



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR

GÉPJÁRMŰVEK ÉS JÁRMŰGYÁRTÁS TANSZÉK

Keréksebesség szenzor elektromágneses modellezése és validációja

TDK dolgozat

Sellei Barbara

BUDAPEST

2014

Keréksebesség szenzor elektromágneses modellezése és validációja

Sellei Barbara, Közlekedésmérnök BSc, Járműtechnika szakirány

selleibarbi@gmail.com

Konzulensek: **Dr. Németh Huba, Dr. Veress Árpád**

Összefoglalás

Jelen munka fő célja, hogy megvizsgálja az elektromágneses szimulációk hatékonyságát a keréksebesség szenzorok analízise esetén. A munka során háromdimenziós, tranziens elektromágneses szimulációkat készítettem egy kereskedelmi program segítségével, amely általános végeselemes módszert használ a Maxwell-egyenletek megoldására. A számítások során a fogazott tárcsa és a vasmag közötti távolságot változtattam a rendelkezésemre álló mérési eredményeknek megfelelően. A vizsgálatok kimenetele alapján megállapítható, hogy az alkalmazott számítási módszer eredményei átlagosan 12%-ban térnek el a mérési eredményektől a vizsgált tartományban. A gyakorlatban leggyakrabban alkalmazott részméret esetén ez az eltérés megközelítőleg 8%. Ennek köszönhetően az eljárás megfelelő hatékonysággal alkalmazható a keréksebesség szenzorok, illetve más, hasonló fizikai folyamatokkal rendelkező szerkezetek tervezése és fejlesztése esetén.

Kulcsszavak: keréksebesség szenzor, fordulatszám jeladó, elektromágneses szimuláció, optimalizáció

Electromagnetic Modelling and Validation of Wheel Speed Sensor

Abstract

The main goal of the present study is to investigate the utilization of electromagnetic simulations in the field of analyses of wheel speed sensors. Three dimensional transient electromagnetic simulations have been completed by using the available commercial software, which uses general finite element numerical method to solve the Maxwell's equations. The air gap between the pole wheel and the pole core was changed during the calculation process according to the measurements, of which the results were available. Based on the outcome of these analyses, it can be concluded that the results of the presented modelling is close to the measured results, the average difference is 12% between them in the investigated air gap - range. In case of the most commonly used gap size in practice, this difference is approximately 8%. Consequently, the procedure can be effectively applied for the development of wheel speed sensors and other configurations with similar physical disciplines.

Keywords: wheel speed sensor, electromagnetics, simulation, optimization

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	1
1.1.	A dolgozat célkitűzése	1
1.2.	A keréksebesség szenzorok.....	1
2.	Elektromágneses modellezés	4
2. 1.	Alkalmazott összefüggések.....	5
2. 2. 1.	Alapegyenletek	5
2. 2. 3.	Geometria diszkretizálása	6
2. 2. 4.	Az alapegyenletek diszkretizálása.....	6
2.2. 5.	A diszkretizált egyenletek megoldása	7
3.	Gyakorlati megvalósítás	7
3.1.	Mérés és számítás	7
3.2.	Geometria kialakítása.....	8
3.3.	Anyagtulajdonságok definiálása	10
3.4.	Geometriai diszkretizáció	10
3.5.	A szimuláció előkészítése	11
4.	Eredmények	12
4.4	Mérés és számítás összehasonlítása	14
5.	Továbblépési lehetőségek	14
6.	Összefoglalás	15
7.	Felhasznált irodalom.....	16
8.	Mellékletek	17
1. sz.	melléklet	17

ÁBRAJEGYZÉK

1. ÁBRA A KERÉKSEBESSÉG SZENZOR	3
2. ÁBRA A PASSZÍV FORDULATSZÁM SZENZOR FELÉPÍTÉSE	4
3. ÁBRA A TETRAÉDER ELEM [5].....	6
4. ÁBRA MÉRÉSI EREDMÉNYEK.....	7
5. ÁBRA A MODELL.....	8
6. ÁBRA A VÉGLEGES MODELL.....	9
7. ÁBRA AZ ELKