünk azt az anyagot, ami az adott zónában áramlik. Értelmszerűen mivel én a hidrogén áramlását szeretném szimulálni, így mindegyik zónában (body inlet – bevezető szakasz; substrate – köztes (fémhab) szakasz; body outlet – kivezető szakasz). További fontos teendőm volt ezen lépés során a substrate szakasz porózus zónává minősítése. Ez nagy kihívást jelentett számomra, hiszen számtalan különböző tulajdonságú porózus anyag létezik. Az Ansys, hogy kezelni, jobban mondva modellezni tudja az általunk használt porózus anyagot, három fő tulajdonságot kér. Az első az úgynevezett „viszkózus ellenállás”, angolul viscous resistance. A második ilyen tulajdonság az „inerciális ellenállás” (inertial resistance). A harmadik pedig a relatív porozitás, azaz a relative porosity. A viszkózus ellenállás azt jelenti, hogy az adott áramló közeg – jelen esetben hidrogén -, és a fémhab között milyen ellenállás valósul meg, mértékegysége m^{-2} . Inerciális ellenállásról pedig akkor beszélünk, amikor valamilyen külső, általában mechanikus erővel kell, az adott áramló közeg tehetetlenségét leküzdenünk, hiszen az ellenáll. A porozitás pedig nem más, mint egy arányszám, amely megmutatja, hogy egységnyi anyag hány százaléka tartalmaz szilárd anyagot és hány százaléka pedig nem.

Sajnos az első két értékre pontos értékeket itt a fémhabot gyártó Bay Zoltán Kutatóintézettől nem kaptam, míg a harmadik értékre, azaz a porozításra Ők 0,5-öt (50%) javasoltak. Az első két érték viszont mindenképp szükséges volt, így más megoldásokat és már tapasztalatból származó adatok után kutattam.

A megoldás keresés során rendkívül kevés magyar nyelvű leírást és szakirodalmat találtam, így a különböző angol nyelvű fórumokhoz fordultam, ahol kiderült, hogy ezen értékek kiszámítására rendkívül bonyolult képleteken keresztül juthatok el. Szerencsémre sikerült egy egyszerűbb, bár pontatlanabb képletet találnom mind a viszkózus ellenállásra, mind az inerciális ellenállásra [3]. Így végül ezt a számolást és értékeket kaptam:

$$\text{viszkózus ellenállás} = Rv = \frac{150 * (1 - e)^2}{\text{Phi}^2 * D^2 * e^3} \quad (1)$$

ahol „e” a porozitás, „Phi” a közeg gömbölyűsége (értéke állandó = 0,75), „D” a porózus közeg azon átmérője, ahol a gázok áramolhatnak.

A képletbe behelyettesítve:

$$Rv = \frac{150 * (1 - 0,5)^2}{0,75^2 * 0,0006^2 * 0,5^3} = 1481481481 m^{-2} \quad (2)$$

Így a 2.képletnek megfelelő értéket vittem fel az Ansys-ba. A következő lépés az inerciális ellenállás meghatározása volt, amit a következő képlettel számoltam:

$$\text{inerciális ellenállás} = Ir = \frac{2 * 1,75 * (1 - e)}{\text{Phi} * D * e^3} \quad (3)$$

ahol „e” a porozitás, „Phi” a közeg gömbölyűsége (értéke állandó = 0,75), „D” a porózus közeg azon átmérője, ahol a gázok áramolhatnak.

A képletbe behelyettesítve:

$$Ir = \frac{2 * 1,75 * (1 - 0,5)}{0,75 * 0,0006 * 0,5^3} = 29166 m^{-1} \quad (4)$$

Így a 4.képletnek megfelelő értéket vittem fel az Ansys-ba, majd ezzel indultam neki a következő lépésnek, ami a különböző peremfeltételek megadása volt.

A legfontosabb peremfeltétel megadás a beáramló közeg beállítása. Itt több opció is van, lehetőség van tömegáram megadásra, sebesség megadásra és nyomásmegadásra is. Én a szimuláció során a sebességet állítottam be. Ennek értékét a konzulensemme egyeztetve 20m/s-ban határoztuk meg, így ez az érték került beállításra is.

Miután ez a lépés is megtörtént, már csak az inicializáció és maga a teszt futtatása volt hátra. Az inicializációt standard beállítással, az „inlet” -től számoltattam.

Initialization Methods

☐ Hybrid Initialization
☒ Standard Initialization

Compute from
inlet

Reference Frame

☒ Relative to Cell Zone
☐ Absolute

Initial Values

Gauge Pressure [Pa]
0

X Velocity [m/s]
0

Y Velocity [m/s]
0

Z Velocity [m/s]
20

Turbulent Kinetic Energy [m²/s²]
1.5

Turbulent Dissipation Rate [m²/s³]
197.1552

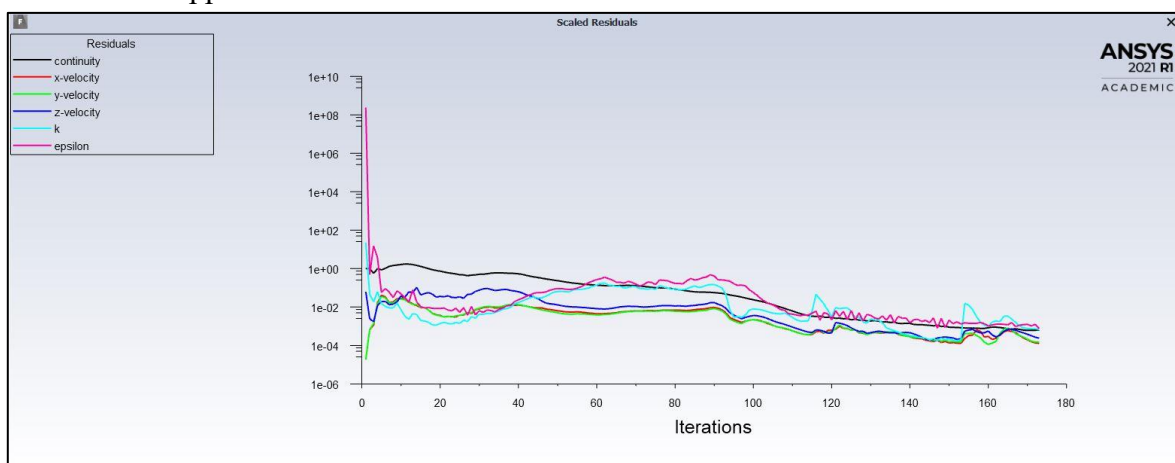
Initialize Reset Patch...

