



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

Mágneses térrel irányított égés

TDK DOLGOZAT

Készítette:

Kiss Gergely, File István Tamás

Konzulens:

Dr. Vajda István

2012. október 29.

1. Bevezetés

A mágneses tér lángra gyakorolt hatásáról már Faraday felfedezése óta tudunk. Ő a XIX. század közepén végzett kísérletei során figyelte fel arra, hogy a gyertya lángjának alakja némiképp megváltozik mágneset közelítve hozzá. A jelenség létrejöttének nagyon fontos tényezője maga a mágnes, illetve az elrendezés, másrészt pedig a láng vezetőképessége, a benne lévő töltéshordozók száma.

A témát MTA-s kezdeményezésre kezdtük el kutatni. Az alapprobléma annak vizsgálata volt, hogy növelhető-e azáltal a belső égésű motor hatásfoka, hogy nem engedjük az égő gáztömeget a hengerdugattyú falának ütközni, ezáltal az itt elvesző hőenergia a rendszerben maradna.

A kutatás első fázisait, úgymint az elméleti-fizikai modellek kialakítását a tanterv szerinti Önálló laboratórium I. és II. tárgy keretein belül végeztük, a TDK dolgozatunk témája pedig egy olyan elrendezés-kísérlet kialakítása, mely szemlélteti, illetve szemmel láthatóvá teszi a Faraday által megfigyelt jelenséget. Ez a lépés kulcsfontosságú annak eldöntésében, hogy a hatás elegendően számottevő-e olyan szempontból, hogy tovább kísérletezzünk, kutassunk-e vele, esetleg alkalmazható lenne-e az eredetileg kigondolt alkalmazásban.

A dolgozat első részeiben kitérünk a kísérletek elvégzéséhez szükséges elméleti háttérre (összefoglalás szerűen), a kialakított modellünkre. A továbbiakban ismertetésre kerül a kigondolt elrendezés, bemutatásra kerülnek a kísérleti eredmények, valamint a kísérletek mellett elvégzett szimulációk eredményei.

2. Elméleti háttér

Ahogy a bevezetőben is említettük, a jelenség létrejöttét két alapvető fizikai hatás hozza létre. Egyrészt a mágnes által a lángra kifejtett erő, másrészt pedig magában a lángban lévő töltéshordozók száma, amikre tud hatni a mágnes.

2.1. Mágneses erő

A mágneses tér a töltött részecskékre az alábbi erővel hat:

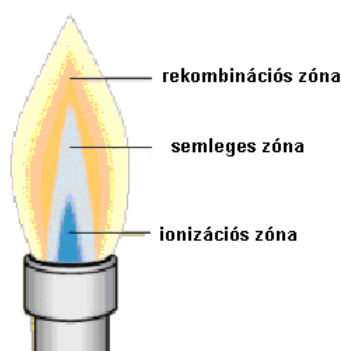
$$f_m = \frac{1}{2} \frac{\chi}{\rho \mu_0} \nabla B^2 = B \nabla B$$

Magyarán az indukció nagyságának, illetve a gradiensének a szorzataként áll elő. Nagy indukciókat ritkaföldfém mágnesekkel, megfelelően kialakított tekercseléssel, esetleg szupravezetővel tudnánk elérni, jó gradienst pedig a megfelelően kialakított geometriával. A két lehetőséghez egy optimálisnak tűnő metszete volt számunkra egy vasmagos te-

keres választása, ahol a megfelelő nagyságú indukciót a ráadott gerjesztéssel tudjuk biztosítani, a gradienst pedig a vasmag légrésének geometriájával határozhatjuk meg (2. ábra). A láng elképzelhető diamágneses vezető anyagként, melyben a változó mágneses térben feszültség indukál, illetve áramló ionok halmazaként is, melyekre mágneses térben bizonyos irányú erő hat. Mivel a maga a mágneses tér nem csak a lángban lévő töltött részecskékre hat, hanem a lángot "körülölelő" oxigén molekulákra is, amik paramágnesesek. Ezek a molekulák egyfajta buborékot képeznek a láng körül, ami összenyomhatja - megnyújthatja a benne „lévő” lángot [Khaldi, Gillon]. Az elrendezés a dolgozat későbbi részében kerül ismertetésre.

2.2. A láng vezetőképessége

A láng vezetőképessége a benne lévő töltéshordozók mennyiségétől függ. A lángban a magas hőmérséklet hatására ionizáció következik be, vagyis a semleges molekulákból ionok, illetve szabadon mozgó elektronok jönnek létre.



1. ábra. A láng részei

Ahogy az 1. ábrán látható, ez az ionizációs zónában történik meg, kb. 2000 [K] hőmérsékleten. A semleges zónában nem történik ionizáció/rekombináció, majd feljebb haladva a hőmérséklet csökkenésével történik meg a rekombinálódás semleges molekulákká. Ezek a semleges molekulák például a nitrogén, szénmonoxid, széndioxid, vízgőz.

Tehát a legtöbb töltéshordozó a semleges zónában van jelen, erre tudnánk hatni a legjobban a tekercsünkkel. Kérdés azonban, hogy az ionizáció után milyen arányban oszlanak el itt a pozitív-negatív ionok, illetve hogy mennyi jött létre. Ez azért fontos, mert az elektromágneses folyamatokban alapvetően a negatív ionok és a szabad elektronok vesznek részt, másrészt pedig hőmérséklet szempontjából úgymond korlátozva vagyunk [H.A. Wilson]. Egy valódi mágneses tulajdonságokkal bíró plazma 10^6 [K]-nél kezdődik [Zoletnik S.].

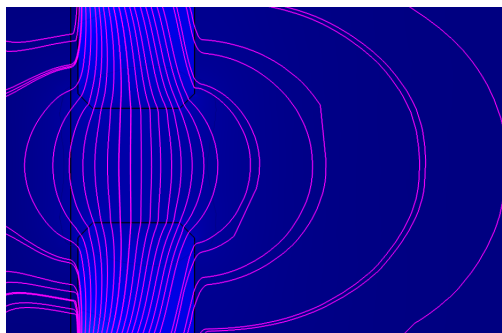
2.3. Sózás

A töltéshordozók számának növelésének egy ismert módszere a sózás, pl. az MHD technológiából [Dr. Vajda I.]. Célszerűen egy viszonylag egyenletes eloszlású fém-kloridot juttatva a lángba annak vezetőképessége drámaian megnő, akár több nagyságrendet is ugorhat. Az ilyen irányban elvégzett kutatások [H.A. Wilson] azt mutatták, hogy a KCl sónak a legerősebb ez a hatása, azonban beszerezhetőségének nehézségei miatt mi a hagyományos konyhasónál maradtunk.

3. Modell

Korábbi munkáink során analitikus és 2D végeselemmel kombinált numerikus módszerekkel vizsgáltuk a láng, mint vezető anyag és a mágneses tér kölcsönhatását. Ezek eredményei alapján jutottunk arra, hogy kísérleteket is érdemes végezni a további vizsgálatokhoz. Ugyanakkor a kísérletek elvégzése esetenként korlátokba ütközött, mivel az általunk megfigyelni kívánt jelenség csak meglehetősen erős mágneses térben, illetve annak gyors változása esetén megy végbe úgy, hogy közben megfigyelhető is legyen. Mi viszont nem tudtunk szert tenni olyan felszerelésre, amellyel ilyen körülményeket hozhattunk volna létre. Ezt a problémát igyekeztünk elhárítani egy megfelelően pontos, 3D véges elemes modell elkészítésével COMSOL 4.2 illetve 4.3 segítségével. A modellek és mérések révén sikerült a megmutatni azt, amit szabad szemmel nem láthattunk.

Többféle modell is készült, melyek alapjául a rendelkezésünkre álló tekercs és köszörült vasmag szolgált. A vasmag légrést közrefogó végeinek geometria paraméterei különösen fontos szerepet játszanak a mágneses tér kialakításában, ezért ennek modellezését csak azután végezhetjük el, hogy a köszörülés elkészült. A mindkét vasmag-félen négy oldalt található 45°-os letörések felelősek például az erővonalak 2. ábrán látható mintázatáért. A tekercs modellezésekor a nehézséget annak geometriája okozta, ugyanis nem kör keresztmetszetű, hanem inkább lekerekített sarkú téglalapra hasonlít.

