

ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

MŰSZAKI SZEKCIÓ

NEGATÍV HŐFOKTÉNYEZŐJŰ IONOS OLDAT ENERGETIKAI VIZSGÁLATA ÉS MÉRÉSE

Készítette:

Papp Tímea

Kubovics Balázs



NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM
HADTUDOMÁNYI ÉS HONVÉDTISZTKÉPZŐ KAR

Had- és biztonságtechnikai mérnöki szak

IV. évfolyam

Témavezető: dr. Ludányi Lajos

főiskolai tanár

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	2
1 Bevezetés.....	3
2 Hipotézis alátámasztása elméleti úton, gondolatmenet ismertetése.....	5
2.1 A megfelelő koncentráció kiválasztása	10
2.2 Az oldatkészítés.....	11
2.3 Az elektródák valamint a tartály kiválasztása és elektrolittal való feltöltése.....	12
2.4 Kezdeti lépések	14
3 Mérési összeállítás, a mérőeszköz megépítése, műszerek ismertetése	16
3.1 A mérés bemutatása	16
3.2 A mért, számított adatok áttekintése	19
4 Mérési eredmények ismertetése, kiértékelése	23
4.1 Mérések állandó feszültségen.....	23
4.2 Mérések összehasonlítása.....	28
4.3 Mérés a feszültség folyamatos csökkentésével	31
5 A szimulációs modell.....	35
6 Összegzés, következtetés	40
Irodalomjegyzék.....	42

1 Bevezetés

Világunkban a növekvő fogyasztói igények miatt egyre nagyobb mennyiségű fosszilis energiahordozót használunk fel készleteinkből különböző energiaigényeink kielégítésére. Az emberiség népességszámának növekedésével ez az igény még inkább fokozódni fog, ezért tudósok, mérnökök, műszaki emberek alternatív energiaforrásokat, takarékosabb felhasználási módokat fejlesztettek, fejlesztenek. Ennek egyik formája az elektromos áram takarékos felhasználása. Egy ilyen energiatakarékos rendszer elméleti feltevésével, megépítésével, a feltevések kísérletekkel történő igazolásával, és az eredmények későbbiekben felhasználható gyakorlati megoldásaival foglalkozik a dolgozat.

Dolgozatunk célja egy olyan mérési összeállítás építése volt, amellyel bizonyos sóoldatok negatív hőfoktényezőjét, vezetőképességét, hőmérsékletét, ellenállását, és más fizikai paramétereit mérni illetve számolni tudtuk. Ezen kívül az elméleti alátámasztáshoz és a mérésekhez szükség volt az alapismeretek és fogalmak összegyűjtésére és rendszerezésére.

Feltevésünk szerint, ha egy elektromosan szigetelő egyenes csőbe só oldatot öntünk, és a cső két végét elektródákkal zárjuk le, amelyre hálózati 230V 50Hz-es váltakozó feszültséget kapcsolunk, akkor a két elektróda között ionáramlás jön létre. Így az oldat nem csak a vezető, de az ellenállás szerepét is betölti. Az elektromos áram egy része hővé alakul, így az oldat hőmérséklete növekedni fog. Az ionos oldatokra jellemző negatív hőfoktényező miatt a hőmérséklet emelkedésével a sóoldat ellenállása folyamatosan csökkenni, míg a vezetőképessége és az áramerőssége nőni fog. Így a rendszerben egy öngerjesztő folyamat játszódik le. A mért hőmérséklet, áramerősség és nyomásváltozás, valamint az ismert fizikai méretek segítségével tudjuk számolni a negatív hőfoktényezőt és más szükséges fizikai paramétereket. Ezen paraméterek ismeretében energetikai számításokat és következtetéseket lehet levonni.

A mérésünket alapvetően egy kis modell segítségével terveztük végezni. A hálózati 230V-ot egy feszültségszabályozón keresztül állítottuk be a kívánt feszültségre, és kapcsoltuk az elektródákra. Az áramerősség és a feszültség értékét digitális multiméterrel mértük. A feszültség állandó értéken való tartását a multiméter segítségével ellenőriztük a mérés során. Az áramerősség változását a multiméter RS-232 interfészén keresztül, számítógépen, DigiScope program segítségével rögzítettük.

A nyomásváltozás mértékét egy chipbe integrált piezorezisztív nyomástávadó-egység elektromos feszültséggé alakította, amelyet a csatlakoztatott myPcLab adatgyűjtő érzékelt, és kábelen keresztül rögzítette a számítógép a myPcLab programjába.

A hőmérséklet változását és adatrögzítését T-hőelem segítségével mértük, és ugyanezen myPcLab adatgyűjtő segítségével rögzítettük, így már használható értékeket kaptunk a további számításokhoz.

A mérések során olyan eredményeket vártunk, amelyek bizonyítják az elméleti feltevéseinket. Eredményeket kaptunk arra vonatkozóan, hogy különböző konstans feszültségeken történő mérések mennyire eltérő értékeket adnak, ha egy adott időn keresztül végezzük a kísérleteket. Elvégeztünk olyan méréseket is, amelynél az idő függvényében lépcsőzetesen csökkentettük a feszültség értékét. Így elemezhetjük, hogy mennyire öngerjesztő a folyamat.

A mérésünktől azt vártuk, hogy a negatív hőfoktényező sikeres megmérését követően annak felhasználási lehetőségeit tudjuk előre vetíteni. Következtetni tudunk a fogyasztás mértékére, egy nagyobb rendszert figyelembe véve, azaz alkalmazható-e ez a fűtési forma, például egy víz keringtető rendszerű gázfűtéssel szemben, gazdaságosabban.

További munkánk arra irányul, hogy folytassuk a kísérleteket adott lehetőségek mellett, egy nagyobb, jobban kiépített rendszerrel, amely pontosabb értékeket ad arról, mennyire alkalmas ez a technológia gyakorlati alkalmazásban.

Interneten, könyvtárban való kutatások után elmondhatjuk, hogy ezzel a komplex elképzeléssel egy irodalom sem foglalkozik. A sóoldatok (elektrolitok) negatív hőfoktényezőjének megállapításáról illetve energetikai felhasználásáról irodalmi forrásokat nem találtunk. Kémiai kutatások során viszont már számos eredmény látott napvilágot az ionos oldatok vezetőképességének mérésére, és a vezetőképesség hőmérséklettől való függésének megállapítására.

2 Hipotézis alátámasztása elméleti úton, gondolatmenet ismertetése

Az elképzeléseink megvalósítása érdekében tehát számos feladatot kellett megoldanunk. A megfelelő elektrolit, elektróda, tartály, műszerek kiválasztásán túl a lejátszódó folyamatokra is következtetnünk kellett anélkül, hogy a kísérleti összeállításunk egyáltalában megvalósult volna. Ebben a fejezetben a különböző „építőelemek” megválasztását annak elméleti magyarázatát vázoljuk.

A kísérletünk sikerességének egyik fontos elemét a megfelelő elektrolit, sóoldat kiválasztásában tekintettük. A csapvíz, mint vezető közeg is alkalmas lehetett volna a kísérlet végrehajtására, de kémiai ismereteink alapján tudjuk, hogy van a víznél jobb vezetőképességű folyadék is, amely alkalmasabb lehet a kísérletek szempontjából. Ezért a választásunknál sok különböző szempontot figyelembe kellett vennünk, mielőtt döntést hoztunk.

Ismeretes, hogy különböző anyagok ellenállása különböző mértékben és irányban változik a hőmérsékletváltozás hatására. A fémek ellenállása a hőmérséklet emelkedésekor nő, ezért azt mondjuk, hogy a hőfoktényezőjük pozitív.

A szén, a félvezetők (szilícium, germánium, stb.), elektrolitok ellenállása a hőmérséklet emelkedésekor csökken, ezért a **hőfoktényezőjük negatív**. A hőfoktényező jele: α (alfa), mértékegysége $1/K$ vagy $1/^{\circ}C$.

A hőfoktényező az ellenállás ismeretében levezethető a következő képlet alapján:

$$R = \rho \frac{L}{A} = \rho_0 (1 - \alpha \Delta T) * \frac{L}{A} \quad (1)$$

ahol R az elektrolit ellenállása, ρ (rho) a fajlagos ellenállás, L a vezető hossza, A a vezető keresztmetszete, α (alfa) a hőfoktényező, ρ_0 kezdeti, szobahőmérsékleten mért fajlagos ellenállás, ΔT hőmérséklet-változás.

A következő összefüggések ismerete szükséges a további feltételezéseink és várt eredményeink megértéséhez. . Egy tetszőleges vezetőn átfolyó áramerősség (I) és a vezetőn eső feszültség (U) között az ellenállás teremt kapcsolatot:

$$R = \frac{U}{I} \quad R = \frac{V}{A} = [\Omega] \quad (2)$$

Egy adott homogén anyagból készült vezető esetén az ellenállás egyenesen arányos a vezető hosszával (L) míg fordítottan arányos a vezető keresztmetszetével (A):

$$R \sim L \text{ ill. } R \sim \frac{1}{A} \quad (3)$$

Ha tehát homogén anyagból készült, pl. hengeres alakú vezetőnk van, ennek ellenállásából kiszámítható az ún. fajlagos ellenállás, amely csak a vezető anyagára jellemző mennyiség:

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad \rho = \frac{\Omega m^2}{m} = [\Omega m] \quad (4)$$

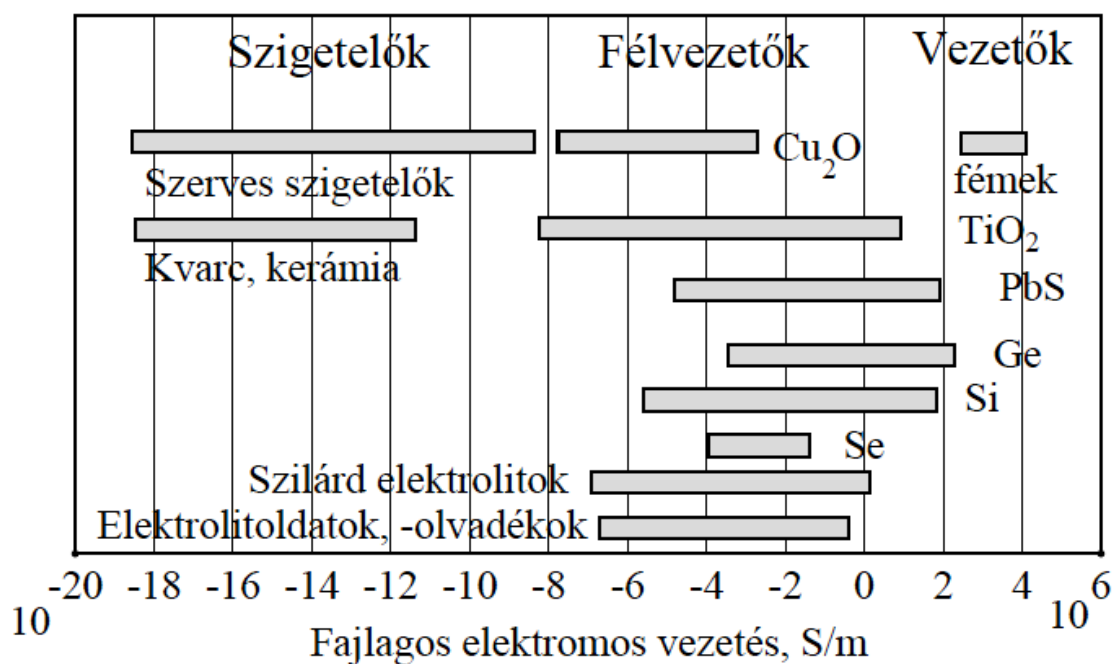
Az ellenállás reciprokját vezetésnek (G; régebbi kifejezéssel vezetőképességnek) hívjuk, mértékegysége a Siemens:

$$G = \frac{1}{R} \quad G = \frac{1}{\Omega} = [S] \quad (5)$$

Hasonlóképpen vezethető be a fajlagos vezetés (κ ; kappa) a fajlagos ellenállás reciprokjaként (ez szintén az anyagra jellemző állandó):

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{L}{RA} \quad \kappa = \frac{m}{\Omega m^2} = \left[\frac{S}{m} \right] \quad (6)$$

Az 1. ábra bemutatja a különféle anyagok fajlagos elektromos vezetésének a nagyságrendi viszonyait.



1. ábra: Különböző anyagok fajlagos elektromos vezetési tartománya [1]

A vezetési határok - különösen a szigetelők és a félvezetők esetében - nem adhatók meg pontosan, hiszen ezek több tényezőtől is függenek, többek között a hőmérséklettől, az anyag tisztasági fokától, vagy éppen a szennyezés minőségétől és mértékétől.

Az eddigiek fémes és ionos vezetőkre egyformán értelmezhetőek. A vezetés, mint fizikai mennyiség használata többek között azért praktikus, mert ha több töltéshordozó van egyszerre jelen (márpedig elektrolitokban szükségképpen ez a helyzet), az egyes töltéshordozók által képviselt vezetések egyszerűen összeadódnak, s ugyanez igaz a fajlagos vezetésekre is. Ebből az is következik, hogy az egyfajta iontól származó fajlagos vezetés arányos lesz az ion koncentrációjával (c), tehát a κ nemcsak az ion anyagi minőségétől, hanem koncentrációjától is függ.

Figyelembe véve tehát a fenti összefüggéseket, a kísérletünkhöz egy megfelelő vezetőképességű ionos oldatra lesz szükségünk melynek koncentrációját is megfelelően kell kiválasztanunk.

Ennek érdekében vizsgáljuk meg az ionos rendszerek vezetésére vonatkozó összefüggéseket. Kis hőmérsékleten ionosan vezető rendszerek a heteropoláris molekuláknak poláros oldószerben történő oldódásakor jönnek létre. Az oldódó anyag és az oldószer molekuláinak kölcsönhatása eredményeként képződő, víz esetén hidratált ionok, más oldószer esetén szolvatált ionok külső elektromos erőterben a töltésüknek megfelelő irányba mozogva mind a kationok, mind pedig az anionok részt vesznek a töltés szállításában.

Nagy hőmérsékleten - a heteropoláris (ionos) kötésű anyagok olvadáspontja felett - képződő olvadékok termikus disszociáció révén alakulnak elektrolittá. A kis- és a nagyhőmérsékletű elektrolitok között elektromos erőterben mutatott viselkedésükben nincs lényeges különbség.

Elsősorban az ionos kötéstípusú vegyületek már jóval az olvadáspontjuk alatti hőmérsékleten - szilárd állapotban - is ionos vezetéssel rendelkeznek. Ezeket az anyagokat - miután ezekben is a szabadon mozgó ionok képesek a töltést szállítani - szilárd elektrolitoknak nevezzük.

Az elektrokémiai rendszerek képződésének közös jellemzője tehát, hogy heteropoláris molekulájú anyagok disszociációja révén szabad mozgásra képes ionok jönnek létre. Az oldószerrel való kölcsönhatásban - a hidratáció miatt -, vagy hőhatás következtében a molekulák által felvett energia nagysága meghaladja a molekulán belüli kötési energiát, ami által szabad mozgású ionok jöhetnek létre.

Az elsőrendű vezetők esetében az elektronok, mint töltéssel rendelkező részecskék, a másodrendű elektromos vezetők (ionos vezetők, vagy elektrolitok) esetén pedig a folyékony,

vagy szilárd közegben mozgékony ionok és a térerő kölcsönhatása a vezetőben elektromos áramot, illetve ha ezt a vezető keresztmetszetére vonatkoztatjuk, adott elektromos áramsűrűséget alakít ki.

Egyenáramú, elektrolitos vezetés esetén általában mind a kationok, mind pedig az anionok részt vesznek a töltés szállításában (bipoláris vezetés), de a szilárd halmazállapotú vezetők között található sok olyan szilárd elektrolit, amelynél csak a kationok, vagy csak az anionok mozgékonyak (unipoláris vezetők).

Bár az elektromos erőter állandó erővel hat az ionokra, azok mégsem kezdenek gyorsuló mozgásba, mivel a közeg nagy belső súrlódása következtében az áram a bekapcsolása után megközelítőleg 10^{-12} sec alatt sebességük állandóvá válik.