25.ábra: A kezdeti értékek

Az inicializációt követően, már csak a szimuláció lefutásának paramétereit kellett beállítani. Itt az időlépés-t automatikusra állítottam, míg az iterációt 300-ra. A 300-as érték a korábbi tapasztalataim alapján minden eshetőségben elég volt, hiszen így mindig megfelelő számú és értékelhető eredményt kaptam.

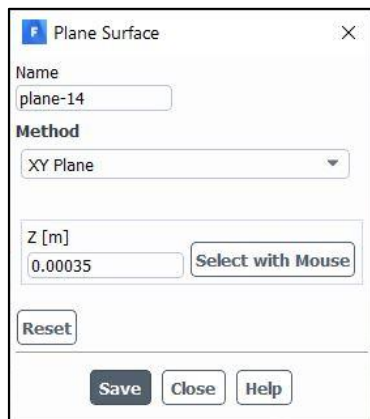
2.6. A szimuláció értékelése

A beállítások után elindítottam a szimulációt, amely a négy magos processzornak hála, viszonylag hamar lefutott. Az Ansys Fluent minden egyes szimulációt követően kidobja az idő függvényében alakult sebesség értékeket mind a három tengely irányába, valamint megadja a „k”, az „epsilon” és a kontinuitás értékét is. Ez az én szimulációm során a következőképp alakult:



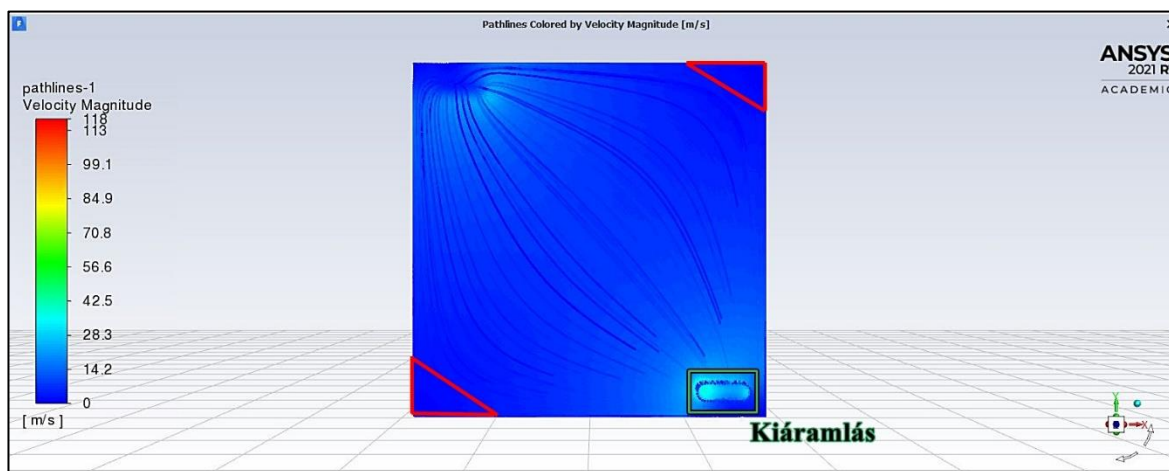
26.ábra: Az X-Y-Z irányú sebességek alakulása az időfüggvényében

Mivel engem leginkább a porózus nyíltszellő fémhab belsejében történő áramlások és nyomásváltozások és azok alakulása érdekelt, így létrehoztam egy „plane” -t, a fémhab közepén. Ezt egyszerűen csak annyi beállítani, hogy az adott síkhoz meg kell adnunk egy eltolás értéket. Az eltolás érték esetünkben a fémhab vastagágának a fele volt, azaz 0,35mm.



27.ábra: A fő vizsgált terület a fémhab közepe, ezért ehhez külön plane-t kellett létrehozni

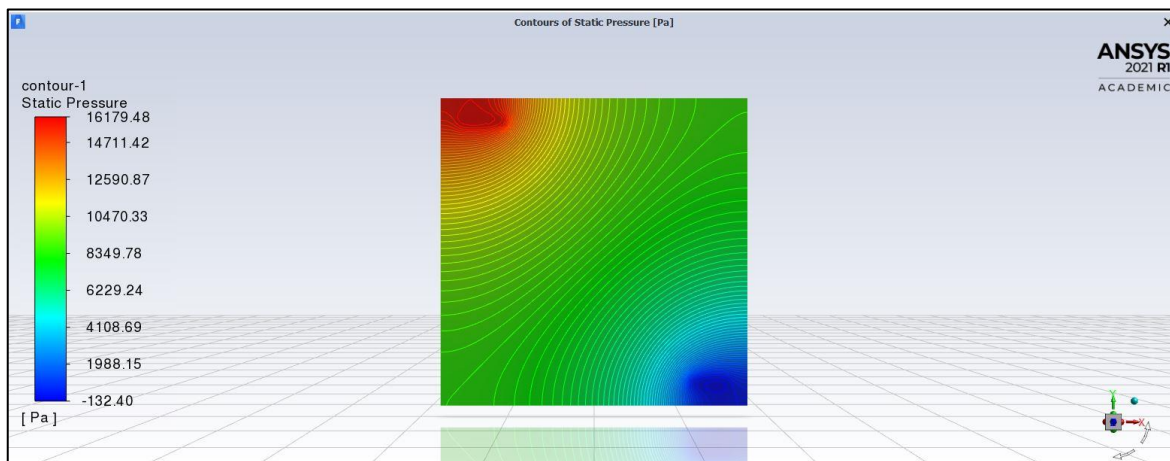
Első körben az érdekelt, hogy a fémhab közepén milyen sebességgel, és milyen útvonalakon áramlik a hidrogén, és mennyi olyan terület van, ahova nagyon kis mennyiségben juthat gáz.



