



MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI ANYAGTUDOMÁNYI KAR
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT
3515 MISKOLC Egyetemváros



Vizes oldatok elektronedvesítése

Készítette:

Németh Dániel

Konzulens:

Dr. Baumli Péter

Dr. Kaptay György

Nanotechnológiai Intézeti Kihelyezett Tanszék

2012

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	4
2.	Elméleti háttér	4
2.1.	A nedvesítés	4
2.2.	Az elektronedvesítés.....	7
3.	A kísérlet körülményei	9
3.1.	Kísérleti módszerek.....	9
3.1.1.	Nyugvócsepp módszer	10
3.1.2.	Nyugvócsepp módszer elektródával.....	10
3.1.3.	Elektronedvesítés.....	10
3.2.	Kísérleti beállítások.....	11
4.	Mérési eredmények	13
4.1.	Desztillált vízzel végzett kísérletek	13
4.1.1.	Terjedésmérés desztillált vízzel.....	13
4.1.2.	Desztillált víz terjedésmérés elektródával	14
4.1.3.	A desztillált víz elektronedvesítéses vizsgálata.....	16
4.2.	0,1 mol/dm ³ nátrium-kloriddal végzett kísérletek	18
4.2.1.	A nátrium-klorid oldat terjedésmérése	18
4.2.2.	A nátrium-klorid oldat terjedésmérése elektródával	19
4.2.3.	A nátrium-klorid elektronedvesítése	20
4.3.	0,1 mol/dm ³ sósavoldattal végzett kísérletek.....	23
4.3.1.	A sósavoldat terjedésmérése.....	23
4.3.2.	A sósavoldat terjedésmérése elektródával.....	24
4.3.3.	A sósavoldat elektronedvesítése.....	25
4.3.4.	A sósavoldat elektronedvesítése állandó feszültség mellett.....	26
4.4.	0,2 mol/dm ³ nátrium-hidroxiddal végzett kísérletek	28
4.4.1.	A nátrium-hidroxid terjedésmérése	28
4.4.2.	A nátrium-hidroxid terjedésmérése elektródával	29

4.4.3.	A nátrium-hidroxid elektronedvesítése folyamatosan növekvő feszültség mellett	30
4.4.4.	A nátrium-hidroxid elektronedvesítése állandó feszültség mellett.....	31
5.	Összefoglalás.....	32
6.	Köszönetnyilvánítás	33
7.	Irodalomjegyzék.....	33

1. Bevezetés

Nedvesítés alatt azt értjük, hogy a szilárd felületre helyezett folyadékcsepp milyen alakot vesz fel. A nedvesítést a határfelületi energiák nagysága és aránya határozza meg. Abban az esetben, amikor egy ilyen folyadék/szilárd rendszerre külső áramforrás segítségével potenciálkülönbséget kapcsolunk a nedvesítés mértéke megváltozik. Kutatómunkám során különböző vizes oldatok nedvesítését vizsgáltam szénüveg szubsztráton. Vizsgálataim során a nedvesítés mértékének megállapítására a nyugócsepp módszert /sessile drop method/ alkalmaztam. Ennek az eljárásnak a lényege, hogy a szilárd felületre - esetemben szénüveg lapkára - helyezett folyadékcsepp sziluettjét fényképezem, majd szoftver segítségével értékelem a felvételeket, és határozom meg a peremszög értékeit. Munkám során nátrium-klorid (NaCl), nátrium-hidroxid (NaOH), illetve sósav (HCl) vizes oldataiból különböző térfogatú cseppeket használtam (5 μ l, 10 μ l). Figyelembe vettem, hogy a vizes oldat a szubsztrát felületéről viszonylag gyorsan párolog, ezért a párolgás mértékének meghatározására külön kísérletsorozatot végeztem. Az elektronedvesítéssel vizsgálatok során a cseppbe egy vékony volfrám drótot engedtem, ez volt a kísérletek során az egyik elektród, míg a szénüveg lapka a másik elektród (lásd 1. ábra), melyek között potenciosztát segítségével hoztam létre a szükséges potenciálkülönbséget úgy, hogy közben az áramot állandó értéken tartottam.

2. Elméleti háttér

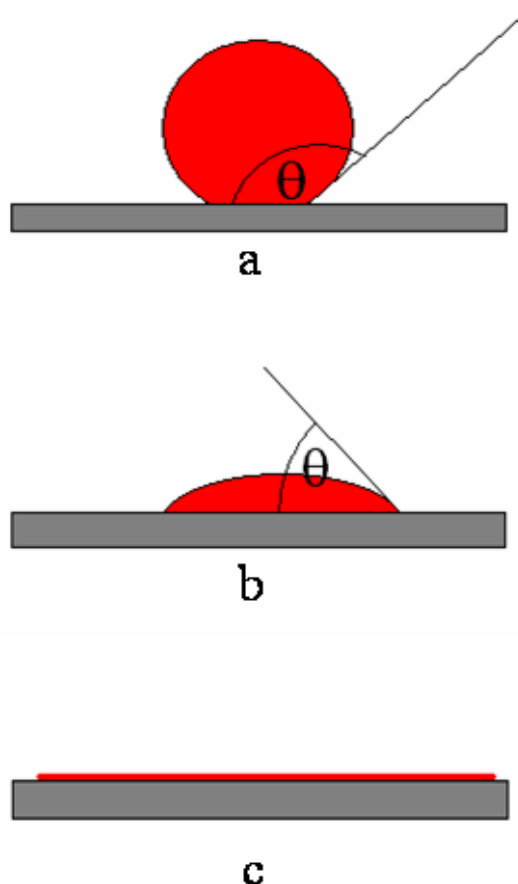
2.1. A nedvesítés

A nedvesítést a peremszöggel jellemezzük. Termodinamikai megfogalmazások alapján vezethetjük le a szükséges kritériumokat, melyek a határfelületi energiákat tartalmazzák megfelelő paraméterként. A határfelületi energia fogalmáig a következő alapfogalmakon és összefüggéseken keresztül lehet eljutni [5, 4].

- A felületi feszültség a folyékony és a szilárd testek vákuummal érintkező síkjának egységnyi felületén érvényesülő többletenergiája a térfogati energiához képest. Mivel a felületen elhelyezkedő atomok a vákuum oldaláról nincsenek körülvéve a fázist

összetartó kohéziós energiát biztosító szomszédokkal, a felületi feszültség értéke mindig pozitív. A felületi feszültséget σ -val jelöljük, mértékegysége J/m^2 , vagy N/m .

- Határfelületi energia a fenti definícióban megfogalmazott többletenergia bármely két fázis közös kontaktussíkjában értelmezve, mértékegysége ugyancsak J/m^2 .
- A peremszög két kontaktusban lévő, szilárd-folyékony fázis határfelületi viselkedésére jellemző. Akkor figyelhető meg legjobban, ha pl. egy kisméretű fémolvadék cseppet helyezünk el egy sík szilárd kerámia felületén. Ekkor a fémolvadék egy jellemző alakot vesz fel, amely lehet gömb, félgömb vagy teljesen elterülő, attól függően, hogy a rendszerben milyen felületi feszültség és adhéziós energia uralkodik. A kialakult csepp-alakot az ún. peremszöggel jellemezhetjük, mely a folyadék és a szilárd fázis érintkezési pontjában a folyadékcsepp kontúrához húzott érintő és a szilárd sík közötti szög a folyékony fázis irányában (1. ábra).



1. ábra: A peremszög értelmezése: a) nem nedvesítés; b) nedvesítés; c) tökéletes nedvesítés esetén

A peremszög és a határfelületi energiák között érvényes a Young egyenlet:

$$\cos \Theta = \frac{\sigma_{cv} - \sigma_{cl}}{\sigma_{lv}} \quad (1.)$$

ahol: σ_{cv} - a kerámia és a vákuum között érvényes határfelületi energia, J/m²

σ_{cl} - a kerámia és az olvadék között érvényes határfelületi energia, J/m²

σ_{lv} - az olvadék és a vákuum között érvényes felületi feszültség, J/m²

Az (1.) jelentősen egyszerűsödik, ha figyelembe vesszük a kerámia és a fémolvadék között érvényes ún. adhéziós energiát, amely definíció szerint:

$$W = \sigma_{cv} + \sigma_{lv} - \sigma_{cl} \quad (2.)$$

Az adhéziós energia 0-nál mindig pozitívabb szám, mértékegysége szintén J/m². Minél nagyobb W értéke, annál erősebb a fémolvadék és a kerámia közötti kölcsönös vonzás, az adhézió. A fémmátrixú kompozit gyártásban elméletileg csak olyan fém-kerámia párok alkalmazása érdemes, melyek egymással érintkezve stabilan két fázist alkotnak, azaz amelyekre σ_{cl} értéke biztosan pozitív. A fémmátrixú kompozitok gyártásához használt fém-kerámia párokra tehát az adhéziós energia a következő tartománnyal rendelkezik:

$$0 < W < \sigma_{cv} + \sigma_{lv} \quad (3.)$$

Ha a (2.) egyenletet az (1.) egyenletbe helyettesítjük, a peremszögre a következő összefüggést kapjuk:

$$\cos \Theta = \frac{W}{\sigma_{lv}} - 1 \quad (4.)$$

A peremszög értéke 0 – 180° értéket vehet fel, mely értékek, valamint az energiák arányai szemléletesen jellemzik a rendszerben uralkodó nedvesítési viszonyokat. A (4.) alapján a peremszögnek különböző tartományai állapíthatóak meg:

- a) $\Theta \geq 90^\circ$: az olvadék nem nedvesíti a kerámiát, az adhéziónak az olvadék felületi feszültségénél kisebb az energiája
- b) $\Theta < 90^\circ$: az olvadék nedvesíti a kerámiát; az adhéziónak az olvadék felületi feszültségénél nagyobb (de kevesebb, mint annak kétszerese) az energiája
- c) $\Theta = 0^\circ$: az olvadék tökéletesen nedvesíti a kerámiát; az adhéziónak az olvadék felületi feszültségének legalább kétszerese az energiája [1]

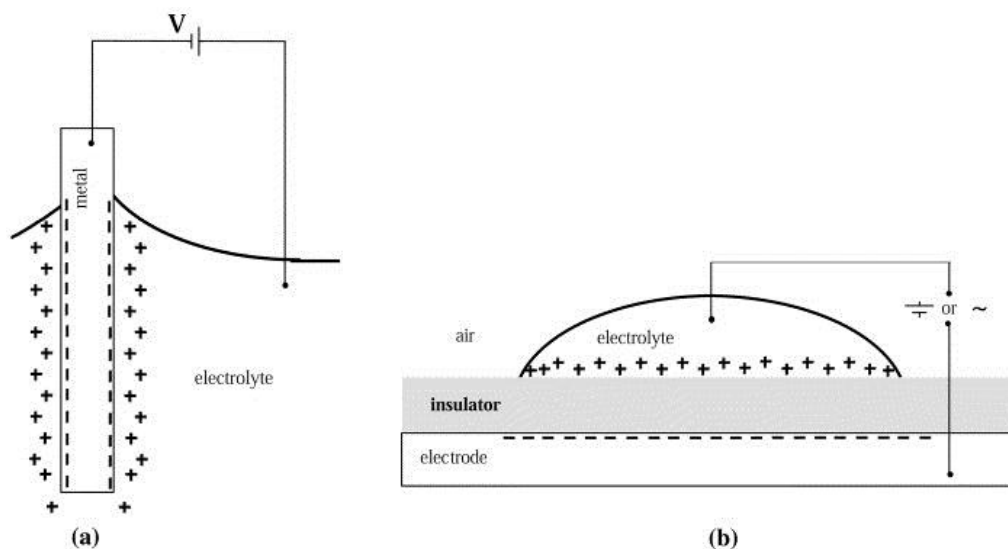
2.2. Az elektronedvesítés

Az elektronedvesítés során elektromos potenciálkülönbség alkalmazásával a szilárd-folyadék határfelületen elektromos töltés alakul ki, mely csökkenti a szilárd-folyadék határfelületi energia értékét. Ezen keresztül csökken a peremszög, azaz javul a nedvesítés [9].