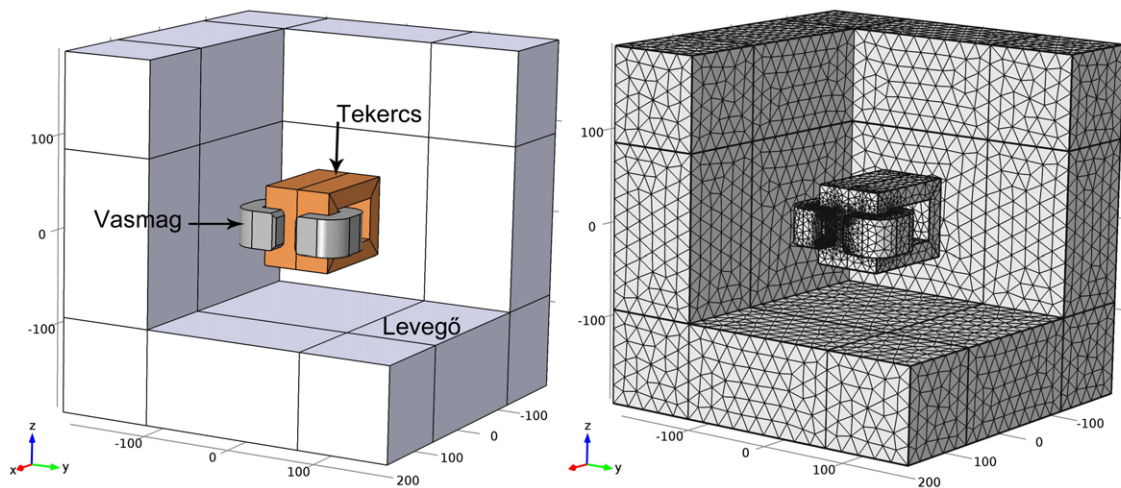


2. ábra. A vasmag köszörülésének hatása

3.1. Nemlineáris modell

Ez a modell a kezdeti lelkesedés születte, COMSOL 4.2-ben készült, és valóságos „gépfalónak” bizonyult a futtatások során. A vizsgált tekercset és vasmag összeállítást tág határok között kellett modellezni, hogy a peremfeltételek ne befolyásolják az eredményeket. Így a modell jelentős része maga a levegő, ami így egy nagy térrész hálózását teszi szükségessé. Ezzel és a nemlineáris vas anyagmodell használatával a 3. ábra bal oldalán szereplő, látszatra egyszerű modell rendkívül nagy gépigénnyel bír.

Elég pontosan vissza adja a méréshez használt vasmag karakterisztikáját, a 6. ábrán látható görbe alapján dolgozik a program. Sajnos ez hosszú futási időt eredményez, különösen, ha megfelelő finomságú hálózást is társítunk mellé. Márpedig így cselekedtünk, hiszen kulcsfontosságú a modell pontossága, ez látható a 3. ábra jobb oldalán.



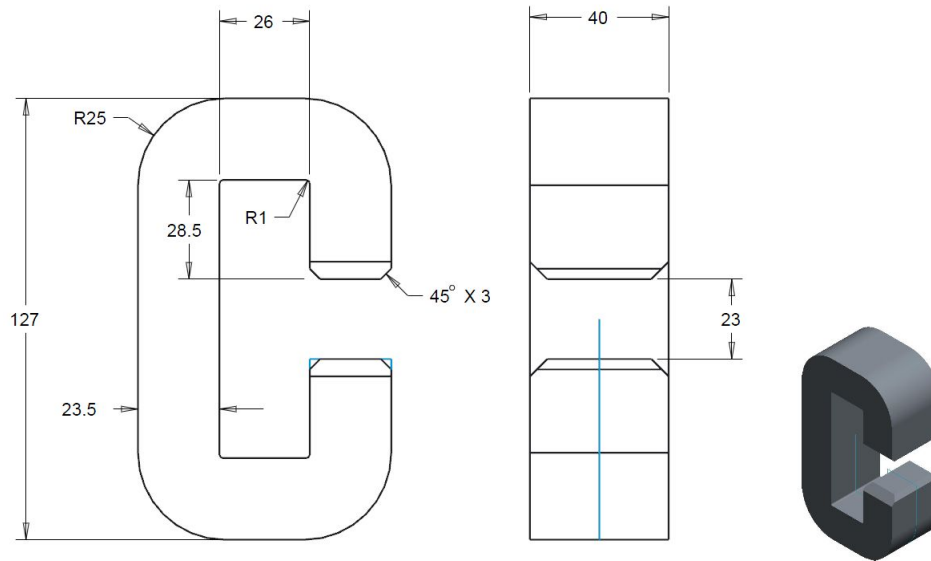
3. ábra. A modell felépítése és a hálózás

A nemlineáris modell bemenő paraméterei

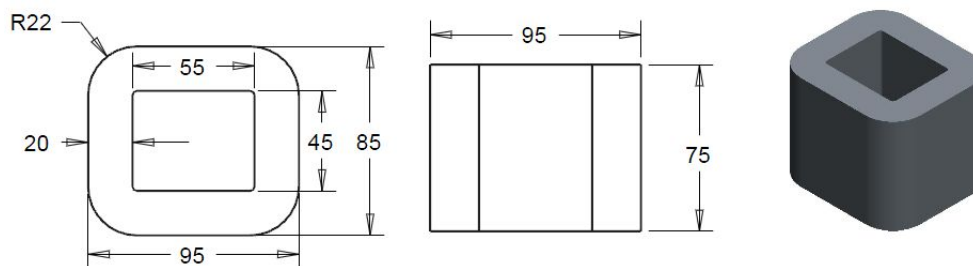
A modell bemenő paraméterei alapvetően a vasmag pontos, 4. ábrán feltüntetett, valamint a tekercs 5. ábrán látható közelítő geometriai méretei. A tekercs gerjesztését a kísérletekkel összhangban választottuk meg a következők szerint:

- $A_{tekerkes} = 20 \cdot 75 = 1500 [mm^2]$ a tekercs keresztmetszete
- $I_{gerj} = 5 [A]$ a kísérletekben használt gerjesztő áram
- $A_{vez} = \frac{d_{vez}^2 \pi}{4} = 0.785 [mm^2]$ a vezeték keresztmetszete, ahol $d_{vez} = 1 [mm]$
- $J_{tekerkes} = I_{gerj} / A_{vez} = 6.3662 [A/mm^2]$ a tömörszerű közelítő tekercs áramsűrűsége

A vasmag telítési viselkedését a már említett 6. ábra mutatja.



4. ábra. A vasmag méretei

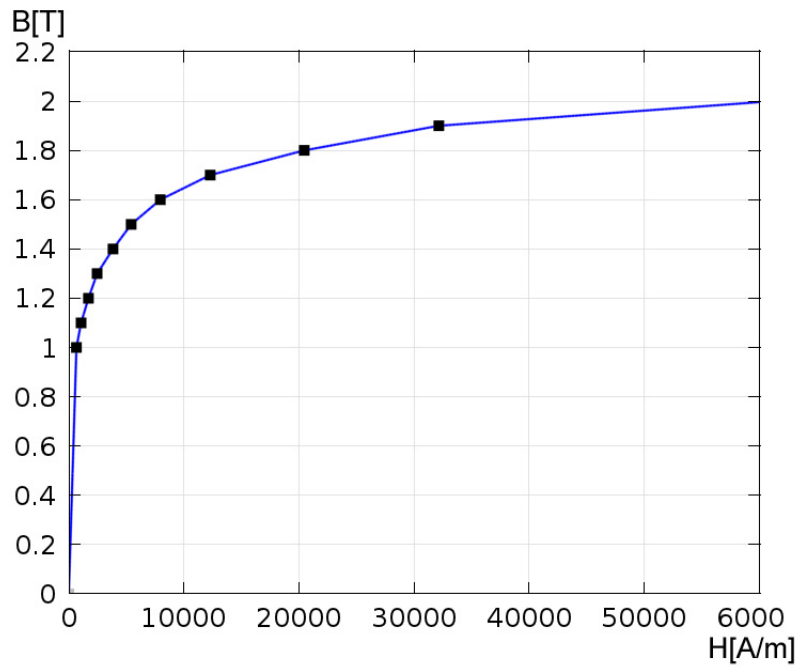


5. ábra. A tekeres közelítő méretei

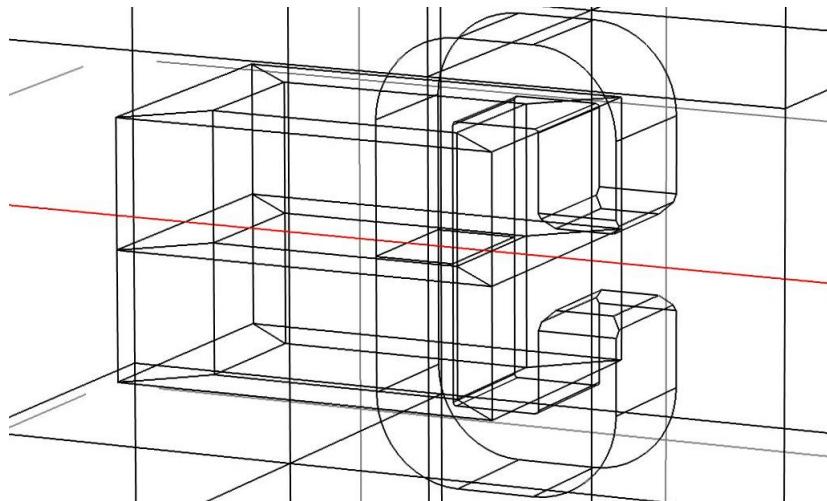
A nemlineáris modell eredményei

Hosszas futtatás utána a modell szép eredményeket adott. A kapott indukció eloszlás illetve az indukció értékek nagyon jó összhangban vannak a kísérletek során mért értékekkel. A vonalat amely mentén az eloszlást felvettük a 7. ábra mutatja, magát az indukció eloszlást pedig a 8. ábrán láthatjuk. Látható, hogy az mágneses indukció csúcsértéke a vasmagban egy telítés körüli érték, a légrésben pedig $B = 230 [mT]$, ami nagyon közel van a kísérletek során mért csúcsértékhez, melyet a 1. táblázatban tüntettünk fel.