28.ábra: Gázútvonal a sebesség alapján

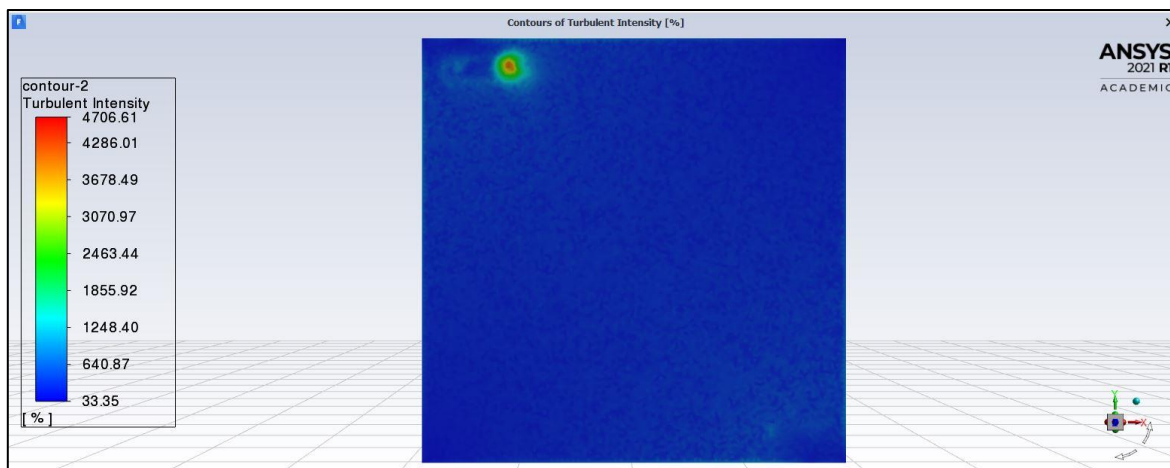
Itt a kiértékelt adatok alapján látható, hogy a fémhab egész nagy területen vezeti a hidrogént, csak a pirossal jelölt részekre jut kevés gáz. A gáz 20m/s-os sebességgel áramlik be a porózus közegbe, ez az érték nagyjából az egész közegen keresztül tart. Sebesség növekedés inkább a kiáramlási és beáramlási részeknél figyelhető meg, ahogyan azt vártam.

Ezen eredmény alapján megfelelőnek tartottam a fémhabos csatornázást, ugyanakkor érdekelt még a nyomás alakulása is a közegen belül, így azt is vizsgálat alá vettem.



29.ábra: A statikus nyomás kontúrtérképe

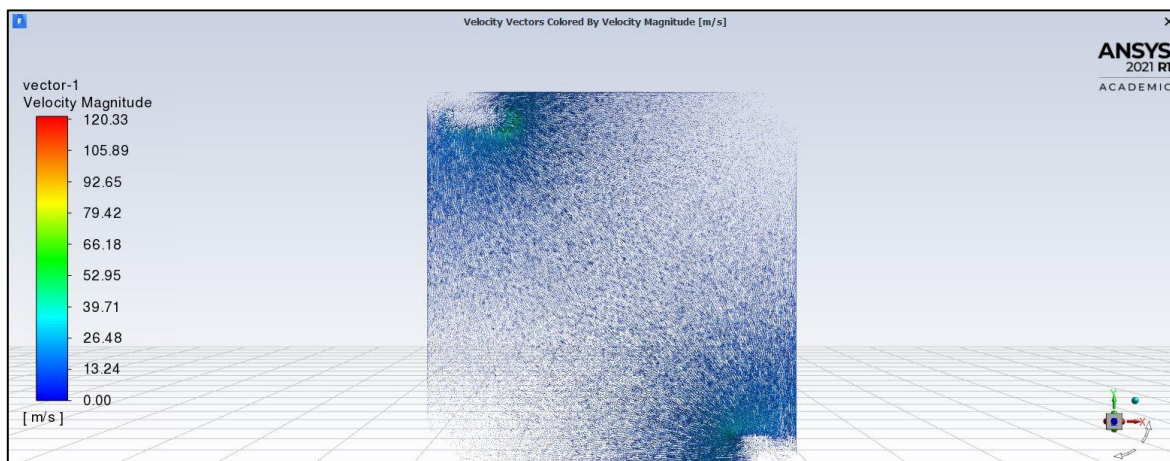
Ahogy arra számítani lehetett, a bevezető résznél a beáramlás miatt megnő az ottani nyomás, ami 20m/s-os bemeneti sebességgel 16,2kPa-ot eredményez. A MEA nagy részén ugyanakkor nagyjából 8,35kPa-al ébredő nyomás keletkezik, míg a kiáramlási zónánál a nyomás nagyon visszaesik, amely az áramlás folytonossága miatt szükséges is. Továbbá kíváncsi voltam arra is, hogy milyen helyeken vannak turbulens áramlások, hiszen a nyomásveszteség csökkentéséhez, optimalizálásához ez kulcsfontosságú kérdés.