Az elektromos potenciálkülönbség hatását a peremszögre először 1875-ben G. Lippman írta le [7]. Lippman munkája során az elektrokapilláris jelenséget vizsgálta, ami azóta is a modern elektronedvesítés alapjaként szolgál. Lippman nevéhez fűződik a Young-Lippman összefüggés, mely figyelembe veszi az elektromos potenciálkülönbség hatását a peremszögre. Abban az esetben, ha a folyadék és a szubsztrátként szolgáló elektród között szigetelő réteg található (2. ábra), a Young-Lippman egyenlet a következő alakban írható fel [11, 15].:

$$\cos \Theta(V) = \cos \Theta(0) + \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_l}{2d\sigma_{lg}} V^2 \quad (5.)$$

ahol $\cos \Theta(0)$ az elektromos áram nélküli peremszög értéke, ε_l a folyadék relatív permittivitása, ε_0 a vákuum permittivitása, d pedig a dielektrikum vastagsága.



2. ábra: Klasszikus elektrokapillár elrendezés sematikus ábrája [10]

A csepp és a szubsztrát határfelületén a potenciálkülönbség miatt megjelenő töltések hatására a csepp a szubsztráton egyre jobban szétterül, melynek hatására a megnövekedett határfelületen egyre több töltés tud felhalmozódni.

R. Shamai és munkatársai munkájában [8] bevezetik a dimenzió nélküli elektronedvesítés számot (W_n), melyet a (6.) egyenlet írja le:

$$W_n = \frac{\frac{1}{2}CV^2}{\sigma_{lg}} \quad (6.)$$

Ha W_n sokkal kisebb, mint 1, az azt jelzi, hogy az elektronedvesítés hatása elhanyagolható, mert a felületi feszültség a domináns. Ha W_n nagyobb vagy egyenlő, mint 1, akkor az elektromos potenciálkülönbség nagymértékben tudja változtatni a peremszög értékét, azaz a nedvesítést.

A 2. ábrán látható elrendezésnek megfelelően szigetelő felülettel ellátott elektródon az utóbbi időkben többen is foglalkoztak, melynek elnevezése a szakirodalomban az EWOD, azaz Elektrowetting-on-dielectric [3, 13, 12, 6].

Dielektrikum alkalmazása nélkül is vizsgálták az elektronedvesítés jelenségét, fémes rendszerben [14], és sóolvadék/grafit rendszerben [2].

Az elektronedvesítés jelenségét számos eszközben használják. Jól használható és sokáig működő eszközöket lehet csinálni, mert nincsenek mozgó alkatrészek. Főbb eszközök, melyek erre a hatásra épülnek: optikai szálak végéhez való fénygyűjtő lencse, mellyel kapcsolatokat lehet létrehozni a szálak csomópontjainál; hűtőcseppek átvezetése elektronikus alkatrészekben; cseppek szállítása és keverése nyomtatási célból; folyadék felszívása mikrokémcsövekre, és a lab-on-chip rendszerek fejlesztése kémiai analízis céljából. Mindezt milliméter alatti tartományban. Egyéb felhasználási területei még a változtatható lencse, elektronikus papír, elektronedvesítés alapú pixelek, és mobiltelefonok kameráinak fókuszlencséje [17][16].

A karbon felületét nem nedvesítik a sóolvadékok, de amint egy karbon sóolvadékrendszerre áramot kapcsolunk a peremszög-változás makroszkópiusan érzékelhetővé válik, ami azt jelzi, hogy a grafit sóolvadék határfelületén az atomok polarizáltsága miatt nedvesíteni kezdi az olvadék a grafitot [2].

3. A kísérlet körülményei

3.1. Kísérleti módszerek

Kísérleteim célja, hogy az elektronedvesítést vizsgáljam vizes oldat/szénüveg rendszerben. Kísérleteimet a 3. ábrán látható kísérleti tervnek megfelelően végeztem el. Egy-egy kísérlet esetén három párhuzamos mérést végeztem. Minden oldat esetén 5 μ l és 10 μ l oldattal végeztem a terjedés (spreading) vizsgálatát, hogy megállapíthassam, a különböző térfogatú cseppek peremszöge között van-e különbség. Méréseim során három különböző módszert használtam.

3.1.1. Nyugvócsepp módszer

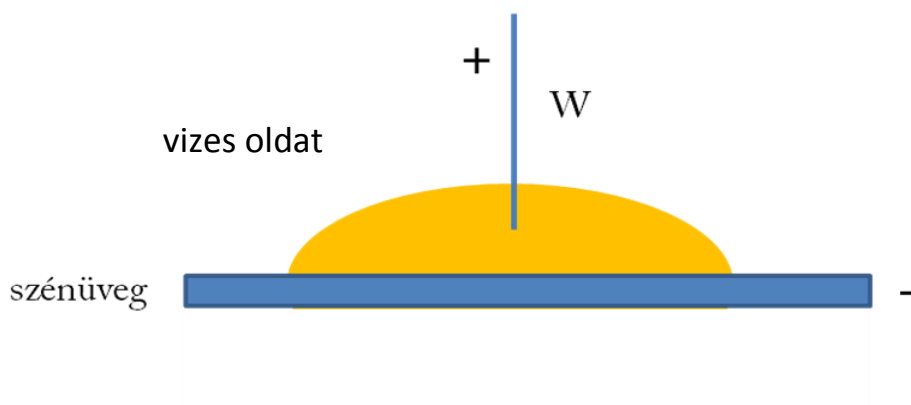
Az oldatot a szénüveg lapkára cseppentettem, nem használtam W drótot, sem elektromos áramot. A minta sziluettjét fényképeztem.

3.1.2. Nyugvócsepp módszer elektródával

Az oldatot úgy cseppentettem, hogy a későbbiekben használatos elektróda beelőgjon a cseppbe. A minta elrendezését az 1. ábra szemlélteti.

3.1.3. Elektronedvesítés

A 3.1.2. pontban leírt módszer, annyi különbséggel, hogy a rendszerre potenciálkülönbséget kapcsoltam (a kísérlet sematikus összeállítását a 3. ábra mutatja). Az elektronedvesítéses méréseimet további két részre bontottam. Az egyik módszernél /folyamatosan növekvő feszültség mellett/ a potenciosztáton a feszültséget folyamatosan növelve vizsgáltam a csepp viselkedését. A másik módszernél /konstans feszültség/ a cseppre állandó feszültséget téve vizsgáltam a csepp viselkedését.



3. ábra: A kísérlet beállításának rajza

3.2. Kísérleti beállítások

Kísérleteimet úgy végeztem, hogy szénüveglapra 5 és 10 μ l oldatot cseppentettem automata pipettával, oly módon, hogy a pipettán lévő hegyet mindig lecseréltem, illetve cseppentések előtt adott oldattal gondosan átöblögettem. Terjedésmérésnél azt vizsgáltam, hogy hogyan viselkedik a csepp, ha magára hagyjuk. Az ilyen kísérleteket 20 percig végeztem miközben a kameraszoftver segítségével folyamatosan véve a sziluett alakját, 2 másodpercenként csináltam egy képet, melyeket később az elemzőszoftver segítségével elemeztem ki. Az elemzéseknél a peremszögértékek kerültek meghatározásra. Olyan terjedésmérést is végeztem, melynél a cseppbe felülről egy 0,3 milliméteres volfrám elektródát engedtem, miközben két másodpercenként csináltam a sziluettől egy képet, melyet a kameraszoftver segítségével elemeztem ki. Az elektronedvesítéses méréseknél ugyanezen beállítás mellett feszültséget kapcsoltam a volfrám elektróda és a szénüveg szubsztrát közé, majd kétféle mérést végeztem. Egyiknél folyamatosan növeltem a feszültséget. A méréseknél megállapításra kerültek a peremszögértékek, illetve figyeltem, hogy szemmel láthatóan mikor indul be az elektrolízis. A peremszög feszültség függvényeket felvéve meghatároztam olyan feszültségi értékeket, melynél nem indul be az elektrolízis. A másik elektronedvesítéses kísérleteimnél a kiválasztott feszültségértékeket a két elektróda közé kapcsolva figyeltem a csepp alakját. Ezeknél a kísérleteknél 200 másodpercig hagytam bekapcsolva a potenciosztátot, mert az volt az első mérések után a tapasztalat, hogy 100-150 másodperc múlva már nincs hatással a cseppre, onnantól úgy változott a peremszög, ahogy a terjedésmérés vizsgálatoknál.

Az oldatok készítéséhez használt vegyszereket 0,001 gramm pontosságú analitikai mérlegen mértem ki. A kísérleteimhez nátrium-klorid oldat, sósavoldat, nátrium-hidroxid oldatokat készítettem. Az egyes kísérletsorozatokban használt oldatok összetételét és felhasznált mennyiségét az 1. táblázat tartalmazza.

		Mérési Módszer			
		Terjedésmérés	Terjedésmérés W elektródával	Elektronedvesítés	
				folyamatosan növekvő feszültségnél	Állandó feszültségnél
Felhasznált anyagok	0,2 Mol/dm ³ nátrium- hidroxid oldat	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl
	0,1 Mol/dm ³ nátrium- klorid oldat	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl
	0,1 Mol/dm ³ sósavoldat	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl
	Desztillált víz	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl
		5 µl	5 µl	5 µl	5 µl

1. táblázat: Kísérleti összefoglaló táblázat

A méréseimet desztillált vízzel kezdtem. A desztillált vizes méréseim után nátrium-klorid elektrolittal folytattam a kísérleteinket. A NaCl oldat koncentrációja 0,1mol/dm³ volt. Ezek után megpróbáltam lúgos illetve savas oldatokkal is kísérleteket. Először 0, 1mol/dm³ sósav oldattal próbálkoztam, majd 0,2mol/dm³ nátrium-hidroxid oldattal, hogy megállapíthassam, hogy volfrám klorid vált-e le az oldatban.

Méréseimet szobahőmérsékleten, 20°C-on, levegő atmoszférán végeztem.

Az elektronedvesítéses kísérleteket egy analitikai potenciosztáttal (SSP-KONSTANTER 20-40) végeztem el. Mivel a készülék 0 amper mellett nem ad le feszültséget, ezért minden mérés előtt a gépet az általa felkínált legalacsonyabb áramerősség értékre állítottam, ami 0,006A volt. A feszültséget többször ellenőrizve megmértem, hogy a gép helyesen állítja-e be a kívánt paramétereket.

A vizsgálatokhoz szénüveglapkát használtam, melyet desztillált vízzel, majd etil-alkohollal tisztítottam a mérések között, majd megszáritottam és hagytam szobahőmérsékletre lehűlni.