Az ionok mozgásának ténylegesen kialakuló sebessége függ az oldott anyag és az oldószer minőségétől, valamint a potenciál különbségtől. (Adott elektrolitban az ionok mozgásának sebessége a feszültségeséstől függ) Az 1 V/cm egységnyi feszültségesés hatására elért sebességet (cm/sec) az ion abszolút mozgékonyságának nevezzük. Az elektrolit abszolút mozgékonyságát U -val jelöljük, illetve U_K -val a kation és U_A -val az anion abszolút mozgékonyságát. [2] (Felhívjuk a figyelmet arra, hogy ennél a jelölésnél az abszolút mozgékonyság jele nem egyezik meg a korábban illetve később is használatos feszültség U jelölésével.)

Sok számításnál célszerűbb az U_A és U_K értékek helyett azok F -szeresét (96500 szoros) használni. Az így kapott értékeket az ion relatív ionmozgékonyságának nevezik. Nem szorul különösebb bizonyításra tehát, hogy valamely elektrolit fajlagos vezetőképességét az oldott anyag koncentrációja, disszociációfoka és ionjainak mozgékonyága határozza meg.

Ha a c_i koncentrációjú elektrolitban teljes disszociációt feltételezünk, abban z_K és z_A a kationok és az anionok töltése és U_K , illetve U_A abszolút ionmozgékonyságú ionok találhatók, akkor a közeg fajlagos elektromos vezetése:

$$\kappa = F c_i (|z_K| U_K + |z_A| U_A) \quad (7)$$

a moláris fajlagos elektromos vezetése pedig:

$$\Lambda = \frac{\kappa}{c_i} = F (|z_K| U_K + |z_A| U_A) \quad (8)$$

Az elektrolitokban az ionok mozgékonyága több nagyságrenddel kisebb a fémekben tapasztalható elektron mozgékonyasághoz viszonyítva. A vizes oldatokban létező ionok között a különleges - nem hidrodinamikai jellegű - mozgási mechanizmusuk miatt a hidratált H^+

ionok, az úgynevezett oxónium-ionok rendelkeznek a legnagyobb ionmozgékonyssággal, ami szobahőmérsékleten kb. $3 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Ennek kb. a fele az OH^- ionoké, az összes többi egyszerű, vagy összetett ion mozgékonyssága $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ nagyságrendű.

Mint már szó volt róla, az elektrolitok vezetése nő a hőmérséklet növekedésével; ez a függés exponenciális jellegű, aminek következményeként érthetővé válik, hogy a nagy hőmérsékletű olvadék elektrolitok elektromos vezetése felülmúlja a vizes elektrolitok vezetését.

Az elektronvezetők és az ionvezetők között a leglényegesebb különbség abban nyilvánul meg, hogy ionos vezetés esetén az áram elektronvezetőből való ki- és belépési helyén mindig kémiai változás, redukció és oxidáció játszódik le, amit rendszerint másodlagos kémiai folyamatok is kísérnek. Ahhoz, hogy a térerő kialakulhasson, és a töltésszállítás megvalósulhasson, az áram be- és kilépési pontján fémes elektronvezetők - elektródok - szükségesek.[1]

A fentiekben leírt hatások egyenáram esetén valósulnak meg. Hogy ezeket a jelenségeket elkerüljük választottuk a váltakozó áram használatát, nem utolsó sorban azért is, mert ez sokkal hozzáférhetőbb az energiaszolgáltatók által. Ezen kívül az is köztudott, hogy a váltakozó áram kémiai hatást nem okoz, mert az áram irányának változása állandóan változtatja az ionok mozgásirányát.

A megfelelő ionos oldat kiválasztásához megannyi szempontot figyelembe kell vennünk. Természetesen nem elegendő az oldat oldott anyagának célszerű megválasztása, de ezt együtt kell kezelnünk az adott oldat koncentrációjával.

A lehetőségeink sajnos nem engedték, meg hogy minden szempontból a legjobb elektrokémiai tulajdonságú oldott anyagot válasszuk. Vannak olyan savak illetve lúgok (HCl , H_2SO_4 , NaOH , HNO_3) melyek vezetőképességüket tekintve koncentráció függvényében jobb eredményeket mutatnak, mint semleges só oldatok. Amiért mégsem ezen anyagok közül választottunk annak oka elsősorban az, hogy koncentrációjuk súlyosan korlátozva van a maró, roncsoló képességeik miatt, figyelembe véve, hogy az oldatunkat egy műanyag tartályba kívánjuk tölteni. Ezen kívül nem elhanyagolhatóak, az oldat előállításához szükséges feltételek sem. [3]

Mindenképpen olyan oldatra volt szükségünk, amely előállítása könnyen, akár laboratóriumi körülményeket nélkülözni tudó helyszínen és eszközökkel történhessen meg, tekintve, hogy tanszékünkön nem találhatóak meg az ilyesfajta tevékenységhez nélkülözhetetlen eszközök. További követelmény volt az oldattal szemben, hogy az oldott anyag beszerzése könnyen megoldható legyen. Nem utolsó sorban érdemes szólni arról is,

hogy olyan oldatra volt szükségünk mely a felhasználása, előállítás, tárolása során nem okozhat semmilyen egészségkárosodást a vele dolgozók számára.

Mindezen szempontokat figyelembe véve esett a választásunk a kálium-klorid (továbbiakban: KCl) vizes oldatára. A választásunkat néhány egyszerű és praktikus körülmény befolyásolta döntően. A KCl oldat könnyen beszerezhető, hiszen a nagy és kisipari elektrokémiai folyamatok egyik legelterjedtebb elektrolit alapanyaga. Ebből adódóan számos elektrokémiai adat a rendelkezésre áll, függően a koncentrációtól, hőmérséklettől. Felhasználási területeit tekintve számos esetben hasonlították össze további oldatokkal, ezen felül gyakran használják az elektromos vezetőképesség mérések referenciaértékének.

2.1 A megfelelő koncentráció kiválasztása

Mivel a KCl oldat különböző koncentrációit az elektrolitok vezetőképességének méréséhez alapértékként, referenciaértékként használják, így nekünk külön nem kellett ezzel foglalkoznunk, hogy megmérjük az általunk elkészített oldat vezetőképességét. A felhasználását tekintve elmélyült kutatásokat folytattak amerikai és japán tudósok a különböző koncentrációk, és hőmérsékletek melletti vezetőképesség megmérésére. Ezért a meglévő adatokat felhasználva ismert koncentráció és hőmérséklet mellett mért vezetését választottuk ki és készítettük el az oldatunkat.

Az alábbi táblázatban látható a KCl néhány koncentrációjának vezetőképessége a hőmérséklet függvényében [4]:

T [°C]	Vezetőképesség értéke [$\mu\text{S} / \text{cm}$]		
	m= 0.01 mol/ kg	m= 0.1 mol/kg	m= 1 mol/kg
0	772	7116	63488
5	890	8183	72030
10	1013	9291	80844
15	1141	10437	89900
18	1219	11140	97800
20	1273	11615	99170
25	1408	12824	108620
30	1546	14059	118240
35	1687	15316	127970
40	1831	16591	137810
45	1976	17880	147720
50	2123	19180	157670

A táblázatok adatai alapján döntöttünk úgy hogy 1 mol/kg koncentrációjú sóoldattal fogunk kísérletezni. Az adatok molalitásban vannak kifejezve, mi a továbbiakban molaritást

fogunk használni a két koncentráció közötti elhanyagolható különbségek miatt. (A molalitás esetében az oldószert kg-ban, míg molaritásnál dm^3 -ben kell megadni. A különbség abból adódik, hogy 1 kg víz nem egyenlő 1 dm^3 vízzel, a víz sűrűségéből adódóan). A kísérlet során elhanyagoljuk ezt a koncentráció különbséget.

2.2 Az oldatkészítés

A szükséges elméleti megalapozás után tehát el kellett készítenünk a megfelelő töménységű, koncentrációjú oldatunkat. Ehhez nagy segítségünkre volt az MH 86. Szolnok Helikopterbázis Repülőműszaki Oktatásbiztosító Központ (ROK) üzemeltetésében álló Sportuszoda uszodavezetője Nagy Attila, aki mind laboratóriumi szakmai tapasztalatait, mind eszközeit a rendelkezésünkre bocsátotta az oldatok elkészítéséhez.

A megfelelő oldat elkészítéséhez alapvetően két fő összetevőre volt szükségünk. Kristályos anyagra és az oldószerre, valamint a tároláshoz alkalmas edényre. A kristályos anyagot, KCl-t a RE-ANAL Finomvegyszergyár 1000 g-os kiszerelésű termékéből mértük ki. Ehhez egy Precisa típusú tárlamérleget használtunk, amely gyártói adatai alapján 0,01g pontossággal mér.

Az oldószer tekintetében két lehetőségünk volt. Használhattunk a bolti forgalomban is kapható desztillált, ioncserélt vizet, amely mentes mindenféle szennyeződésektől, vagy normál csapi vizet. Azért döntöttünk ez utóbbi mellett mert a későbbi lehetőségeket előre vetítve ennek beszerzése és esetleges nagyobb mennyiségben történő alkalmazása sokkal egyszerűbb és kézenfekvőbb.

Az alapanyagok kiválasztása után tehát hozzákezdhattunk a kívánt koncentrációjú oldatunk elkészítéséhez. $1\text{mol}/\text{dm}^3$ -es az oldat akkor, ha 1 dm^3 oldat 1 mol oldott anyagot, jelen esetben KCl-t tartalmaz. Ehhez tehát szükségünk volt a KCl moláris tömegére. (1 mol $6 \cdot 10^{23}$ db részecskét jelent. A $6 \cdot 10^{23}$ számot Avogadro-számnak vagy Avogadro-állandónak nevezik. Az anyagok 1 moljának tömegét moláris tömeggel fejezzük ki. Jele M, mértékegysége kg/mol vagy g/mol.) Ezt az értéket a KCl gyári címkéjéről tudtuk leolvasni miszerint 74,56 g, egy mol KCl tömege.

Ezek után tehát egy steril főzőpohárba kimértük a 74,56 g KCl kristályos anyagot majd túltelített oldatot készítettünk belőle. Ezután ezt a túltelített oldatot hígítottuk az 1000 cm^3 -as mérőlombikba addig, amíg a főzőpohárból az összes oldott molekula át nem került a mérőlombikba (2.ábra).



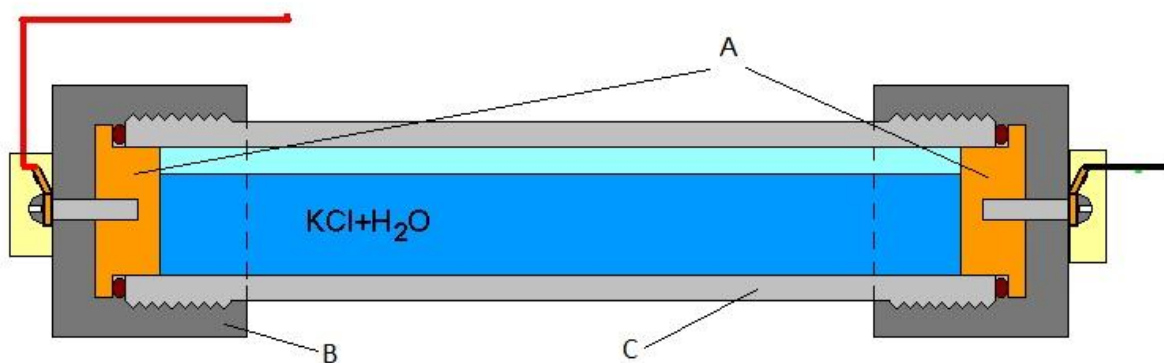
2. ábra: Oldatkészítésünk felvételei

Az elkészült oldatot ezután megfelelő méretű műanyagpalackban tároltuk a további felhasználásig. Az oldat elkészítését a későbbiekben többször is meg kellett ismételnünk, melynek okairól a későbbiekben lesz szó. Az oldat és a koncentráció kiválasztása után a mérőrendszer felépítését kezdhettük meg tervezni. Az elképzeléseink alapján ehhez a kísérlethez egy egyenes csövet használunk két végén fém elektródával, amelyre a kívánt feszültséget vezetjük rá.

2.3 Az elektródák valamint a tartály kiválasztása és elektrolittal való feltöltése

Az elektródák megválasztásánál nagyon fontos volt, hogy anyaguk olyan legyen, amely nem, vagy csak igen kis mértékben lép kémiai reakcióba a KCl vizes oldatával. Ennek azért van nagy jelentősége, mert ha jól oxidálódó anyagból választjuk meg az elektródáinkat, akkor a kémiai reakciók révén akár hidrogén gáz is fejlődhet, amely nagymértékben megnövelné a tartályunkban a nyomásértéket. Ez alapvetően probléma lenne, mert csökkenne a tartály élettartama és növelni kellene a nyomásálló képességét, egyúttal a falvastagságot. Ezt elkerülvén egyebek mellett kémiai megfontolásból és a beszerzési költség miatt választottuk a bronz elektródákat.

A megfelelő anyag megválasztása utána következő fontos feladatunk az érintésvédelem problémája volt. Ugyanis nem elégséges, ha a műanyag tartály szigetel, és ez által a vezető közeggel közvetlenül nem kerülhetünk kapcsolatba, de a fém elektródák villamos hozzávezetését is nyilvánvalóan szigetelni kellett. (3. ábra)



3. ábra: A tartály (C) a menetes végeire szerelt műanyag záró fedelekkkel (B) és a beágyazott fém elektródákkal (A)

Az érintésvédelmet tehát az elektródák tekintetében az ábrán látható beágyazással oldottuk meg, míg a hozzájuk csatlakoztatott vezetékeket műanyag szigetelő bevonattal láttuk el.

A fenti ábrából látható, hogy a tartály nincs teljesen megtöltve a KCl oldattal. Ennek egyszerű oka, hogy elképzelésünk szerint az oldat a rákapcsolt feszültség hatására melegedni kezd. Ennek következményeképpen térfogati hőtágulást tapasztalunk a folyadékban. Ha viszont hideg állapotban teletöltjük a tartályunkat, akkor nagy valószínűség szerint a folyadék szétrepeszti azt. Így tehát meg kellett volna határoznunk azt a folyadékmennyiséget (ismerve a tartály geometriai méreteit) amely ismeretében számolni tudjuk a tartályban lévő nyomásértékeket, a hőmérséklet változásával.

Alapul véve a folyadék térfogati hőtágulását, ki lehet számolni, hogy adott (kívánt) hőmérséklet eléréséig mekkora térfogatváltozás fog beállni:

$$V_k = V_0(1 + \beta\Delta T) \quad (9)$$

ahol V_k a folyadék megnövekedett térfogata, V_0 a kezdeti térfogat, β a hőtágulási együttható, ΔT a hőmérsékletváltozás.

Ha nem töltjük tele a csövet folyadékkal, és hermetikusan lezárjuk, akkor a tartályban lévő légbuborék mind a hőmérséklet emelkedésével, mind a folyadék térfogati hőtágulásának következtében kölcsönhatásoknak lesz kitéve.

Gay-Lussac törvényéből következik ($P_1/T_1 = P_2/T_2$), hogy ha állandó térfogatú (izochor) gázokkal közlünk hőt, akkor nyomásváltozást tapasztalunk. Ha tehát a hőmérséklet emelkedik, akkor a tartályban lévő levegő nyomása is emelkedni fog. Ez alapvetően határozza meg a tartályunk- műanyag csövünk- anyagválasztását. Olyan tartályra, volt tehát

szükségünk, amelynek ismert a nyomásállósága, vagy feltételezhetően magasabb, mint a kísérletünk során a kalkulált legmagasabb nyomásérték. Mivel a kísérlet alapjában véve nem az elektrolit forráspont-körüli melegítésére lett tervezve, így becslésünk szerint a folyadék hőmérséklete a kísérleteink során nem éri majd el a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ -t.

Ha tehát ismerjük a maximális hőmérsékletet, akkor számolni tudjuk a hőmérséklet-emelkedésből származó nyomásváltozást, izochor állapotváltozást feltételezve. (Az állandó térfogat mellett azt feltételezzük, hogy a levegő (gáz) a folyadék hőmérsékletét rövid, számunkra nem számottevő időn belül felveszi, így a folyadék hőmérséklete a mérvadó.) A gáz hőtágulásából származó nyomásértékhez azonban még hozzáadódik a folyadék hőtágulásának következtében bekövetkező térfogatváltozás is. Ha tehát a hőmérséklet emelkedésével növekszik a folyadék térfogata ezzel arányosan csökken a légbuborék térfogata, vagyis nőni fog a nyomása. Ezzel egyidejűleg viszont a levegő is melegedni fog, ami szintén nyomásnövekedést okoz.