30.ábra: A turbulencia intenzitása a fémhab közepén vizsgálva

A kontúrt lehívva megállapítható, hogy a fémhab nagy részén minimális turbulencia keletkezik, ami nagyon jó hír. Ugyanakkor szembeötlő, hogy a beáramlási csatorna jobb oldalán (szemből vizsgálva), turbulens áramlat keletkezik. Ez természetes, hiszen az itt beáramló gázok molekulái először a fémhabba „ütköznek”, majd a habon tovább haladva a MEA-ba, és ez miatt itt egy torlópont jelentkezik. A többi kapott eredmény alapján, ezen turbulens pont ellenére a tervezett modellen nem változtattam, hiszen a többi eredmény azt

mutatta meg, hogy az áramlás ennek ellenére is megfelelő. Ugyanakkor fontos megjegyezni ezt az eredményt is, hiszen a jövőben ez potenciális fejlesztési lehetőségeket tartogathat magában, amellyel a hatásfokot tudjuk növelni, valamint az áramlás ellenállását csökkenteni. Végül pedig egy olyan vektoros kiértékelést hoztam létre, amely mutatja, hogy a gáz molekulák merre és mekkora értékkel haladnak.



31.ábra: A molekulák sebességvektorai

A kapott eredményt vizsgálva megállapítható, hogy a korábban kapott eredmény (ld.28.ábra) megfelelő képet adott arról, hogy az áramlás a bipoláris lemez két sarkán nem teljesen megfelelő. Ugyanakkor az is látszik, hogy bár a gáz jelenléte nem túl magas intenzitású a két sarkon, de így is jutnak hidrogén molekulák a MEA egység közel 95%-ra.

A kapott eredmények, mind a képek, mind pusztán a szám adatok alapján a kialakítást véglegesítettem, és elindítottam a lemezek, valamint a lemezekbe épülő fémhab gyártását. Így már csak az volt hátra, hogy a legyártott lemezeket összeszereljem, majd a TTK-n lévő kollégák segítségével lemérjem a cella köteg legfontosabb paramétereit.

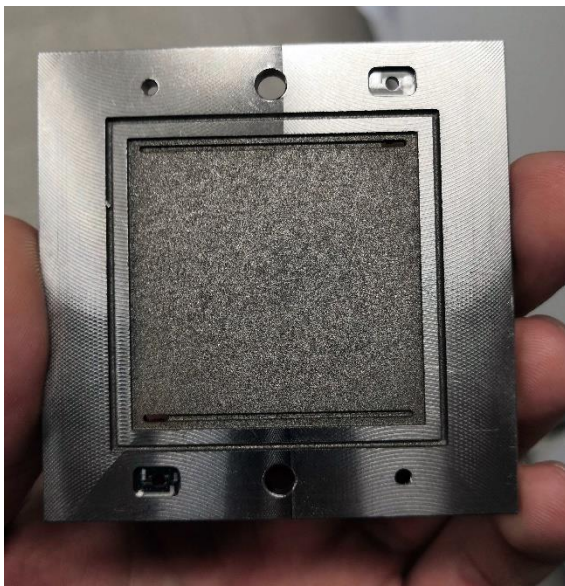
3. PEM tüzelőanyag-cella alap mérései

3.1. A mérés helyszíne

A mérést Budapesten a TTK (Természet Tudományi Központ) laborjában végeztem. A mérés során nagy segítséget nyújtott a laborban dolgozó Dr. Szijjártó Gábor Pál, aki mind az összeszerelésben, mind a mérés során hatalmas segítséget nyújtott.

3.2. A legyártott alkatrészek

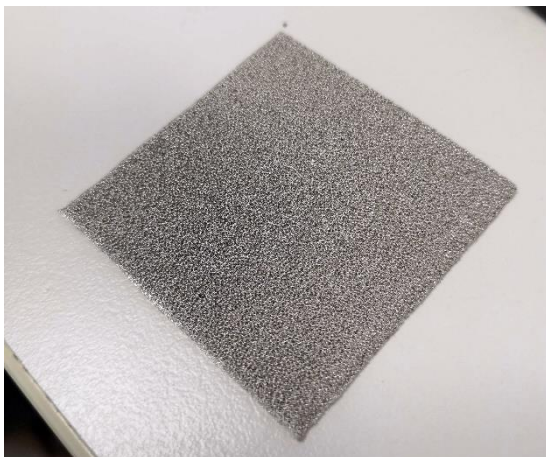
Ebben a fejezetben a legyártott, kész bipoláris lemezről, valamint a készített fémhabról szeretnék pár képet megmutatni.