4. Mérési eredmények

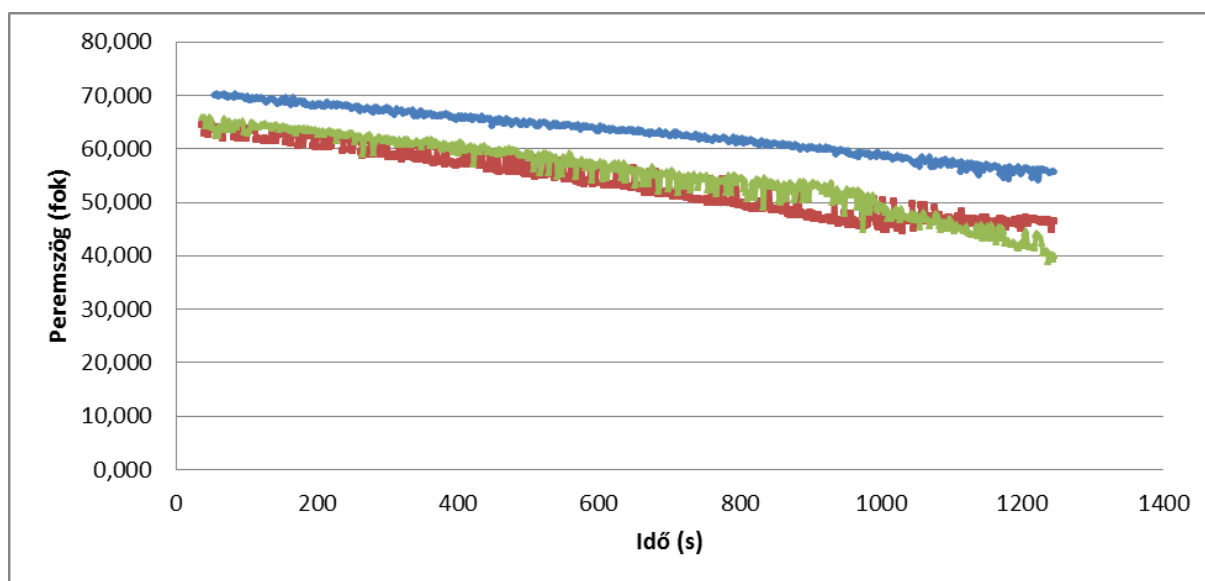
4.1. Desztillált vízzel végzett kísérletek

Desztillált vízzel végzett kísérletek célja az volt, hogy különbséget lehessen tenni az elektrolízis és az elektronedvesítés jelensége között. Figyelembe véve, hogy a csepp a folyamat közben párolog, előbb ezt mértük le egy kísérletsorozattal.

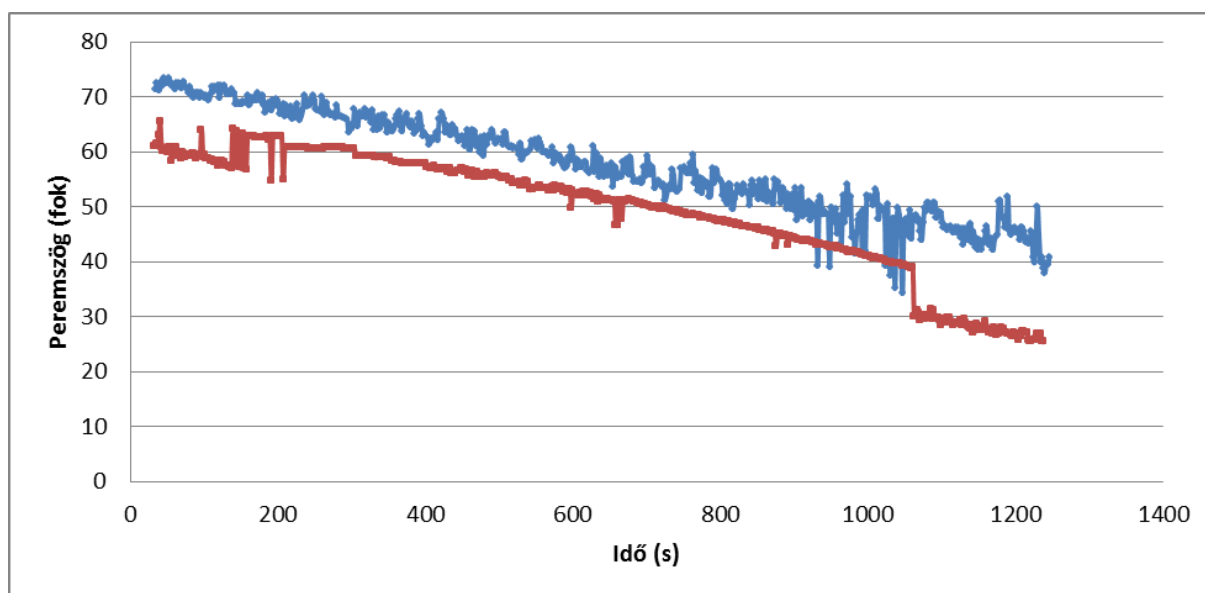
4.1.1. Terjedésmérés desztillált vízzel

A terjedésmérés során 10 és 5 µl csepptérfogattal végeztem méréseimet. Ennek célja az volt, hogy igazoljam azt, hogy a két térfogattal végzett peremszögmérés eredményében nincs szignifikáns különbség.

A méréseknél desztillált vizet cseppentettem szénüveglapra, és 20 percig figyeltem hogyan viselkedik. A 4. ábrán a 10 µl térfogatú cseppel, míg az 5. ábrán az 5 µl térfogatú cseppel végzett kísérleteim eredményeit mutatom be.



4. ábra: 10 µl H₂O peremszög-változása az idő függvényében



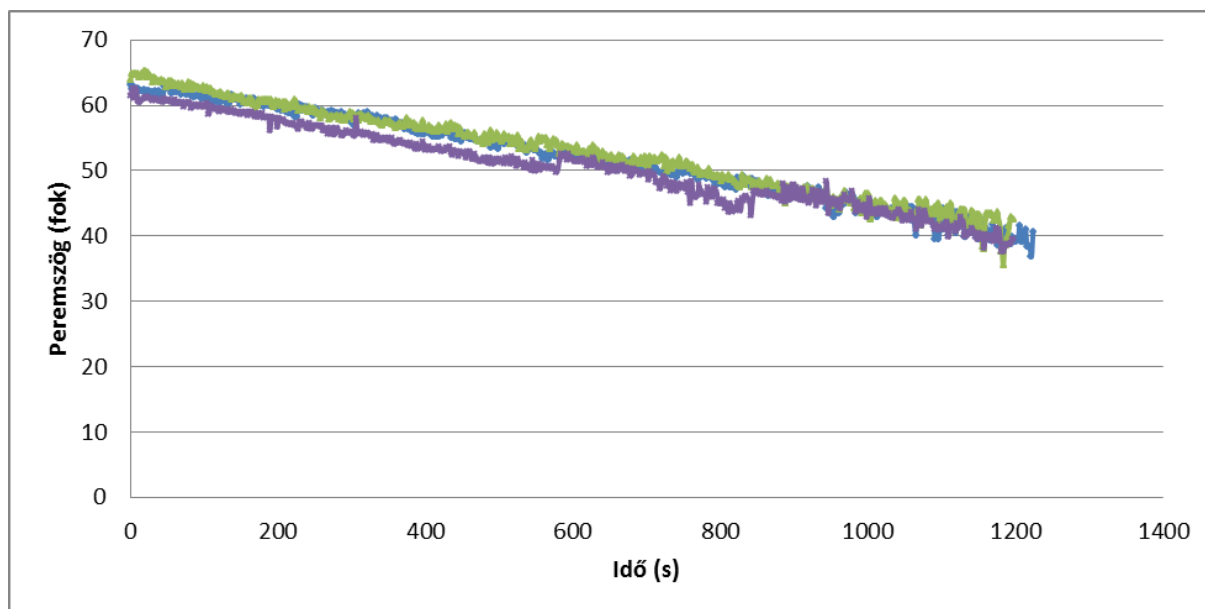
5. ábra: 5 µl H₂O peremszög-változása az idő függvényében

A 10 és az 5 µl-es cseppel végzett kísérletek alapján megállapítható, hogy a két mérés eredményei között szignifikáns különbség nincs. Ezért a továbbiakban csak a 10 µl-es cseppekkel végzett kísérleti eredményeimet mutatom be. A szubsztrátot előzetesen mérlegen lemértem, majd rácseppentettünk egy cseppet, és figyeltem hogy a tömeg az idő függvényében hogyan változik. Így meg tudtam állapítani, hogy a csepp tényleg párolog-e, vagy csak a szubsztrátba penetrál. Az adatok alapján megállapítottam, hogy a csepp peremszöge a párolgás miatt van.

4.1.2. Desztillált víz terjedésmérés elektródával

Ebben az esetben, a 3.1.1 alfejezetben bemutatott terjedésmérést ismételt meg, azzal a különbséggel, hogy ekkor egy 0,3 mm átmérőjű volfrám drót lógott a cseppbe, ahogy azt a 3.1.2 alfejezetben leírtam. Ennek a kísérletnek az a célja, hogy megvizsgáljam, hogy a drót hatására változik-e a csepp alakja, illetve peremszöge. Ha nem változik a peremszög szignifikánsan a terjedésmérésben kapott eredményekhez képest, akkor a későbbiekben a nyugócseppes mérések során kapott eredmények (elsősorban a párolgás) és az elektronedvesítés értékei összehasonlíthatóak lesznek.

Ebben az esetben is, mint a volfrám drót nélküli kísérletben 10 μl térfogatú cseppet használtam. Az 6. ábrán mutatom be a csepp peremszögének változását az idő függvényében, volfrám drót jelenlétében.

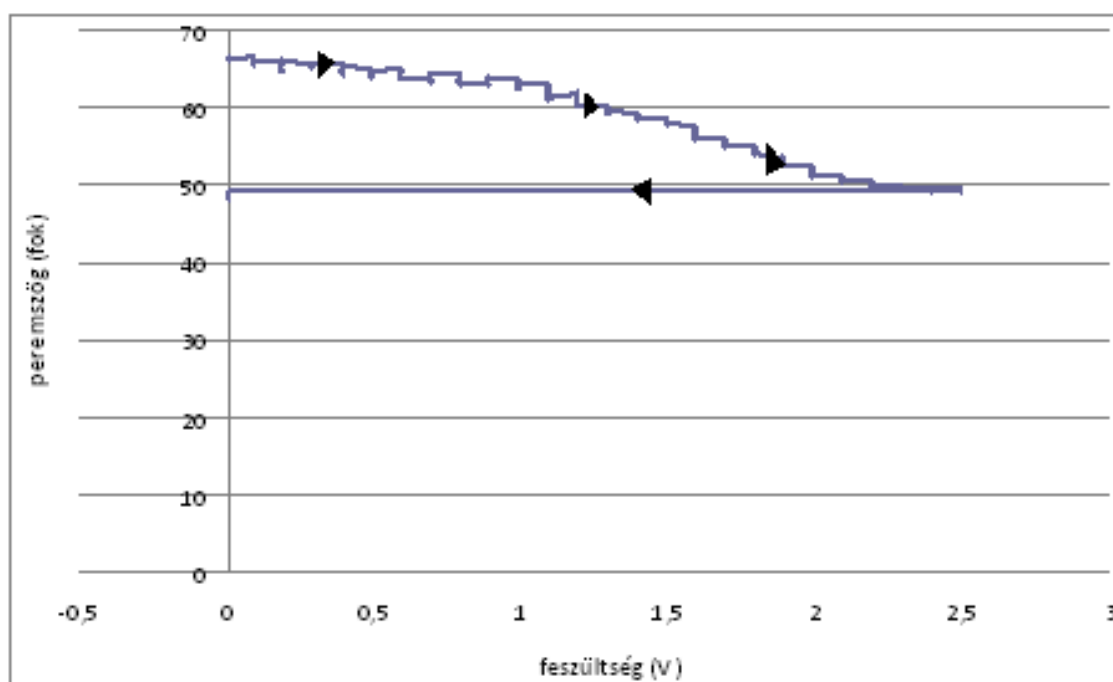


6. ábra: 10 μl H_2O peremszögének a változása elektróda jelenlétében, és az idő függvényében

A 6. ábra eredményeit összevetve a 4. ábrán látható eredményekkel, látható, hogy a volfrám dróttal végzett kísérlet és a drót nélküli kísérlet eredményei között nincs szignifikáns különbség, tehát a volfrám drót a mérési eredményeket nem változtatja meg jelentős mértékben.