A folyadék mennyiség meghatározása, a fent említett okokból kiindulva egy lényeges feladat. Figyelembe kellett venni mind a két változásból származó nyomásemelkedést, és nem hagyhattuk figyelmen kívül az elektródák érintkező felületeinek nagyságát sem. Hiszen ha a folyadék csak kis felületen érintkezik az elektródákkal, csökken az ionáramlás. Tehát nem mehet az alacsony folyadékszint megválasztása az elektródák érintkező felületeinek rovására. Az oldat térfogatát így ideálisan 80% körüli értékre állítottuk be.

A sikeresen kiválasztott oldat, majd ezt követően az ehhez kémiai elveken hozzáválasztott elektródapár megléte után, a megfelelő tartály (műanyag szigetelő cső) kiválasztására kellett sort keríteni. Tudtuk, hogy olyan anyagból kell, hogy legyen, amely elektromosan igen, viszont hőmérsékleti szempontból kevésbé szigetel. Tudtuk, hogy viszonylag magas nyomást kell kibírnia, és nem léphet reakcióba az oldatunkkal. A fenti kritériumokat figyelembe véve, a legkézenfekvőbb megoldásnak egy mindennapi használatban levő PVC cső tűnt.

2.4 Kezdeti lépések

Rendszerünk összeállításának kísérleti szakaszában elsősorban a költséghatékonyságra kellett törekednünk. Mivel nem állt rendelkezésünkre olyan anyagi forrás, amely biztosíthatta volna a számunkra leginkább megfelelő anyagok, eszközök beszerzését, ezért első alkalommal az alábbi rendszert építettük meg (4. ábra).



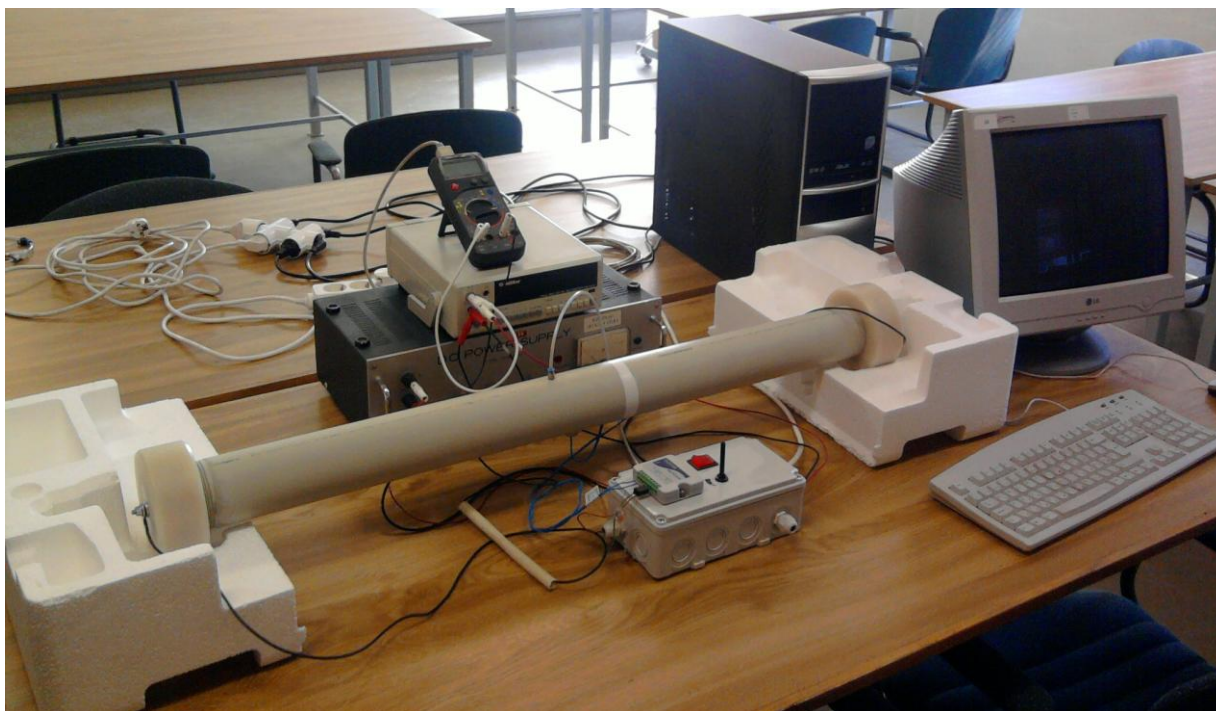
4. ábra: Az első kísérleti összeállításunk

Ekkor egy 2 mm falvastagságú normál PVC csövet használtunk és alumínium elektródákat, melyek már korábban a rendelkezésünkre álltak. A hőmérsékletmérést egy egyszerű hőelemmel végeztük, amit a tartály falára erősítettünk egy Awab-bilincssel. A rendszeren egy működéspróbát végeztünk. A hőmérséklet növekedését tapasztaltuk, illetve a nyomás és áramerősség is emelkedő tendenciát mutatott.

A működéspróba után kezdtük el tervezni a mérési struktúrát. A következő alkalommal, amikor ismét működésbe hoztuk a rendszerünket, a cső egyik végéből az elektróda a nem megfelelő rögzítés miatt kinyomódott. Az ekkor mért adatokat elemezve láttuk, hogy a nyomásérték hirtelen megnövekedett a mérés megszakadása előtt. Emellett az elektródák belső, folyadékkal érintkező felületén fehér, hamuszerű anyagot figyeltünk meg.

Az elemzések alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy az elektródák anyagukból adódóan, reakcióba léphettek a folyadékkal és emiatt hidrogén gáz fejlődhetett a tartályban, ez okozhatta a nyomásnövekedést illetve az elektródák felületi elváltozását is.

Ezen tapasztalatok után döntöttünk úgy, hogy mindenképpen más anyagból kell megoldanunk az elektródák kialakítását és azok tartályba helyezését, illetve a csőnek olyan kialakításúnak kell lenni, hogy annak végére menetesen tudjunk záró fedelet illeszteni.



6. ábra: A mérési rendszer

A cső közepén, egy zsákfuratban helyeztük el a T-hőelem hőérzékelő fejét hővezető pasztában, úgy hogy körülbelül egy mm falvastagság maradjon a folyadék és a hőérzékelő között. Nem helyezhettük közvetlenül a folyadékba, mivel ott elektromos áram folyik, ami zavarná a hőérzékelő villamos jelét. A hőelem a hőmérséklet hatására elektromos jelet továbbít a myPcLab „Channel 2” felé, ami a számítógépen a myPcLab programjával rögzíti a mérést.

Szintén a cső közepén, csak a másik oldalon, egy légmentesen zárt furaton keresztül van kivezetve a nyomás egy vastag falú műanyag kapilláris csövön keresztül a nyomástávadóra. A mérések során figyeltünk, hogy a kezdeti nyomás mindig egyezzen a környezeti nyomással. Többször tapasztaltuk, hogy a mérések után, a hűlés folyamán vákuum keletkezett a csőben a környezeti nyomáshoz képest.

Ilyen esetben a kapilláris cső kihúzásával kiegyenlítettük a nyomást a mérés megkezdése előtt. A nyomástávadó 5V-os táplálást igényel, amit a DC tápegységgel biztosítottunk. A nyomás változásának függvényében villamos jelet ($U[p(t)]$) közvetít a myPcLab „Channel 1” felé. Így hasonlóan a hőelemhez, ezeket az adatokat is rögzíti a myPcLab programja.

A myPcLab programjában be kell állítani a különböző csatornákhöz csatlakoztatott, mérni kívánt paramétereket. A programban lehetőség van több különböző kijelzési fajtából választani, ilyenek például a LED kijelző, hagyományos mutatós műszer, függvény kirajzolás az idő függvényében. Ezek közül több fajtát is választhatunk a paraméterek kijelzésére.

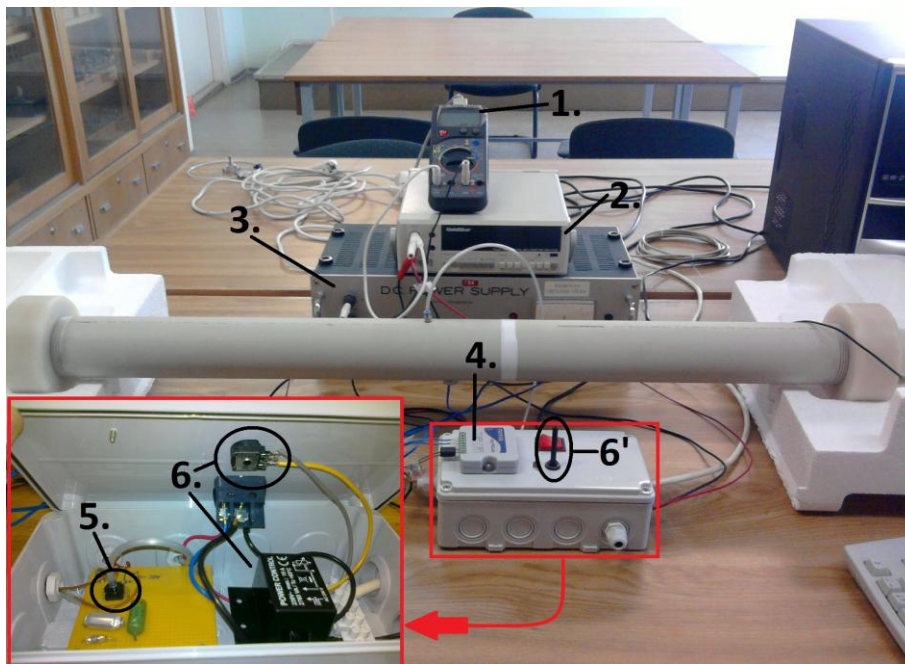
Mi a mérések során a nyomás mutatóására LED képernyőt, ezen kívül a nyomás és a hőmérséklet kijelzésére egy közös ablakban függvény kirajzolását választottuk.

A programba több mérőeszköz integrálva van, mint például az általunk használt T-hőelem is. Ki kell választani a megfelelő típust, így közvetlenül Kelvinben vagy Celsius fokban kapjuk a hőmérsékleti adatokat, és nem kell átszámítani, mint a nyomástávadó esetében. A nyomástávadó által mért értékek mV-os dimenzióban vannak megadva a programban, és a megadott képlettel átszámítható Pascalba. Az így rögzített adatok is átkonvertálhatóak .xls formátumba.

A különböző részegységek összeépítésénél figyeltünk az érintésvédelmi előírásokra. Így egy elektromosan szigetelt dobozba építettük a nyomástávadót és a működéséhez szükséges áramkört, a feszültségszabályozót és egy kapcsolót, amivel a hálózati 230V szakítható meg a feszültségszabályozó előtt.

A mérésekhez alkalmazott műszerek (7. ábra):

- VoltCraft ME-32 digitális multiméter (DigiScope program) {1.}
- GoldStar DM-441B digitális multiméter {2.}
- TR-9177 típusú tápegység {3.}
- NOVUS myPcLab adatgyűjtő és program {4.}
- MPXA 6115 AC6U típusú nyomástávadó {5.}
- KEMO M28 feszültség szabályzó {6. ; 6'}
- T-hőelem (-200 °C-tól 400 °C-ig)



7. ábra: A mérésekhez alkalmazott műszerek

3.2 A mért, számított adatok áttekintése

A mérések után Excel táblázat segítségével dolgoztuk fel az adatokat. A táblázatkezelő különböző függvényeinek köszönhetően viszonylag könnyen ki lehetett számolni a különböző paramétereket az egész lejátszódó folyamatra. A két programot 675 msec-os mintavételezésre állítottuk be. Fontos volt, hogy a mintavételezés ugyanannyi legyen, mert a táblázatban csak úgy lehet eredményesen használni, ha minden mért adatból ugyanannyi darab van egy mérés alatt.

A legtöbb mérés 10 perces volt. Ez mérésenként körülbelül 890 mért adatot jelent, amivel a táblázatokban később dolgozni kellett. A mérés matematikai háttere, teljes algoritmus a 9. ábrán látható.

Ismert adataink: feszültség [V]
áramerősség [A]
hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
 $U(p)$ [mV]
folyadék-oszlop hosszúsága [cm]
elektróda fedési felület [cm^2]

Ebből a hat ismert paraméterből számítottuk a következő mennyiségeket:

nyomás [bar]
hőmérsékletváltozás [$^{\circ}\text{C}$]
ellenállás [Ω]
vezetőképesség [S]
fajlagos ellenállás [Ωcm]
teljesítmény [W]
hőfoktényező [$1/^{\circ}\text{C}$]
hőtágulási együttható [$1/^{\circ}\text{C}$]

A nyomás kiszámítására az 9. ábrában láthatjuk az összefüggést. Ez a nyomástávadó típusához tartozó átviteli függvény, melyet a műszaki adatlap tartalmaz. A képletből P-t kifejezve megkapjuk a nyomás értékét kPa-ban. Innen már csak átváltás kérdése, hogy bar-ban legyenek az adatok.

$$P[kPa] = \frac{V_{OUT}[V] + 0,475}{0,045}$$

TRANSFER FUNCTION:

$$V_{out} = V_s * (.009 * P - .095) \pm \text{Error}$$

$$V_s = 5.0 \text{ Vdc}$$

$$\text{TEMP} = 0 \text{ to } 85^\circ\text{C}$$

$$P[\text{bar}] = \frac{V_{OUT}[V] + 0,475}{4,5}$$

$$P[\text{mbar}] = \frac{P[\text{bar}]}{1000}$$

9. ábra: A nyomástávadó átviteli függvénye és az átszámítási összefüggések

(Forrás: MPXA 6115 AC6U típusú nyomástávadó adatlapja)

A hőmérsékletváltozással úgy tudunk más adatokat számolni, ha minden egyes pillanatban vett adathoz rendeltünk egy hőmérsékletváltozás értéket. Mindig az első, vagyis kezdeti hőmérsékletet vontuk ki az összes többi hőmérséklet értékből. A hőmérsékletváltozás így egy folyamatosan növekvő értéket mutat. Az utolsó számított adat a folyamat 10 perc alatt történő teljes hőmérsékletváltozása.

Az ellenállást, vezetőképességet és fajlagos ellenállást az 2. fejezetben már levezetett módon számoltuk a táblázatunkban.

Az algoritmusból látható, hogy a teljesítményre két féle adatot kaptunk. A teljesítményt egyszerűen az elektronikából ismert képlettel számoltuk:

$$P(T) = \frac{U^2}{R} \quad (10)$$

Ebből meghatározható a teljesítmény áramdíjas fogyasztási értéke:

$$W = \int_0^t P(T) dt \quad (11)$$

amelynek Wh a dimenziója. Ez a táblázatban egyszerű összegzéssel oldható meg. Ez az érték az, amely után a valóságban is fizetünk a villamosenergia-szolgáltatóknak. A rendszer fűtési teljesítményét a feszültség, és az áramerősség szorzatával kapjuk meg.

Azt már tudjuk, hogy az ellenállás egy folyamatosan csökkenő érték a folyamat során, tehát nullához közelít. A már korábban tárgyalt ellenállás képlete (1. képlet) csak akkor közelíthet

nullához, ha a zárójel értéke közelít nullához, mivel a többi érték állandó, ismert adatok. Tehát:

$$1 - \alpha \Delta T = 0 \quad \rightarrow \quad \alpha = \frac{1}{\Delta T} \quad (12)$$

Mivel a ΔT egy folyamatosan növekvő érték, ezért a fenti képletből látható, hogy az α egy $1/x$ függvény szerint csökkenő érték lesz. A görbéje hozásimul egy nullához közeli értékhez, amit ezután, a számítások egyszerűsítése miatt, az α állandó értékének veszünk.

A hőtágulási együttható (β) matematikailag kifejezhető a már ismert 9. képletből. A matematikai algoritmusból is látszik, hogy a következő képletet kaptuk, amit a számítások során is tudtunk alkalmazni (V_{CS} – teljes cső térfogata ; V_{0V} – folyadék kezdeti térfogata ; $p(T)$ - nyomás):

$$\beta = \frac{[p(T) - 1]V_{CS} + [1 - p(T)]V_{0V}}{p(T)V_{0V}\Delta T} \quad (13)$$

A változó érték ebben az esetben a nyomás és a hőmérsékletváltozás lesz.

