



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Polimertechnika Tanszék

**Anyag és technológia fejlesztés üzemanyagcellák
bipoláris lemezéhez**

Készítette:

Kovács Ágnes
C1NDDD

Konzulensek:

Dr. Ronkay Ferenc
egyetemi docens

Király Anett
PhD hallgató

2012

Tartalomjegyzék

1.	Jelölés- és rövidítésjegyzék	3
2.	Bevezetés	4
3.	Irodalomkutatás	5
3.1	Az üzemanyagcellák működése	5
3.2	Az üzemanyagcellák története	6
3.3	Az üzemanyagcellák alkalmazása.....	7
3.4	Bipoláris lemez.....	7
4.	Kísérleti rész	11
4.1	Felhasznált anyagok	11
4.1.1	Polipropilén.....	12
4.1.2	Grafén	12
4.1.3	Grafit.....	12
4.1.4	Korom	13
4.2	Próbatestek gyártása.....	13
4.2.1	Belső keverő	13
4.2.2	Extrudálás és granulálás.....	14
4.2.3	Préselés	15
4.2.4	Fröccsöntés	16
4.3	Vizsgálati módszerek	17
4.3.1	Charpy-féle ütvehajlító vizsgálat	17
4.3.2	Szakítóvizsgálat	18
4.3.3	Vezetőképesség mérés	18
5.	Kísérleti eredmények	20
5.1	Grafénnal töltött kompozitok vizsgálati eredményei	20
5.2	Különböző összetételű fröccsöntött és préselt lemezek vizsgálati eredményei	21
5.3	Lemezvastagság hatása a vezetőképességre.....	24
6.	Présszerszám tervezése	27
7.	Összefoglalás	33
8.	Irodalomjegyzék	34

1. Jelölés- és rövidítésjegyzék

H ₂		hidrogén
H ₂ O		víz
PE		polietilén
PP		polipropilén
a	$\left[\frac{\text{mJ}}{\text{mm}^2} \right]$	ütőszilárdság
b	[mm]	próbatest szélessége
I	[A]	áramerősség
m%	[%]	tömegszázalék
U	[V]	elektromos feszültség
V%	[%]	térfogatszázalék
v	[mm]	próbatest vastagsága
ρ	[Ω · cm]	fajlagos ellenállás

2. Bevezetés

A környezetvédelem, a fenntartható fejlődés és az alternatív energiák kutatása a mai világban egyre fontosabb szerepet töltenek be. Az üzemanyagcella egyre elterjedtebbé váló energiaforrás, ami egy tisztább, fenntarthatóbb világ felé mutat. Több fajtája is létezik, és egyre bővülő felhasználási területtel rendelkezik, úgy mint: gépjárműipar, hajóipar, háztartási elektromos berendezések, stb. Méretét tekintve is széles a skála: egyszerű hordozható akkumulátor-töltőtől a nagyobb méretű áramforrásig.

Az üzemanyagcella fő egysége a bipoláris lemez, ez teszi lehetővé, hogy a hidrogén és a levegő oxigénjének felhasználásával elektromos áramot állítson elő. Anyagát tekintve az eddigi bipoláris lemezek fémből készültek, ám mivel az erőforrás mellékterméke víz, ezért ezek az anyagok rövid időn belül korrodálnak. Az áttörést egy olyan anyag jelenti, ami fémes tulajdonságokkal rendelkezik, úgy mint: vezetőképesség, szilárdság, viszont korrózióálló. A bipoláris lemez nagymértékben felelős a költségekért, így a végfelhasználói árban itt lehet a legtöbbet megtakarítani.

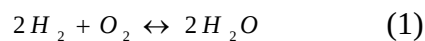
Célkitűzésem egy olyan anyag fejlesztése, amely kielégíti a bipoláris lemez követelményeit, azonban az eddig gyártott lemezeknél hosszabb élettartammal rendelkezik, stabil és megfelelő működést biztosít az üzemanyagcellának. Ennek a kutatásnak az eredményeit egy olyan cég használja fel, amely Magyarországon először fejleszt üzemanyagcellát.

3. Irodalomkutatás

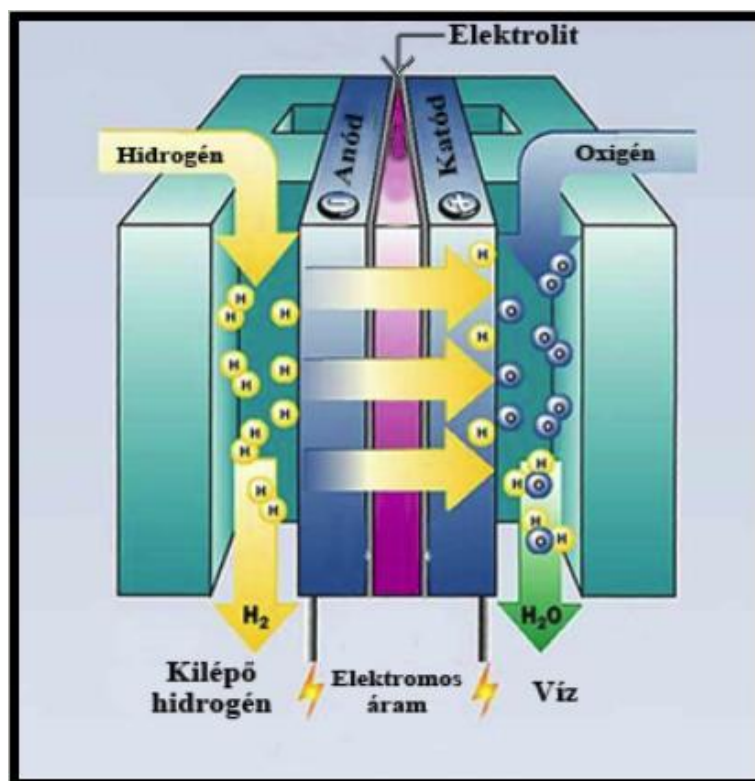
Dolgozatom első részében az üzemanyagcella felépítése és működése kerül bemutatásra.

3.1 Az üzemanyagcellák működése

Az üzemanyagcella egy olyan eszköz, amely hidrogén és oxigén felhasználásával elektromos áramot, vizet és hőt termel, ez a folyamat az (1) égési reakcióegyenleten alapszik [1]:



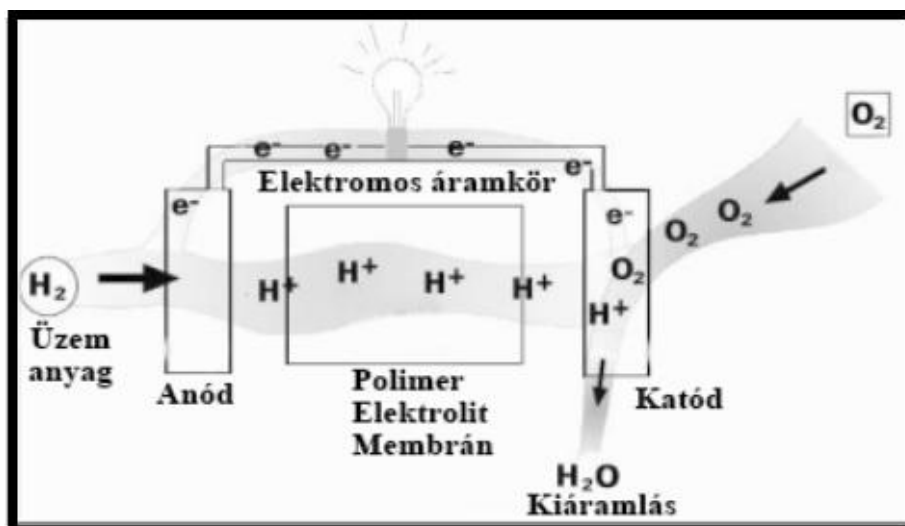
Az üzemanyagcellának nincs szüksége újratöltésre úgy, mint az akkumulátornak, addig szolgáltat elektromosságot, amíg üzemanyaghoz jut. A cella alapvetően két elektródából áll, aminek mindkét oldalán elektrolit van. Hidrogén és oxigén halad át mindegyik elektródán és ez alatt a folyamat alatt egy olyan kémiai reakció megy végbe, amely során elektromosság, hő és víz keletkezik (1. ábra).



1. ábra: Az üzemanyagcella felépítése [2]

Az anód oldalra hidrogént táplálunk, a katód oldalra pedig oxigént. A kémiai reakció során a hidrogén elektronra és protonra bomlik szét, mindkettő más úton jut el a katódhoz. Az elektronok a katódhoz vezető utat nem az elektroliton, hanem egy külön körön keresztül

teszik meg, ezt a folyamatot használjuk fel, hogy elektromosságot állítsunk elő. A proton áthalad az elektroliton és a katód oldalon újra egyesül az elektronnal és az oxigénnel, ezek kombinációjából jön létre a víz (2. ábra). Ez egy sokkal „tisztább” folyamat mint bármely más üzemanyag égetése [3].



2. ábra: Üzemanyagcella működése [4]

Egy cella körülbelül 0,7 V feszültség leadására képes, de több cella összekapcsolása során a létrejött cellasor gyakorlati célokra alkalmas feszültséget tud termelni. Az egyes cellákat határoló lapokat bipoláris lapoknak, míg a cellasorok két végén elhelyezkedő egy-egy lemezt monopoláris lapnak nevezik [5].

3.2 Az üzemanyagcellák története

Sir William Robert Grove a 1842-ben kifejlesztett egy vizes cellás akkumulátort, amely az első üzemanyagcella volt a világon. *Friedrich Wilhelm Ostwald* megállapította, hogy az üzemanyagcella különböző elemei (elektródák, elektrolit, oxidációs és redukciós hatóanyag, anion és kation) között kapcsolat van.

Francis Thomas Bacon magasnyomású üzemanyagcellákkal végzett kutatásokat, sikeresen kifejlesztett egy olyan cellát, amely nikkel-szövet elektródákat használt és 205 bar nyomáson működött. Munkássága során a II. világháborúban a királyi tengerészet tengeralattjáróiba állított elő üzemanyagcellákat. Bacon kutatásainak hatására az Apollo űrsiklóba is kerültek üzemanyagcellák.

1959-ben *William Grubbs* rájött, hogy kemény savak nélkül is el lehet érni az elektronok vándorlását, ez a felfedezés az alapja a mai polimer membránú üzemanyagcelláknak [4].

3.3 Az üzemanyagcellák alkalmazása

Az üzemanyagcella helytől függetlenül tud energiát előállítani, ezért felhasználási területe nagyon széles. Ezzel az eszközzel 1W-tól akár 10MW-ig lehetséges energia termelése. Fő alkalmazása a jövőben az egyéni és a tömegközlekedés lehet, mivel egyszerű a felépítése, kevés mozgó alkatrészt tartalmaz, így könnyű vele tervezni. Hatalmas előnye az akkumulátorokkal szemben, hogy sokkal nagyobb az energiasűrűsége, mint a normál akkumulátoroké, tehát adott méretű cella több energiát ad le, mint egy ugyanakkora méretű akkumulátor.

Az üzemanyagcella hozzájárulhat még a villamos turbinaművek hatásfok növeléséhez is, úgy hogy a kiáramló forró vizet az üzemanyagcellából átpumpálják a turbina ciklusába, ezáltal a rendszer hatásfoka akár 80%-ra is nőhet [6].

3.4 Bipoláris lemez

A bipoláris lemez az üzemanyagcella legdrágább alkatrésze, a teljes ár körülbelül 30%-át teszi ki. A bipoláris lemez fő feladatai:

- a reagensek, a visszamaradt gázok és folyadékok elosztása,
- elektron transzport biztosítása anód és katód között,
- mechanikus támogatás egy vékony elektronmembránon keresztül,
- cellák szeparálása a szerkezeten belül,
- hő elvezetése a cellából [7].