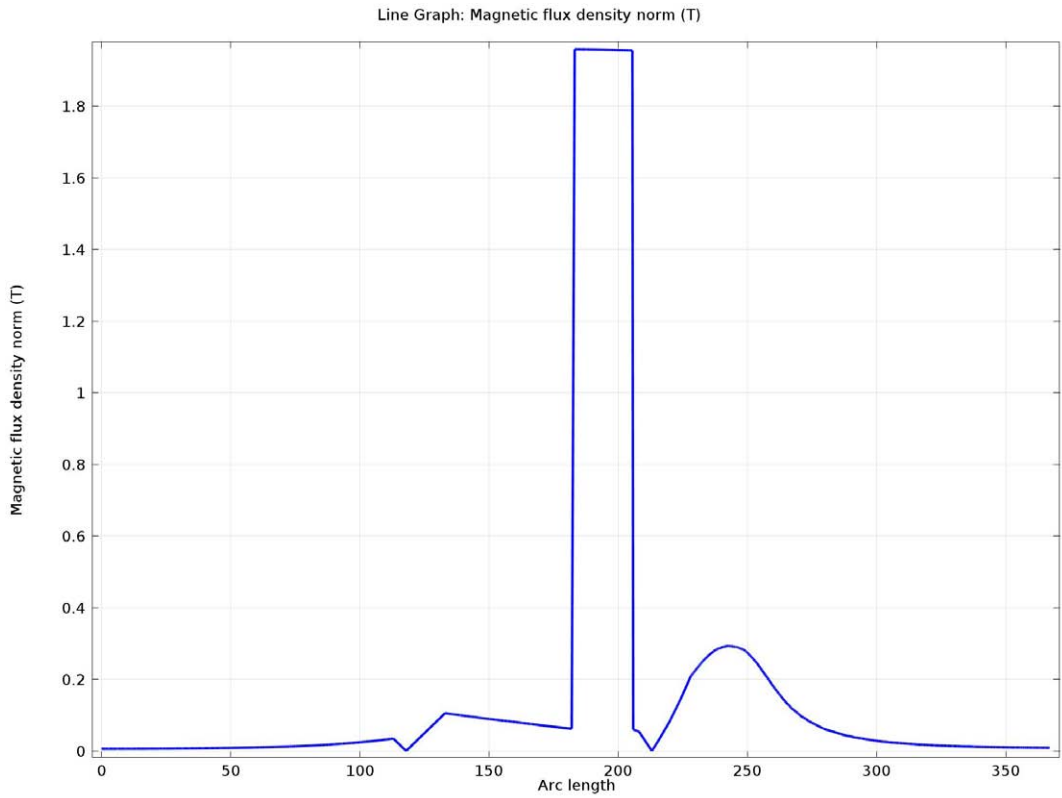
Arra is fény derült, hogy már ezzel a nem túl erős gerjesztéssel is valószínűleg lokálisan telítésbe vittük a vasmagot. Ez azért lényeges, mert a kísérletezéskor rendelkezésünkre állt egy gyengébb 5 [A]-es tápegység illetve egy nagyobb áramot szolgáltatni képes diódás egyenirányító. Ez utóbbival csak egyszer kísérleteztünk, mivel közben erősen melegeedett a tekeres és a várt effektust sem láttuk. A nemlineáris modellből pedig kiderült, hogy ennek valószínűleg a telítés lehetett az oka. Ezt már a 8. ábrán is láthatjuk, ám szemléletesebb képet ad a 9. ábra. Illetve, hogy egy valóban teljes képet kapjunk a modelltől (és mert megtehettük) bemutatunk egy 3D erővonalképet is a 10. ábrán.



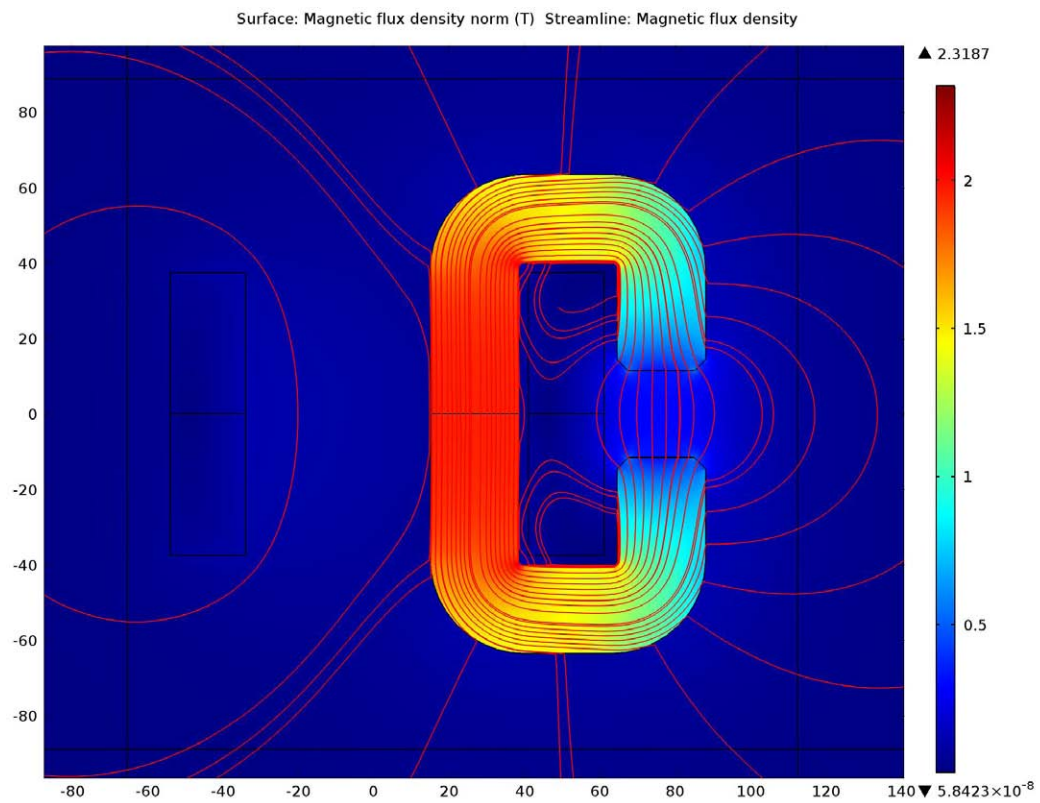
6. ábra. A modellben szereplő vasmag BH-görbéje



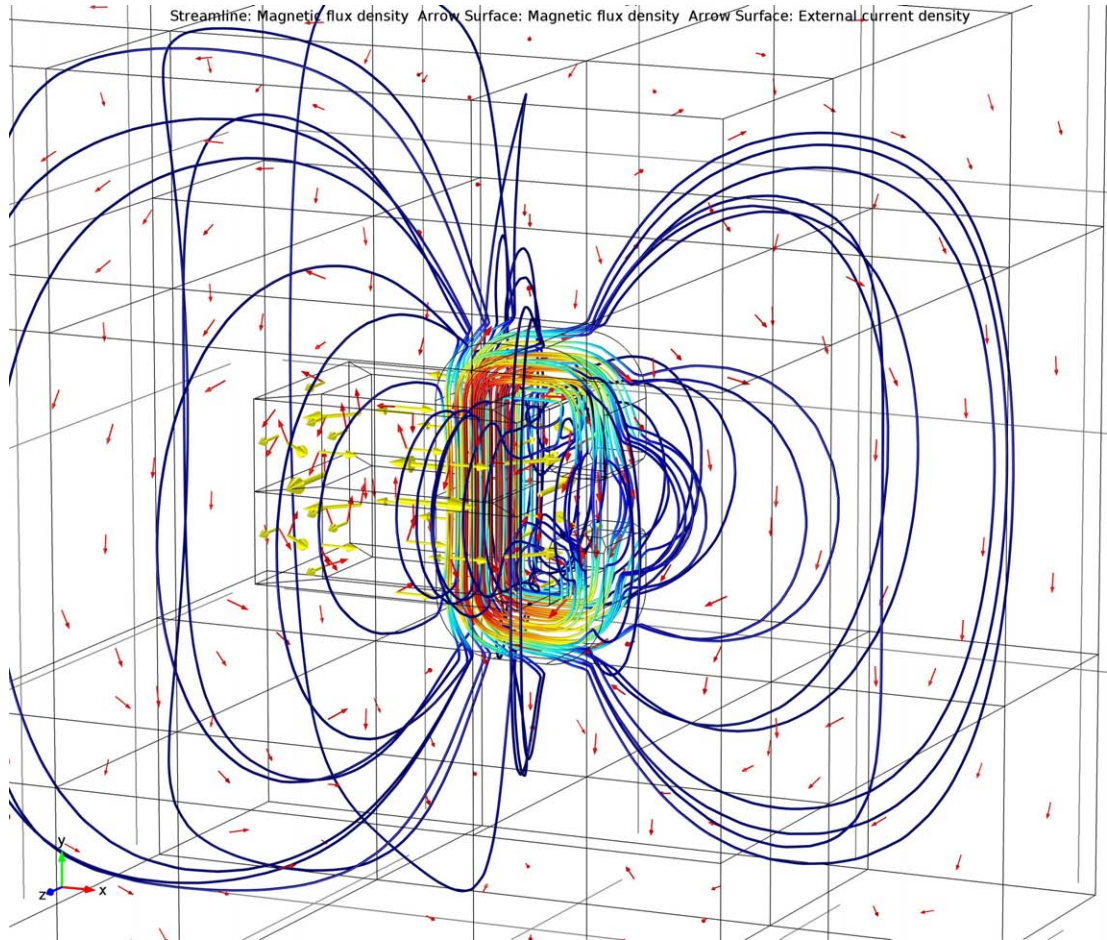
7. ábra. A piros vonal indukció eloszlás felvételének helye