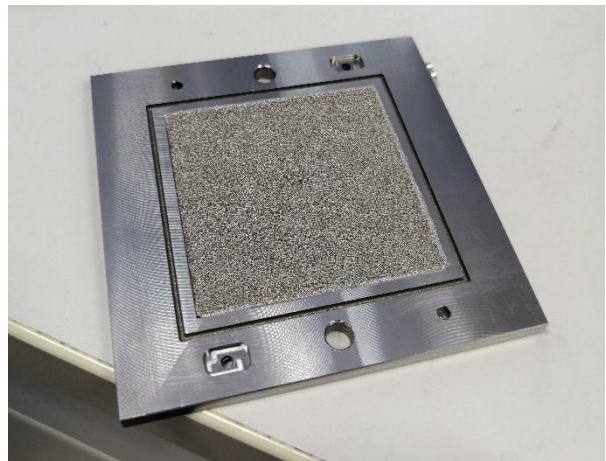
a



b



c



d

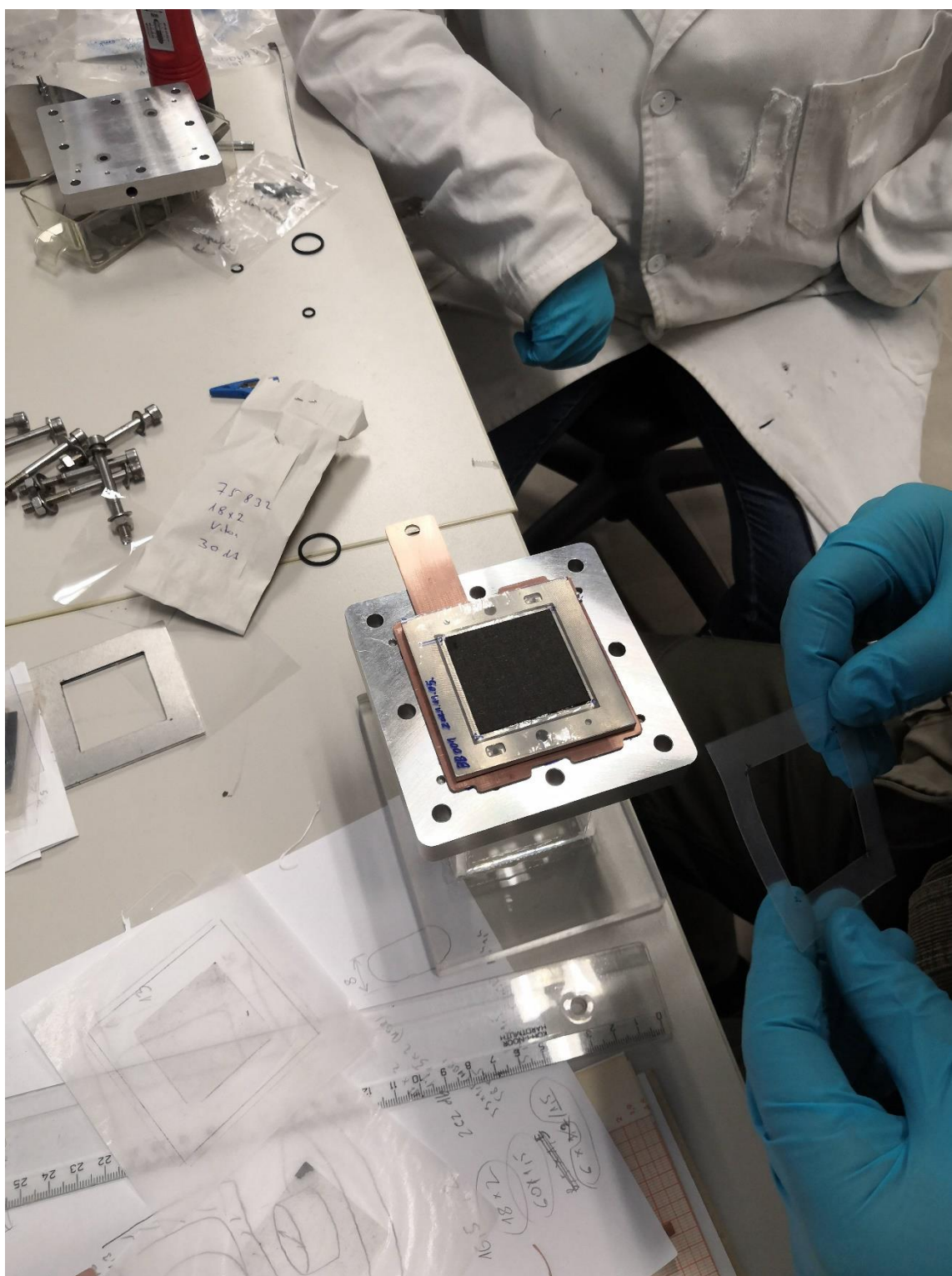
32.ábra: *a* – Az elkészült bipoláris lemez előlnézetből; *b* – Az elkészült bipoláris lemez hátul nézetből; *c* – A legyártott Ni fémhab; *d* – A fémhab a bipoláris lemezbe helyezve

3.3. A cella összeszerelése

Az összeállítást viszonylag hamar megoldottuk, hiszen az alapvető komponensek már készen voltak és a TTK-n már kész MEA egységgel vártak. A következőkben az összeszerelésről pár fotót láthatunk.



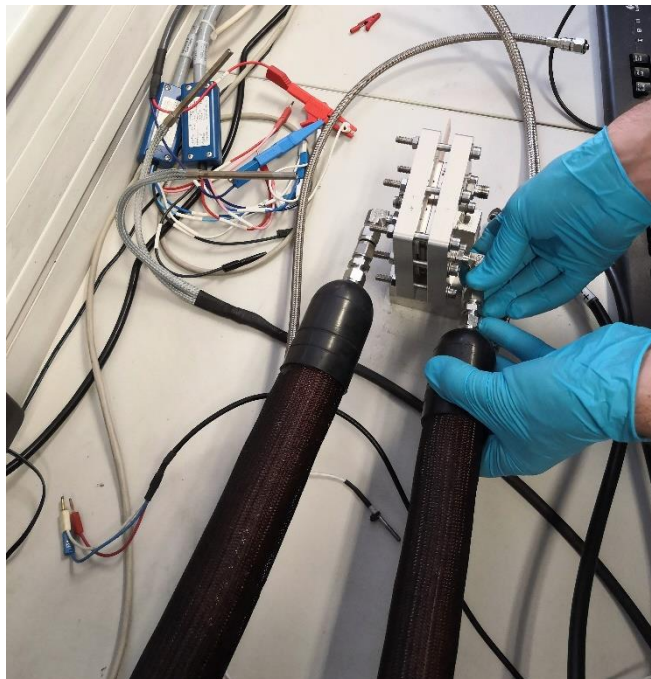
32. ábra: Dr. Szijjártó Gábor Pál segít a MEA egység összeállításában