A sík bipoláris kialakítás elektromosság szempontjából egyszerű és rövid folyási irányokat eredményez, ami csökkenti a cella ellenállását.

Sík bipoláris lemezek elrendezésétt főként a gáz folyása alapján határozzuk meg. A gázok folyási irányai lehetnek:

- Keresztirányú (cross-flow): a levegő és az üzemanyag áramlása merőleges egymásra
- Párhuzamos elrendezésű, azonos folyásirányú (co-flow): a levegő és az üzemanyag áramlása párhuzamos és azonos folyási irányú. Körkörös cella esetén ez azt jelenti, hogy a gáz radiálisan kifelé folyik.
- Párhuzamos elrendezésű, ellentétes folyásirányú (counter-flow): a levegő és az üzemanyag áramlása párhuzamos, de ellentétes irányú. Körkörös cellánál szintén radiális áramlást eredményez.

- Szerpentin (serpentine-flow): a levegő és az üzemanyag cikk-cakk pályán haladnak.
- Spirális (spiral-flow): ez a körkörös elrendezésű cellákra érvényes.

Hogy milyen elrendezést választunk az függ az üzemanyagcella típusától és az alkalmazás módjától.

A cellákban a gáz áramlása a következő három módon valósulhat meg:

- Belső: amikor áthalad a cellákon.
- Integrált: amikor nem hatol át a cellákon, de be van integrálva az összekapcsolásokba.
- Külső: amikor teljes mértékben szeparált a celláktól [8].

A bipoláris lemezeket először fémből készítették, azonban a felhasználás során ezek a lemezek gyorsan korrodáltak, mert a katód oldalon található pozitív töltésekkel való ütközés és a levegő hatására egy oxidréteg keletkezett. Ez a réteg növelte az elektromos ellenállást az anód oldalon. A kevesebb elektron hatására az oxid védőréteg vékonyodik, így a fém elkezd oldódni a hidrogénben. A fémből készült bipoláris lemezek korrózióálló bevonatot kaptak, így ezek a lemezek drágák lettek és előállításuk is bonyolult volt. Ezek után kezdtek el polimer mátrixú lemezeket fejleszteni.

A bipoláris lemez minimális követelményei:

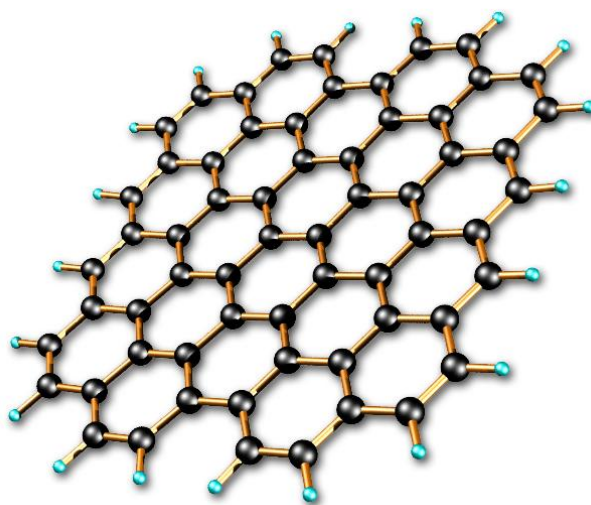
- jó vezetőképesség ($> 100 \text{ S/cm}$),
- kis hidrogén áteresztés ($< 2 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3/(\text{cm}^2\text{s})$),
- jó korrózióállóság ($< 1 \cdot 10^{-6} \text{ A/cm}^2$),
- megfelelő hajlítószilárdság ($> 25 \text{ MPa}$),
- megfelelő szakítószilárdság ($> 41 \text{ MPa}$),
- jó hővezető-képesség ($> 10 \text{ W/mK}$),
- kémiai és elektrokémiai stabilitás (helyhez kötött alkalmazásokban 40000 óra, mobil alkalmazásokban 60000 óra),
- kis hőtágulás,
- jó feldolgozhatóság (alacsony anyag- és gyártási költség, gyors és folyamatos gyárthatóság)
- súly $< 0,4 \text{ kg/kW}$ [7].

Vezetőképes műanyagok

Napjainkban a műanyagok egyik legismertebb tulajdonsága a szigetelőképességük, azonban a műanyagkémia kései időszakában elkezdték kutatni a villamosan vezető műanyagokat is. Vezetőképes műanyag kétféleképpen készíthető. Az egyik eset az adalékolás, melynek során elektromosan vezető részecskéket adnak a polimerhez. A másik lehetőség elektromosan vezetőképes polimerek létrehozására a konjugált kettős kötéseket tartalmazó polimerek alkalmazása. A polimerláncban lévő kettős kötés felszakadásakor gyökök jönnek létre, amelyek szabad elektronjai vezetik a villamos áramot. Az ilyen anyagokat egydimenziós fémeknek is szokták nevezni. Alkalmazásuk főként vékony rétegben, bevonatként jellemző, tömbi anyagként nem állíthatók elő [9].

Az adalékolás során az adalék lehet valamilyen szén-származék, vagy fémpor, illetve különböző erősítőszálak is, mint például acélszál, szénszál. A grafit kompozit anyagok polimer kötőanyaggal sokkal jobban alkalmazkodnak a kívánt tulajdonságokhoz, egyszerűsítik a bipoláris lemezek gyártási technológiáit. Ezekben a kompozitokban túlnyomórészt vezetőképes szénkeverék található (természetes vagy szintetikus grafitpor, korom és szén nanocsövek), hogy növeljék a vezetőképeséget.

A grafitpor, a korom és a szén nanocsövek mellett újabban a grafén áll a figyelem középpontjában. A grafén a szén egyik allotróp módosulata, hasonlóan mint a grafit, fullerén és nanocső. A grafén atomjai egy kétdimenziós hexagonális hálóban helyezkednek el, ennek a hálónak a vastagsága egy atomnyi (3. ábra).

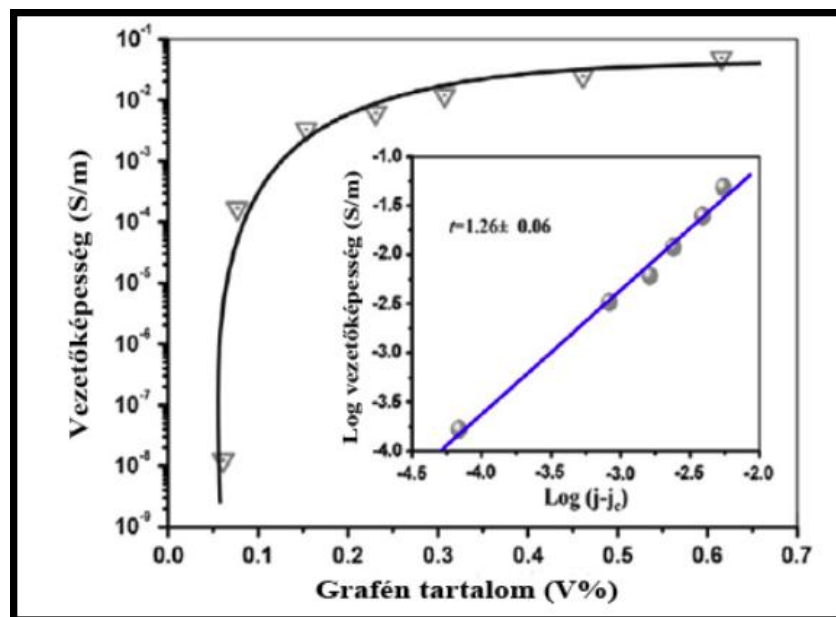


3. ábra: Grafén atomjainak elhelyezkedése [10]

A grafént először Hans-Peter Boehm fedezte fel 1961-ben. Neki sikerült először transzmissziós elektronmikroszkóp és röntgendiffrakció segítségével azonosítani egy rétegű grafén lapokat [11].

2004-ben Andre Geim és Konstantin Novoselov grafén síkokat választottak le grafitról ragasztószalag segítségével, ez volt az első kétdimenziós kristályos anyag. 2010-ben fizikai Nobel-díjat kaptak tudományos munkásságukért.

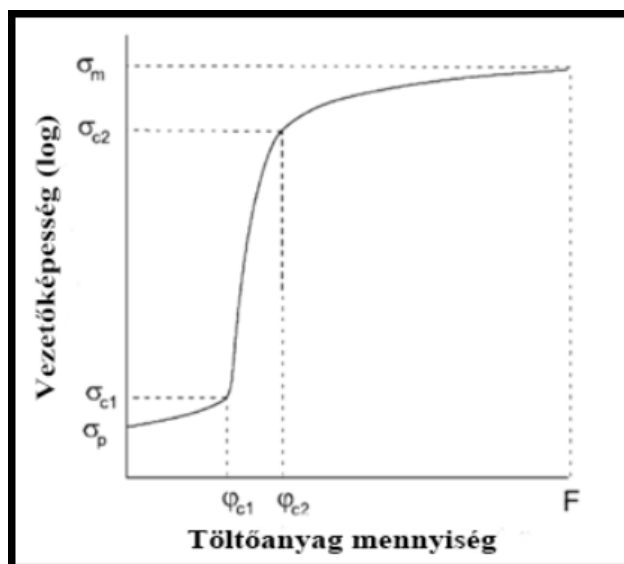
A grafén vezetőképességének vizsgálata során PE mátrixú préselt lapoknál a perkolációs küszöb 0,07 V%-nál volt, ez látható az 4. ábrán [12].



4. ábra: Elektromos vezetőképesség a grafén töltőanyagmennyiség függvényében

A perkolációs küszöb az a határkoncentráció, ahol a vezetőképesség ugrásszerűen megnő [13].

A vezető polimer kompozit vezető mechanizmusa a klasszikus perkolációs elmélettel magyarázható. A kompozit szigetelőként viselkedik, amikor a vezető réteg térfogathányada egy adott érték alá esik, ez az érték a perkolációs küszöb (φ_c). A kritikus érték felett egy vezetőhálózat jön létre és a kompozit vezetőképes lesz, ez a folyamat sematikusán az 5. ábrán látható.



5. ábra: Perkolációs görbe [18]

A maximum vezetőképességet (σ_m) az elméleti száz százalékos töltöttségnél (F) kapjuk. A vezetőképesség először csak lassan nő, majd a $\varphi_{c1} < \varphi_c < \varphi_{c2}$ tartományban a vezetőképesség hirtelen megnő, amikor a részecskék elég közel kerülnek egymáshoz és elektromosan vezető hidakat hoznak létre, ezt a tartományt átmeneti tartománynak hívják [9] [18].

Az elektromosan vezető műanyag kompozit mátrixanyagaként nagyon sokféle polimer alkalmazható, lehet hőre keményedő vagy hőre lágyuló is, például polipropilén, polietilén [9].

4. Kísérleti rész

A PP-t grafittat, grafénnal és korommal töltöttem, a homogenizálást belső keverő, illetve extruder segítségével végeztem, darálás után pedig préseléssel vagy fröccsöntéssel gyártottam belőlük próbatesteket, illetve bipoláris lemezeket.

4.1 Felhasznált anyagok

A próbatestek elkészítéséhez négy anyagot használtam fel, ezen anyagok főbb tulajdonságait mutatom be a következőkben.

4.1.1 Polipropilén

A próbatestek gyártásához a TIPPLEN R 959 A típusú random PP-t használtam. Főbb tulajdonságai a 3. táblázatban láthatók.