8. ábra. Vonalmenti indukció eloszlás



9. ábra. 2D mágnes indukció eloszlás és erővonalkép



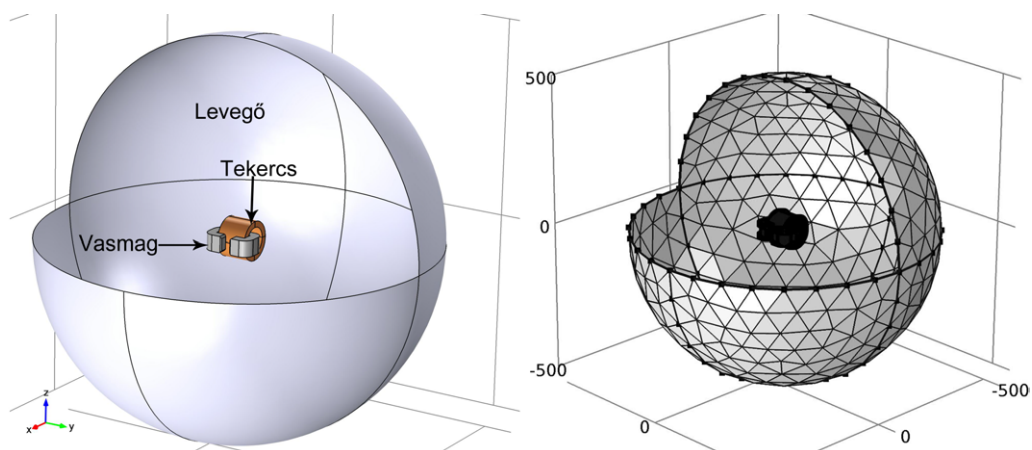
10. ábra. Térbeli erővonalkép mágneses indukció és áram vektorokkal

3.2. A lineáris modell

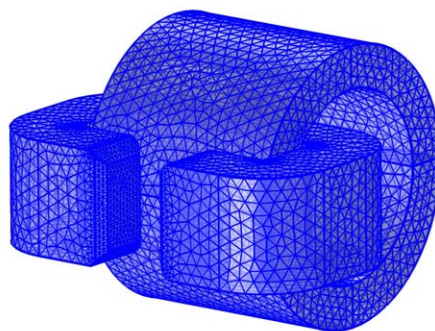
A lineáris modellt már COMSOL 4.3-ban készítettük, mivel bizonyos funkciók, melyekre majd később kitérünk, az előző verzióban készült modellel nem működtek. A lényegi különbség ez és a 3.1. fejezetben tárgyalt nemlineáris modell között a vasmag modellje. Itt ugyanis egy konstans relatív (meglehetősen nagy) permeabilitást adtunk a vasnak, melynek értéke $\mu_r = 4000$.

A lineáris modell bemenő paraméterei

Ami a vasmag geometriáját illeti, azt teljesen változatlanul hagytuk a 4. ábrának megfelelően, azonban a tekercset tovább egyszerűsítettük egy hengergyűrűvé. Ezt azért tehetjük meg, mert a szoftver újabb verziója képes egy megfelelő geometriájú modellt tekercsként kezelni. A hálózást továbbra is a lehető legfinomabbra vettük a pontosság érdekében. Az így elkészült modellt mutatja a 11. ábra. Mivel itt a lényeg pont nem látszik jól de a modell arányai miatt szükség volt a szemléltetésre, a vasmag-tekercs összeállításról a 12. ábra ad közelebbi képet.



11. ábra. Lineáris modell és hálózása



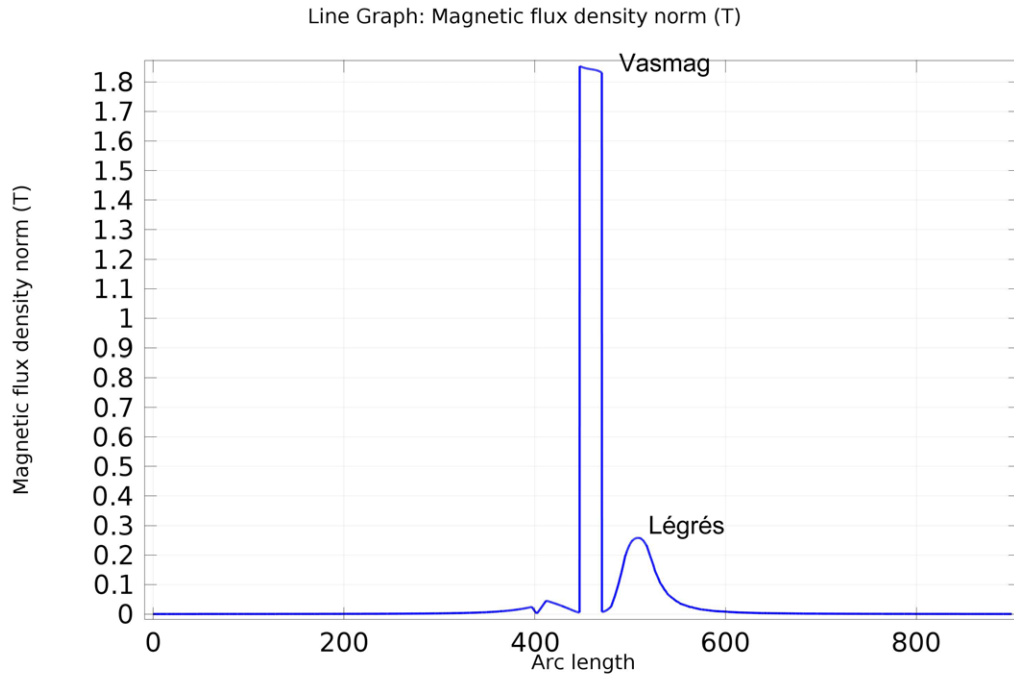
12. ábra. Vasmag és tekeracs hálózása

Tehát a modell bemenő paraméteri a geometriákon kívül:

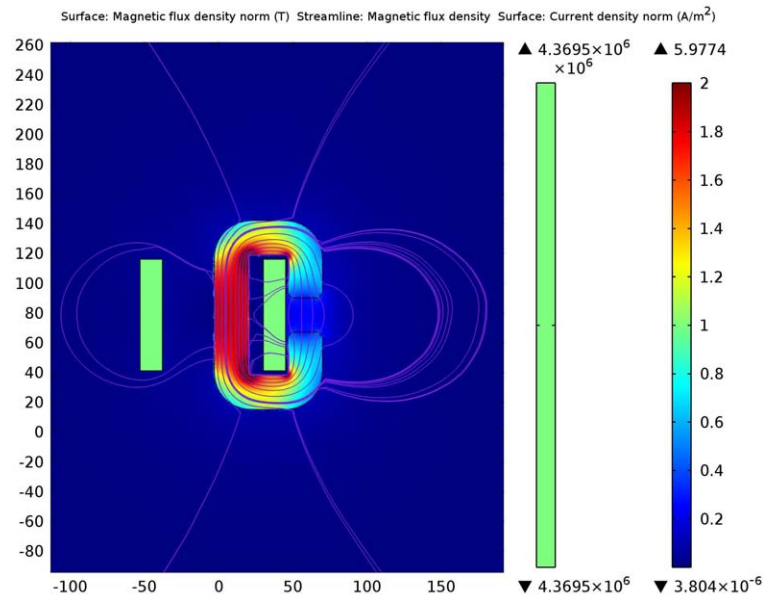
- $I_g = 5 [A]$ gerjesztő áram
- $A_{vez} = \frac{d_{vez}^2 \pi}{4} = 0.785 [mm^2]$ a vezeték keresztmetszete, ahol $d_{vez} = 1 [mm]$
- $N = 1200$ a tekeracs menetszáma
- $\mu_r = 4000$ a vas relatív permeabilitása

A lineáris modell eredményei

A futtatás után, mely jelentősen kevesebb időt igényelt mint a nemlineáris esetben, még a nagy kiterjedésű levegő modellezés mellett is, itt is jónak tűnő eredményeket kaptunk. Azt mindenképp meg kell említeni, hogy kirívóan magas indukció értékek is megjelentek a vasmag egyes területein hála a lineáris modellnek. Ennek ellenére a légrésben megjelenő 13. ábrán látható indukció ismét közel esik a kísérletek során mért csúcserőértékhez (1. táblázat).