4 Mérési eredmények ismertetése, kiértékelése

Alapvetően két különböző mérést végeztünk el. Az egyiknél a feszültséget a mérés teljes időtartalmára állandó értékre állítottuk. A másiknál a feszültséget bizonyos időközönként mindig 10V-tal csökkentettük. Így a két méréstípusból különböző következtetéseket tudunk levonni.

A méréseket nem végezhetjük el gyors egymásutánban, hiszen a csőben lévő folyadék felmelegedett esetenként akár 45°C-ra is. Minden mérés után meg kellett várnunk az oldat visszahűlését a környezeti hőmérsékletre. Ez a cső vastag falát és szigetelő tulajdonságát figyelembe véve igen hosszú időt vett igénybe.

Az összes mérést Excel táblázat segítségével értékeltük ki. Átkonvertáltuk a myPcLab és a DigiScope program által rögzített adatokat egy közös táblázatba, és bevittük az állandó értékeket, mint például a feszültség, vízoszlop hosszúsága, elektróda fedési felülete. Ezekkel az adatokkal már minden, korábban említett, szükséges adatot meg tudunk határozni. Diagramok elkészítésével ábrázoltuk az értékeket, hogy a lejátszódó folyamatok jól követhetőek legyenek.

Az összes mért és számított adatot ábrázoltunk a hőmérséklet emelkedésének függvényében. Azért ezt a független változót választottuk, mert leginkább ennek a változásával magyarázható majdnem minden adat változása. Gondolhatunk itt az ellenállásra, nyomásnövekedésre, áramerősségre, stb. Vizsgáltuk még az oldat ellenállása és teljesítménye közötti változásokat is az idő függvényében.

4.1 Mérések állandó feszültségen

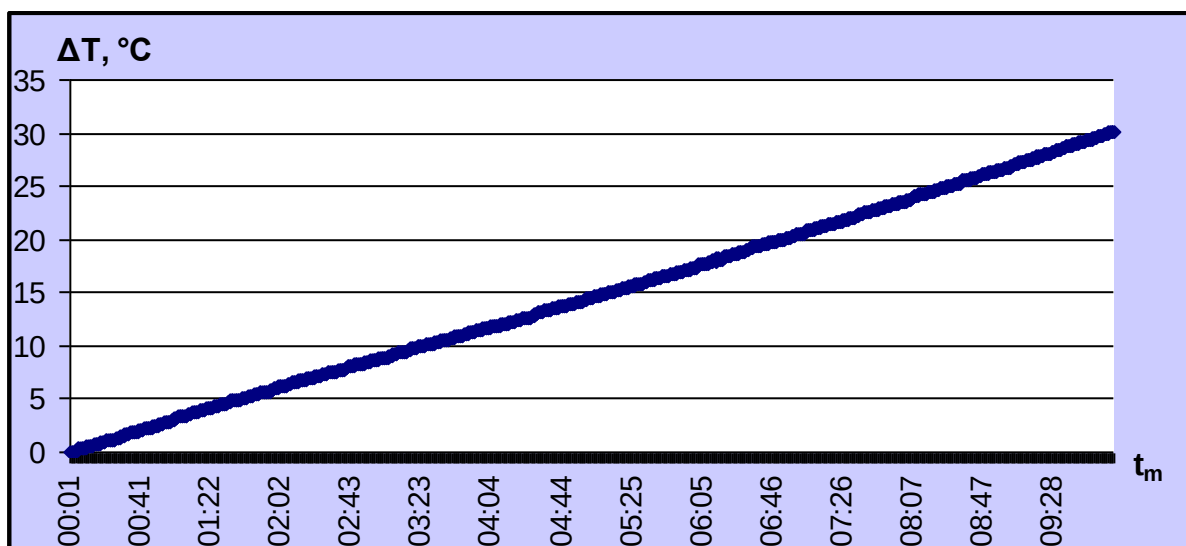
Ebben a mérés típusban a feszültséget először 90V-os értékre állítottuk be, majd 10V-onként emeltük az értékét 130V-ig. Ez összesen 5 ilyen típusú mérést jelentett.

Minden különböző feszültségen azonosan lejátszódó folyamatokat tapasztaltunk. Annyi különbséggel, hogy magasabb feszültségen gyorsabb volt a hőmérsékletemelkedés, és így minden más változás is gyorsabban zajlott le. Ez a diagramokon meredekebb görbét jelentett.

Vegyük alapul a 130V-tal táplált mérést, mert ezen látszanak leginkább a görbék jellege. Ezen keresztül láthatjuk a valósághoz legjobban közelítő eredményeket.

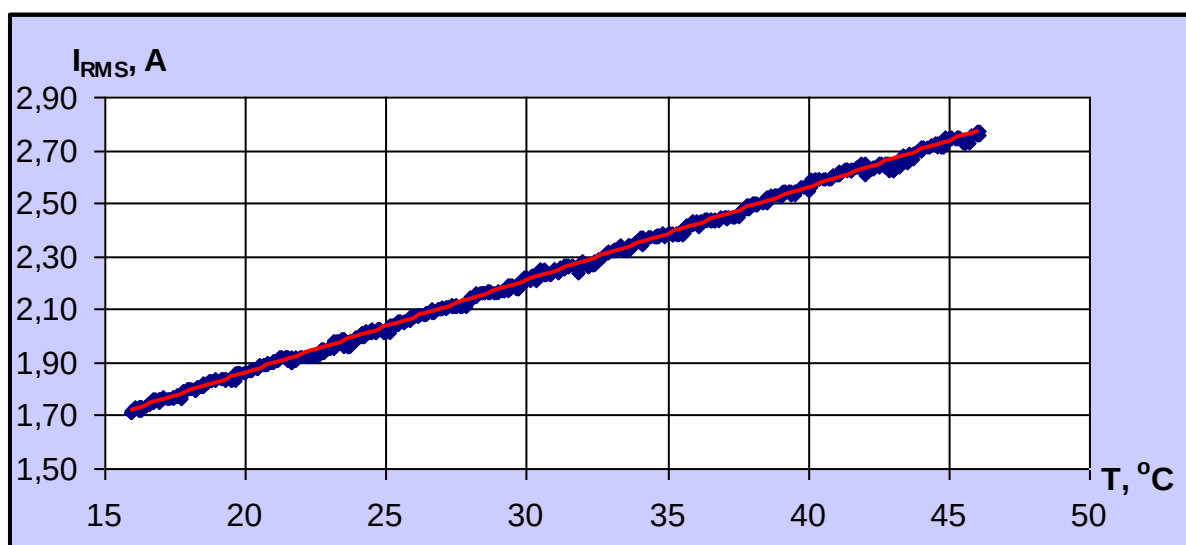
A kísérletek során a legszembetűnőbb érték a hőmérséklet gyors emelkedése volt. 3 és fél perc elteltével már 10°C-os hőemelkedést tapasztaltunk, és az általunk meghatározott 10 perc

eltelte után közel 30°C-kal emelkedett a hőmérséklet, a kezdeti 15°C-hoz képest. Gyakorlatilag lineárisnak tekinthetjük ezt a hőemelkedés (10. ábra).



10. ábra: A hőmérséklet emelkedése az idő függvényében

Az áramerősség a hőmérséklethez hasonlóan egy lineáris görbe mentén gyorsan növekedett (11. ábra).

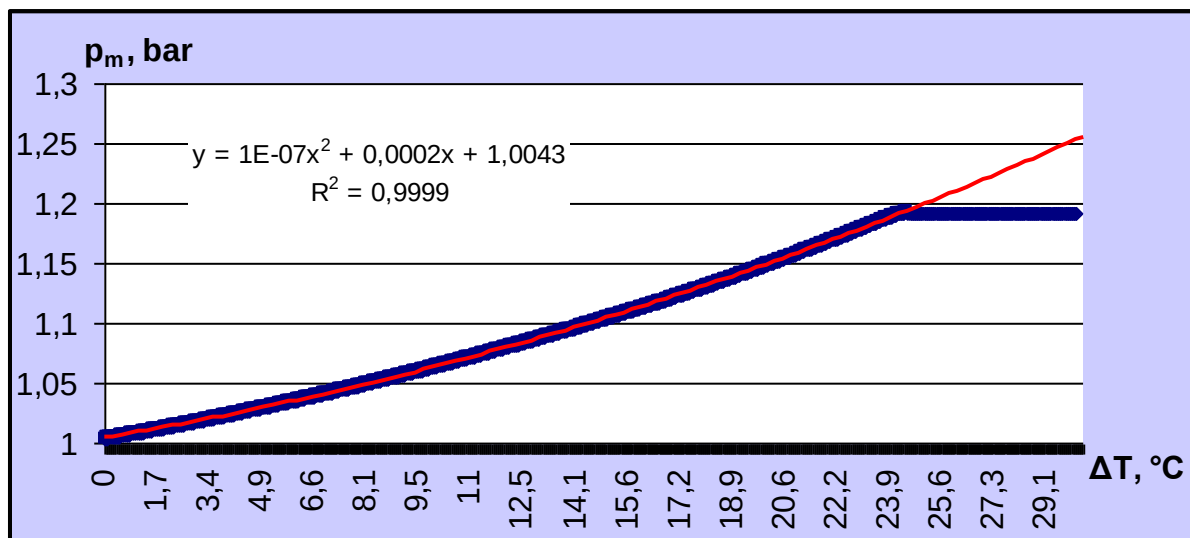


11. ábra: Az áramerősség hőmérséklet függése

Mind a hőmérséklet mind az áramerősség változása a várt eredményeknek megfelelően változott, a váratlan mindebben annyi volt, hogy milyen dinamikusan játszódtak le a folyamatok.

A nyomás emelkedése, azért volt érdekes adat számunkra, mert az elméleti számítások során, csak egy közelítő értéket kaptunk, nem tudtunk pontos értéket meghatározni a nyomás

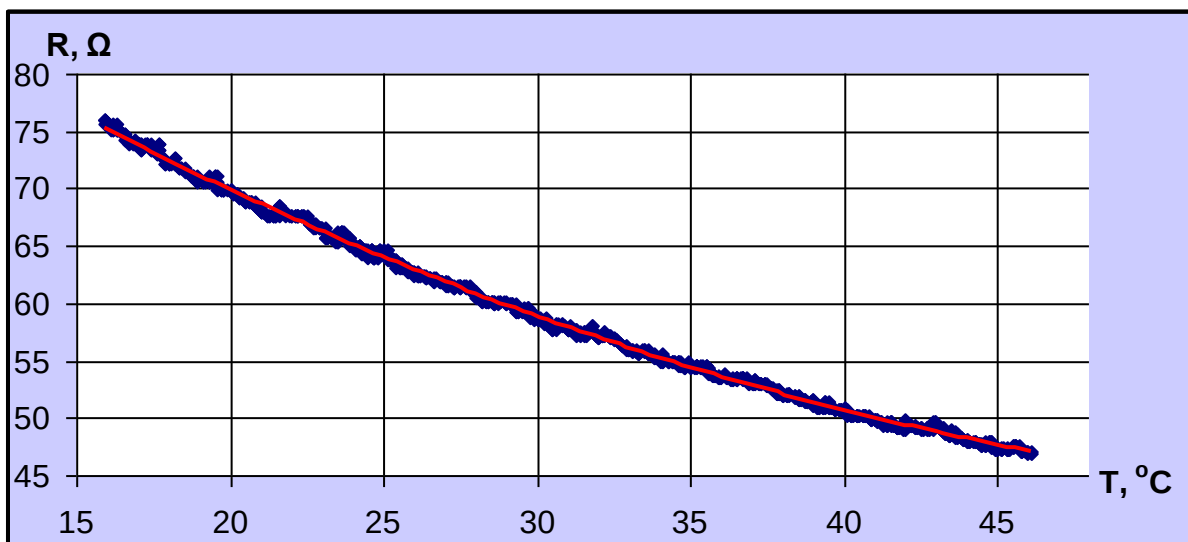
emelkedésére. A nyomástávadó átmeneti függvényéből és megadott grafikonjából egy lineáris emelkedésre számítottunk. Ezzel ellentétben a 130V-os mérés során már határozottan látszik a görbéből, hogy egy nem lineáris változásról van szó. Ez az előző mérésekből (90V, 100V, 110V, 120V) nem látszódott biztosan (12.ábra).



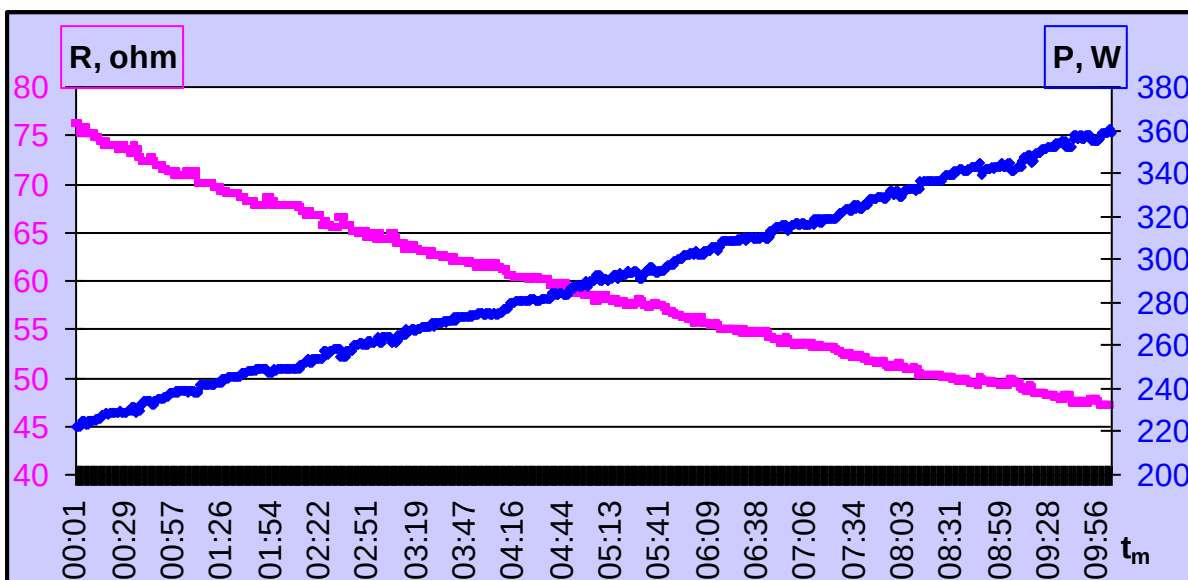
12. ábra: A nyomás hőmérséklet függése és közelítése az y függvénnyel

A nyomástávadó úgy lett kialakítva, hogy megközelítőleg 1,2 bar-os értékig mérjen, ennél nagyobb nyomást sajnos már nem képes érzékelni. Ezért a diagramon egy közelítést használtunk a nyomás 1,2 bar feletti értékének meghatározására (12. ábra). Az így közelített teljes nyomásváltozás 0,25 bar körül határozható meg. Ez nem túl nagy nyomásnövekedés. Ha feltételezzük, hogy magasabb hőmérsékletre melegítjük fel a folyadékot (~75°C) a nyomásnövekedés akkor sem haladja meg a (durván becsülve) 0,8 bar-os értéket.

Az ellenállás is a várakozásaink szerint változott. Egy folyamatosan csökkenő értéket mutat. Ez logikusan következik az áramerősség növekedéséből, ha a feszültség állandó. Ezt a jelenséget tulajdoníthatjuk a sóoldatok negatív hőfoktényezőjének. A teljesítmény természetesen az ellentettje az ellenállásnak, ahogy az ellenállás csökken, úgy nő a teljesítmény értéke (13.-14. ábrák).