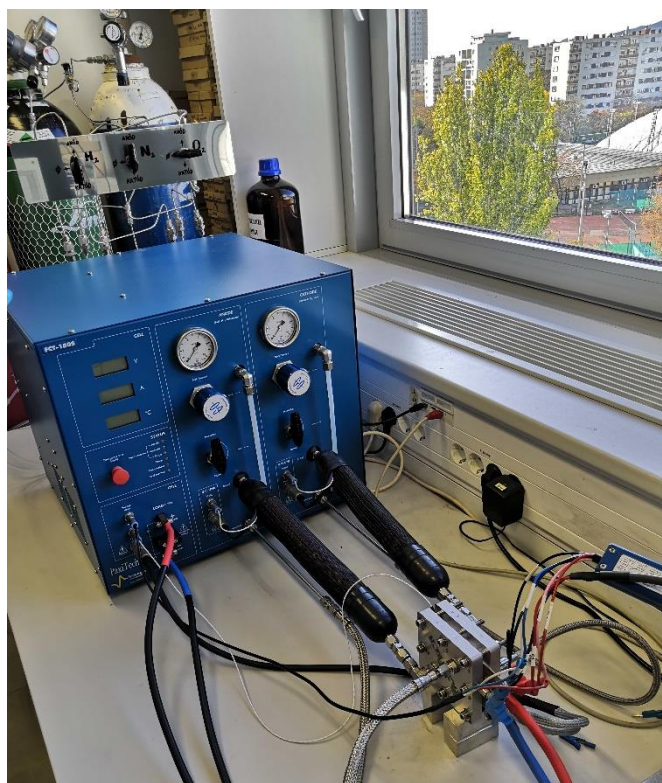
33. ábra: A véglemezre felhelyezett áramgyűjtő, bipoláris lemez és a MEA egység

3.4. A cella felhelyezése a mérő berendezésre

Az összeszerelést követően a kész cellát rá kellett kötnünk a mérőberendezésre. A főbb csatlakoztatási pontok a következők: H_2 be és ki, O_2 be és ki, véglemezekbe egy-egy fűtőpatron, anód és katód árama, valamint a hőmérséklet szenzor.



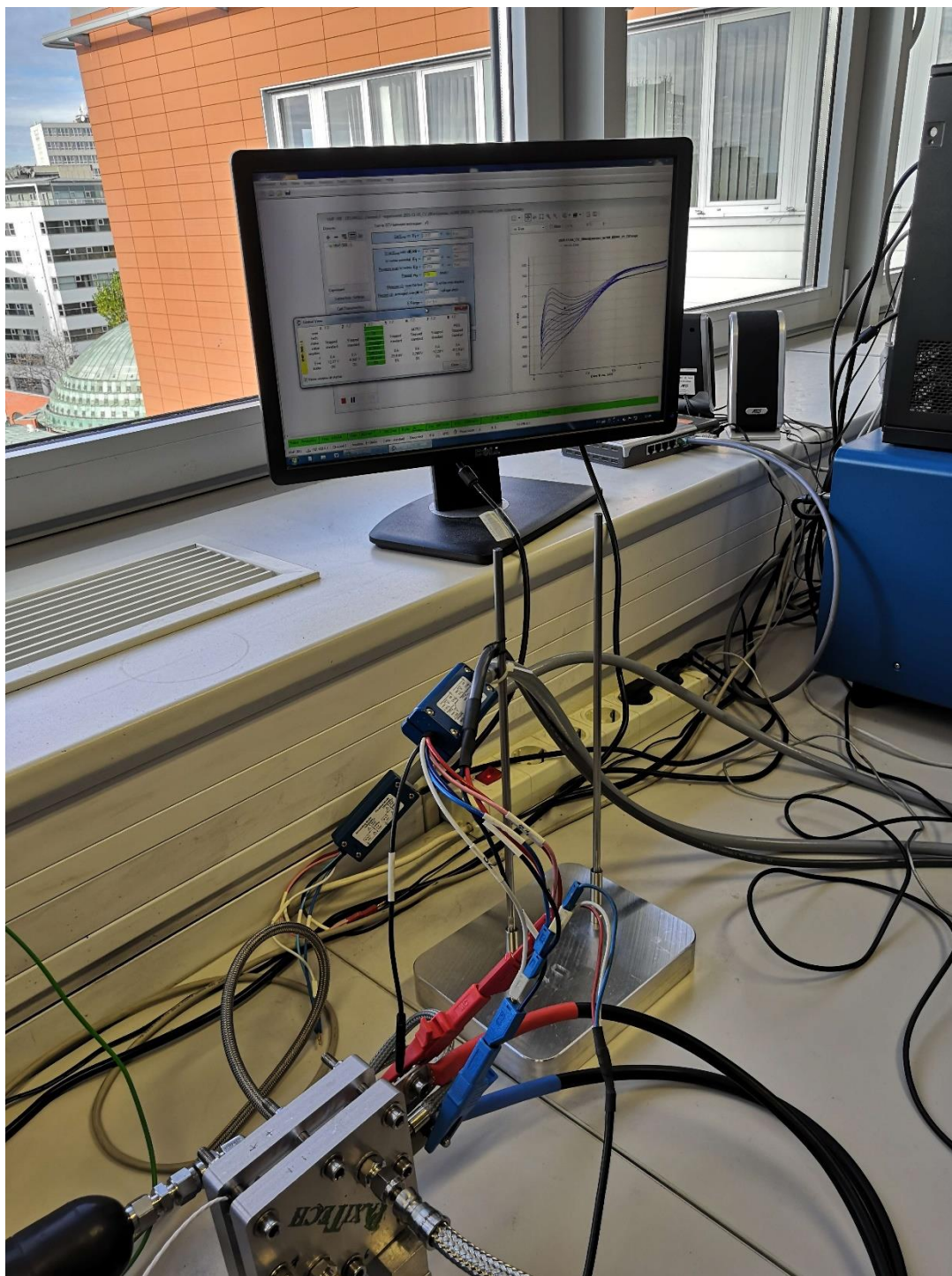
34. ábra: A H_2 oldal bevezetésének szerelése