	Mértékegység	Érték
Folyásindex (MFR) (230°C/2,16kg)	g/10perc	45
Rugalmassági modulus (hajlításból)	MPa	1250
Rugalmassági modulus (húzásból)	MPa	1250
Húzószilárdság	MPa	30
Nyúlási folyáshatárnál	%	13
Izod ütőszilárdság (bemetszett, 23°C)	kJ/m ²	5
Lehajlási hőmérséklet (HDT) (0,45MPa)	°C	84
Rockwell keménység	R skála	86

1. táblázat: TIPPLEN R 959 A típusú random PP tulajdonságai

4.1.2 Grafén

A próbatestek gyártásához használt grafén tulajdonságai a 2. táblázatban láthatók.

Fajlagos felület	50-80 m ² /g		
Kinézet	finom por		
Sűrűség	2,2 g/cm ³		
	A felszínnel párhuzamosan	A felszínre merőlegesen	
Hővezetési tényező	3000	6	W/m ² K
Elektromos vezetőképesség	107	102	S/m

2. táblázat: Grafén tulajdonságai

4.1.3 Grafit

A gyártáshoz használt grafit tulajdonságait az 4. táblázat foglalja össze.

Típus	kristályos természetes grafit
Kinézet	finom por
Fajlagos felület	6 m ² /g
Sűrűség	2,1 g/cm ³
Szita analízis	90% < 71µm

3. táblázat: Grafit tulajdonságai

4.1.4 Korom

A felhasznált korom tulajdonságai az 5. táblázatban láthatók.

Korom típusa	EC600
Sűrűség	1,9 g/cm ³
Szemcseméret	~25 nm

4. táblázat: Korom tulajdonságai

4.2 Próbatestek gyártása

A próbatestek gyártásának első lépése volt, hogy a vezetőképes töltőanyagokat a polimerbe bekeverjem, homogenizáljam, végül ledaráljam, így a lemezek gyártásához szükséges alapanyagot kapjak.

4.2.1 Belső keverő

Belső keverővel csak kisebb mennyiségű keveréket állítottam elő. A keveréket a Brabender Plastograph típusú gyúrókamrával (6. ábra) homogenizáltam.



6. ábra: Brabender Plastograph gyúrókamra [14]

A belső keverőben a két anyagot 240°C-on, 20 1/s-es sebességgel 12 percig kevertem. Az így előállított keverékek az 6. táblázatban láthatók.

	PP	Grafén
	[m%]	[m%]
1.	99,5	0,5
2.	99,0	1
3.	98,0	2
4.	97,0	3
5.	95,0	5

5. táblázat: Belső keverővel előállított keverékek

4.2.2 Extrudálás és granulálás

Az extrudáláshoz a Labtech scientific moduláris ikercsigás extrudert (7. ábra) használtam.



7. ábra: Labtech scientific moduláris ikercsigás extruder [14]

Extrudálással a 7. táblázatban látható összetételeket állítottam elő.

PP	Grafit	Grafén	Korom
[m%]	[m%]	[m%]	[m%]
50	50	-	-
46	50	4	-
46	50	-	4
36	50	-	4
26	70	-	4

6. táblázat: Extrudálással előállított összetételek

Az így előállított összetételeket Fritsch daráló segítségével granuláltam (8. ábra).

Az előállított alapanyagokból préseléssel és fröccsöntéssel is gyártottam próbadarabokat, hogy össze tudjam hasonlítani a vezetőképességüket.



8. ábra: Fritsch daráló

4.2.3 Préselés

Préseléshez a Collin Teach-Line Platen Press 200E típusú laborprést használtam (9. ábra).



9. ábra: Collin Teach-Line Platen Press 200E típusú laborprés [14]

A préseléshez a berendezést 240°C-ra melegítettem fel, majd a 7. táblázatban látható folyamatot hajtottam végre

	idő	nyomás
	[perc]	[bar]
előmelegítés	3	-
előpréselés	3	70
levegőztetés	-	-
hűtés 30°C-ra nyomás alatt	30	150

7. táblázat: Préselés paramétere

4.2.4 Fröccsöntés

Fröccsöntéshez Arburg Allrounder Advance 370S 700-290 típusú berendezést használtam (10. ábra).



10. ábra: Arburg Allrounder Advance 370S 700-290 típusú fröccsöntő berendezés [14]

A fröccsöntőgép beállításai a 8. táblázatban láthatók.

Paraméterek	Egység	Érték
Adagolási térfogat	[cm ³]	35
Fröccsöntési sebesség	[cm ³ /s]	75
Utónyomás	[bar]	1000 (0-5 s); 150 (5-15 s)
Záróerő	[tonna]	60
Hűtési idő	[s]	10
Zónahőmérsékletek	[°C]	240; 235; 230; 225; 220
Szerszámhőmérséklet	[°C]	60

8. táblázat: Bipoláris lemezek fröccsöntési paramétere

4.3 Vizsgálati módszerek

A csak grafént tartalmazó próbatesteket mechanikai vizsgálatoknak vettem alá, majd mértem a vezetőképességüket.

4.3.1 Charpy-féle ütvehajlító vizsgálat

Az ütve hajlító vizsgálat az anyag dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállását határozza meg. A dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállás a szívósság. A méréshez a 11. ábrán látható berendezést használtam.



11. ábra: Ceast Resil Impactor Junior típusú számítógép vezérlésű ütőmű DAS 8000 adatgyűjtővel [14]

A mérés elvégzéséhez szükség volt a próbatestek vastagságára és szélességére a keresztmetszet kiszámításához. Ezeket az adatokat digitális tolómérő segítségével mértem meg.

Ezek után megnéztem a gép üresjáratú energiáját, azaz próbatest behelyezése nélkül engedtem el a kalapácsot. Majd elvégeztem a méréseket a próbatesteken. A kapott energiákból levontam az üresjáratú energiát.

Az ütőszilárdság számításához az alábbi képletet használtam:

$$a = \frac{E - E_0}{v \cdot b}$$

$$a - \text{ütőszilárdság} \left[\frac{\text{mJ}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$v - \text{vastagság} [\text{mm}]$$

$$b - \text{szélesség} [\text{mm}]$$

$$E_0 - \text{üresjáratú energia} [\text{mJ}]$$

$$E - \text{energia} [\text{mJ}]$$

4.3.2 Szakítóvizsgálat

A szakítási vizsgálathoz a Zwick Z020 típusú univerzális szakítógépet használtam (12. ábra).



12. ábra: Zwick Z020 típusú univerzális szakítógép [14]

4.3.3 Vezetőképesség mérés

A lemez felületén történő elektromos vezetőképesség mérésének jellemző módja a négytűs mérési elrendezés. Ez a módszer megfelelő eredményt szolgáltat a felület közelében lévő elektromos tulajdonságokról. Ellenben nem nyújt betekintést a bipoláris lemez belsejébe. A négy mérőtű egy vonal mentén van elhelyezve.

A fajlagos ellenállás általános képlete:

$$\text{fajlagos ellenállás } (\rho) = \frac{U}{I} \cdot \frac{\text{kontaktus felület} [cm^2]}{\text{minta vastagság} [cm]} \quad [\Omega \cdot cm]$$

A fajlagos ellenállást a következő képlettel számítottam:

$$\rho = \frac{\pi \cdot w}{\ln 2} \cdot \frac{U}{I}$$

Ennek reciprokát véve pedig megkapjuk az anyag vezetőképességét.

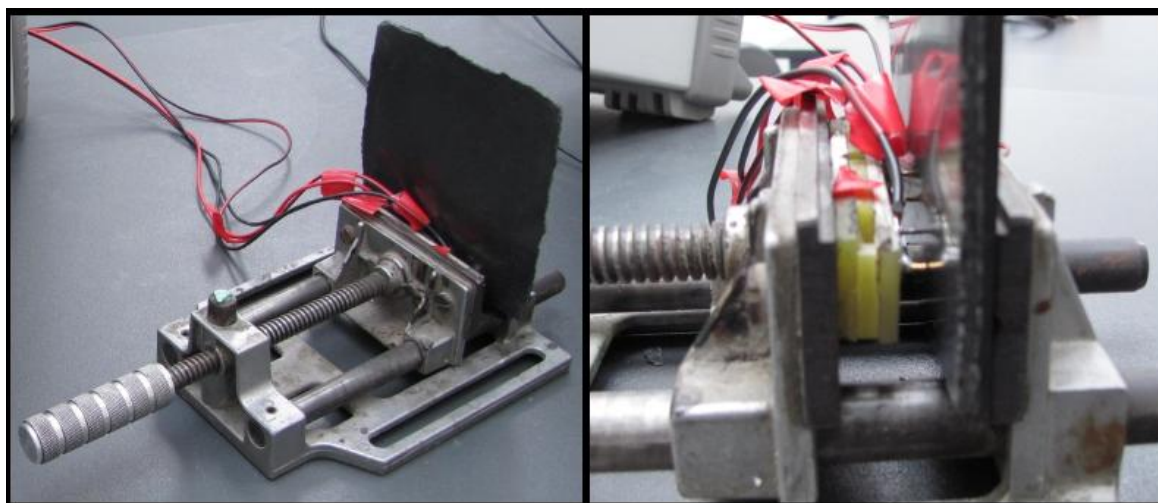
Az ellenállás mérésére az Agilent 34970A ellenállásmérőt (13. ábra) használtam.



13. ábra: Agilent 34970A digitális multiméter

A négypontos ellenállásméréshez egy, az erre a célra készített mérőfej lett alkalmazva, melyben egy vonal mentén elhelyezve, 2 cm-es osztásközzel 4db aranybevonatú mérőtű található 3mm-es üvegszál erősítéses epoxi lemezből (FR4 típusú) készített szerkezetbe rögzítve.

Az így kialakított mérőfej egy satu egyik befogó pofájára lett hozzáragasztva, így biztosítva a mérések megismételhetőségét. Ez az elrendezés a 14. ábrán látható.



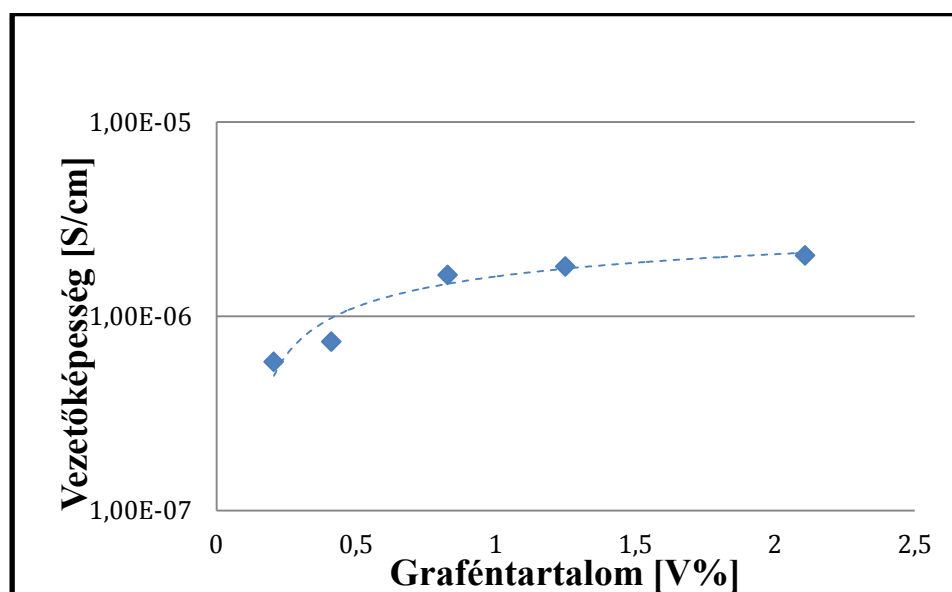
14. ábra Mérőfej

5. Kísérleti eredmények

Ebben a részben a vizsgálatok eredményeit mutatom be.