13. ábra. Vonalmenti indukció eloszlás a lineáris modellben

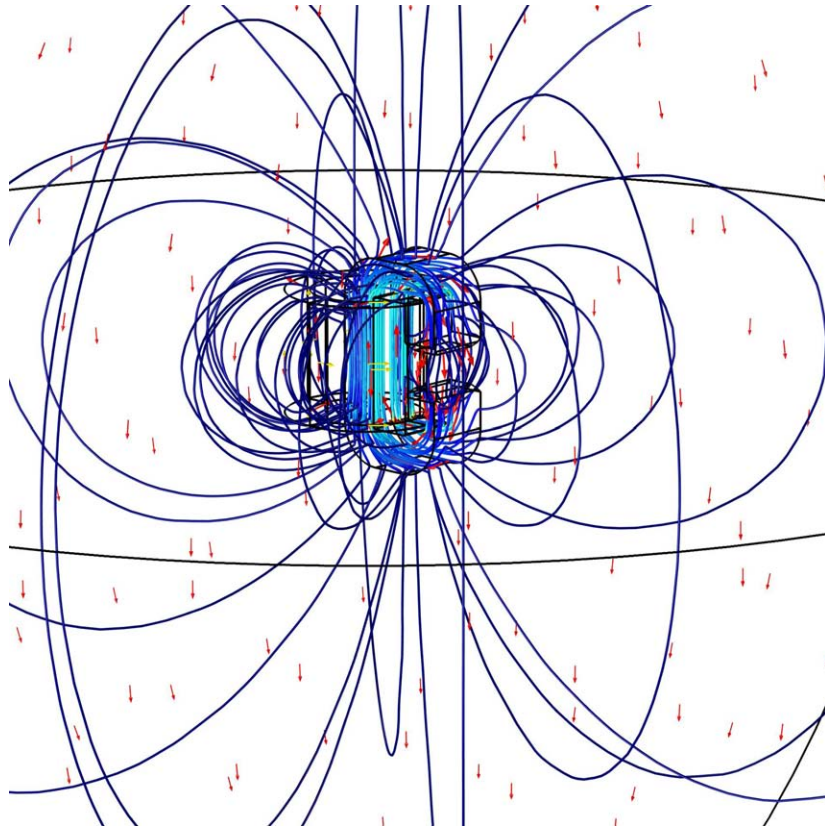


14. ábra. 2D indukció eloszlás

A 14. ábra szemlélteti a 2D indukció eloszlást és erővonalképet, illetve, a teljeség kedvéért a 15. ábra a nemlineáris modellnél is bemutatott 3D erővonalképet szemlélteti.

Ami valóban fontos különbség a nemlineáris modellhez képest, hogy itt sikerült a modellben megmutatni, hogy a lángban található különböző töltésű és tömegszámú részecskék milyen pályákon mozoghatnak. Ugyanis ez az, amit a kísérletek során szemmel nem láthattunk.

Első közelítésben elemi töltéshordozókkal, elektronokkal próbáltuk ki a pályakövetést.



15. ábra. Lineáris modell 3D erővonalképe

Itt, és általában a pályakövetésnél a következő bemenő paraméterek szerepelnek:

– $m = 9.10938188 \cdot 10^{-31} [kg]$ a részecske tömege, itt az elektroné

– $q = 1. - 1.602e - 19 [C]$ a részecske töltése

– $\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix} [m/s]$ a részecske sebesség vektora, ami lángban lévő gáz áramlási sebességével egyezik meg

Ezekkel a paraméterekkel kaptuk a 16. ábrán látható pályát. Ezen fellelkesülve definiáltunk pár, a gyertya lángjában illetve annak koromtartalmában nagy valószínűséggel előforduló részecskét. Ezek a következők:

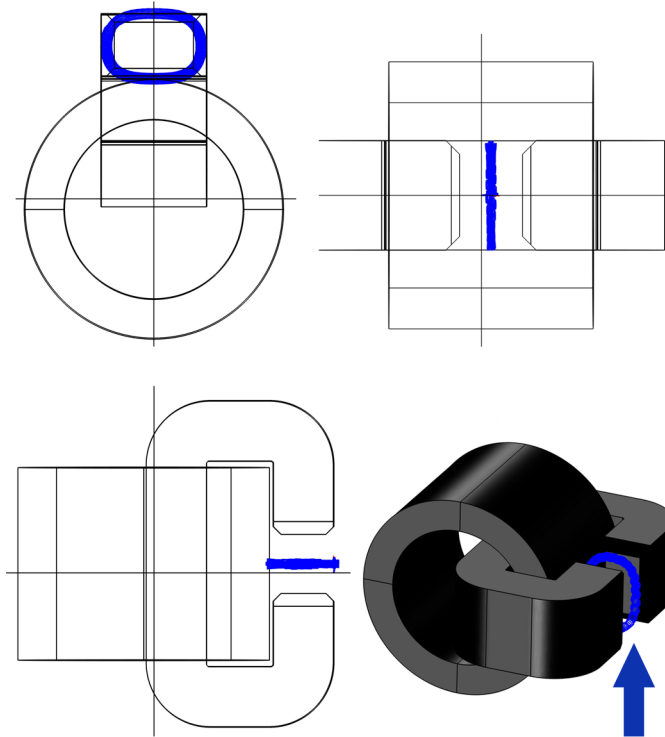
– CO_2^{2-} : szén-dioxid ion, tömegszáma: 44

– CH_3COO^- : acetát-ion, tömegszáma: 62

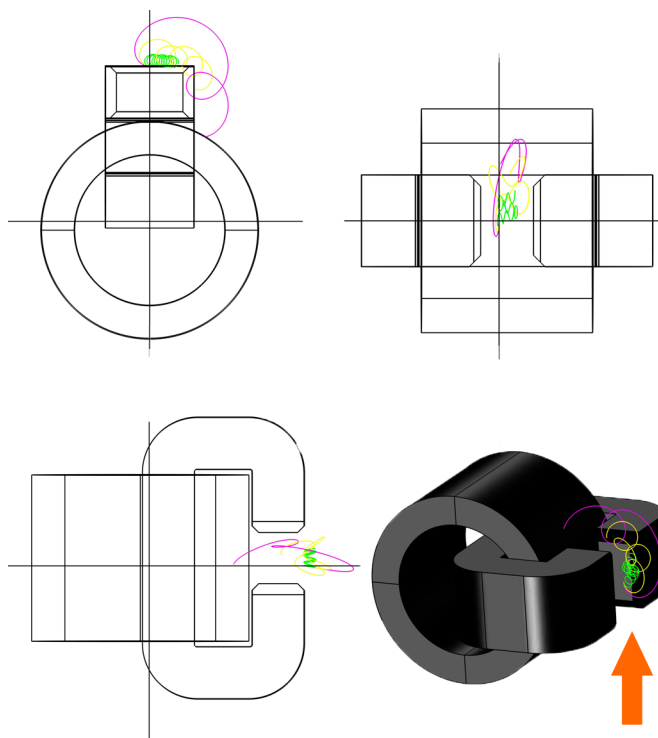
– $C_2O_4^{2-}$: oxalát-ion, tömegszáma: 88

A részecskék pályáit a 17. ábra szemlélteti. A nyíl mindkét esetben a láng irányát jelöli. Látható, hogy míg az elektronok ilyen bemenő paraméterek mellett egy körkörös pályára állnak, mely kicsit emlékeztet a tokamakokban megfigyelhető ciklotron mozgásra

[Zoletnik S.]. A nehezebb ionok előbb-utóbb elhagyják a pályájukat. Az is megfigyelhető, hogy a nehezebb ionok nagyobb sugarú pályákon haladnak, ami valamelyest igazolja a modell működését. Tehát valami ilyesmi történhetett a kísérletek során is, csak nem megfelelő mennyiségben.



16. ábra. Elektronok pályája



17. ábra. A CO_2^- , CH_3COO^- , $C_2O_4^-$ ionok pályái mágneses térben

3.3. Az impulzus gerjesztéshez használt modell

A 3.1. és a 3.2. fejezetekben bemutatott nemlineáris és lineáris modellek közül egyik sem volt elég gyors futású ahhoz, hogy az impulzus gerjesztés modellezéséhez szükséges transziens végeselemes vizsgálatot végezzünk vele. Ezért *Mathematica* segítségével alkottunk egy egyszerű modellt, amelyben a tekercset a mért induktivitásával és ellenállásával reprezentáljuk.

A modell lényege dióhéjban annyi, hogy az tekercs időben gyorsan változó mágneses terének erővonalai a lángot, mint vezető anyagot metszik, ezért abban feszültség indukálódik, amely a láng vezetőképességével arányos áramot hoz létre, amely kialakítja a saját, változást gátló mágneses terét, így a lángra Lorentz erő hat. Tehát itt a mágneses tér időbeni változásának hatását vizsgáljuk, ellentétben a korábbiakkal, mikor a is a láng, mint áramló, töltéshordozókat tartalmazó közeg mozgása miatt ébredő erővel, vagy ami ezzel összefüggő, a mágneses tér gradiense (2. ábra) és a láng mint diamágneses anyag kölcsönhatásával foglalkoztunk.