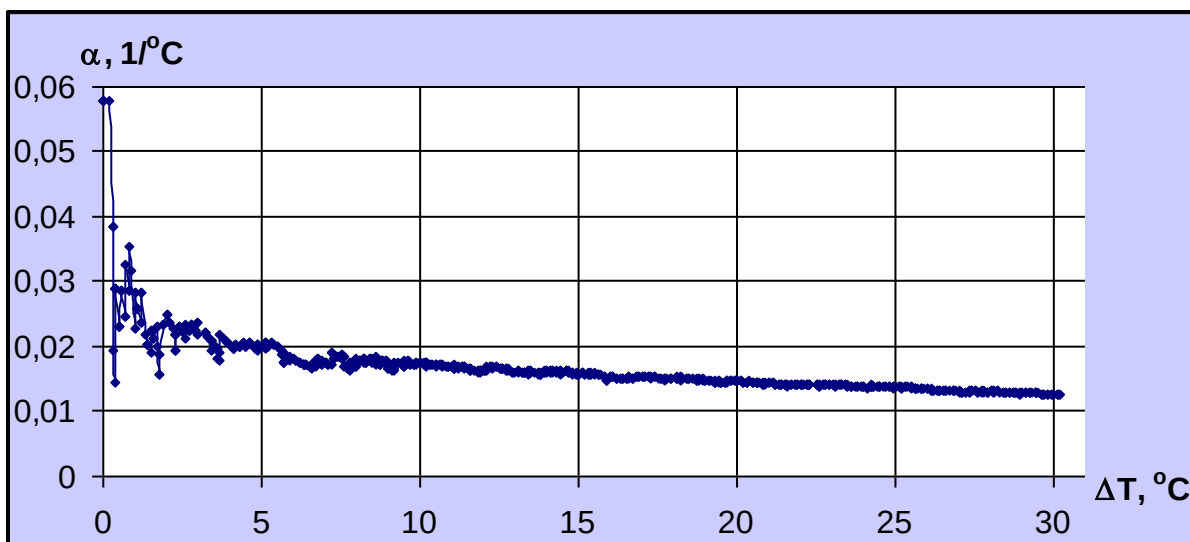


13. ábra: Az ellenállás hőmérséklet függése



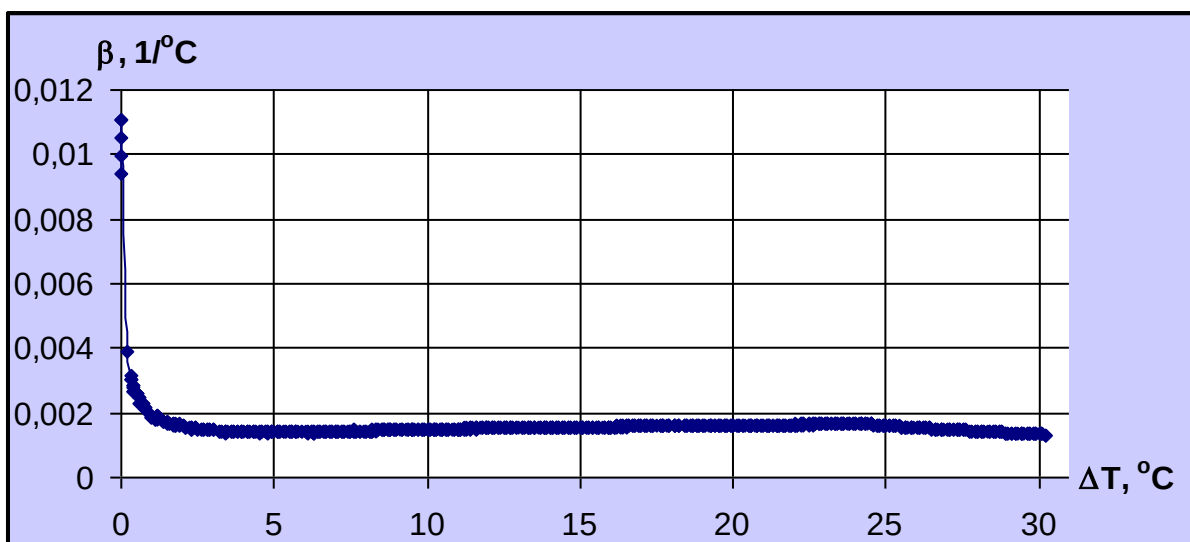
14. ábra: Az ellenállás és a teljesítmény változásának viszonya

A negatív hőfoktényező kiszámítása volt a lényegi kérdése az egész elméleti feltételezéseknek. Ennek a mérése közvetlenül nem volt kivitelezhető, a számítása viszont igen. A kísérletek során $1/x$ függvény szerint csökkenő görbét kaptunk, amely a hőmérséklet emelkedésével egyre inkább közelít egy nullához közeli értékhez. Ha megvizsgáljuk a görbét, láthatjuk, hogy 5-10 $^{\circ}\text{C}$ -os hőemelkedés után már nem igazán változik, a görbe ellaposodik, és tartja az értékét (15. ábra).



15. ábra: Hőfoktényező hőmérséklet függése

A folyadék hő tágulásánál valami hasonlóan lejátszódó folyamatot figyelhetünk meg. A görbe szintén $1/x$ függvény, de sokkal dinamikusabban lejátszódó folyamatra utal. Látható, hogy $2\text{-}3^\circ\text{C}$ -os hőmérsékletváltozás után már jelentősen nem változik a görbe értéke. Ebből arra következtethetünk, hogy a kezdeti $2\text{-}3^\circ\text{C}$ -os hőemelkedés után a folyadék hőtágulása konstans érték lesz. Csak a melegítés kezdetén nő jelentősebben meg a térfogat, utána egy állandó értékkel tágul folyamatosan (16. ábra)

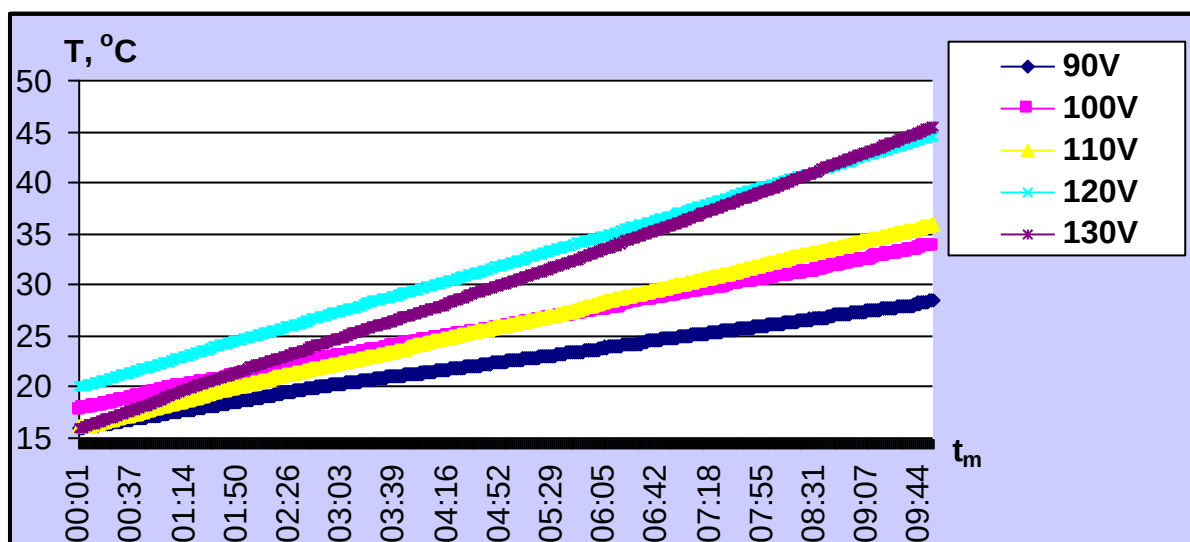


16. ábra: A hőtágulási együttható hőmérséklet függése

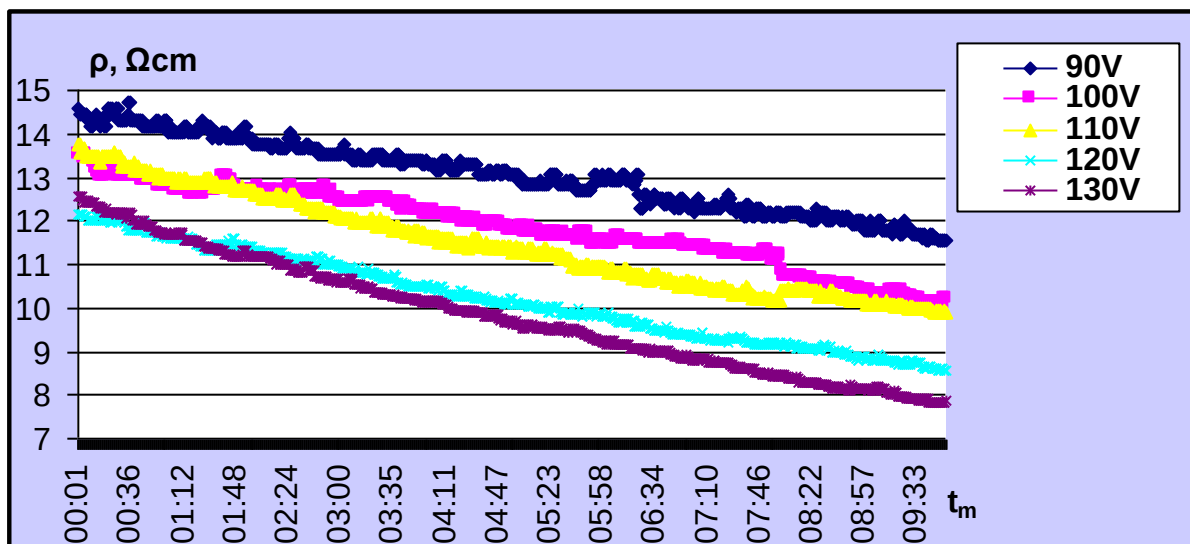
4.2 Mérések összehasonlítása

A különböző feszültségen történő mérések összehasonlítása során a következő ábrákat megfigyelve egyértelműen látszódnak a különbségek.

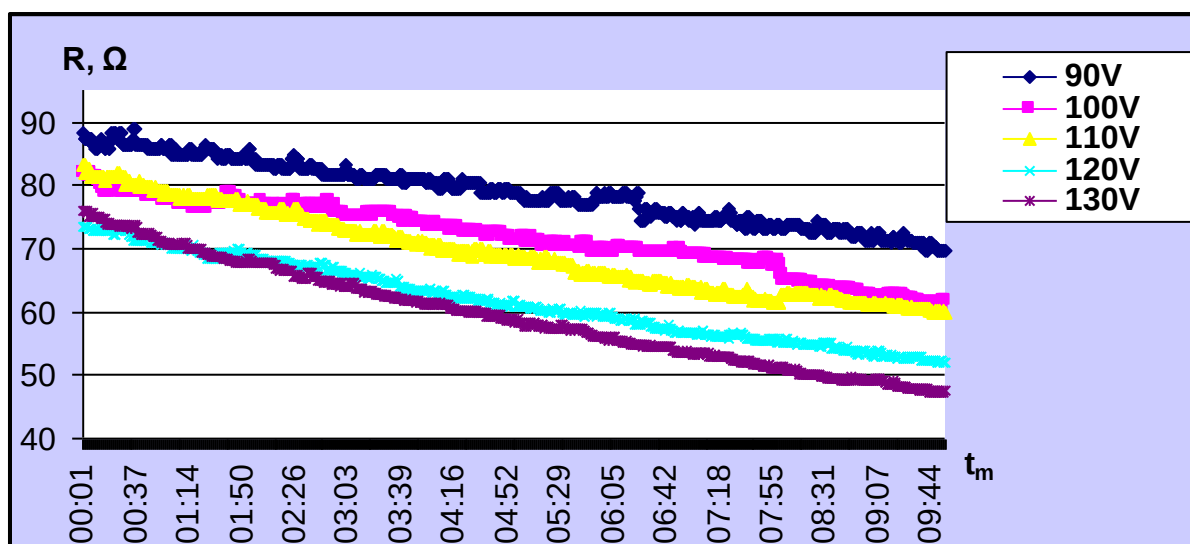
A feszültség növelésével sokkal gyorsabb, dinamikusabb folyamat játszódik le. A hőmérséklet gyorsabb emelkedésével intenzívebben csökkenő fajlagos ellenállást figyelhettünk meg. Ebből logikusan következik, és a mérési eredmények is azt mutatták, hogy az ellenállás nagyobb mértékben csökken és az áramerősség is gyorsabban emelkedik, mint amikor alacsonyabb feszültséggel tápláljuk az oldatot. Mivel az ellenállás meredekebben csökken, így a teljesítmény is meredekebben nő. A nyomásváltozás is hasonló módon történik, nagyobb feszültségen gyorsabban emelkedő görbét kaptunk. Ezek az eredmények az alábbi diagramokon jól megfigyelhetők (17.-18.-19.-20.-21.-22. ábrák).