4.1.3. A desztillált víz elektronedvesítéses vizsgálata

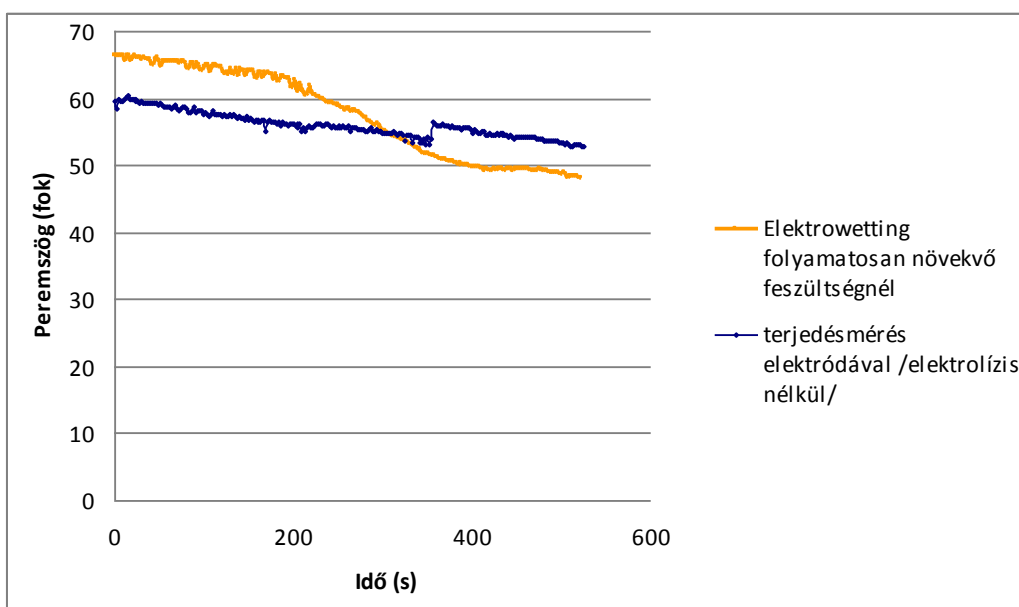
A 3.1.3 alfejezet leírása szerint állítottam össze a kísérletet. A méréseknél 10 μl desztillált vizet cseppentettem szénüveglapra úgy, hogy közben a cseppbe felülről belelógott a wolfram elektróda, és figyeltem, hogyan viselkedik a csepp potenciálkülönbség hatására. A feszültséget 0,3V-tal növeltem percenként, 2,5V-ig. A 7. ábrán a csepp peremszöge látható a feszültség függvényében.



7. ábra: A peremszög feszültségfüggése

A mérésnél azért emeltem a feszültségi értéket 2,5V-ig, mert ott már elkezdett buborékolni a csepp. A maximális potenciálérték elérése után kikapcsoltam a potenciosztátot.

A peremszög idő grafikon a 8. ábrán látható, melyen az elektronedvesítés eredményeit hasonlítom össze a volfrámdróttal potenciálkülönbség nélkül végzett terjedésmérés elektródával (3.1.2. alfejezet 4.1.2 alfejezet) eredményeivel. A narancssárga görbe az elektronedvesítés által okozott peremszög-csökkenést mutatja, a kék görbe pedig a 6. ábrán látható volfrám dróttal mért terjedésmérés eredményét, elektrolízis nélkül.



8. ábra: 10 μl H_2O peremszög-változásainak összehasonlítása az elektronedvesítés hatására

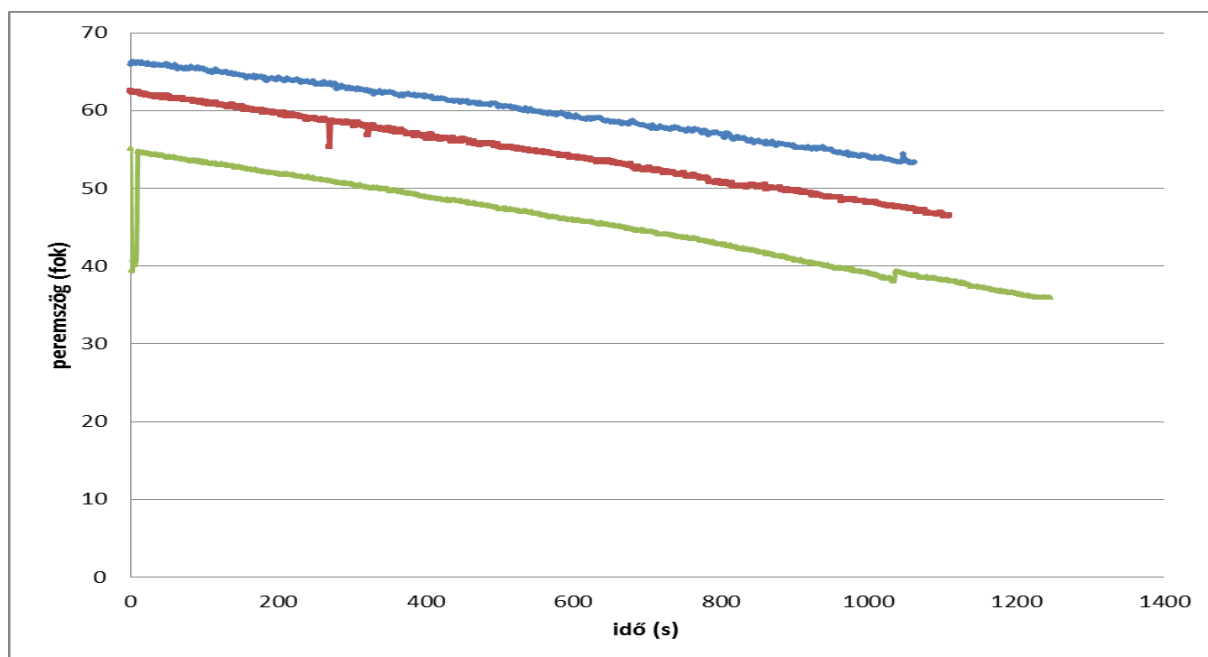
A két görbét összehasonlítva jól látszik, hogy amikor folyamatosan növekvő potenciálkülönbséget hozunk létre a volfrám drót és a szénüveg lapka között a cseppen, mint elektroliton keresztül, a csepp peremszöge jócskán eltér attól, mint ahol nem alkalmazunk potenciálkülönbséget.

4.2. 0,1 mol/dm³ nátrium-kloriddal végzett kísérletek

Ebben a kísérletsorozatban 0,1 mol/dm³ nátrium-kloriddal végeztem el a méréseket. Arra voltam kíváncsi, hogy az oldat hogyan viselkedik a 3 mérési módszernél (3.1.1, 3.1.2, 3.1.3).

4.2.1. A nátrium-klorid oldat terjedésmérése

A mérést a 3.1.1 leírásnak megfelelően végeztem el, a vizsgált oldat 0,1 mol/dm³ nátrium-klorid volt, melyből 10 µl térfogatú cseppet helyeztem szénüveglapra, és figyeltem hogyan viselkedik a csepp. Az 9. ábrán a csepp peremszöge látható az idő függvényében.

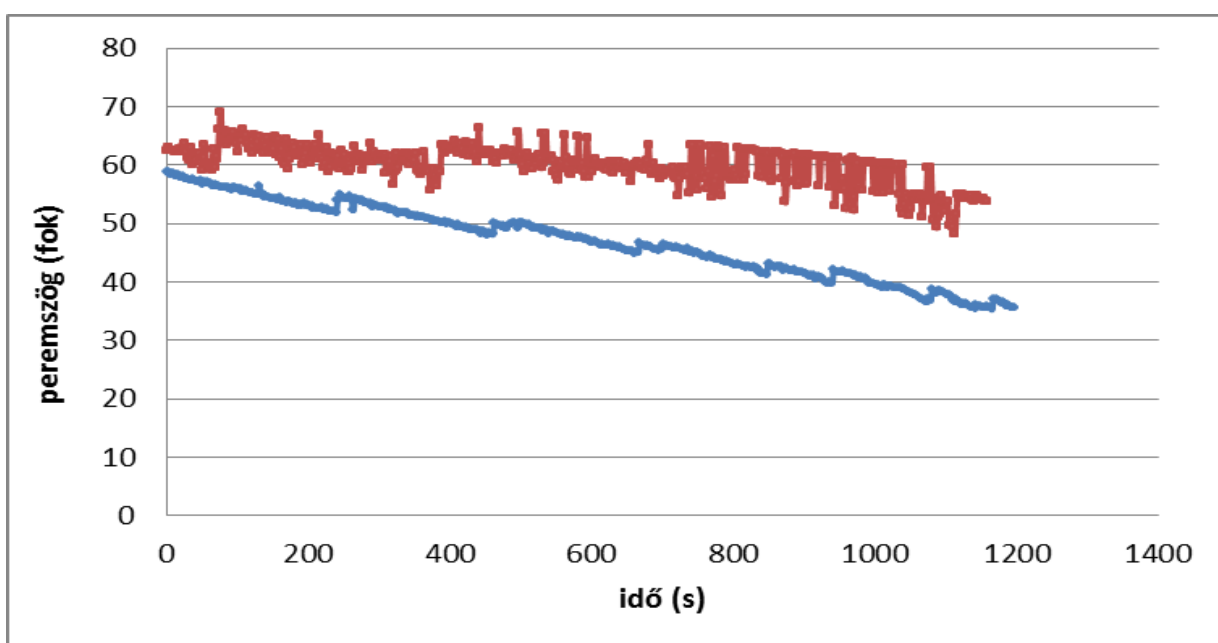


9. ábra: 10 µl 0,1 mol/dm³ nátrium-klorid oldat peremszög-változása az idő függvényében

Azt tapasztaltam, hogy a peremszög egységnyi idő alatt ugyanannyit változik. Figyeltem a csepp alakját, és az volt a megfigyelésem, hogy a folyadék-szilárd határfelület közötti terület nem változik, azaz a látszólagos peremszög-változás tisztán a párolgás eredménye.

4.2.2. A nátrium-klorid oldat terjedésmérése elektródával

A kísérlet elrendezése a 3.1.2. alfejezet szerint történt és a mérés során 10 μl térfogatú cseppet vizsgáltam. Ebben a kísérletsorozatban azt vizsgáltam, hogy a volfrám elektróda jelenléte befolyásolja-e az oldat peremszög értékének alakulását. Azt tapasztaltam, hogy a volfrám elektródával mért peremszög nem sokban tér el az elektróda nélküli peremszögtől, ahogy az a desztillált víz esetében is megfigyelhető volt. A peremszög változásának a trendje az idő függvényében a 10. ábrán látható.

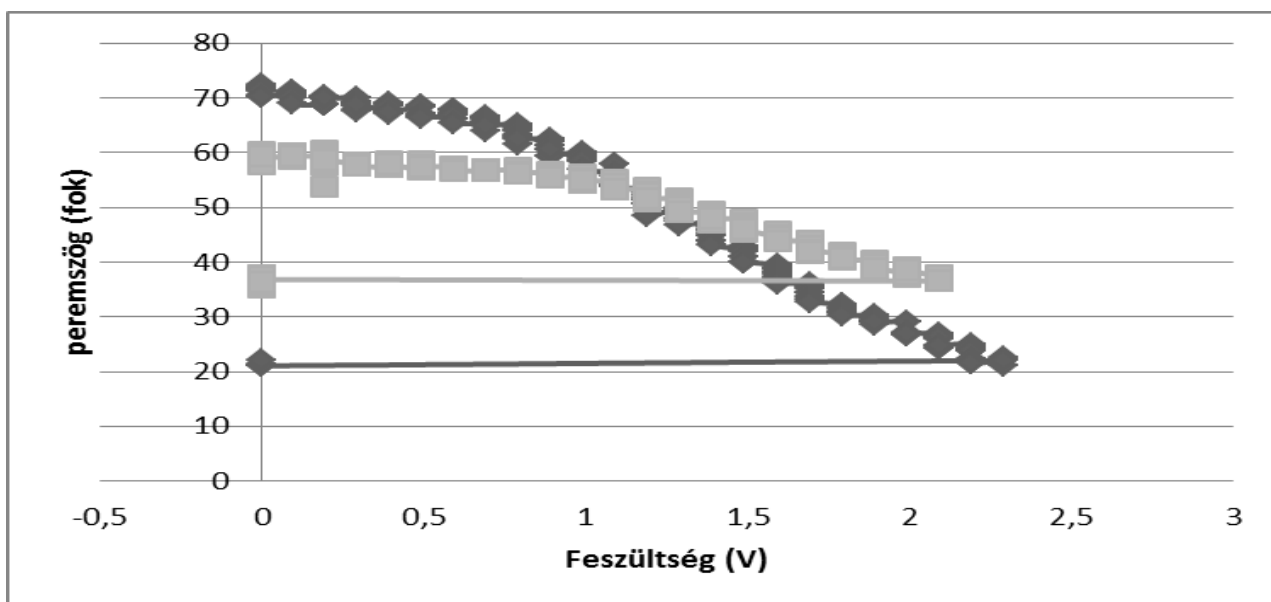


10. ábra: A nátrium-klorid oldat volfram drót jelenlétében mért peremszöváltozása, az idő függvényében

Az eredményeket a 9. ábrával összehasonlítva megállapítható, hogy a két mérés eredménye között jelentős eltérés nem tapasztalható.

4.2.3. A nátrium-klorid elektronedvesítése

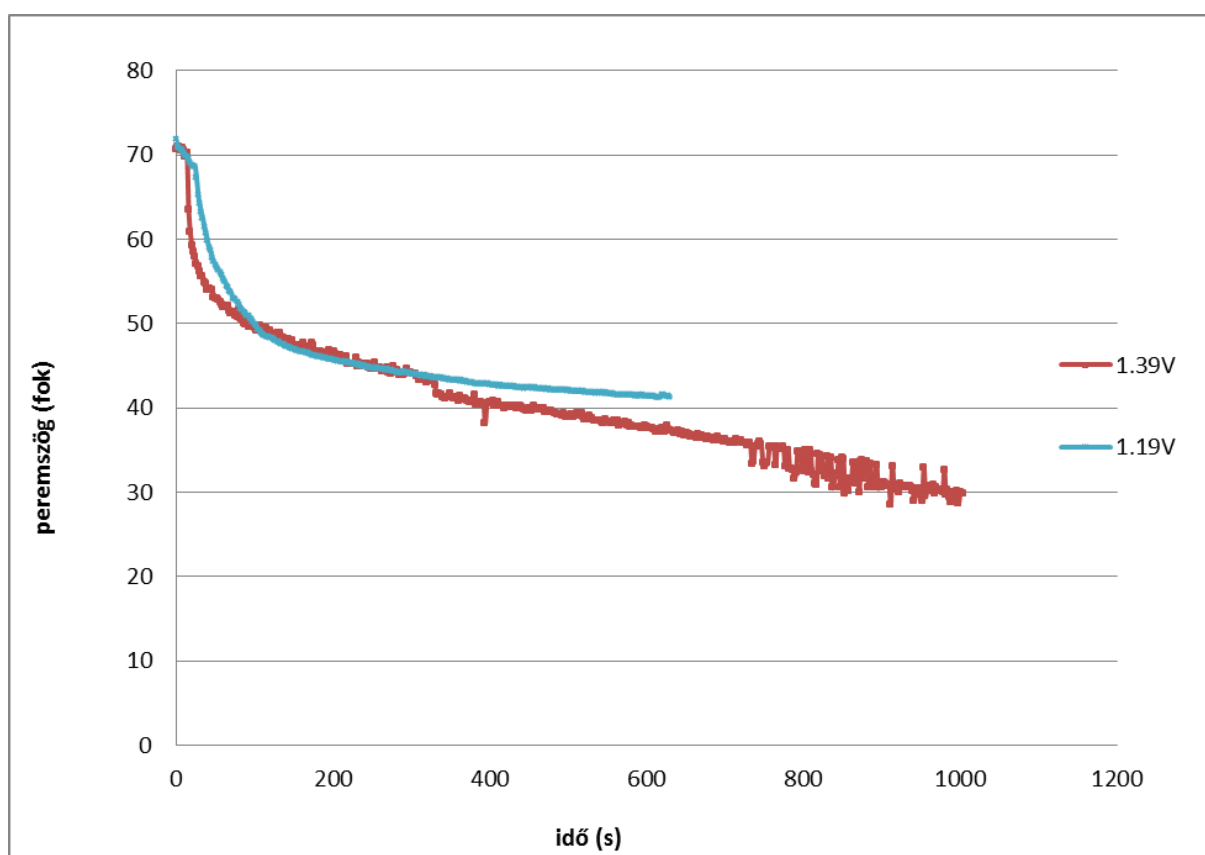
A kísérlet kivitelezése a 3.1.3. alfejezet leírása szerint történt, 10 μl 0,1 mol/dm³ nátrium-klorid oldatot használva. Ebben a vizsgálat sorozatban két kérdésre kerestem a választ. Az egyik, hogy hogyan viselkedik a csepp, ha folyamatosan növeljük a feszültséget a volfrám drót és a szubsztrát között. A másik pedig az, hogy egy bizonyos feszültség értéket kiválasztva az elektronedvesítéses vizsgálat során hogyan változik a csepp peremszöge. A 11. ábrán bemutatom, hogy a feszültségnövekedés hatására hogyan változik a peremszög. A mérés kezdetén a potenciosztátot 0V-ra állítottam majd fokozatosan növeltem a feszültséget 2,4V-ig, utána kikapcsoltam a potenciosztátot.



11. ábra: 10 μl 0,1 mol/dm³ nátrium-klorid peremszög-változása az elektronedvesítés hatására

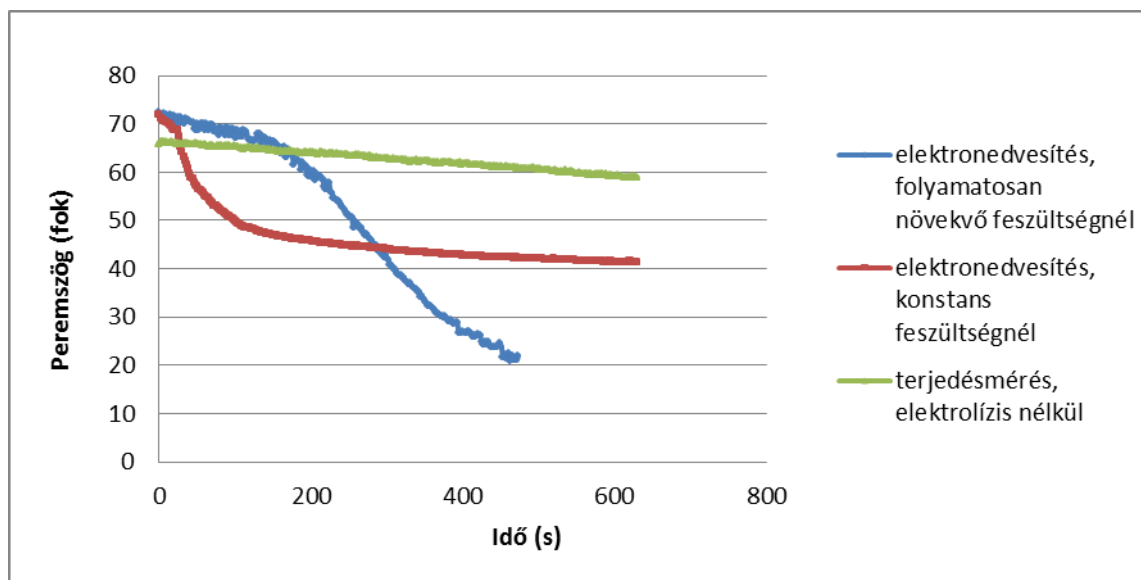
A mérések során azt tapasztaltam, hogy a feszültség növelésével a csepp egyre jobban szétterül a szubsztráton, majd miután a csepp buborékolni kezdett, a potenciosztátot kikapcsoltam.

Vizsgáltam, hogy állandó potenciálkülönbség hatására hogyan változik a peremszög az idő függvényében. A potenciálkülönbség értékét úgy választottam ki, ahogy az előző méréseknél, azaz folyamatosan növelt potenciálkülönbség alkalmazása esetén figyeltem, hogy látszólagosan milyen potenciálkülönbségnél változik a feszültség-idő görbe jellege a folyamatosan növekvő feszültségű elektronedvesítésnél. Ehhez képest kiválasztottam a legjellemzőbb potenciálértéket. Ezeken a potenciálkülönbségi értékeken vizsgáltam a csepp viselkedését az idő függvényében. A feszültséget 200 másodpercig hagytam a cseppen. A 12. ábrán láthatóak a mért értékek.



12. ábra: 10 μ l 0,1 mol/dm³ nátrium-klorid peremszög-változása az elektronedvesítés hatására

A 13. ábrán látható, hogy a három mérési módszernél hogyan változik a peremszög. A legjellegzetesebb görbéket tettem be a diagramba, így jól látható hogy a terjedésméréshez képest milyen jellegű peremszög-változásokat eredményez az elektronedvesítés.



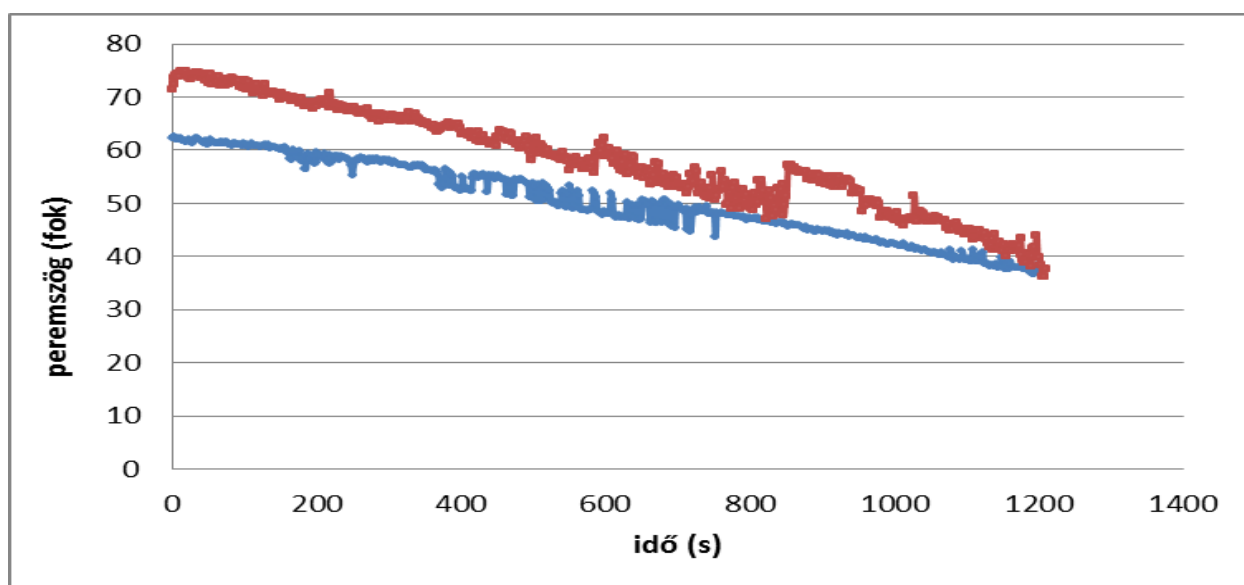
13. ábra: A nátrium-klorid oldattal végzett három mérési módszer összehasonlítása

4.3. 0,1 mol/dm³ sósavoldattal végzett kísérletek

A terjedésmérést, a volfrám dróttal végzett terjedésmérést és az elektronedvesítés vizsgálatokat a 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3 fejezetekben leírtak szerint sósavoldattal is elvégeztem. A mérés célja az volt, hogy egy olyan rendszert vizsgáljak, amelyben az oldat összetétele anyagi minőségben nem változik, csak az oldat koncentrációja.

4.3.1. A sósavoldat terjedésmérése

A sósavoldatnál is megmértem a csepp terjedését, hogy megtudjam, hogy a sósav megváltoztatja-e a párolgási és terjedési tulajdonágait a cseppnek. A 14. ábrán a sósavoldat terjedésmérése látható.

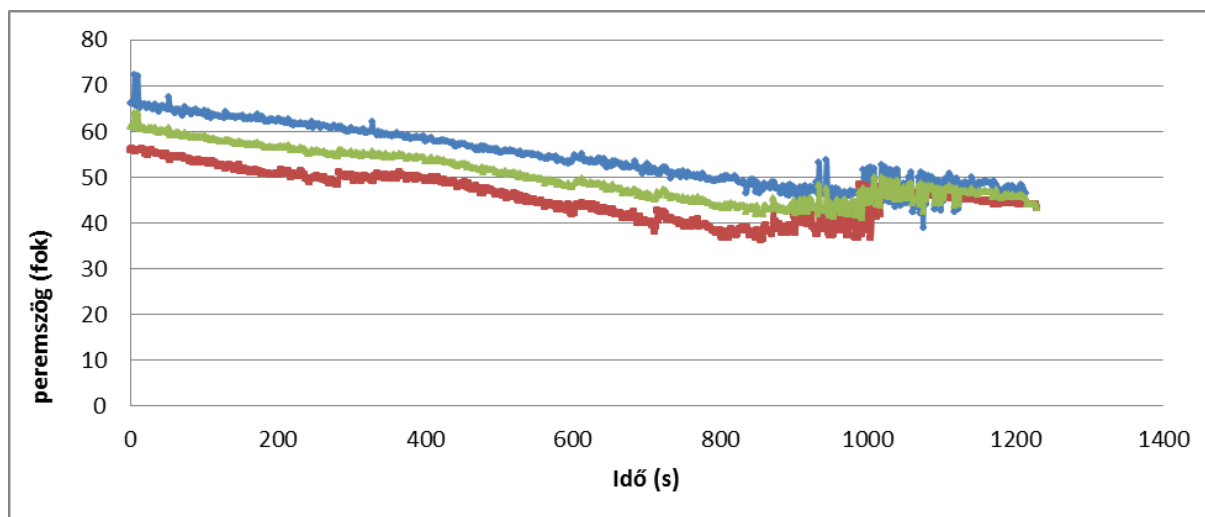


14. ábra: 10 µl 0,1 mol/dm³ sósavoldat peremszög-változása terjedésmérésnél

A mért értékek nagyon hasonlóak a víz és a nátrium-klorid oldatnál megfigyelt eredményekhez. A görbe közel konstans, a kiugrások a görbéken a képelemző szoftver hibás értékelése miatt vannak.

4.3.2. A sósavoldat terjedésmérése elektródával

A 3.1.2 alfejezet szerint végeztem a kísérletet, melyben 10 μl sósavoldatot használtam. A mérések eredménye a 15. ábrán kerül bemutatásra.

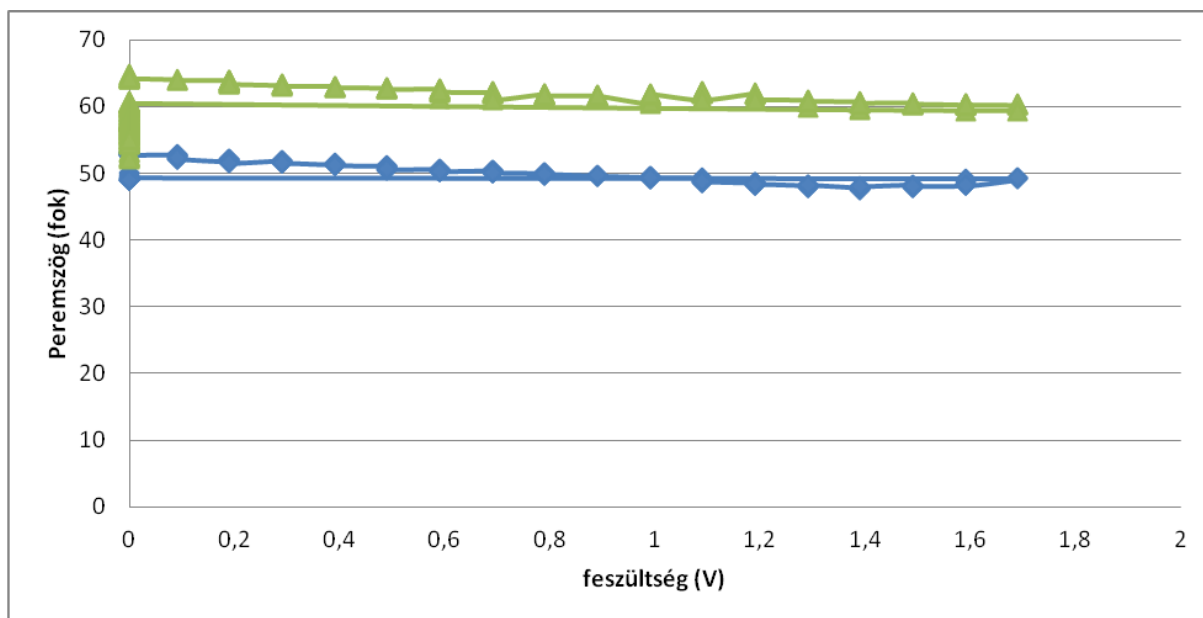


15. ábra: 10 μl 0,1 mol/dm³ sósavoldat peremszög-változása volfrám elektródával, elektrolízis nélkül

A 15. ábrán látható, hogy a sósav oldatnak nagyobb a kezdeti peremszöge, mint az előző oldatoknál. Látható, hogy volfrám elektródát alkalmazva a csepp peremszöge nem tér el a volfrám drót nélküli terjedés mérés eredményétől.

4.3.3. A sósavoldat elektronedvesítése

A méréseknél $10\ \mu\text{l}$ $0,1\ \text{mol/dm}^3$ sósav oldatot cseppentettem szénüveglapra a 3.1.3. fejezetben leírtak szerint. A 16. ábrán a csepp peremszöge látható az idő függvényében.

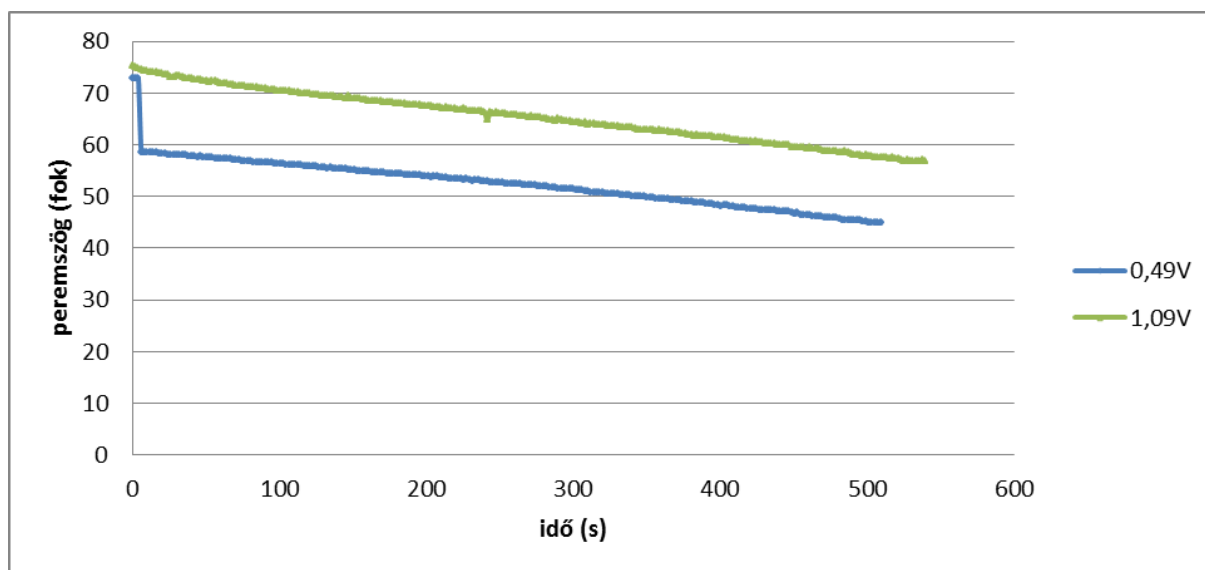


16. ábra: $10\ \mu\text{l}$ $0,1\ \text{mol/dm}^3$ sósavoldat peremszög-változása folyamatosan növekvő feszültség hatására

Az ábrán látszik, hogy sósav oldatnál nem csökkent annyira a peremszög, mint nátrium-klorid oldatnál, és a desztillált víznél. A feszültséget $1,8\text{V}$ -ig lehetett növelni, mert utána a csepp már buborékolt.

4.3.4. A sósavoldat elektronedvesítése állandó feszültség mellett

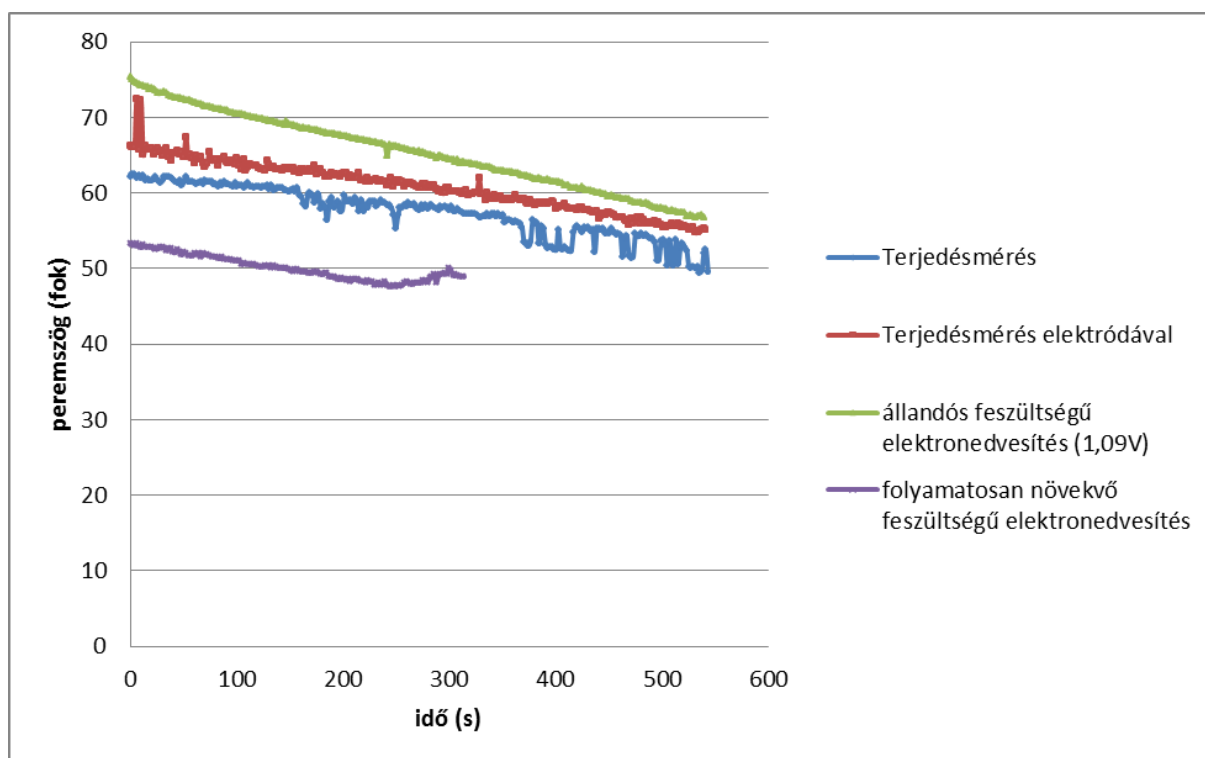
A méréseknél $10\ \mu\text{l}$ $0,1\ \text{mol/dm}^3$ sósavoldattal végeztem el a 3.1.3. pontban ismertetett kísérlet második részét. A 17. ábrán az általam mért mérési eredmények kerülnek bemutatásra.



17. ábra: $10\ \mu\text{l}$ $0,1\ \text{mol/dm}^3$ sósavoldat peremszög-változása az elektronedvesítés hatására állandó feszültség mellett

Azt tapasztaltam a mérésnél, hogy nincs jelentős különbség a sósavoldat terjedésmérése és az itt mért adatok között. A görbék tendenciája nagy hasonlóságokat mutat. Míg a nátrium-klorid oldatos mérésnél a peremszög a potenciál rákapcsolása után hirtelen elkezd csökkenni, addig a sósav oldatos mérésnél nem ez tapasztalható.

A 18. ábrán látható, hogyan alakul sósavoldat esetén a 3 mérési módszer (3.1.1, 3.1.2, 3.1.3) alapján a peremszög változása.



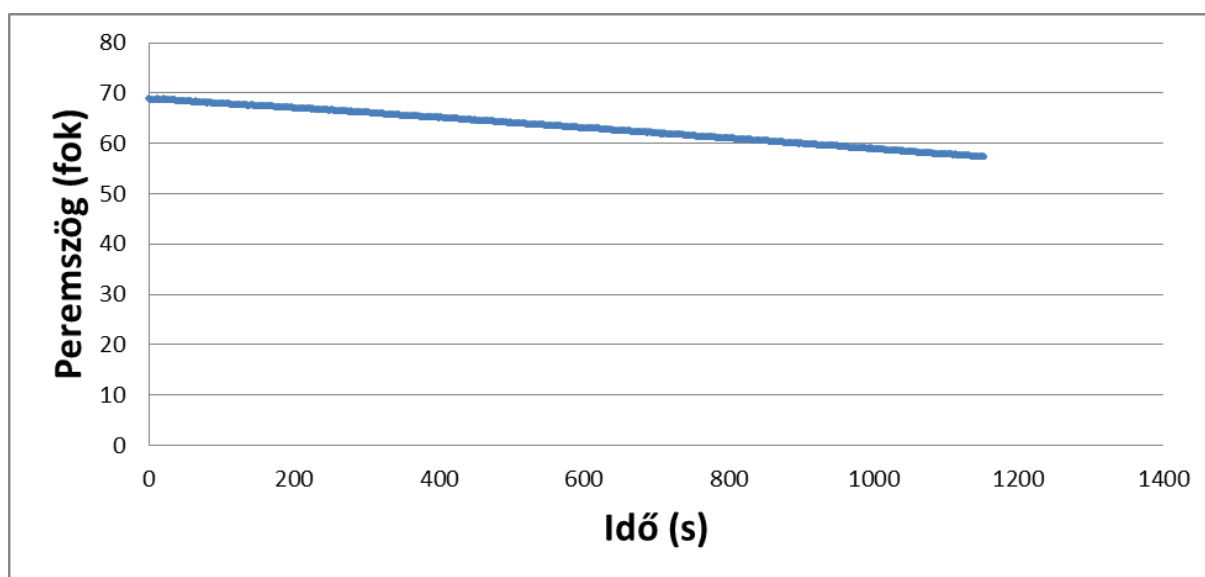
18. ábra. A sósavoldat mérési adatainak összehasonlítása

Az ábrán az látszik, hogy a sósavoldat esetében a potenciálkülönbség nem befolyásolja a nedvesítés mértékét. A görbék végénél látható peremszögnövekedés arra utal, hogy a csepp buborékolni kezdett a kísérleteknél.

4.4. 0,2 mol/dm³ nátrium-hidroxiddal végzett kísérletek

4.4.1. A nátrium-hidroxid terjedésmérése

Ebben a kísérletben 0,2 mol/dm³ nátrium-hidroxid oldattal végeztem el a 3.1.1-es alponthan említett terjedésmérést. A 19. ábrán bemutatásra kerülnek a mért adatok.

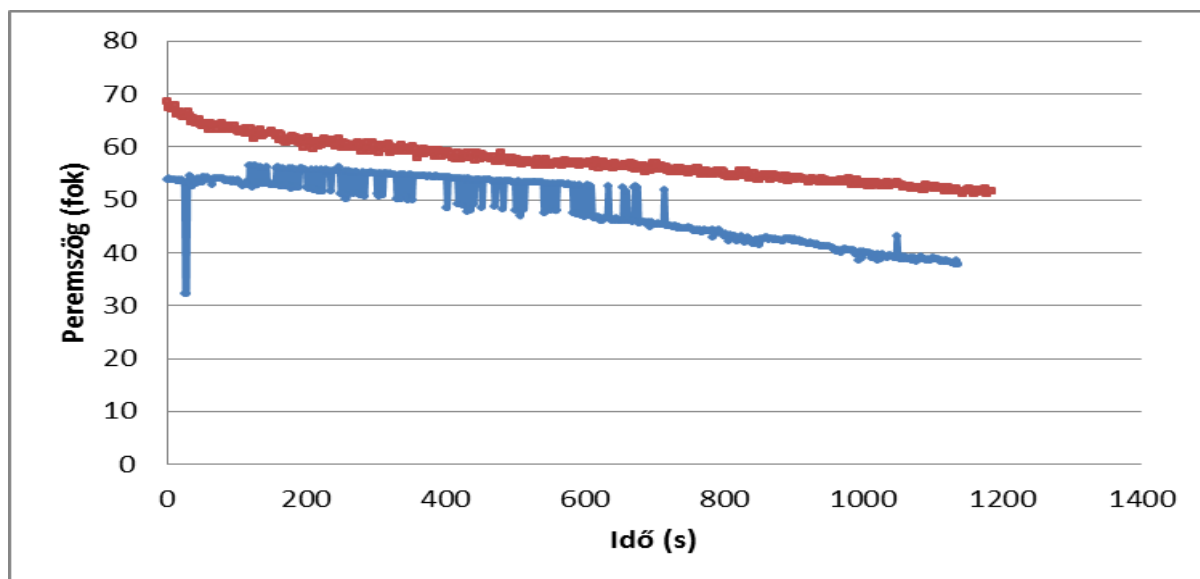


19. ábra: 10 µl 0,2 mol/dm³ nátrium-hidroxid peremszög-változása terjedésmérésnél

Az ábrán az eddig megfigyelt tendencia mutatkozik. A 70 fok körüli peremszögérték a sósav oldatnál, a nátrium-klorid oldatnál, és a víznél is megfigyelhető volt.

4.4.2. A nátrium-hidroxid terjedésmérése elektródával

Nátrium-hidroxid oldatnál is elvégeztem a 3.1.2-es alponban leírt terjedésmérést volfrám elektródával, hogy össze tudjam hasonítani az eddigi terjedésmérési eredményekkel. Az eredményeket a 20. ábrán mutatom be.

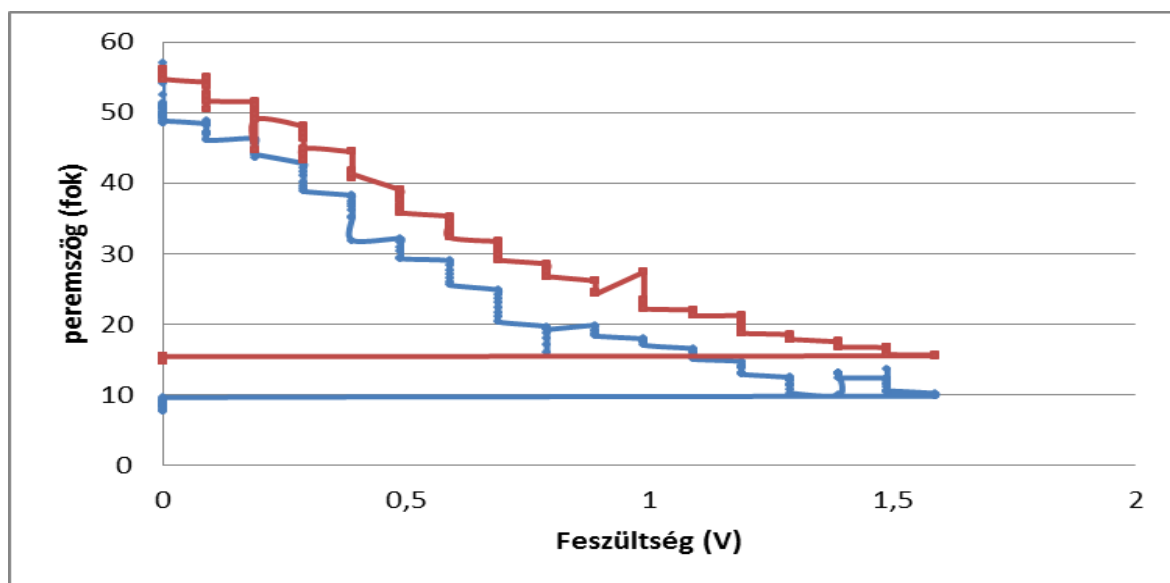


20. ábra: 10 µl 0,2 mol/dm³ nátrium-hidroxid peremszög-változása volfrám elektródás terjedésmérésnél elektrolízis nélkül

Az eddigi terjedésméréseknél tapasztalt lineáris vonalak itt is megfigyelhetők. A 20. ábrán az alsó (kék) vonalnak azért olyan nagy az ugrálása, mert az elemzőszoftver mérési módszeréhez pontosan beállított háttérvilágítás szükséges, hogy nagy kontraszt legyen a sziluettet ábrázoló képeken a csepp és a háttér között. Az látható még, hogy nincs szignifikáns különbség a terjedésmérés és az itt mért adatok között.

4.4.3. A nátrium-hidroxid elektronedvesítése folyamatosan növekvő feszültség mellett

A méréseknél $10\ \mu\text{l}$ $0,2\ \text{mol/dm}^3$ nátrium-hidroxid cseppentettem szénüveglapra úgy hogy közben a cseppbe felülről belelógott a wolfram elektróda, és figyeltem hogyan viselkedik, amikor folyamatosan növekvő feszültséget kapcsoltam az elektróda és a szubsztrát közé. A 21. ábrán a csepp peremszöge látható a feszültség függvényében.

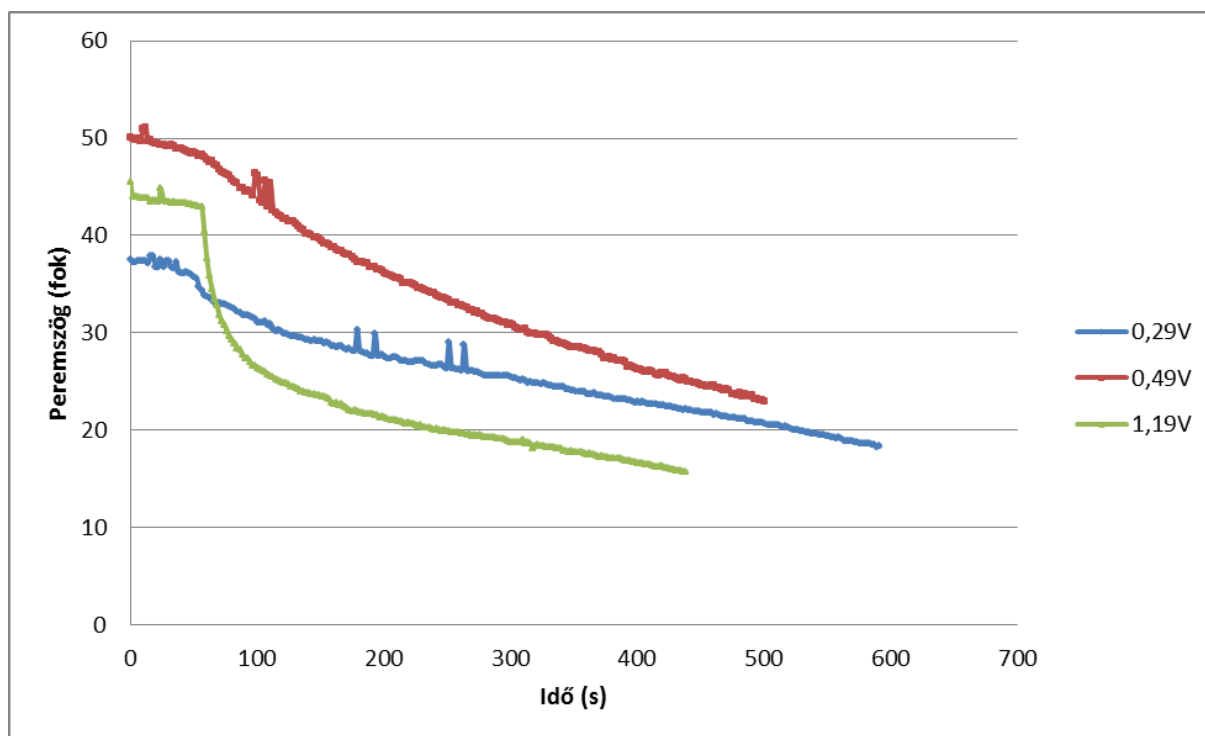


21. ábra: $10\ \mu\text{l}$ $0,2\ \text{mol/dm}^3$ nátrium-hidroxid peremszög-változása elektronedvesítéssel, növekvő feszültség mellett

Az ábrán látható, hogy a nátrium-hidroxid oldat peremszöge esett a vizsgált oldatok közül a legtöbbet (40 fok), összehasonlítva a víz 17 fokos, és a nátrium-klorid oldat 35 fokos esésével, 1,5V potenciálkülönbségnél.

4.4.4. A nátrium-hidroxid elektronedvesítése állandó feszültség mellett

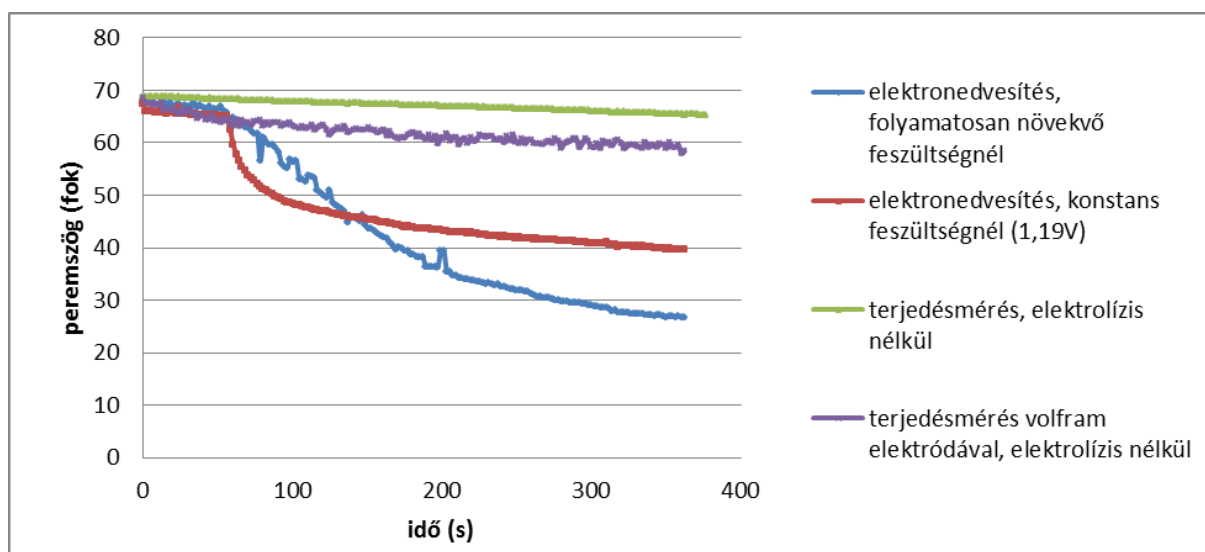
A méréseknél $10\ \mu\text{l}$ $0,2\ \text{mol/dm}^3$ nátrium-hidroxid cseppentettem szénüveglapra, és figyeltem, hogy hogyan viselkedik, amikor feszültséget kapcsoltam az elektróda és a szubsztrát közé. A 22. ábrán a csepp peremszöge látható az idő függvényében.



22. ábra: $10\ \mu\text{l}$ $0,2\ \text{mol/dm}^3$ nátrium-hidroxid peremszög-változása elektronedvesítéssel, állandó feszültség mellett

Az ábrán a zöld vonalakat figyelve látható, hogy a potenciál növelésével a görbék egyre meredekebben, és gyorsabban érik el a párolgásnál megfigyelt görbék meredekségét.

A 23. ábrán összehasonlítható, hogy a különböző mérési módszereknél miként viselkedik a csepp.



23. ábra: A nátrium-hidroxidos mérések eredményeinek összehasonlítása

A terjedésmérési vonallal összehasonlítva az elektronedvesítést konstans feszültségnél lévő vonallal, látható hogy a potenciálkülönbség ráadása után a peremszög hirtelen lecsökken, majd miután elért egy bizonyos csökkenési értéket, a terjedésmérésnél tapasztalható módon változik a csepp peremszöge.

5. Összefoglalás

Kísérleteim során desztillált vizet, NaOH, NaCl, HCl vizes oldatait használtam nedvesítés méréshez. Meghatároztam, hogyan viselkednek ezek az oldatok szénüveg lapkán. Megvizsgáltam minden egyes esetben, hogy az idő függvényében hogyan változik a peremszög értéke. Meghatároztam, hogy milyen hatással van a nedvesítésre a potenciálkülönbség. A nedvesítésmérés eredményeit és a potenciálkülönbség hatása mellett vizsgált peremszög értékeket felhasználva el tudtam különíteni a párolgás okozta látszólagos peremszög-változást a valós elektronedvesítéstől.

6. Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti konzulenseimet, Dr. Baumli Pétert valamint Dr. Kaptay Györgyöt. Kutatómunkám a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008 "A Miskolci Egyetemen működő tudományos képzési műhelyek összehangolt minőségi fejlesztése" projekt keretében valósult meg.

7. Irodalomjegyzék

[1]. Báder E.: Határfelületi energiák vizsgálata a fém- és kompozitöntészet egyes területein (Ph.D. értekezés), Miskolc, 2000, 5. o.

[2] C-C. Chen, T. Maruyama, P-H. Hsieh, J. R. Selman: Wetting behavior of carbon in molten carbonate, Journal of the Electrochemical Society, 159 (10) (2012) pp 597-604.

[3] S.K. Chung, K. Rhee, S.K. Cho: Bubble actuation by electrowetting-on-dielectric (EWOD) and its application: A review; International Journal of precision engineering and manufacturing, Vol. 11, No 6 (2010) pp. 991-1006

[4]. N.Eustathopoulos, M.G.Nicholas, B.Drevet: Wettability at High Temperatures, Pergamon, 1999, 420 pp.

[5]. Kaptay Gy.: Kerámiával erősített fémmátrixú kompozitok gyártásának határfelületi vonatkozásai I. A határfelületi kritériumok levezetése, BKL, 1997. 5-6. szám, 130. évf. 201-208.o.

[6] J. Lee, H. Moon, J. Fowler, T. Schoellhammer, C-J. Kim: Electrowetting and electrowetting-on-dielectric for microscale liquid handling; Sensors and Actuators A 95 (2002) 259-268.

[7] Lippmann, G. Annales de chimie et de Physique, 5. series, 1875

- [8] Romi Shamai, David Andelman, Bruno Berge, Rob Hayes: Water, electricity, and between... On electrowetting and its applications, *Soft Matter*, 2008, 4, 38–45
- [9] V. Peykov, A. Quinn, J. Ralston: Electrowetting: a model for contact-angle saturation; Colloid and Polymer Science 2000, Volume 278, Issue 8, pp 789-793
- [10] Catherine Quilliet, Bruno Berge: Electrowetting: a recent outbreak; *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, Vol. 6, Issue 1, 2001, Pages 34–39
- [11] Romi Shamai, a David Andelman, Bruno Bergec and Rob Hayes: Water, electricity, and between... On electrowetting and its applications; *Soft Matter*, 2008, 4, 38–45
- [12] M. Vallet, B. Berge, L. Vovelle: Electrowetting of water and aqueous solutions on poly(ethylene terephthalate) insulating films; *Polymer*, Vol. 37, No 12 (1996) 2465-2470
- [13] M. Vallet, M. Vallade, B. Berge: Limiting phenomena for the spreading of water on polymer films by electrowetting; *Eur. Phys. J. B* 11 (1999) 583-591
- [14] Q-g. Xu, X-b. Liu, H-f. Zhang: Effect of direct electric current on wetting behavior of molten Bi on Cu substrate; *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 20 (2010) 1452-1457
- [15] L.Y. Yeo, H-C. Chang: Static and spontaneous electrowetting; *Modern Physics Letters B*, Vol. 19 No 12, (2005) pp. 549-569
- [16] Robert A. Hayes, B. J. Feenstra: Video-speed electronic paper based on electrowetting Robert A. Hayes & B. J. Feenstra 2003
- [17] Toru maruyama, Ping-Hsun and J. Robert Selman, *J. elektrochemistry society* 2012