Bemenő paraméterek

A tekercs bemenő paraméterei:

- $L1 = 0.1448 [H]$ a vasmagos tekercs induktivitása

- $R = 2.3 [\Omega]$ a tekercs ellenállása

A láng bemenő paraméterei kör alakú vezető pályát feltételezve:

- $\rho = 1.67 \cdot 10^{-5} [\Omega m]$ a láng anyagának fajlagos ellenállása, tegyük fel, hogy a rézének épp ezred része
- $D_{láng} = 5 [mm]$ a lángban létrejövő vezetési gyűrű átmérője
- $A_k = 5 \cdot 1 = 5 [mm^2]$ a vezetési gyűrű keresztmetszete

Eredmények

Ezekkel a paraméterekkel megkapjuk a tekercs tranziens viselkedését melyet a 18. ábra mutat be és a láng ellenállását. A lángra hatást gyakorló légrés indukció a tekercs $i_L(t)$ áramával lesz arányos:

$$B_{legres}(t) = B_{max} (1 - e^{-t/T})$$

ahol $B_{max} = 0.23 [T]$, a maximális indukció amit a légrésben mértünk, illetve a tekercs időállandója $T = L/R = 0.0629565 [s]$. Ezzel kiszámítható a vezetési gyűrűt metsző fluxus, melynek időbeli változása arányos az indukált feszültséggel:

$$u_i(t) = -\frac{d\Phi}{dt}$$

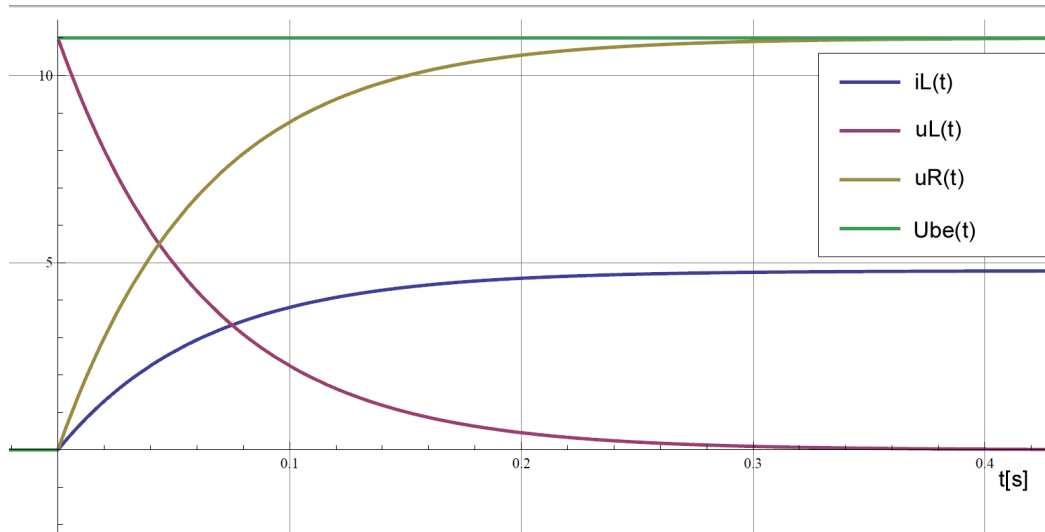
ezzel az áram:

$$i(t) = \frac{u_i(t)}{R_{láng}}$$

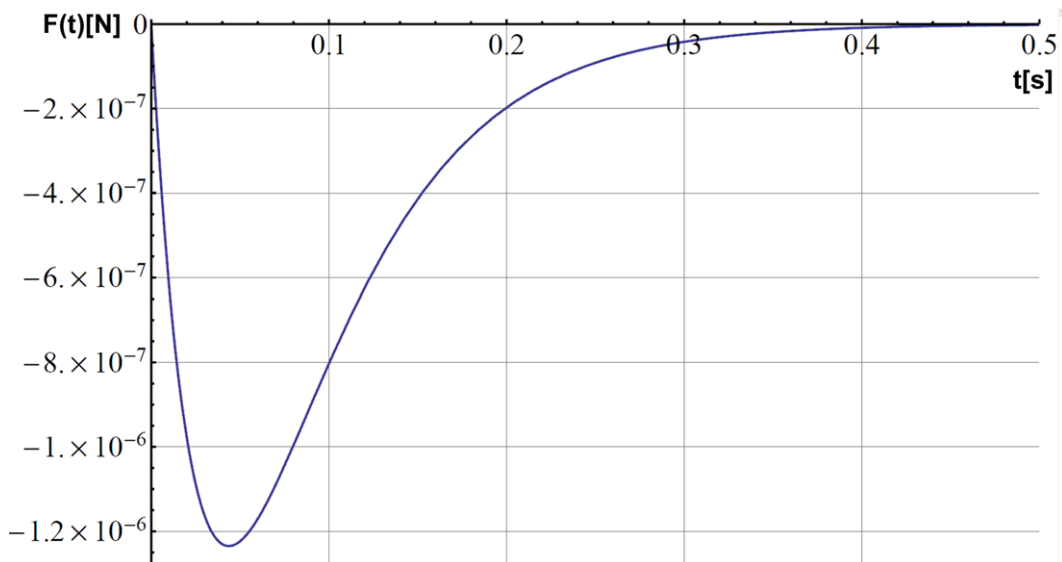
ahol $R_{láng} = 0.0524646[\Omega]$ a vezetési gyűrű ellenállása. Az áram ismeretében már kiszámíthatjuk a fellépő Lorentz-erőt:

$$F_L(t) = B_{legres}(t) \cdot i(t) \cdot D_{láng}\pi$$

melyet a 19. ábrán láthatunk. Az erő csúcserő $F_{Lmax} = 1.23492 [\mu N]$ melyet $43.6 [ms]$ -al a tekercs táplásának hirtelen megszakítása vagy bekapcsolása után ér el. Ez nem egy óriási érték, de ha azt tekintjük, hogy itt gyakorlatilag egy gázban létrejött vezető gyűrűre ható erőről van szó, a hatása akár látható is lehetne. Ennek ellenére sajnos nem láttuk egyértelműen ennek megnyilvánulását az impulzus gerjesztéses kísérletben. Feltehetőleg még így is fölé becsültük a gyertyaláng vezetőképességét annak égési hőmérsékletén.



18. ábra. A tekercs tranziens viselkedése



19. ábra. A lángra ható Lorentz erő

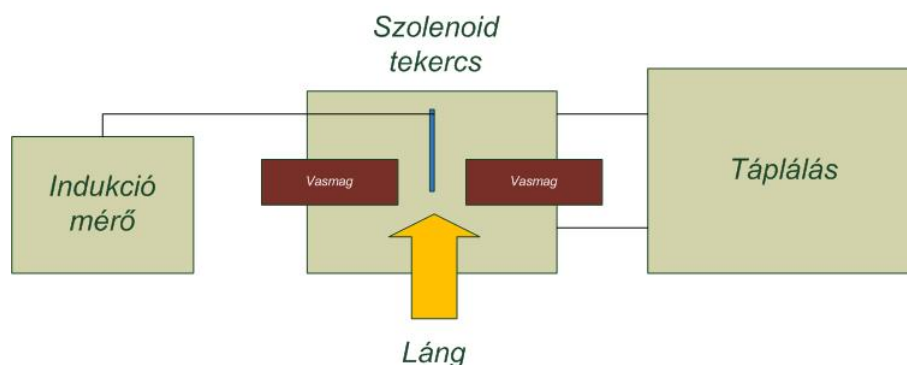
4. Kísérletek

A kísérletek elvégzésének indokoltságát erősíti a tény, hogy az elméleti kutatás alapján a lángra valóban hatást gyakorol a mágneses tér, emellett pedig az is, hogy a modell alapján (idealizált esetben) aránylag számottevő erőt tudunk kifejteni egy viszonylag könnyen előállítható-beszerezhető elrendezéssel.

4.1. Kísérleti elrendezés

Első feladataink közé tartozott a megfelelő kísérleti elrendezés kialakítása, illetve megtervezése. Egy olyan elrendezést szerettünk volna megvalósítani, ami révén egyrészt jól látható a jelenség, másrészt pedig maga a kialakítása a lehető legegyszerűbb.