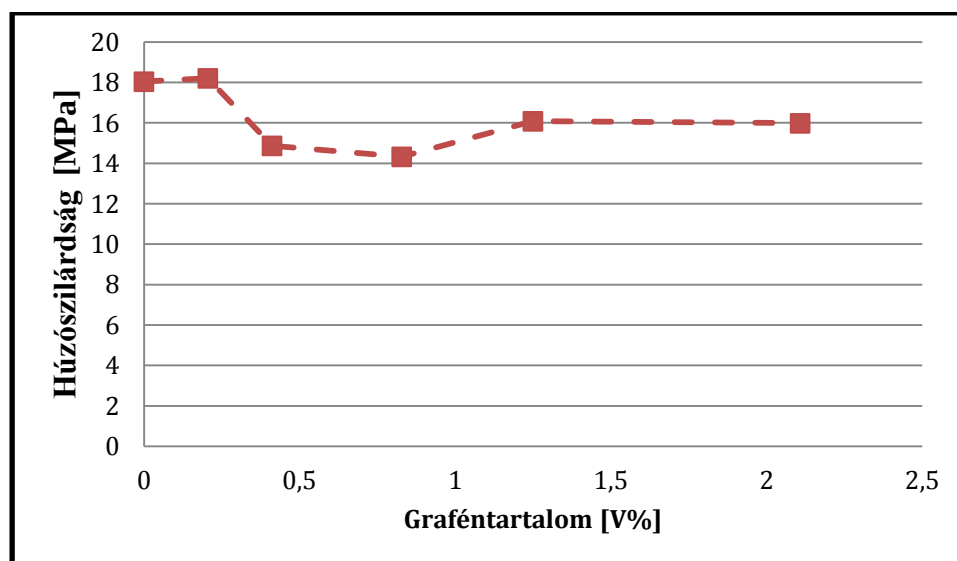
5.1 Grafénnal töltött kompozitok vizsgálati eredményei

A 15. ábrán a vezetőképesség látható a graféntartalom függvényében. Jól látható, hogy a grafén mennyiségének növekedésével nő a lemez vezetőképessége.



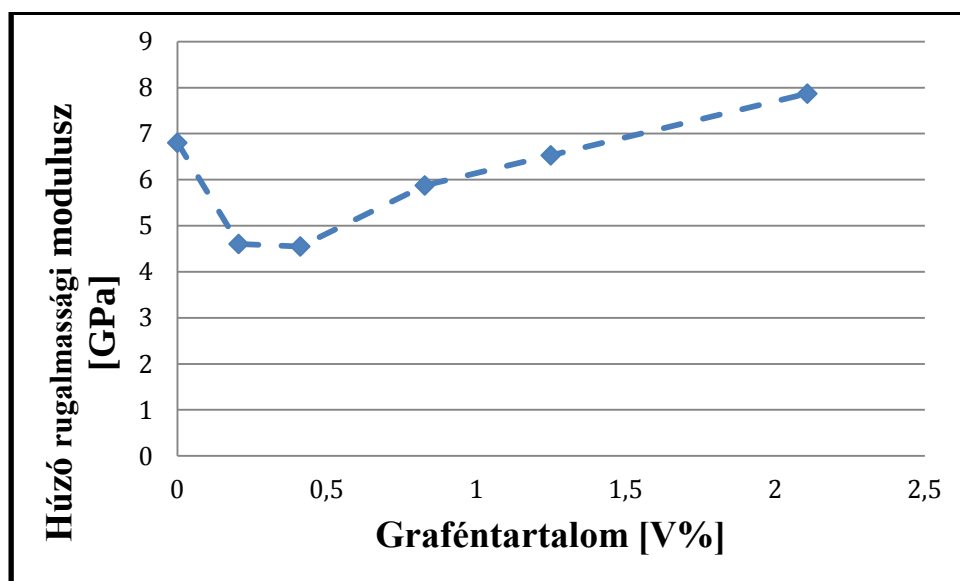
15. ábra: Vezetőképesség a graféntartalom függvényében

A húzószilárdság a grafén hozzáadásával először lecsökkent, majd a töltőanyag mennyiségének növelésével emelkedett (16. ábra).



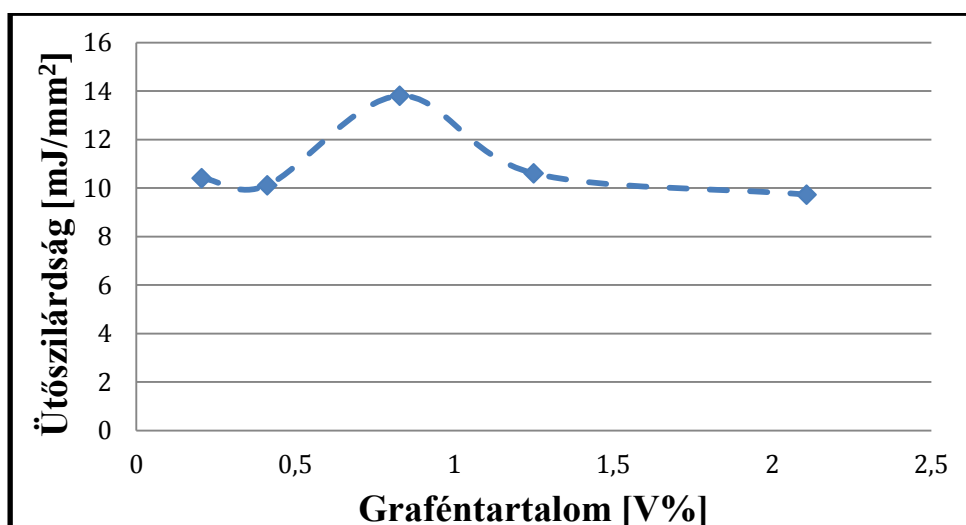
16. ábra: Húzószilárdság az összetétel függvényében

A húzó rugalmassági modulusz a graféntartalom növelésével emelkedett (5. diagram).



17. ábra: Húzó rugalmassági modulusz az összetétel függvényében

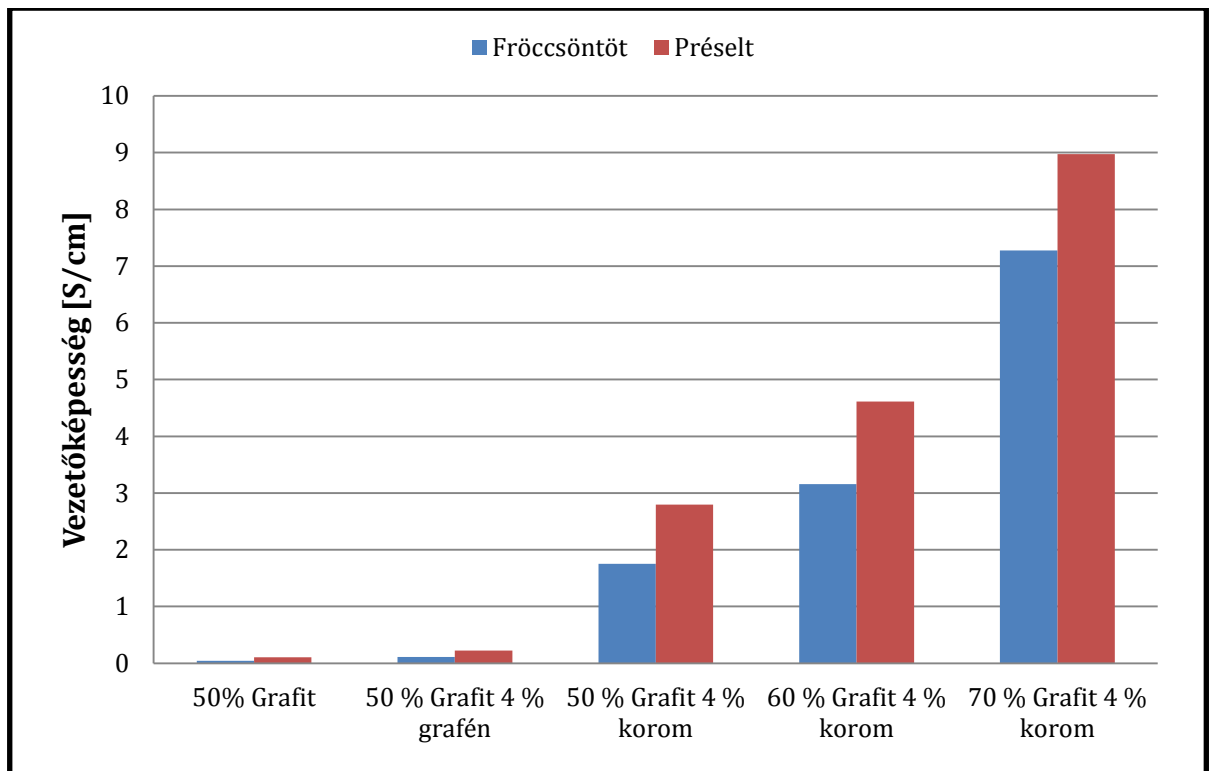
Az ütőszilárdság először növekedett, majd a töltőanyag mennyiségének növekedésével ismét lecsökkent, ez összhangban van a húzószilárdságnál kapott görbével (18. diagram).



18. ábra: Ütőszilárdság a töltőanyag függvényében

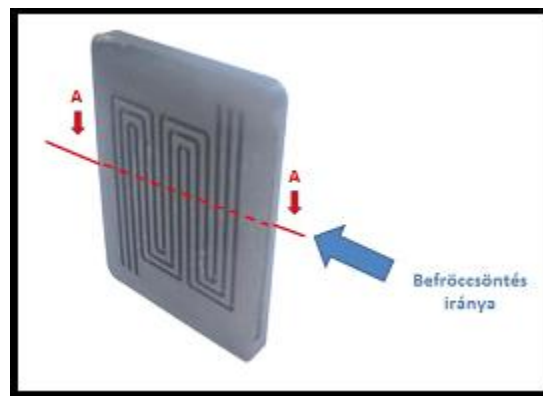
5.2 Különböző összetételű fröccsöntött és préselt lemezek vizsgálati eredményei

A 19. ábrán a fröccsöntéssel és préseléssel készített lemezek vezetőképessége lett összehasonlítva, a mérési adatokból egyértelműen látszik, hogy a préseléssel készült lemezek vezetőképessége magasabb.



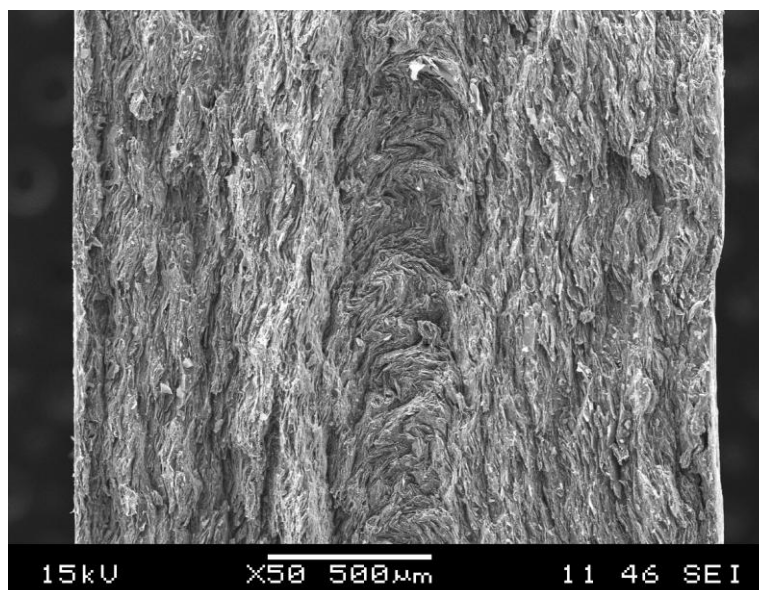
19. ábra: Fröccsöntött és préselt lemezek ellenállásának összehasonlítása

Ennek az eltérésnek a megállapítására pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltam a lemezeket. Ehhez kriogén töretfelületet (a törés 10 perc folyékony nitrogénben történő hűtés után történt) hoztam létre a 20. ábrán piros vonallal jelölt irányban.