35. ábra: A mérőberendezéshez teljesen csatlakoztatott cella

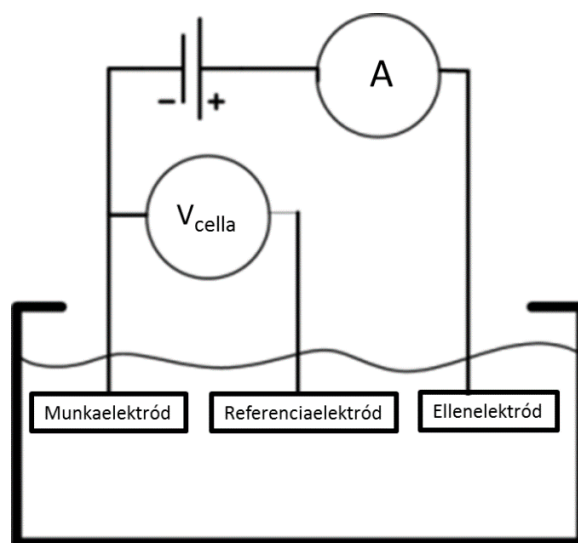
3.5. A mérés futtatása és kiértékelése

Mivel a beadási határidő napján történt a mérés, így mindent rohamtempóban végeztünk, és így komolyabb mérésekre sajnos nem volt lehetőségünk. Ezen okból kifolyólag csak a legalapvetőbb, minden új cella beállításánál alkalmazott ciklikus voltammetria felvételét tudtuk elvégezni.

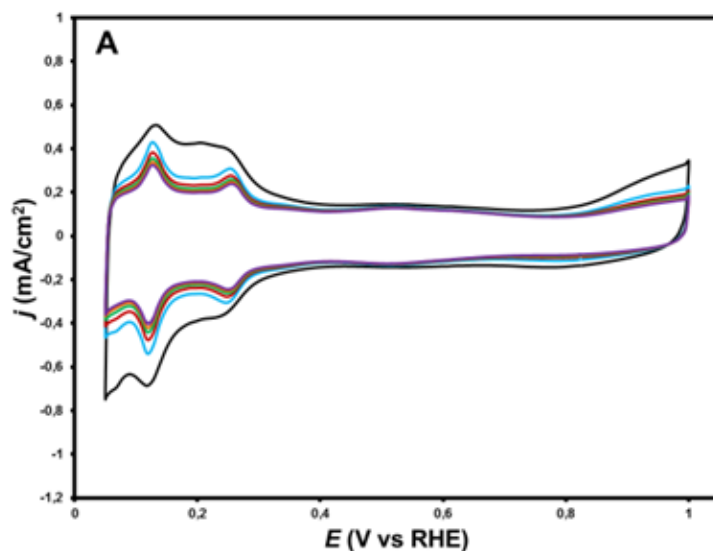


36. ábra: A cella ciklikus voltammetriájának felvétele

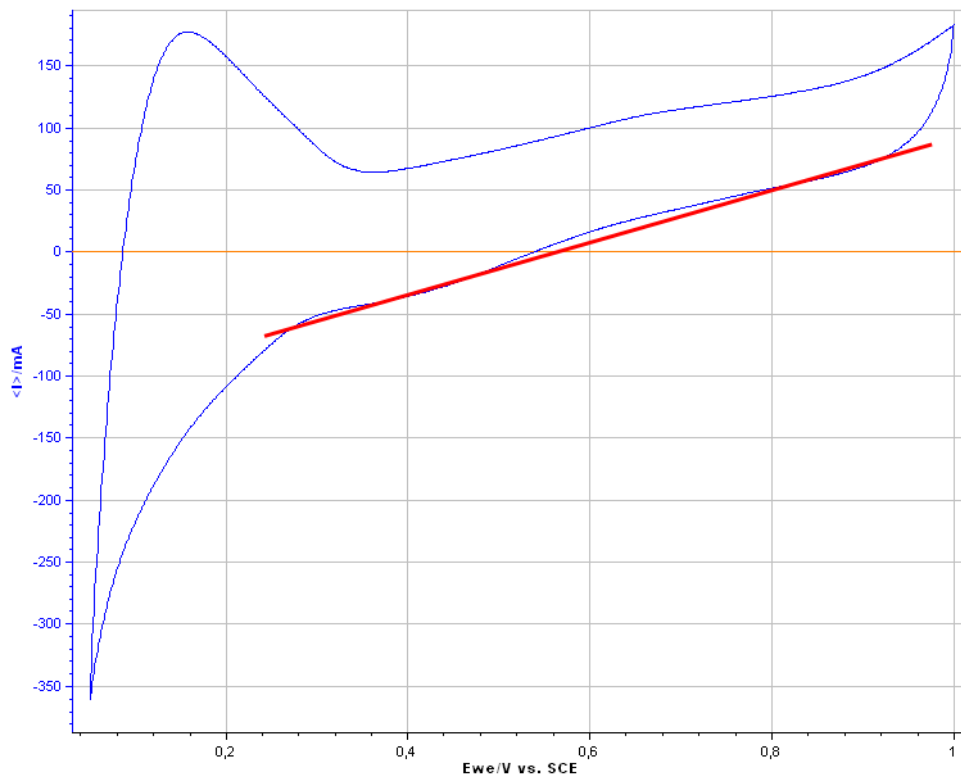
A ciklikus voltammetria megmutatja, hogy az adott tüzelőanyag-cella működőképes-e vagy sem hiszen, ha ezt a mérést se lehet az aktiválás előtt, akkor a rendszer a tapasztalatok szerint nem fog működni. A ciklikus voltammetria mérés esetén a feszültséget ciklikusan változtatjuk (mi esetünkben 50mV-tól 1000mV-ig, és vissza) és közben az áramerősséget mérjük. A voltammetria esetén, az alábbi elrendezés szerint történik a mérés, viszont a mi mérésünk során nem három elektródos rendszert használtunk, hanem a tüzelőanyagcelláról közvetlenül vettük fel a ciklikus voltammogramot. Esetünkben a mérési eredmény úgy módosul, hogy az anódra áramlik a H_2 és ez lesz a referencia és az ellenelektrod egyben. A katódra inert gázt (nitrogén) áramoltatunk és a katód lesz a munkaelektrod, ez miatt az katódot mérjük.



37.ábra: Háromelektrodos elektrokémiai cella sematikus ábrája [4]



38.ábra: Ciklikus voltammogramok 3 elektródos rendszeren (TTK korábbi mérés)
((1000mV-tól 50mV-ig, 100mV/s felvételi sebességgel)



39.ábra: A tervezett cellán mért ciklikus voltammogram (1000mV-tól 50mV-ig, 100mV/s felvételi sebességgel, szobahőmérsékleten)

Összehasonlítva a három elektródos rendszeren felvett voltammogramokat a tüzelőanyagcellán mérttel két fő különbség jön ki. Az egyik az áramerősségek nagyságrendje (a tervezett cellán körülbelül 3 nagyságrenddel nagyobb áramerősségeket mérünk), ami a jóval nagyobb méretű elektródóknak köszönhető ($0,0707 \text{ cm}^2 - 16 \text{ cm}^2$). A másik fő különbség, hogy a cellán mért voltammogram alapvonala nem vízszintes, hanem egy pozitív meredekségű egyenes. Ez abból adódik, hogy a 3 elektródos rendszer ellenállása elhanyagolható, míg a tüzelőanyag-cellában a nagy méretű elektródok és bipoláris lemezek miatt az ellenállással is számolni kell. A voltammogram középső szakaszára illeszthető vonal (ld. 39.ábra – piros vonala) meredeksége arányos a cella ellenállásával.

A sikeres ciklikus voltammogram ellenére a cellát nem sikerült aktiválni, mert az feltehetőleg vannak benne olyan tömítetlenségek, amelyek szivárgást okoznak. Ezek hatása akkor válik észrevehetővé, amikor elkezdénk nyomás alá helyezni a rendszert, azonban ezt nem tudjuk végrehajtani (a gáz szivárgás miatt). A MEA egység körüli tömítés módosítása megoldást jelenthetne, ugyanakkor az idő rövideje miatt a TDK dolgozatban erre már nem kerül sor.

Összefoglalás

A követelmények megírása és megismerése után a V-modell tervezési módszer lépésein végig haladva több koncepciót is kidolgoztam. Ezeket a koncepciókat minden esetben megvitattuk a konzulensemmel történő brainstormingok során, végül meghatároztuk azokat a fő irányvonalakat is, amelyek a koncepciók pontozásánál kiemelt szerepet kaptak. Így esett a választás a harmadik, azaz a nyíltcellás fémhabos bipoláris lemezű tüzelőanyag-cella egységre. A konstrukciós tervezési fázis is sok kihívást tartogatott magában, hiszen figyelembe kellett venni számos olyan követelményt, hogy a megalkotott köteg könnyen használható, könnyen összeszerelhető legyen és hogy viszonylag egyszerű legyen a gyártása is. A tervezést követően következett a gyártás, azonban mivel ez sok időt vett igénybe, így addig megpróbáltam szimulálni a fémhabon belüli áramlási viszonyokat. Itt is sok kihívás akadt, például az egyszerűsített modell létrehozása. Szerencsére azonban a problémákat hamar át tudtam lépni, és viszonylag kézzel fogható eredményeket kaptunk, továbbá megismertem így azokat a területeket, ahol később optimalizációs lehetőségek is rejlenek. A szimulációs szakasz végéhez közeledve a gyártás is megtörtént, így megkezdhattuk a valós tesztelést is. A tüzelőanyag-cella egységet a tervezett módon összeraktuk és a TTK szakembereinek segítségével megmértük, ahol félig örülhettünk. Ennek oka, hogy bár a tervezett cella működőképes, és képes áramot leadni, de sajnos a rendszerben valahol tömítetlenség volt, ez miatt pedig komolyabb méréseket a hiba megoldásáig nem tudunk végezni. Sajnos az idő rövidsége miatt az ez évi TDK-ban már erre nem tudok megoldást kitalálni és azt bemutatni. Ugyanakkor további célunk elsősorban a jelenlegi cella egység problémáinak felfedése, megértése majd kijavítása. Ettől távolabbi cél a cella számot növelni első körben 3-ra majd ezt követően 10-re. Az emelt cellaszámú kötegek eredményei alapján pedig szeretnénk új irányvonalakat szabni és vélhetően elmozdulni a sorozatgyárthatóság felé.

Ezúton köszönöm a segítséget konzulensemnek Kereszty Balázsnak, valamint Dr. Szijjártó Gábornak is.

Irodalomjegyzék

1. Székely Sipos Sándor Zolta: Agile ésszerűen
Elektronikus forrás: <https://slidetodoc.com/agile-sszeren-szkely-sipos-sndor-zolta-tartalom-a/>
Megtekintés dátuma: 2021.10.28
2. Nyílt cellás fémhab szelet kép
Elektronikus forrás: <http://www.bayzoltan.hu/hu/2017/05/08/femhabok-fejlesztese/>
Megtekintés dátuma: 2021.09.07.
3. Számolás alapjait képző képletek
Elektronikus forrás: <https://www.cfd-online.com/Forums/fluent/46960-viscous-resistance-coefficients-porous-medium.html>
Megtekintés dátuma: 2021.09.22
4. T. Pajkossy: Elektrodegyensúlyok és folyamatok , Emlékeztető segédanyag a Fizikai-kémia előadáshoz, MTA KK AKI (2004)