A választott elrendezésünk ezen szempontok alapján rajzolódott ki, ez a 20. ábrán látható



20. ábra. A megvalósítandó kísérleti elrendezés

Az elrendezésünkben van tehát egy egyszerű vasmagos szolenoid tekercs, az ehhez szükséges tápforrás, és egy Hall szondás mágneses indukció mérő, amivel ellenőrizhetjük a légrésben kialakuló indukció nagyságát. Több különböző tápforrás is rendelkezésünkre állt:

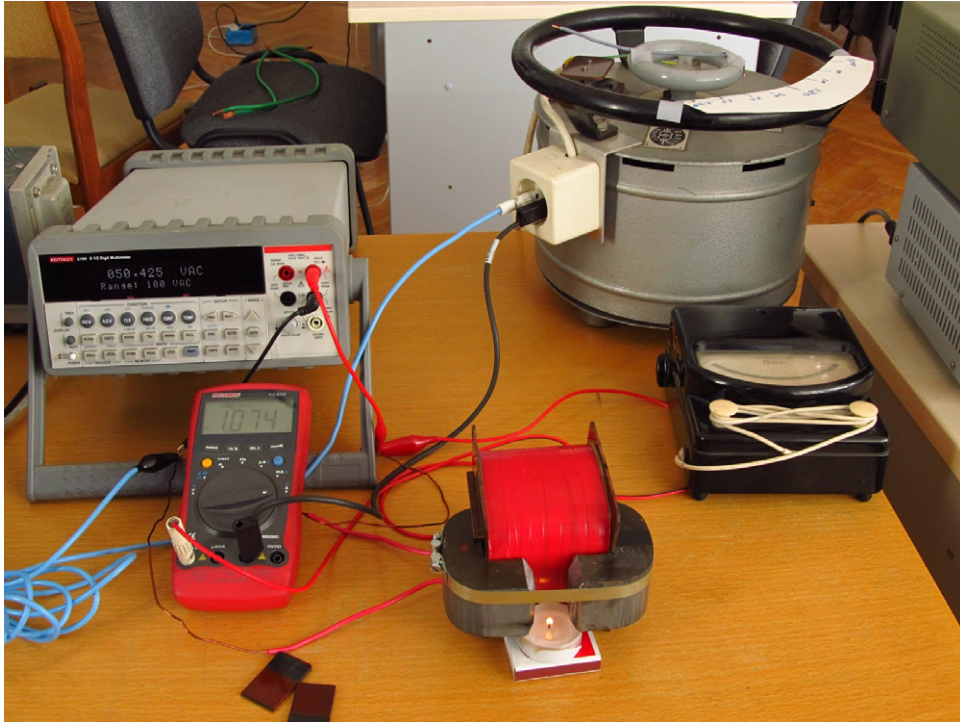
- Egy DC tápegység, 5 [A]-ig
- egy háromfázisú toroid transzformátorról működtetett diódás egyenirányító, mellyel nagyobb áramértéket is elérhettünk, bár lüktető feszültség mellett
- egy egyfázisú toroid transzformátor AC méréshez

A megvalósított elrendezés a 21. ábrán látható.

Vasmag és tekercs

Ahogy a bevezetőben is említésre került, a kifejtett mágneses erő az indukció mellett a gradienstől, vagyis a geometriától is függ. Ezt szem előtt tartva eszközölve lett némi geometriai változtatás a vasmag légrésében a nagyobb gradiens elérése érdekében (a légrés növelése, illetve a vasmag pólusainak ferdítése). Ez valamennyi kísérletről készült képen látható, ahogy a 4. ábra is mutatja.

A kísérletek megtervezésekor még egy saját tekercs elkészítésében gondolkoztunk, ám végül ez a túlságosan nagy rézigény és menetszám miatt nem valósult meg, ezért végül egy látszatra megfelelőnek tűnő, használaton kívüli tekercset vettünk birtokba. Az egyetlen problémánk az volt vele, hogy nem tudtuk pontosan mik a paraméterei, ezért kimértük őket.



21. ábra. A megvalósított elrendezés(jelen esetben épp a toroid transzformátorral)

Láng

Lángként egy egyszerű mécses lángját használtuk. Ennek az áramlási sebessége nem túl magas (ami a mozgási indukció szempontjából kedvezne, mint az MHD generátoroknál [Dr. Vajda I.]). Azonban a tökéletlenebb égés következtében több benne a korom és egyéb égéstermék, melyek szén tartalmuk és ionizáltságuk miatt feltehetőleg jó vezetőnek számítanak. Ezért némileg kompenzálódik a sebességcsökkenés.

Indukció mérő

A Hall szondás indukció mérőnk egy régi megbízható darab. Három mérési tartományban lehet használni, 0.5 T, 1 T, illetve 2 T-s tartományban. A modellünk alapján ez messze elég a várt indukcióértékek méréséhez. A Hall szonda egy hosszabb vezetéken (fehér) csatlakozik a műszerhez, így tetszőleges helyen mérhető az indukció vele (22. ábra).

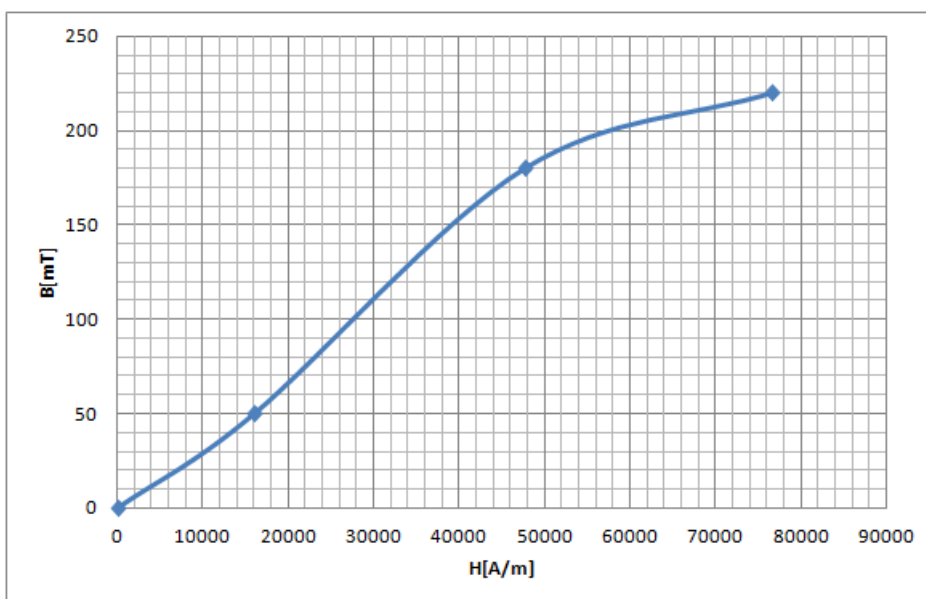


22. ábra. A Hall szondás indukció mérő

I[A]	B[Gs]	H[A/m]	B[mT]
0	0	0	0
1	500	16000	50
2.98	1800	47680	180
4.79	2200	76640	220

1. táblázat. Mért indukcióértékek

A mért indukció értékek a légrésben különböző áramértékek mellett a 23. ábrán láthatóak, táblázatos formában pedig az 1. táblázatban.



23. ábra. Indukcióértékek DC táplálás esetén

4.2. Mérések menete és eredményei

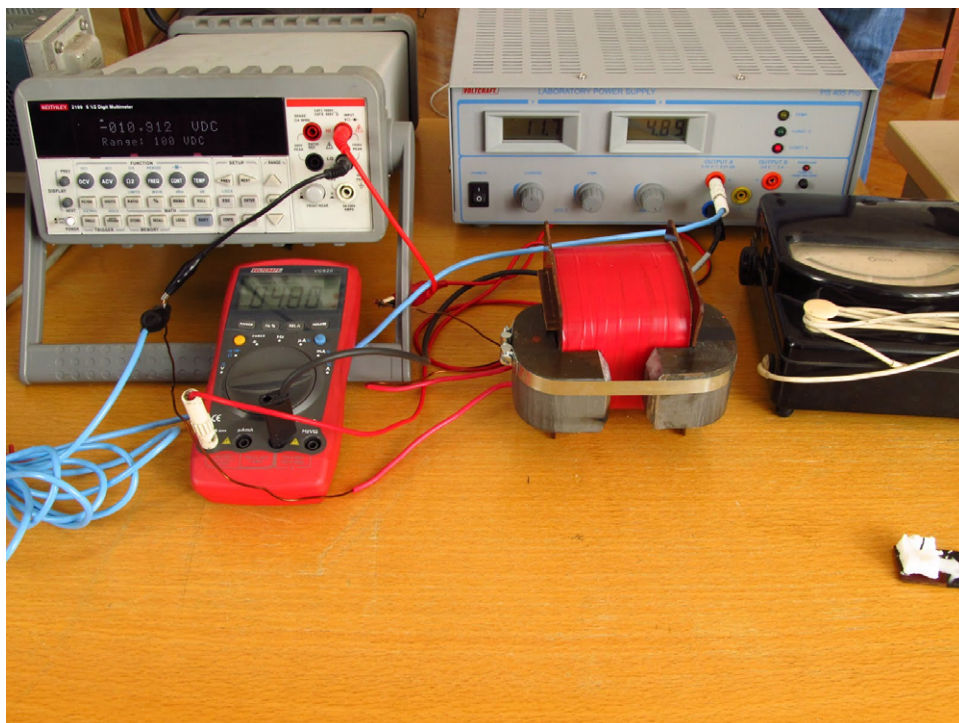
Mivel a vasmagos tekercs paraméterei ismeretlenek voltak számunkra, ezért a méréseinket magával a tekercsel kezdtük. A paraméterek fontosak a modellezés, illetve a szimulációk pontos elvégzésének szempontjából. Ennek eredményei 13. oldalon találhatóak.