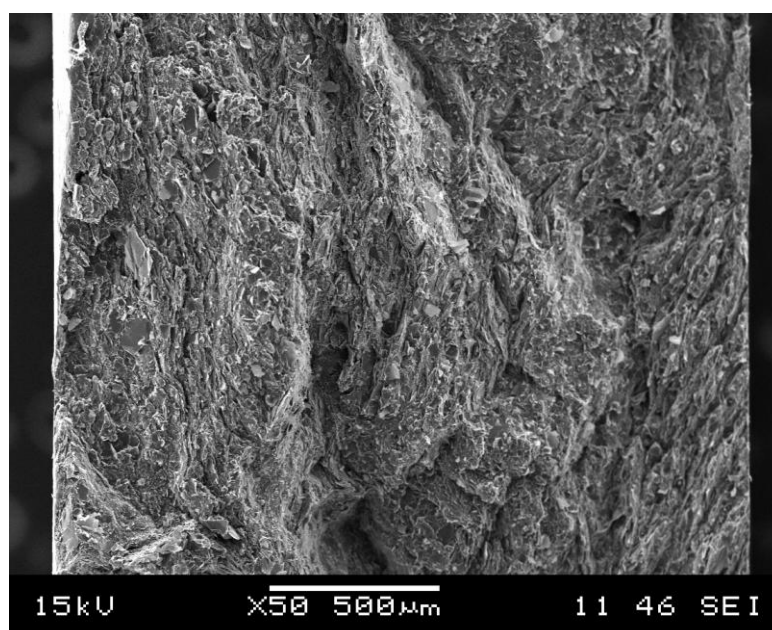
20. ábra: A kriogén töretfelület elhelyezkedése

A mikroszkóppal készített felvételek a 21. és 22. ábrán láthatók. A fröccsöntött lemezről készített felvételen egy réteges héjszerkezet látható, illetve hogy a mintadarab szélén a szerkezet a mátrixanyagban dúsabb.



21. ábra: Fröccsöntött 50m% grafit tartalmú lemez kriogén töretfelületének elektronmikroszkópos képe

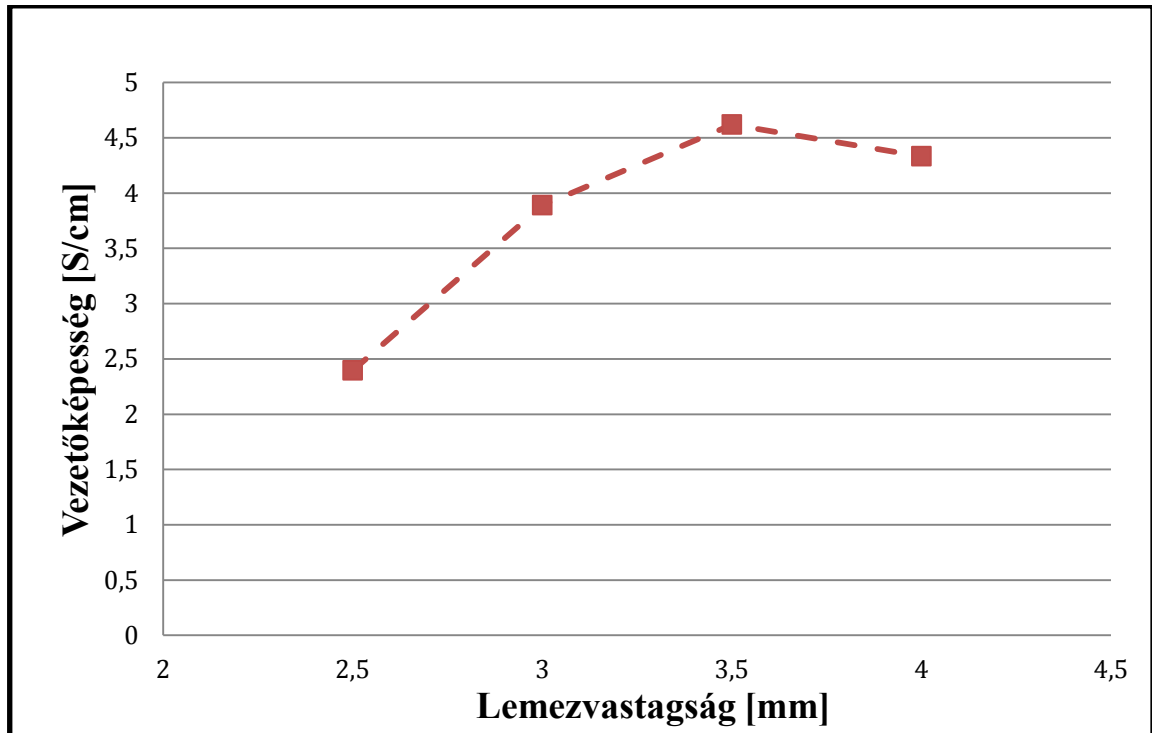
A préseléssel készült lemez töretfelületén nem látszik semmilyen rendezettség, a szerkezet homogén.



22. ábra: Préselt 50m% grafit tartalmú lemez kriogén töretfelületének elektronmikroszkópos képe

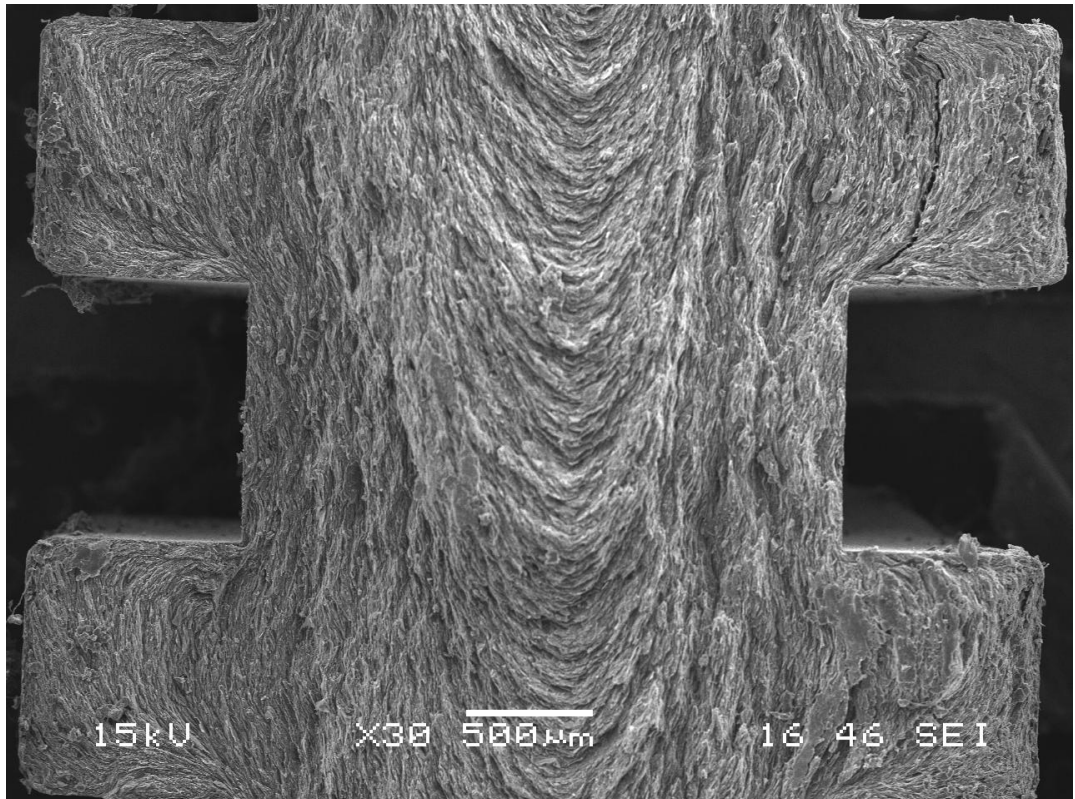
5.3 Lemezvastagság hatása a vezetőképességre

A 23. ábrán a lemezvastagság függvényében látható a vezetőképesség. A legmagasabb vezetőképességet 3,5 mm vastag lemez érte el.