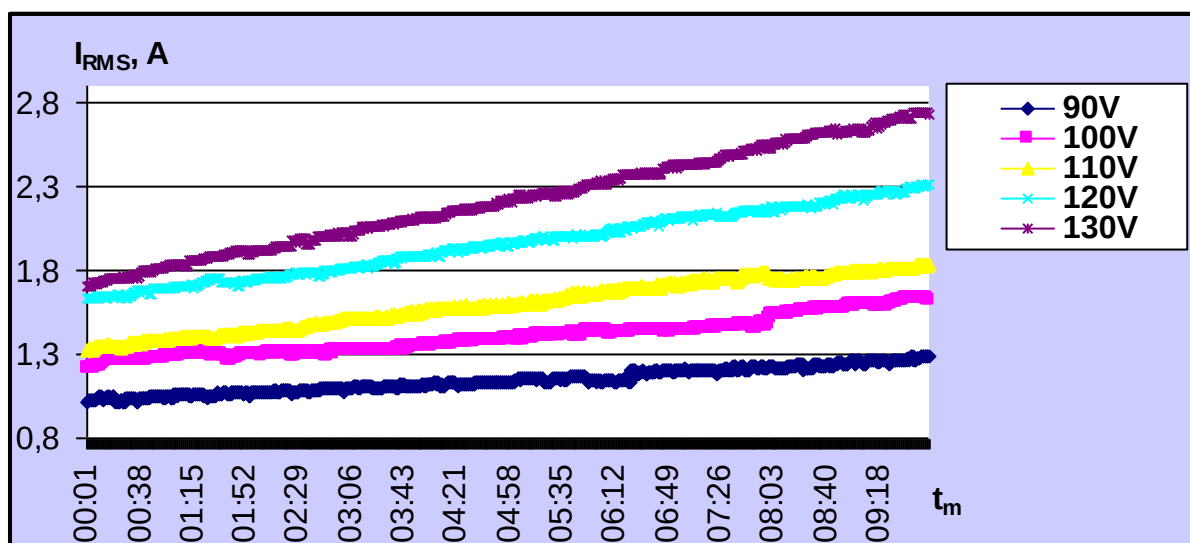
17. ábra: Hőmérsékletemelkedés



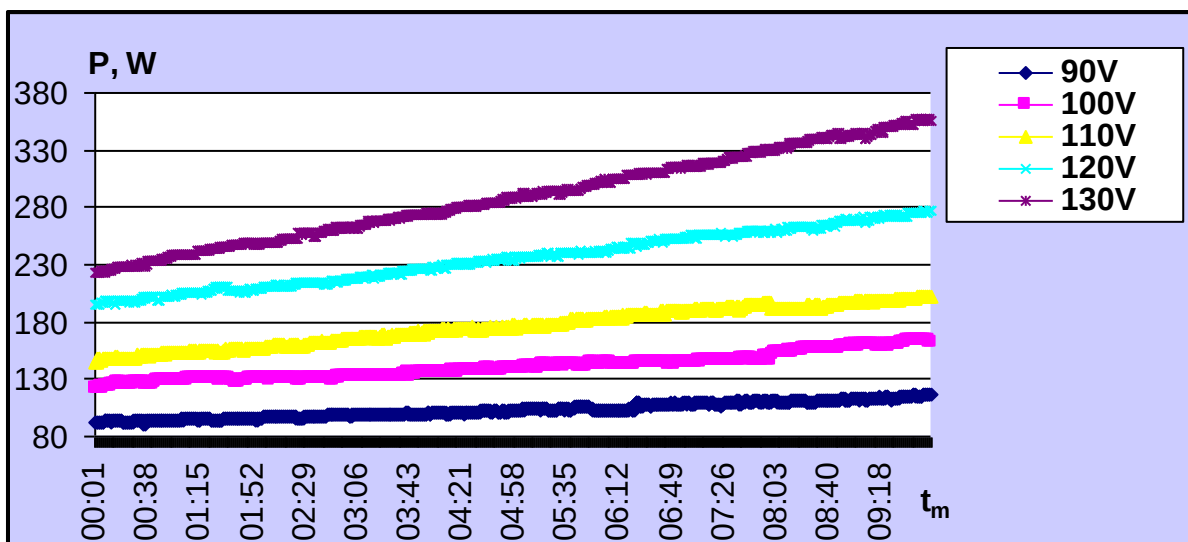
18. ábra: Fajlagos ellenállás változása



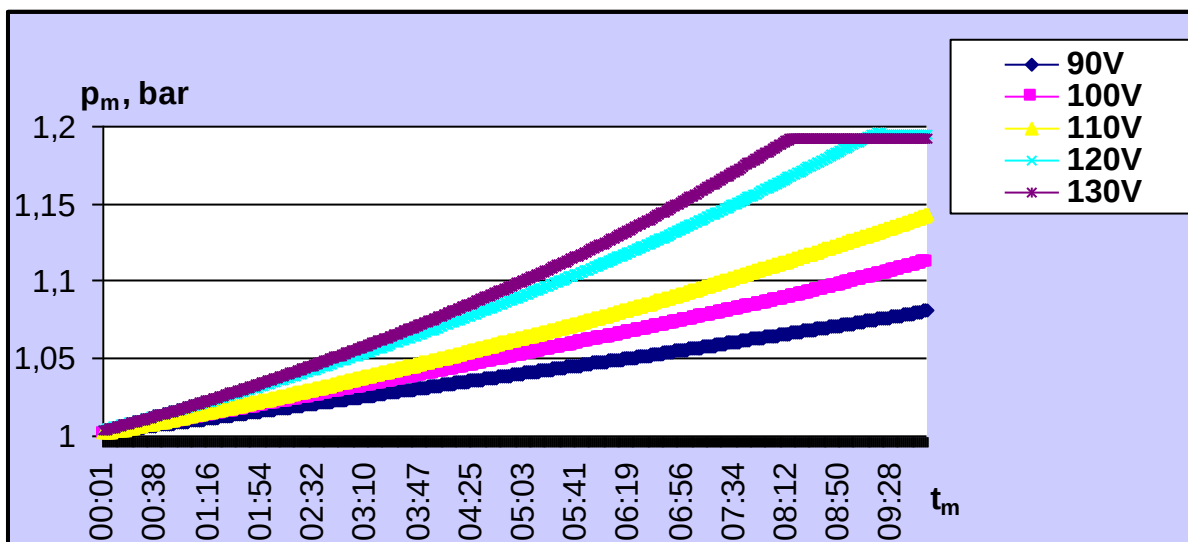
19. ábra: Ellenállás csökkenés



20. ábra: Áramerősség változás

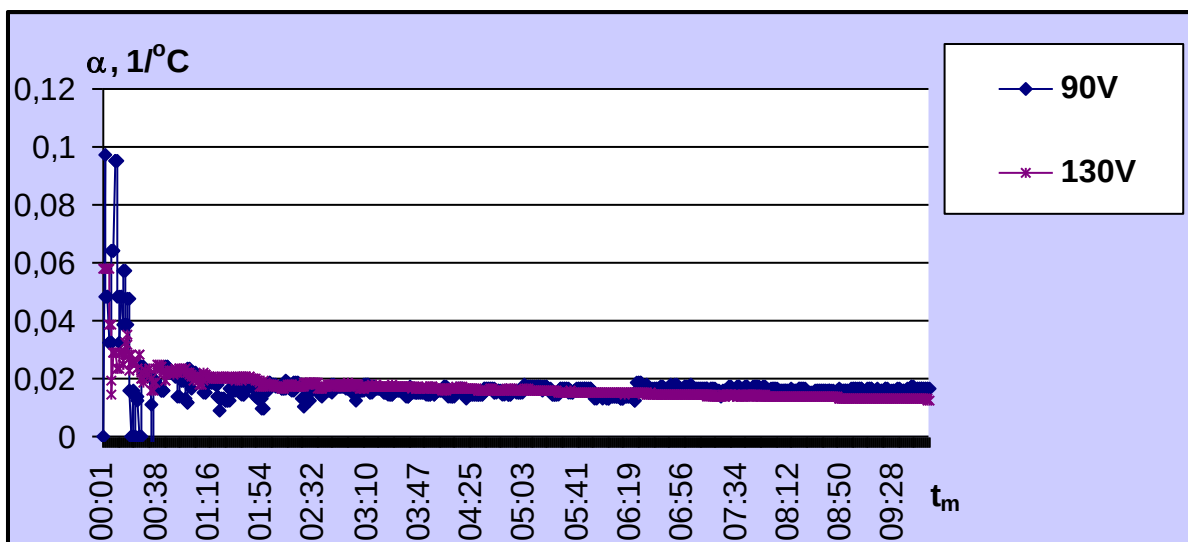


21. ábra: Teljesítménynövekedés

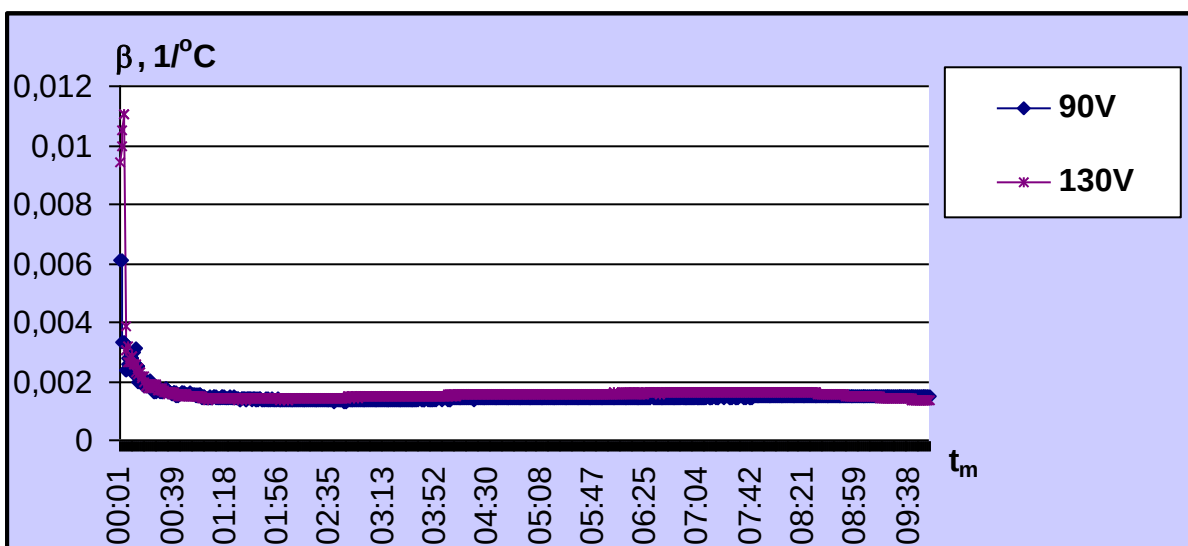


22. ábra: Nyomásnövekedés

Nem nagymértékű eltérést egyedül csak a hőtágulási együtthatónál és a hőfoktényezőnél tapasztaltunk. Természetesen nem azonos görbéket kaptunk, de nagyon hasonlókat. A különbség annyi, ami látszik is a diagramokból, hogy egy gyorsabban letörő, meredekebb görbe tartozik a nagyobb áramerősséghez. A diagramokban, csak a mért feszültségek két végletét ábrázoltuk (90V, 130V), a görbék nagy hasonlósága miatt (23. és 24. ábrák)



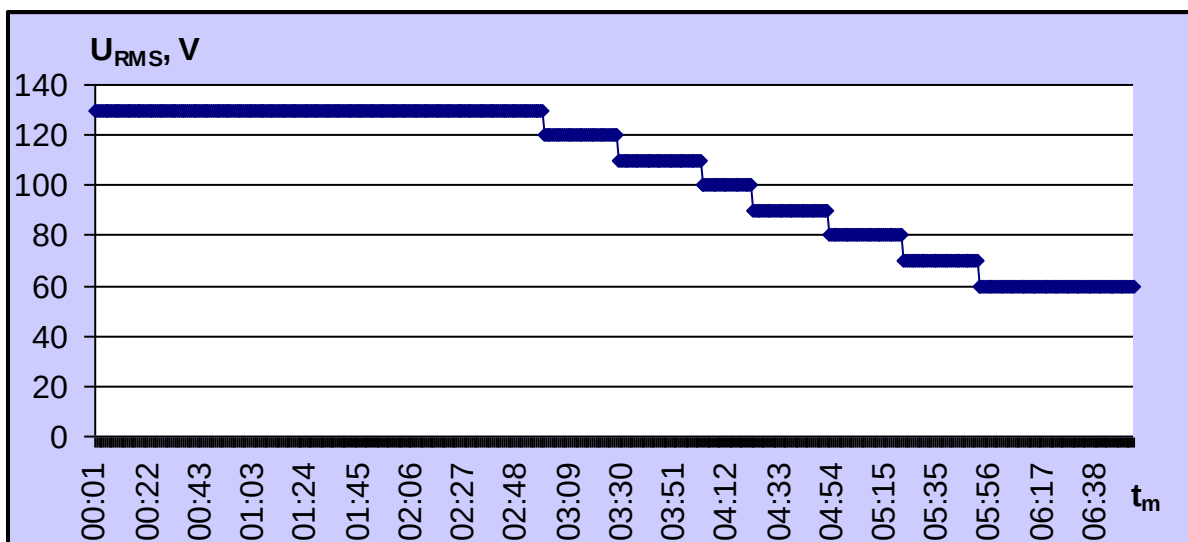
23. ábra: Hőtágulási együttható változása



24. ábra: Hőfoktényező változása

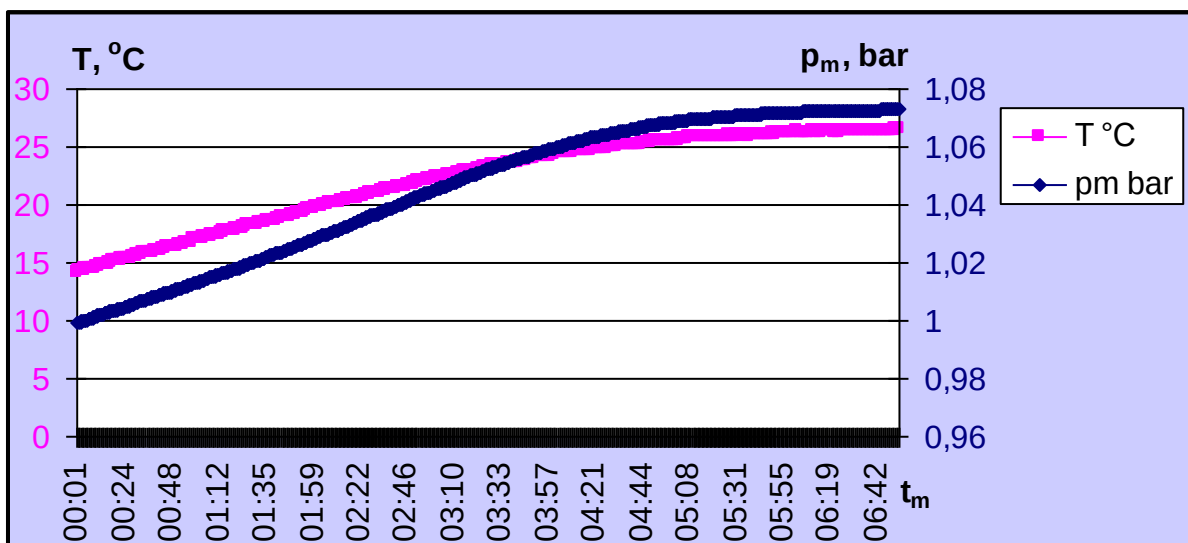
4.3 Mérés a feszültség folyamatos csökkentésével

Ezt a típusú mérést azért végeztük el, hogy adatokat kapjunk arról, hogy mégis mennyire öngerjesztő a folyamat. Milyen mértékig lehet a feszültséget csökkenteni, úgy hogy az oldatban továbbra is folytatódjon az ionvándorlás, és emelkedjen a hőmérséklet. Illetve energetikai szempontból hogyan változik a teljesítmény egy viszonylag folyamatos szabályozás esetén.



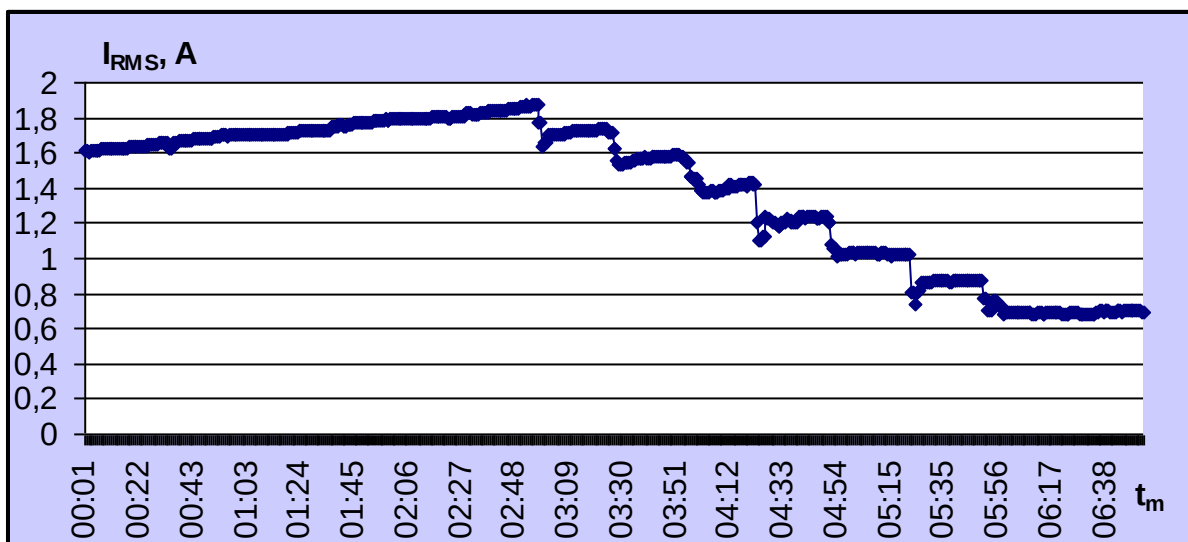
25. ábra: A feszültség lépcsőzetes csökkentése

A kiértékelés során megállapítottuk, hogy a feszültség csökkenésével a hőmérsékleti görbe és a nyomás görbe ellaposodik, de folyamatosan növekvő értéket mutat (26. ábra).

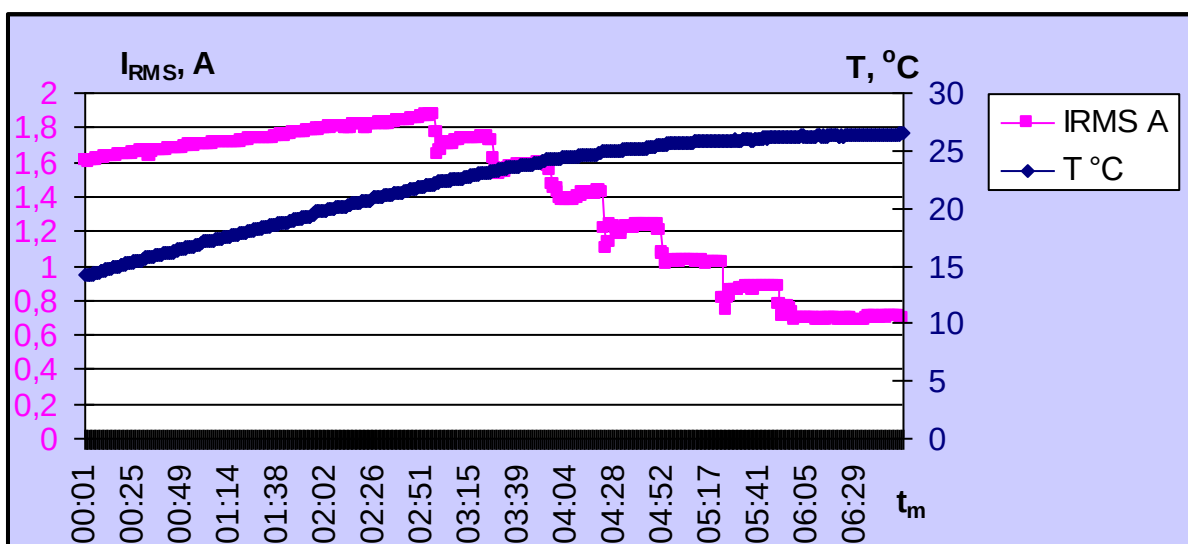


26. ábra: A hőmérséklet és nyomás időfüggése

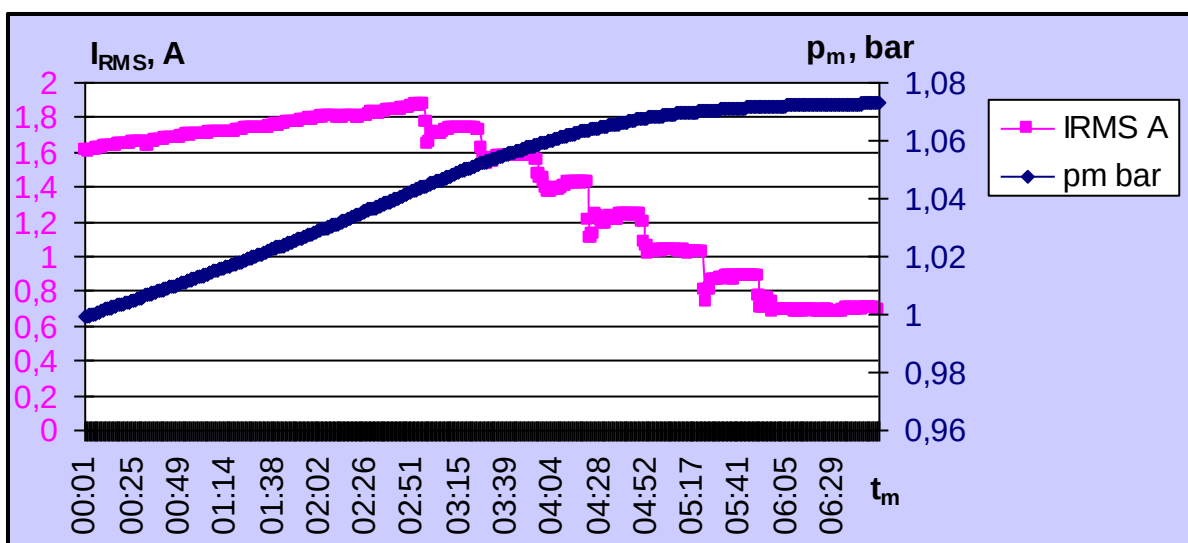
Az áramerősség a feszültséghez hasonlóan lépcsőzetes görbét ad. A feszültséggel ellentétben azonban a hirtelen csökkenés után, újra egy monoton emelkedő jelleget mutat. Ebből kiderül, hogy az ellenállás értéke is hasonló jellegű. A feszültség csökkenésével lépcsőzetesen csökken az ellenállás is (27.-28.-29.-30. ábrák).



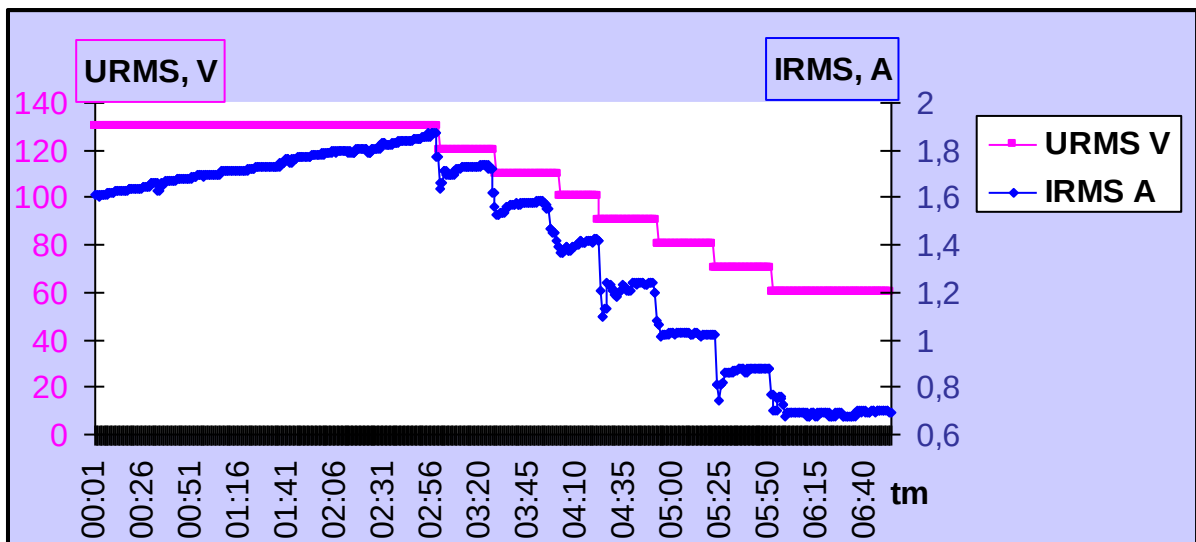
27. ábra: Az áramerősség változása



28. ábra: Az áramerősség és a hőmérséklet viszonya

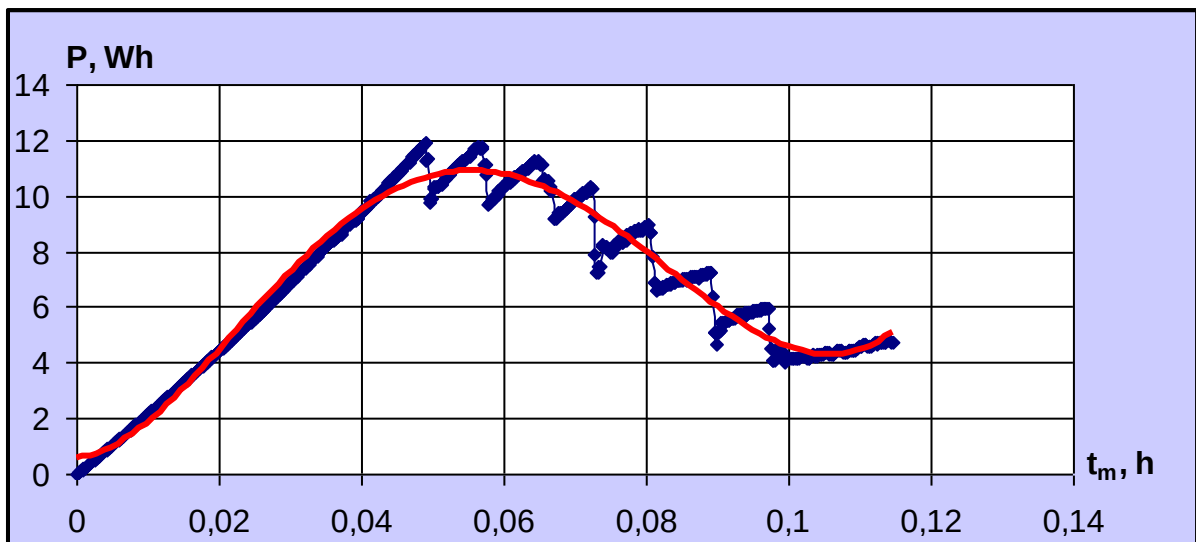


29. ábra: Az áramerősség és a nyomás viszonya



30. ábra: Az áramerősség változása a feszültség csökkenésével

A teljesítmény görbéje igencsak kifejező. Megfigyelhető, hogy a feszültség csökkentésével az áramdíjas teljesítmény rohamosan csökken (31. ábra). Mivel a folyamat öngerjesztő, ezért a feszültséget mindig lehet egy kicsit visszaszabályozni, ha például a hőmérséklet a választott szabályozandó paraméterünk. Tehát a teljesítmény is hasonló módon folyamatosan csökkeni fog, amíg a feszültség csökken. Ez energetikai szempontból rendkívül előnyös, mert így csökkenthetjük az áramfogyasztást.



31. ábra: Az áramdíjas fogyasztás változása az idő függvényében

5 A szimulációs modell

A fentebb közölt számítási algoritmus (8. ábra) összefüggései alapján felépíthető a MATLAB® SIMULINK segítségével, egy olyan szabályozási modell, amellyel összehasonlíthatjuk a hagyományos és a negatív hőfoktényezős melegítési eljárást, melyeknek bemeneti paraméterei a következők (32. ábra):

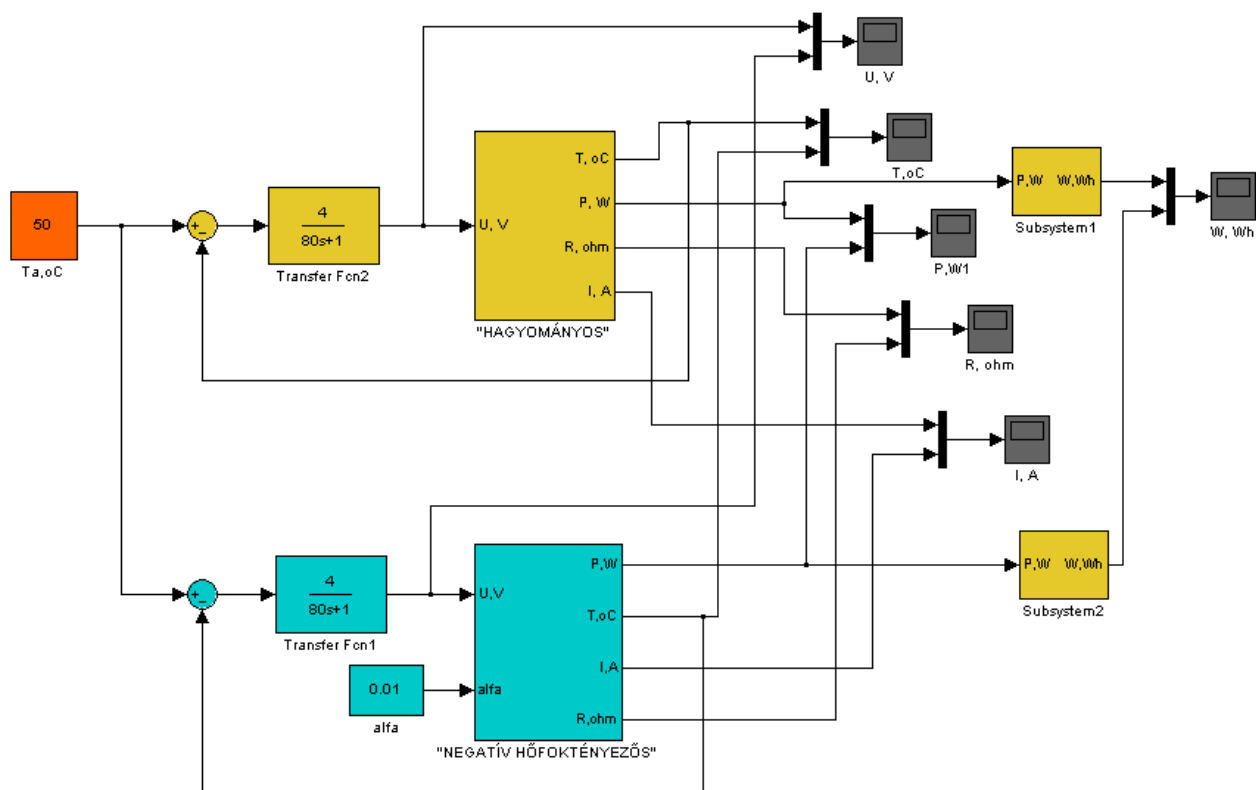
- a szabályozandó hőmérséklet,
- a tápfeszültség;
- az α -hőfoktényező;
- a melegítendő folyadék fajhője;
- a melegítendő folyadék tömege;
- hő-veszteségek;
- a melegített cső geometriai méretei;
- az elektródák elektrolittal érintkező hasznos felületei;
- a hőátadási tényező;

A modellek kimenetei a következők:

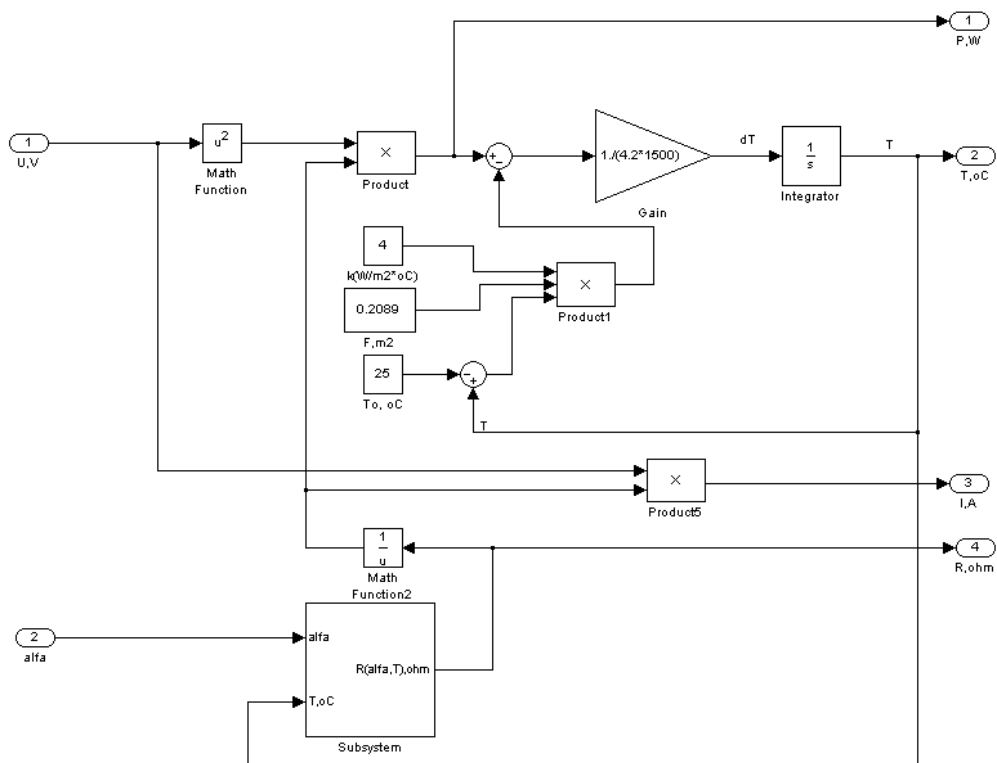
- a szabályozott tápfeszültségek $U(t)$ értékei;
- a rendszerek szabályozott jellemzői, azaz a kimeneti $T(t)$ hőmérsékletek;
- a rendszerek $P(t)$ teljesítmény értékei;
- az idő (és a hőmérséklet függvényében) változó folyadék-ellenállások $R(t)$ értékei;
- az $I(t)$ áramerősségek adatai;
- a vizsgált rendszerek $W(t)$ villamos energia fogyasztásai.

A szabályozandó hőmérséklet (az alapjel), a rendszerek bemenetére kerülő 50 °C-os hőmérséklet, amely T_1 -tagokon, mint szabályozókon keresztül hat a hőtechnikai modellekre. A modellek $T(t)$ szabályozott jellemzői, negatív visszacsatolással jutnak a különbségképzőkre, ahol a hibajelek kialakítása megtörténik, és amelyek alapján létrejön a szabályozás.

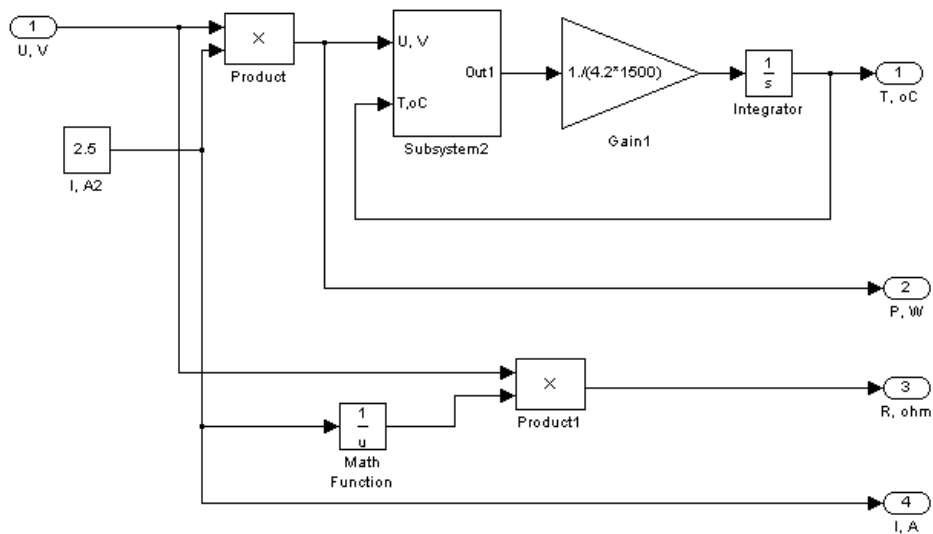
A vizsgált hőtechnikai egységek „HAGYOMÁNYOS” és „NEGATÍV HŐFOKTÉNYEZŐS” jelölésekkel egy-egy tömbösített blokkban vannak, melyek belső, részletes hatásvázlatok láthatóak a 33. és 34. ábrákon.



32. ábra: A vizsgált rendszer MATLAB® SIMULINK hatásvázlata



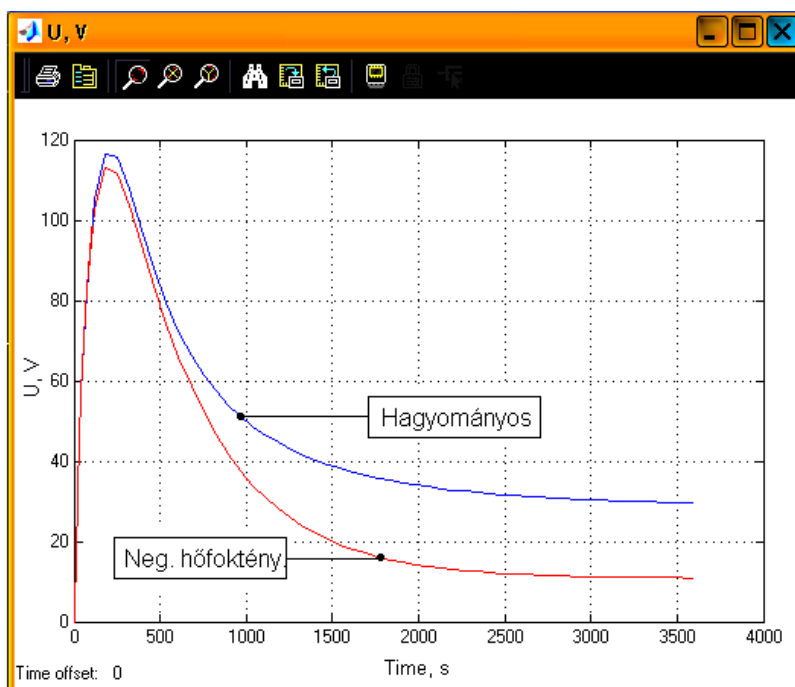
33. ábra: A vizsgált „NEGATÍV HŐFOKTÉNYEZŐS”-alrendszer SIMULINK hatásvázlata



34. ábra: A vizsgált „HAGYOMÁNYOS”-alrendszer SIMULINK hatásvázlata

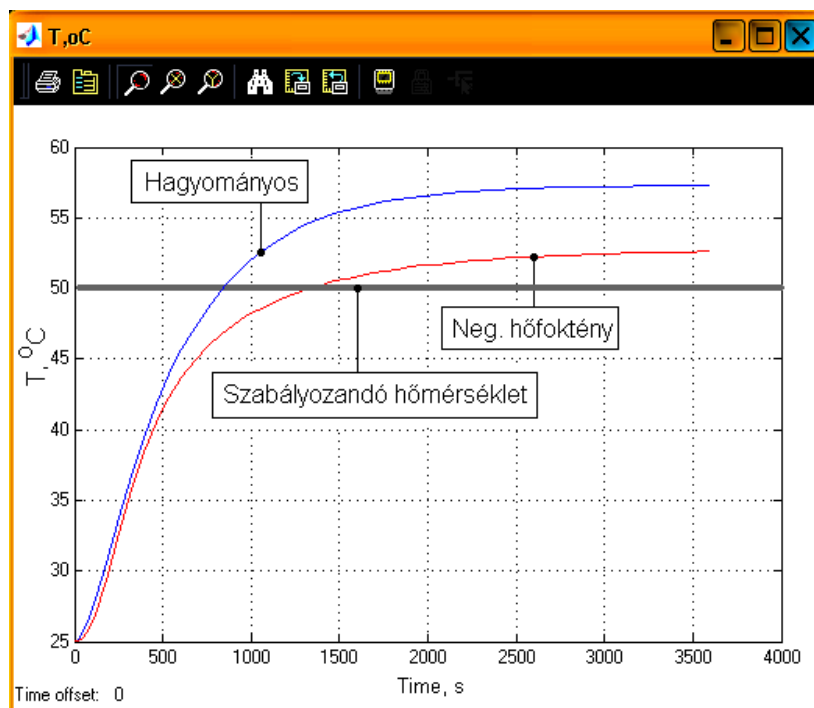
A szimuláció eredményei, azok a lényegesebb kimeneti paraméterek, amelyeknek összehasonlításaival levonhatjuk a következőket:

- a „NEGATÍV HŐFOKTÉNYEZŐS”-modell alacsonyabb feszültségen oldja meg a szabályozást 35. ábra):



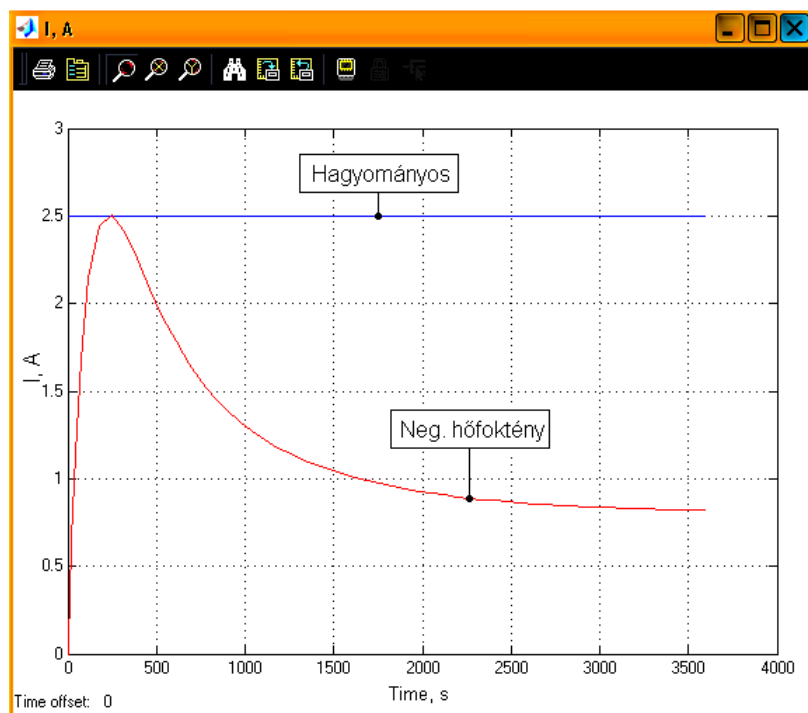
35. ábra: A vizsgált rendszer U(t) szimulációs eredménye

- az előbbi eljárás kisebb maradó hibával szabályoz (ez tovább csökkenthető például egy méretezett PID-szabályozóval) (36. ábra):

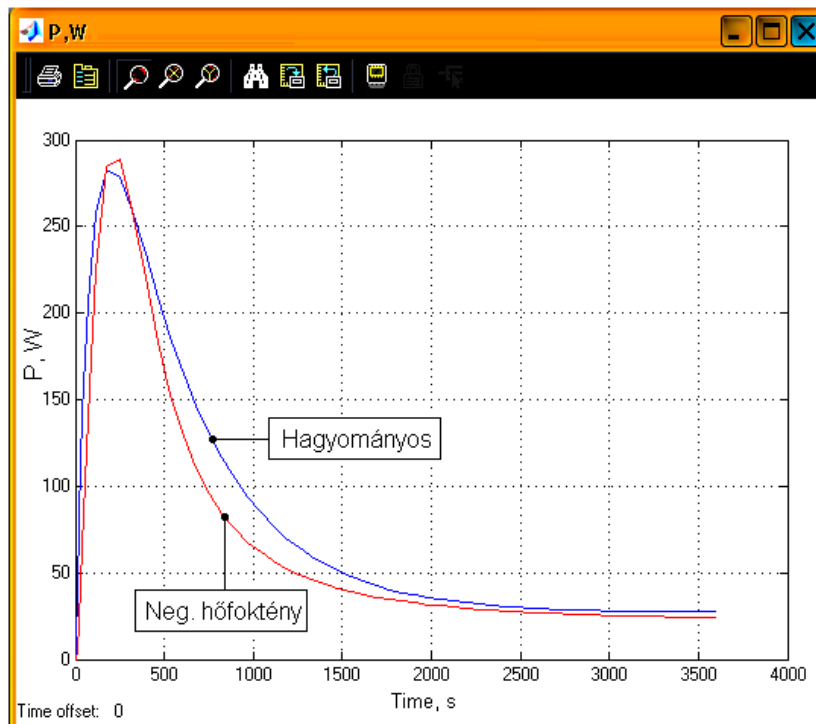


36. ábra: A vizsgált rendszer $T(t)$ szimulációs eredménye

- a szimuláció egyértelműen bizonyítja az $I(t)$ és $P(t)$ függvények alapján a negatív hőfoktényező eljárás előnyeit a hagyományossal szemben (37. 38. ábrák):

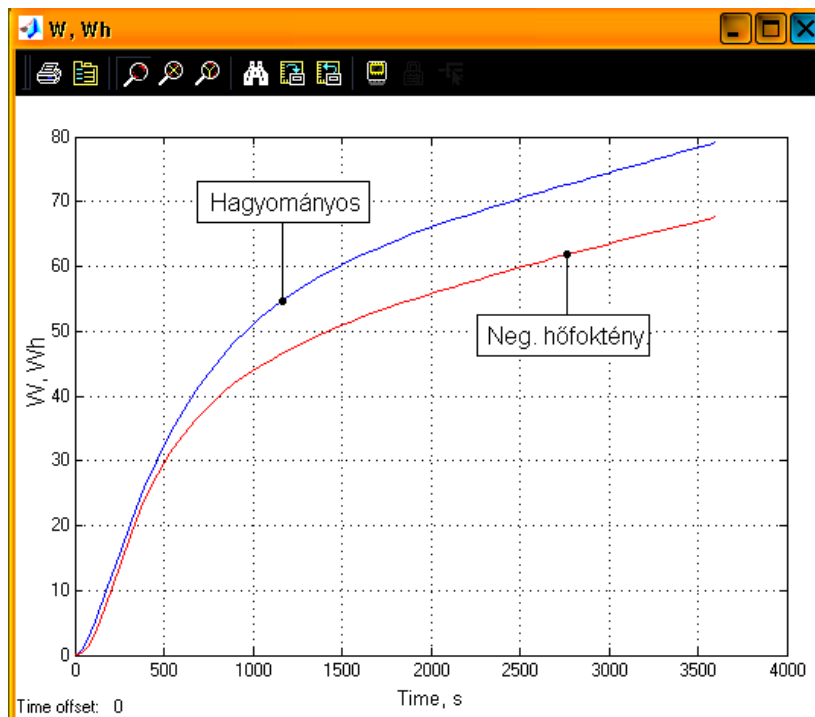


37. ábra: A vizsgált rendszer $I(t)$ szimulációs eredménye



38. ábra: A vizsgált rendszer $P(t)$ szimulációs eredménye

- szintén előnyt jelent a vizsgált elektrolitos melegítési eljárás kisebb villamos energia fogyasztása (39. ábra):



39. ábra: A vizsgált rendszer $W(t)$ szimulációs eredménye

6 Összegzés, következtetés

A mérési eredményeinkből tehát számos következtetést vonhatunk le. A rendszer egyértelműen alkalmas a villamos energia hőenergiává történő átalakítására, jó hatásfokkal. A szimulációs és a mérési diagramokból jól látható, hogy nem csak jobban szabályozható a rendszerünk, de költséghatékonyság szempontjából is jobb.

A távlati céljaink közt szerepel, hogy a rendszert alternatív fűtési, például padlófűtési rendszerként alkalmazhassuk. Ennek feltétele, hogy a jelenlegi eredményeiket felhasználva egy nagyobb, valóságot megközelítő rendszert építsünk és tesztelhessünk, bizonyítván a feltételezéseinket. Úgy gondoljuk, hogy a rendszer nem csak, hogy alkalmas, de sokkal megbízhatóbb és olcsóbb megoldás lenne egy lakás, ház, csarnok stb. fűtéséhez.

Az eljárással alacsonyabb tápfeszültséggel (gyakorlatilag törpeszültségen) lehet ugyanazt a hőmennyiséget előállítani, mint a hálózati középvezültségen, amely energetikai illetve érintésvédelmi szempontból lényeges előny lehet.

A fűtési módszer a hálózatot tisztán „ohm”-os, valós terhelésként terheli, nincs reaktancia, nincs fázistolás, amely nagyobb, ipari méretű alkalmazás területén is jelenthet valódi kézzel fogható előnyt.

Nincs hő-veszteség, mivel a hő közvetlenül a melegítendő folyadékban keletkezik, ellentétben például egy kazán-szivattyú-vezetékrendszer-melegítőszakasz hagyományos eljárásnál alkalmazott módszerrel. A „megtermelt” hőmennyiség gyakorlatilag teljes egészében a melegítőszakaszban jelenik meg, így a fűtési hatásfok jóval nagyobb. Nem kell a meleg vizet szivattyúzni, szállítani, amivel jelentős hőveszteségek keletkeznek.

A víz magas fajhője miatt, a hőenergia tárolása jobb, mint az olajba ágyazott villamos-fűtőszálas megoldás.

A hőfokszabályozás pontosabban oldható meg, (kisebbek a szabályozási lengések mivel a szabályozás közvetlenül a tápfeszültség oldalon, gyorsabban valósul meg, ellentétben a hagyományos fűtési rendszerekkel, ahol vagy a kazánoldalon, vagy a szivattyú-oldalon történik a beavatkozás). A szabályozás nem csak a hőmérsékletre, hanem a rendszerben keletkező nyomás alapján is elvégezhető.

Egyszerű kivitel, (kisebb kivitelezési költség), nagyobb üzemképesség (nincs kazán, szivattyú, nem szükséges légtelenítő tartály, egyéb segédberendezések, csapok, szelepek, vezérlés stb.).

Csőhálózatnál (például padlófűtésnél) a melegítő folyadék nincs keringtetve, így a teljes felületre egyenletesebb a hő-eloszlás. Az eljárás megfelelő átalakítással a háztartási cirkó-fűtés kazánjainál is alkalmazható. A fentiek alapján látható, hogy számos előnye lehet egy ilyen típusú fűtési rendszer kiépítésének.

A gyakorlati megvalósításhoz, illetve a további mérések elvégzéséhez sajnos egyelőre nem áll rendelkezésünkre megfelelő anyagi tőke, ugyanakkor bizakodást jelenthet számunkra, hogy az ionáramlás természetéből adódóan a csővezetékek ugyanolyan formában lefektethetők lennének, mint egy ma is használatos padlófűtésnél, vagyis nem kell újabb technológiát kidolgozni a rendszer megépítésére.

A későbbi rendszer természetesen további lehetőségeket vetít előre. Tapasztalván a világban egyre nagyobb teret elfoglaló alternatív (nem fosszilis kőolajszármazékokból nyert) energiaforrásokat. Ez a rendszer kiválóan párosítható lenne adott esetben egy napenergiát felhasználó villamos energiát előállító rendszerrel. A lehetséges fűtési-, vízmelegítési- vagy egyéb rendszerben történő alkalmazásnak előnyeivel most nem foglalkoztunk, de ilyen szempontból, akár teljesen függetleníthetjük a háztartásunkat, ipari rendszerünket a közszolgáltatóktól. Egy ilyen típusú komplexum gyakorlati megvalósításnak elképzelése természetesen még csak távlati, de az elméleti alapok már minden szempontból adottak és további kutatásokra adhat okot.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Báder Imre: Alkalmazott elektrokémia, oktatási segédlet doktorandusz-hallgatók részére, Miskolc, 2006
- [2] Preisich Miklós Bevezetés az elektrokémiába Műszaki könyvkiadó Budapest 1960
- [3] How to Increase the Accuracy of Solution Conductivity Measurements Robert C. Hunt — Sensor Development, Inc. — © 1995
- [4] Molality-based primary standards of electrolytic conductivity, IUPAC Technical Report 2001 National Institute of Standards and Technology USA