Az elrendezéssel alapvetően négy mérési sorozatot végeztünk el, hármat egyenáramú táplálással, egyet pedig váltóárammal, az egyfázisú toroid transzformátor segítségével.

A mérések menete hasonlóan zajlott. A tápáramot fokozatosan növelve figyeltük a láng esetleges alakbeli változásait, mértük a légrésemben létrejövő mágneses indukciót (DC esetben), valamint magát a tápáramot és a tekercsen eső feszültségeket. Illetve a teljes folyamatot egy digitális fényképezőgéppel filmeztük a lehető legnagyobb, 720p felbontással, 30 [frame/sec] sebességgel. A mérések során ügyeltünk arra, hogy minél kevesebb külső zavaró tényező (főként légmozgás) legyen jelen.

Egyenáramú táplálás

Az egyenáramú táppal maximálisan 5 [A]-t tudunk a tekercsre kapcsolni. A tekercs ellenállása $R_{tek} = 2.3 [\Omega]$, ami viszonylag magas, azonban a táp 45 [V]-os feszültségmaximumának köszönhetően nem korlátozta le az áramot. A mérési elrendezés a 24. ábrán látható.



24. ábra. Elrendezés egyenáramú táppal

A mágneses tér lángra gyakorolt hatását ebben a kísérletben nem sikerült szemléltetnünk. A láng a légrésemben kiszélesedik, ez azonban annak tudható be, hogy a légrésebe tolva

a mécseset bizony mértékig lecsökken az áramlási sebesség. Ugyanilyen formában tapasztaltuk a jelenséget a mágneses tér hiányában is.

Ez a korábbi tanulmányokban alkalmazott modell alapján nem túl meglepő, hiszen ott nagyobb sebességű, és jobb vezetőképességű lánggal számoltunk, közel háromszoros indukció mellett, ezzel az elrendezéssel azonban többet nem tudtunk elérni. Emellett hátráltató tényező lehet az is, hogy maga a mécses is mágnesezhető anyagból készült. A kísérletet vizuálisan illusztrálja a 25. ábra.



25. ábra. A DC kísérlet illusztrálása különböző áramértékek-indukcióértékek mellett

Egyenáramú táplálás, melegedés mérés

Csak említés szintjén mutatnánk be ezt a mérést, mivel a kiírásban szerepelt, de a kísérletek során nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket.

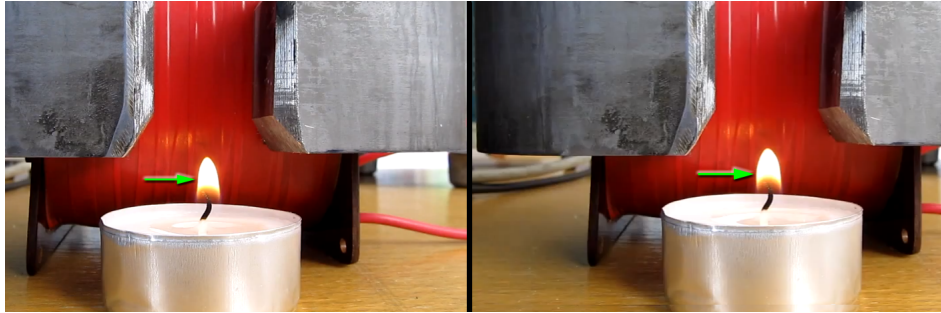
Itt arról volt szó, hogy egy alumínium fémlapot melegítettünk a gyertya lángjával, miközben a fémlap hőmérsékletét egy termoelemes mérővel figyeltük. A mérést elvégeztük mágneses tér nélkül illetve mágneses térben is. Elméletileg a két esetben eltérő mértékű melegedést kellett volna tapasztalnunk, mégpedig a mágneses tér esetén kisebbet.

Gyakorlatilag több hatással volt a melegedésre az, hogy milyen fejtartással néztük a kísérletet, mint az, hogy van-e vagy nincs mágneses tér. A mérést többször megismételtük, minden esetben azt az időt mértük, mely alatt a fémlap 35°C -ról 45°C -ra melegszik. A kapott értékek minden esetben 90 és 120 másodperc közöttiek, és teljesen korrelálatlanok voltak.

Egyenáramú táplálás, megszakításokkal

A megszakítások lehetővé teszik annak vizsgálatát, hogy hogyan viselkedik a láng impulzustérben. Tehát ugyanazt az egyenáramú tápot használtuk a mérés során, felcsavartuk a lehető legnagyobb áramra (annak érdekében, hogy minél többet láthassunk), és bizonyos időközönként megszakítottuk a tekercs áramát majd visszakapcsoltuk.

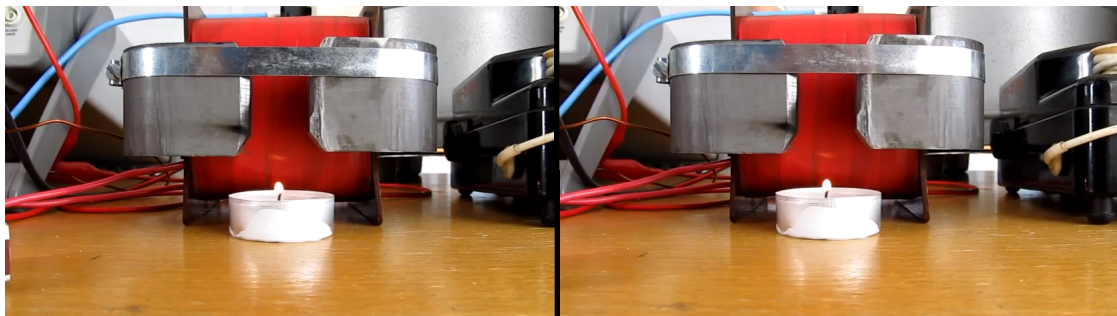
Az ezzel a módszerrel látott eredmények biztatóbbak, mint az első esetben. Az áramforrás bekapcsolása után csekély kiszélesedés/lelapulást tapasztaltunk. A vizuális eredményeket a 26. ábra szolgáltatja.



26. ábra. A DC impulzus tér kísérlet illusztrálása, először mágneses tér nélkül, majd pedig mágneses térrel

Váltakozó áramú táplálás

Az egyfázisú toroid transzformátorral összeállított elrendezést a 20. ábrán láthattuk. Az maximális áramértékek az előző elrendezéshez hasonlóan $5 [A]$ körül adódtak, azonban a tekercs váltóáramú impedanciája miatt ehhez itt nagyobb feszültségre, közel $200 [V]$ -ra volt szükség. A mérés során fokozatosan növeltük a tekercsre jutó feszültséget és figyeltük a láng esetleges alakbéli változásait. Ezt a 27. ábra szemlélteti.



27. ábra. A láng alakja váltóáram mellett, és anélkül

Ebben az esetben is azt tapasztaltuk, mint az egyenáramú táplálás esetén, a lángra nem volt különösebb hatással a váltakozóáram.

5. Konklúziók

Ami most kiderült, hogy egyrészt pontosabb modellekre, de főként sokkal erősebb mágneses terek előállítására alkalmas felszerelésre és jobban kontrollált mérési körülményekre van szükség, ha az ember ilyen jellegű vizsgálatokra adja a fejét. Az, hogy kezdetlegesen mondható eszközeink ellenére sikerült valami olyat produkálni ami szemmel látható, relatíve sikernek könyvelhető el. Végül is negatív eredmény is eredmény, hát még így, hogy valami pozitív is van benne.

Modelljeink tovább finomításával egész pontosan vizsgálhatjuk majd a jelenséget, és addig is lesz mit csinálni, míg meg nem lesznek a további kísérletezéshez szükséges eszközök.

Végszóként kijelenthetjük amit már a munka elején is tudtunk, vagy legalább is sejtettünk, miszerint: a vizsgált probléma koránt sem annyira egyszerű mint a modelljeink és a kísérletek melyekkel ki szeretttük volna mutatni. De az tény, hogy keresett effektus létezik, és működik, ezért amennyiben lesz lehetőség, tovább foglalkozunk majd a mágneses tér és az alacsony hőmérsékletű plazma kölcsönhatásával.

Irodalomjegyzék

- [Khaldi, Gillon] F. Khaldi, Gillon, *Laminar jet diffusion flame behavior under a strong magnetic field gradient*, 2003
- [H.A. Wilson] H.A. Wilson, *Electric conductivity of flame*, Rice Institution, Texas, 1931
- [Dr. Vajda I.] Dr. Vajda István, *Magnetohidradinamikuss (MHD) generátorok*
- [Ravaud, Lemarquand] R. Ravaud, G. Lemarquand and V. Lemarquand, *Mutual Inductance And Force Exerted Between Thick Coils*
- [Ravaud, Lemarquand 2] R. Ravaud, G. Lemarquand, S. Babic, V. Lemarquand, and C. Akyel, *Cylindrical Magnets and Coils: Fields, Forces, and Inductances*
- [Roberston, Cazzolato, Zander] Will Robertson, Ben Cazzolato, and Anthony Zander, *A Simplified Force Equation for Coaxial Cylindrical Magnets and Thin Coils*
- [Zoletnik S.] Zoletnik Sándor, *Útban a JET-től az ITER felé*, Informatika, 2009