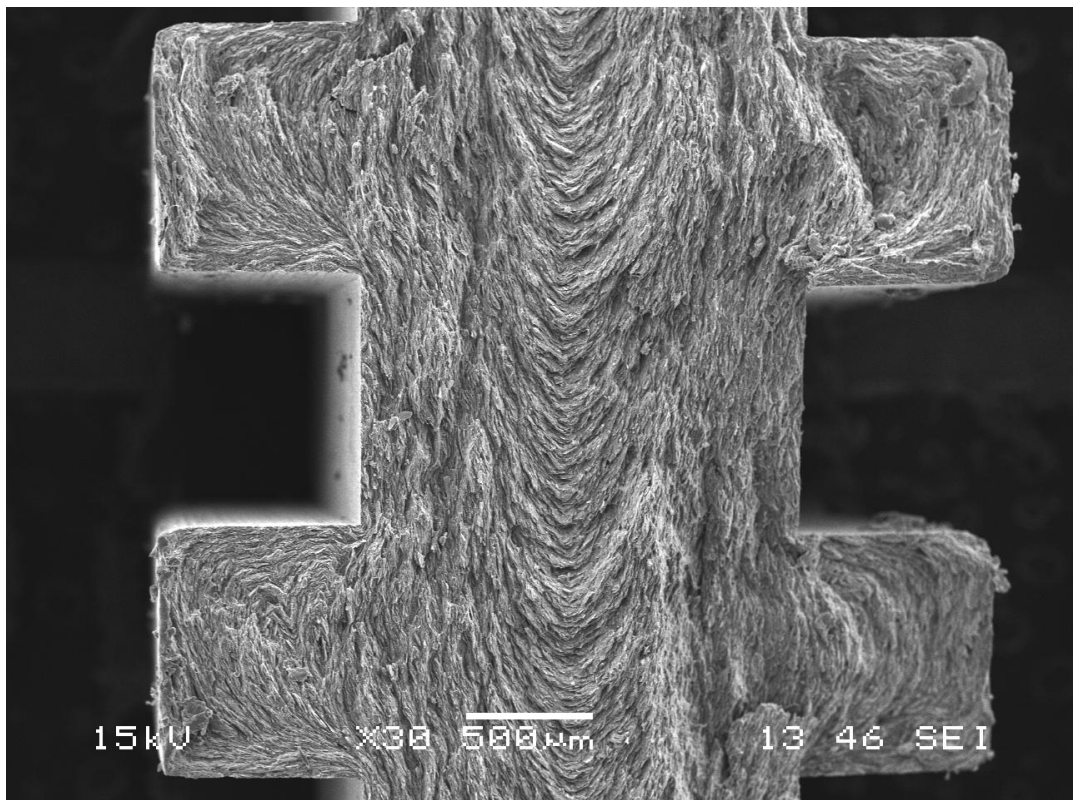


23. ábra: Vezetőképesség a lemezvastagság függvényében

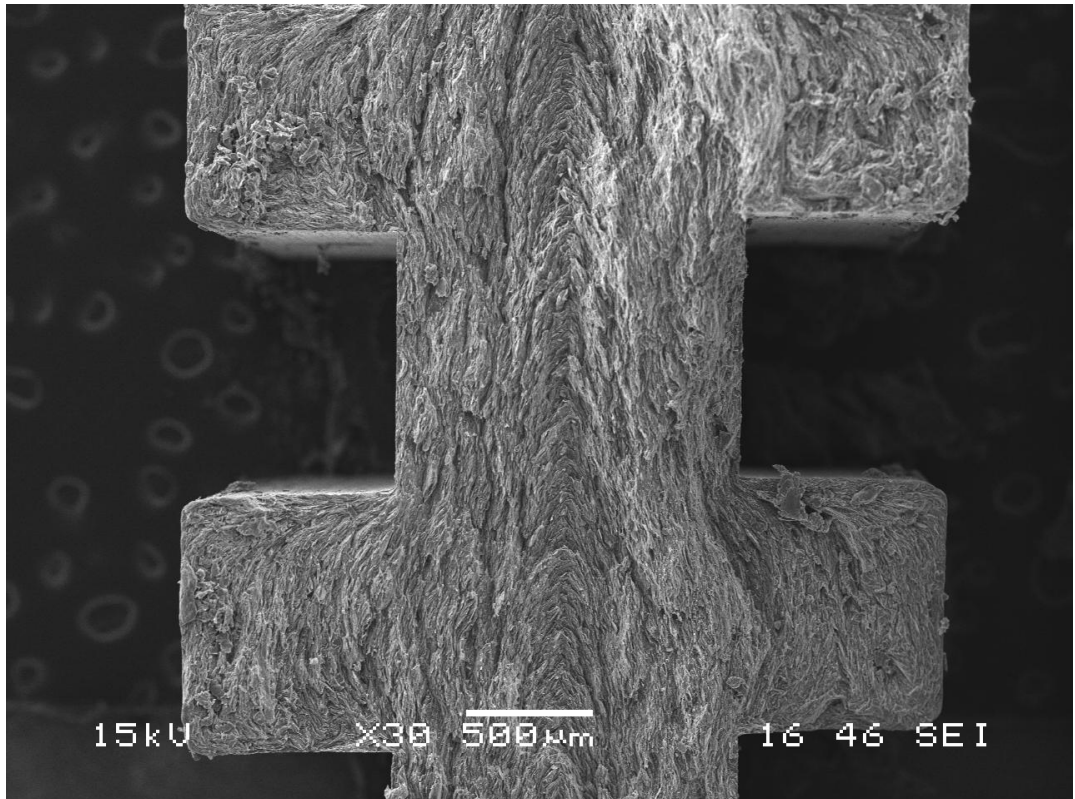
A különböző vastagságú fröccsöntött bipoláris lemezek szerkezetét is megvizsgáltam pásztázó elektronmikroszkóppal, hogy magyarázatot találjak az eltérő vezetőképességre. A felvételek a 24-27. ábrán láthatók. A vastagabb lemezeknél a keresztmetszet közepén széles áramlási sáv alakul ki, ahol a grafitlemezek orientációja a bipoláris lemez síkjára merőleges. A vékonyabb (3 és 2,5 mm vastagságú) lemezeknél ez a középső rész lecsökken, illetve eltűnik, ami nehezíti a töltések vándorlását a lemezek különböző mélységű rétegei között, így a felületen mért vezetőképesség lecsökken.



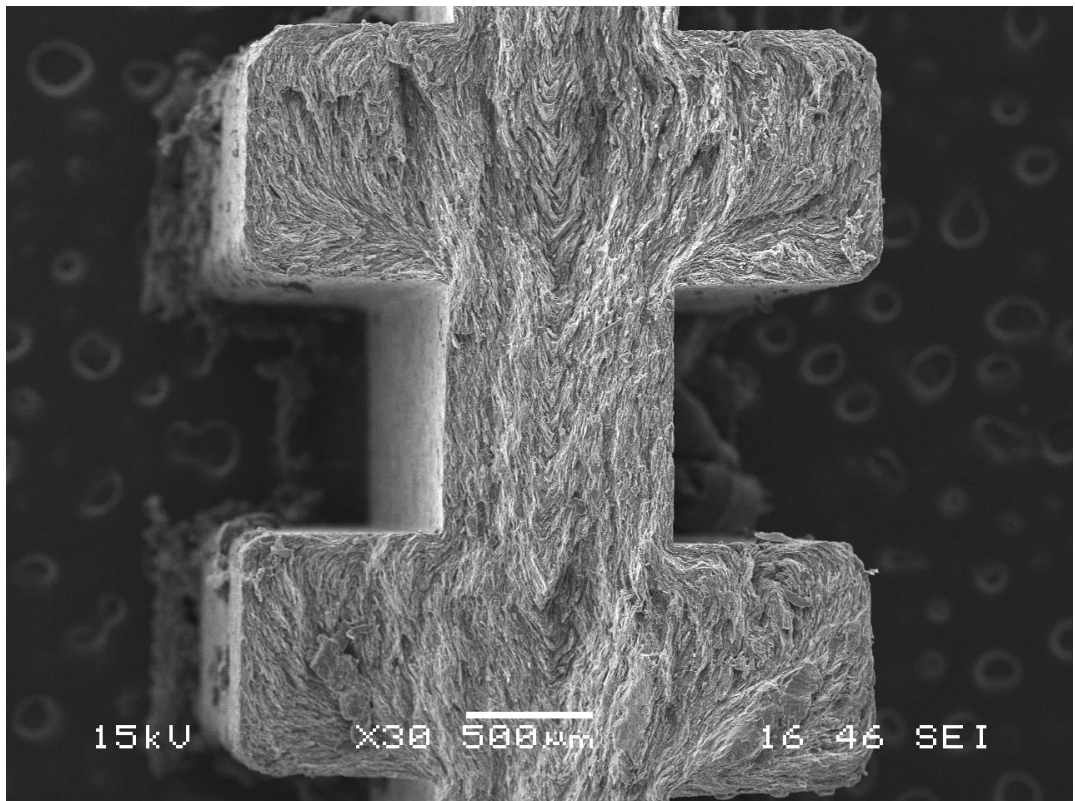
24. ábra: 4 mm vastag fröccsöntött bipoláris lemez kriogén töretfelületének elektronmikroszkópos képe



25. ábra: 3,5 mm vastag fröccsöntött bipoláris lemez kriogén töretfelületének elektronmikroszkópos képe



26. ábra: 2 mm vastag fröccsöntött bipoláris lemez kriogén töretfelületének elektronmikroszkópos képe



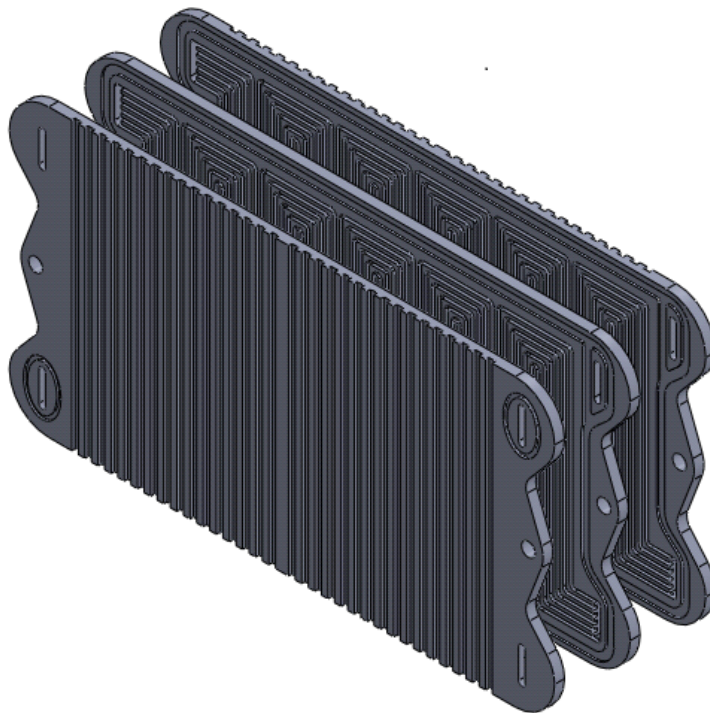
27. ábra: 2,5 mm vastag fröccsöntött bipoláris lemez kriogén töretfelületének elektronmikroszkópos képe

Mivel a vezetőképesség mérésének eredményeiből jól látható, hogy a préseléssel előállított lemezeknek jobb a vezetőképessége és a töltőanyag eloszlása a mátrixanyagban homogénebb, mint a fröccsöntéssel készített lemezeké, ezért a további kísérletekhez terveztem egy új prészerszámot, amivel bipoláris lemezeket állíthatunk elő.

6. Prészerszám tervezése

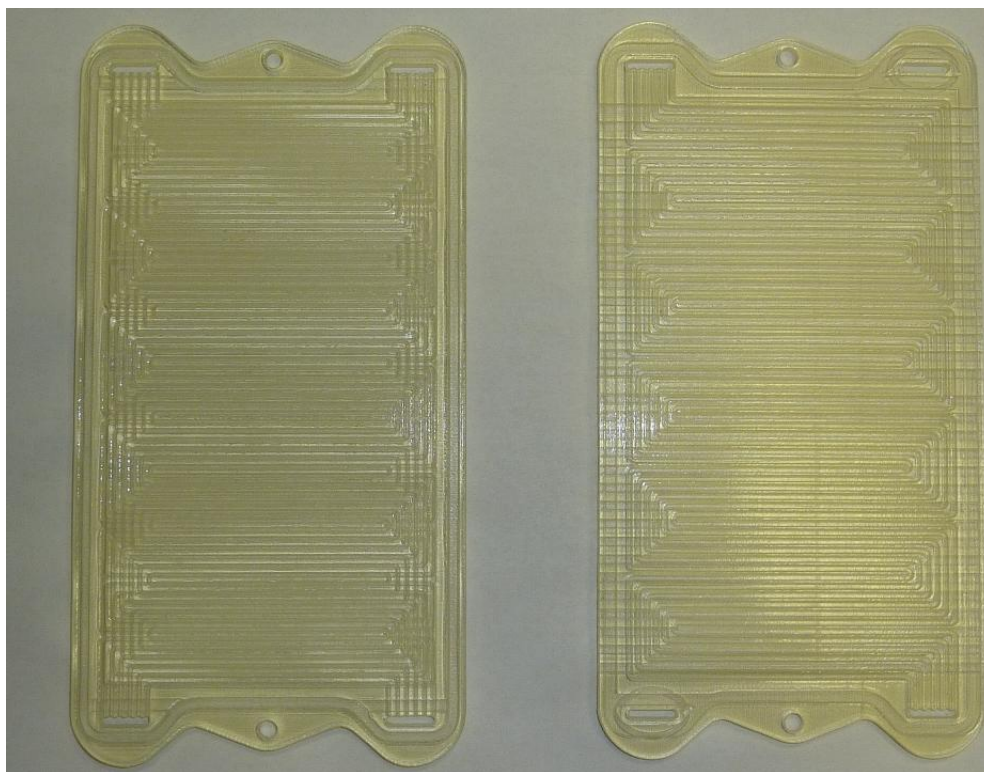
A kísérletek során azt láttuk, hogy a fröccsöntéskor kialakuló mag és héj különböző töltőanyag-orientációja miatt a fröccsöntéssel készült lemezek vezetőképessége elmarad a préseléssel készült lemezekéhez képest. Hogy az általunk készített lemezekkel szerelt cellák minél nagyobb teljesítmény leadására legyenek képesek, a beépítendő lemezek gyártásához prészerszámot terveztem.

A lemezeken található gázvezető csatornák tervezésénél két fontos szempontot vettem figyelembe: minél nagyobb kontaktfelület kialakítása az áramló gáz és a katalizátor-membrán között, minél kisebb nyomáscsökkenés a gáz folyási útja során. A fenti két szempont, valamint Kapadia [15], Barreras [16] és Boddu és társainak [17] kutatási eredményeinek figyelembe vételével több, egymással párhuzamosan haladó szerpentin elrendezésű gázvezető csatornát alakítottam ki. Egy cella lemezelrendezése a 28. ábrán látható.



28. ábra: Bipoláris lemezek

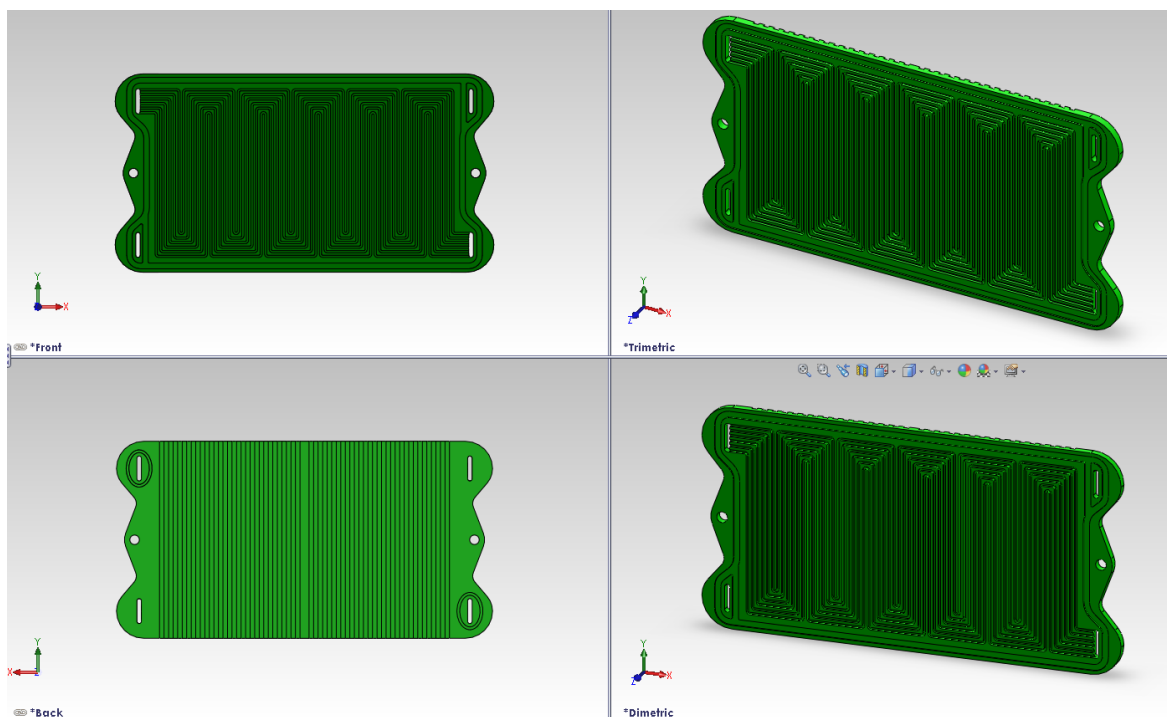
Termékfejlesztés céljából a középső és az egyik szélső lemezt, a tanszéken található Objet Alaris 30 prototípusgyártó berendezés segítségével legyártottam. Az elkészült lemezeket (29. ábra) a gyártó cég beépítette egy cellába és megvizsgálta, hogy megfelelően illeszkednek-e.



29. ábra: Középső és szélső lemez prototípusa

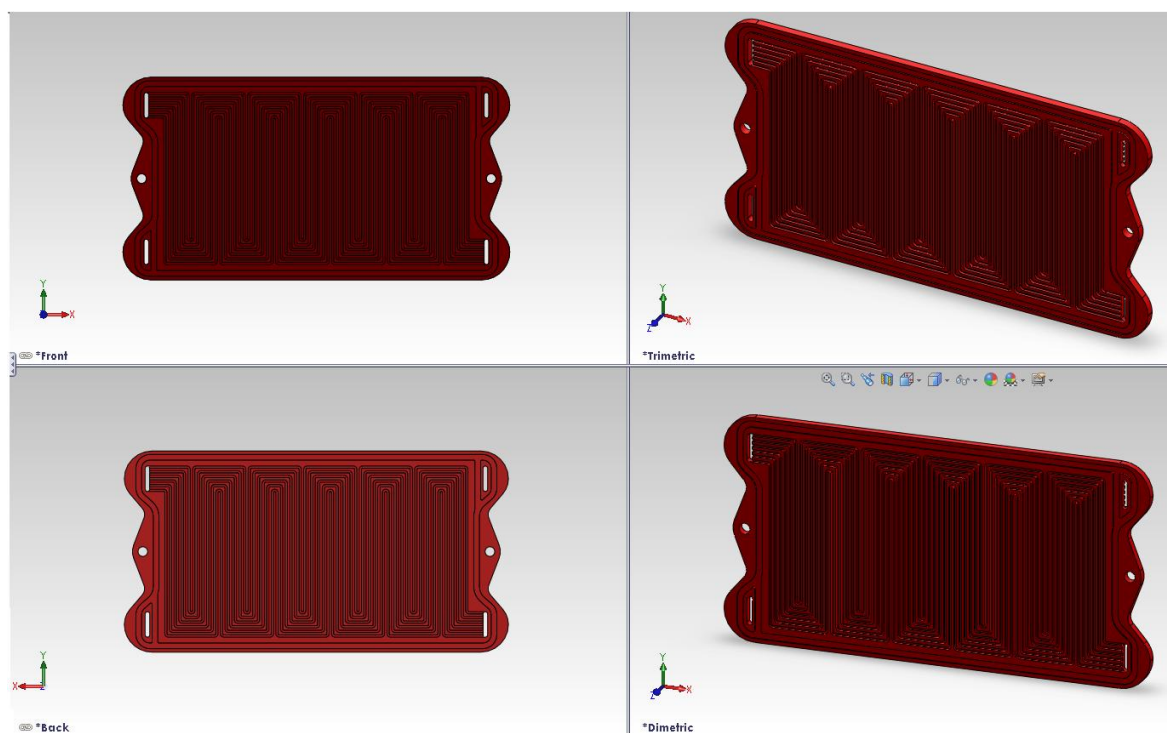
Egy üzemanyagcella felépítéséhez három különböző lemez szükséges, bár a két szélső lemez nagyon hasonló, a csatornák különböznek (30 és 32. ábra).

A bal szélső lemezen történik a hidrogén bevezetése és végigáramoltatása a csatornákon, a lemez másik oldalán, pedig hűtőfolyadék áramlik, mivel a cella a folyamat során nagymértékben felmelegszik (60-80°C).



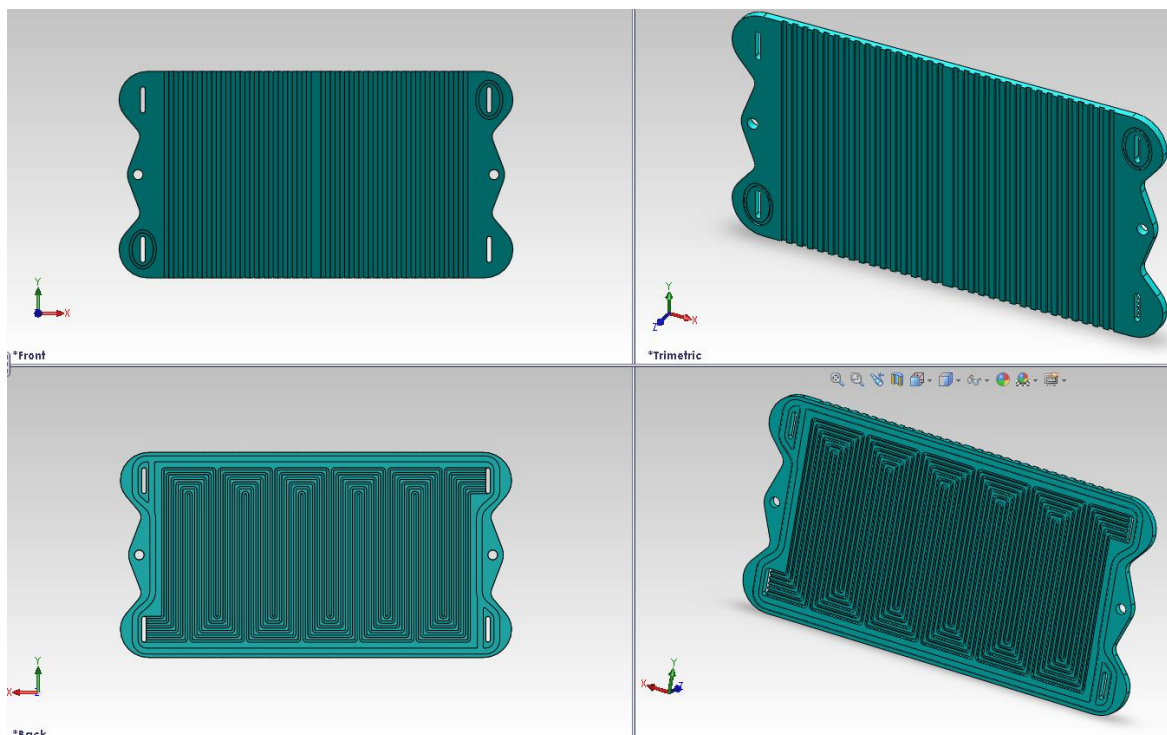
30. ábra: Bal szélső lemez

A középső lemez mindkét oldalán csatornák láthatók (31. ábra). A lemez egyik oldalán hidrogén áramlik, a másik oldalán pedig oxigén.



31. ábra: Középső lemez

A jobboldali lemezen vezetik be az oxigént (32. ábra), illetve ennek is, úgy mint a baloldali lemeznek, hűtőcsatornák vannak a másik oldalán.



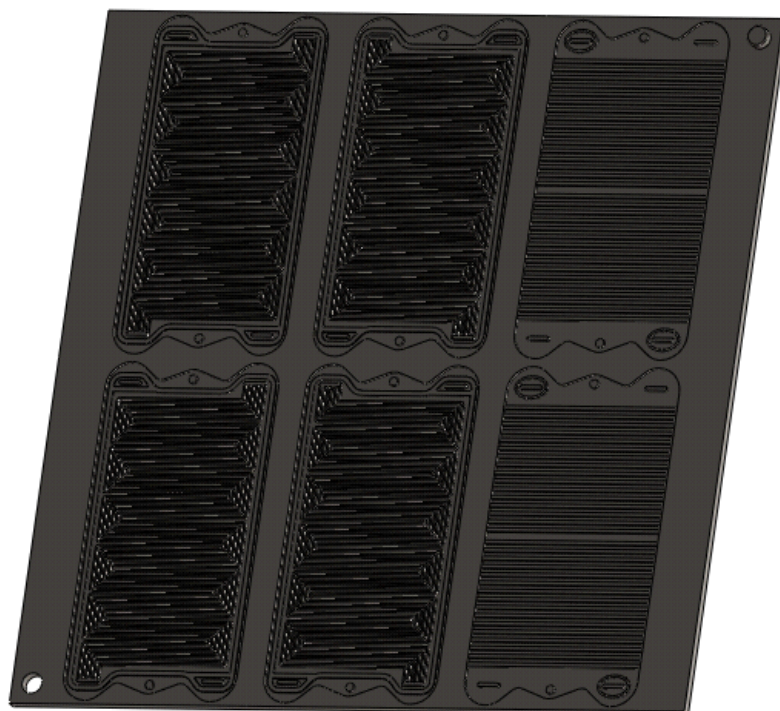
32. ábra: Jobboldali lemez

A szerszámot az Schwabentan Polystat 300 típusú présgéphez terveztem (33. ábra).



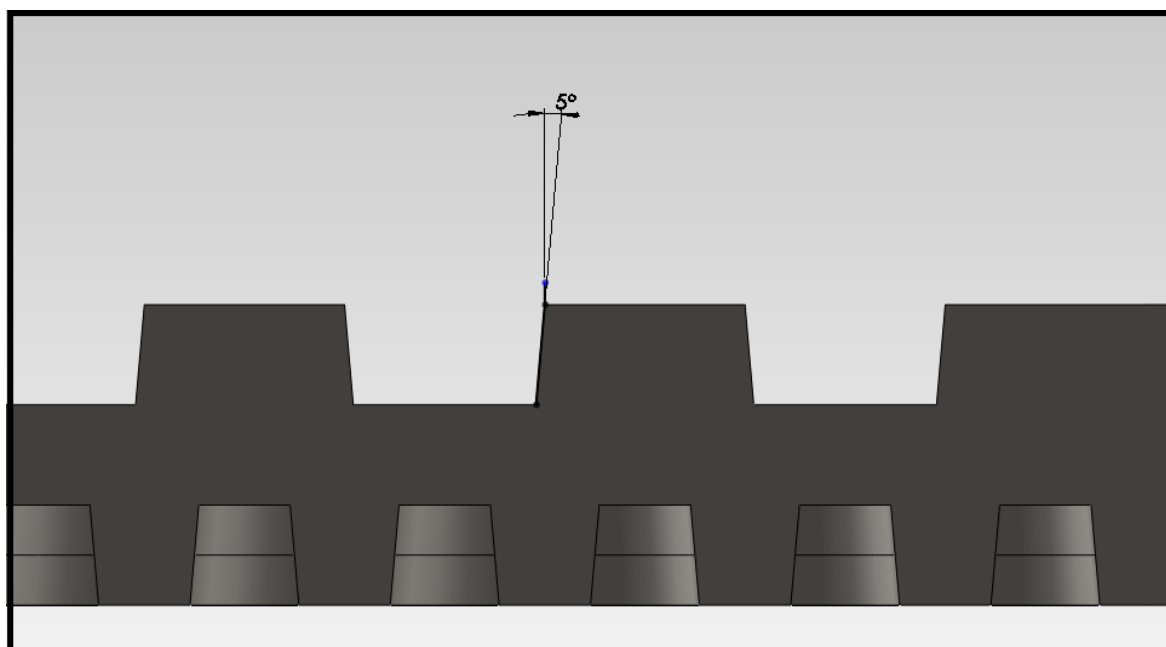
33. ábra: Schwabentan Polystat 300S típusú prés [14]

A présgép geometriája alapján a maximális lemezméret, amit a gépbe lehet helyezni 340x340 mm. Egy bipoláris lemeznek a befoglaló méretei 166x87 mm, így a préslapon 6db lemez fér el, minden típusból 2-2 (26. ábra).



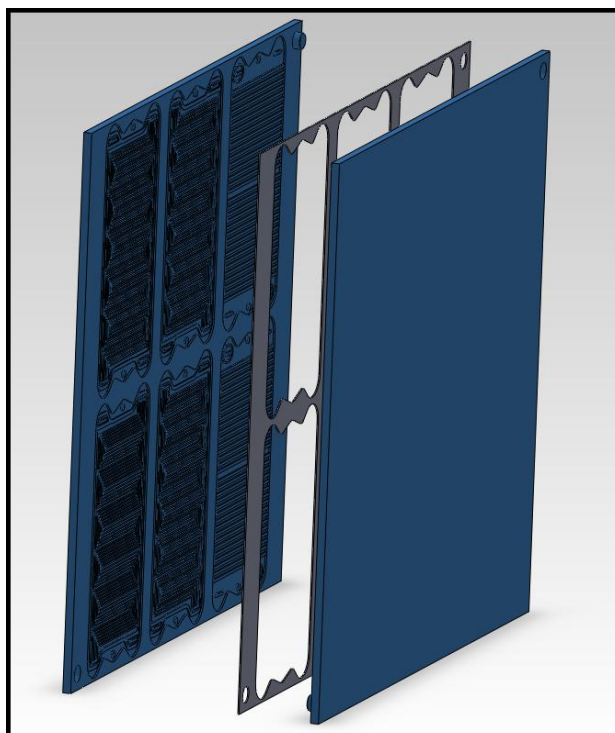
34. ábra: Présszerszám

A tervezés során módosítani kellett a lemezek geometriáján, hogy a préselés könnyebben el lehessen távolítani a terméket a szerszámból. Az oldalfalakra és a lemez csatornáira 5 fokos oldalferdeséget raktam ebből a célból, ez látható a 35. ábrán.



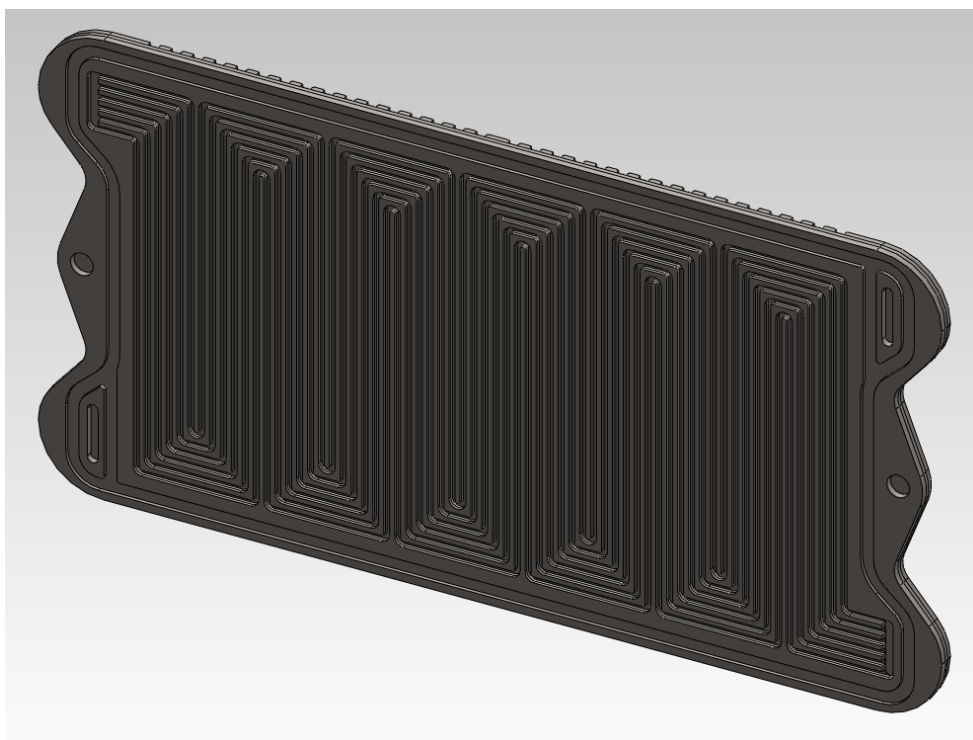
35. ábra: 5°-os oldalferdeség a csatornák oldalán

További védelem a termék szerszámba ragadás ellen, hogy a szerszám nem két préslapból, hanem három elemből tevődik össze (36. ábra).



36. ábra: Robbantott ábra

Préselés után a 37. ábrán látható lemezt kapjuk



37. ábra: Lemez préselés utáni geometriája

A préselés után még további megmunkálás szükséges, hogy megkapjuk az eredetileg tervezett geometriát.

7. Összefoglalás

Az irodalom áttekintése után, egy a mai világban nagyon kutatott anyag, a grafén a hatását vizsgáltam a polipropilén elektromos vezetőképességére. Ehhez próbatesteket gyártottam belső keverő és prés gép segítségével. Ezután a próbatesteket mechanikai vizsgálatoknak vettem alá és mértem a vezetőképességüket.

A vezetőképesség mérésből megállapítható, hogy a vezetőképesség nőtt a töltőanyag mennyiségének növelésével. A mechanikai vizsgálatokból pedig látható, hogy a lemezek szakítószilárdsága nőtt és ridegebbek lettek.

Második lépésben vizsgáltam a gyártási technológia hatását a vezetőképességre, ehhez töltőanyagban dúsabb keverékeket használtam. A mérési eredményekből megállapítható, hogy a préseléssel készült próbatesteknek magasabb a vezetőképessége, mint a préseléssel készültéké.

Harmadik lépésben a lemezvastagság hatását vizsgáltam a vezetőképességre, ehhez különböző vastagságú lemezeket gyártottam fröccsöntéssel. A vezetőképesség a 3,5 mm vastag lemeznél volt a legmagasabb, ez a fröccsöntésnél kialakult töltőanyag orientációnak köszönhető, amit pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltam meg.

A vizsgálatok eredményeként a préselt lapok vezetőképessége magasabb volt és a szerkezet is homogénebb lett, mint a fröccsöntéssel előállítottaké, ezért a további kutatáshoz egy prészerszámot terveztem, amivel újabb próbatesteket lehet előállítani.

8. Irodalomjegyzék

- [1] <http://orgs.kettering.edu/altfuel/fcbback.htm> (2012.10.28.)
- [2] http://cdn.dipity.com/uploads/events/e1051aa2227f241f8c185fef2c07b665_1M.png (2012.10.28.)
- [3] <http://americanhistory.si.edu/fuelcells/basics.htm> (2012.10.04)
- [4] Rayment C., Sherwin S.: Introduction to Fuel Cell Technology, 12-13 (2003)
- [5] Rayment C., Sherwin S.: Introduction to Fuel Cell Technology, 70-71 (2003)
- [6] Rayment C., Sherwin S.: Introduction to Fuel Cell Technology, 16-17 (2003)
- [7] Jürgen G.: Bipolar plates. in 'Encyclopedia of Electrochemical Power Sources' (szerk.: A Heinzel, F Mahlendorf, and C Jansen) Elsevier B.V., Amszterdam, 810-816 (2009)
- [8] EG&G Technical Services, Inc.: Fuel Cell Handbook. U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy, Morgantown, West Virginia (2004).
- [9] http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/dyneon_fluoropolymers/Home/Custom_Compounds/Custom_Thermoplastic_Compounds/Conductive_Polymers/ (2011.11.25.)
- [10] <http://nt.interia.pl/news/grafen-moze-zastapic-krzem,1383328> (2012.10.14.)
- [11] <http://graphenetimes.com/2009/12/boehms-1961-isolation-of-graphene/> (2012.10.15.)
- [12] Huan P., Tao C., Gangming Z., Baoqing Z., Zhong-Ming L.: An electrically conducting polymer/graphene composit with a very low percolation threshold. Material Letters, 64, 2226-2228 (2010)
- [13] Tóth Á.: Antisztatikus és vezető műanyagok. Műanyagipari szemle, 8, 1. (2002)
- [14] <http://www.pt.bme.hu/> (2012.10.15)
- [15] Kapadia S., Anderson W. K., Burdyshaw C.: Channel shape optimization of solid oxide fuel cells using advanced numerical techniques. Computers and Fluids, 41, 41-50 (2011)
- [16] Barreras F., Lozano A., Valino L., Marin C., Pascau A.: Flow distribution in a bipolar plate of a proton exchange membrane fuel cell: experiments and numerical simulation studies. Journal of Power Sources, 144, 54-66 (2005)
- [17] Boddu R., Marupakula U. K., Summers B., Majumdar P.: Development of bipolar plates with different flow channel configurations for fuel cells. Journal of Power Sources, 189, 1083-1092 (2009)

- [18] Renato A. A., Mara C.L., Gerhard E., Volkmar E.: Carbon materials in composite bipolar plates for polymer electrolyte membrane fuel cells: A review of the main challenges to improve electrical performance. *Journal of Power Sources*, 196, 2945-2961 (2011)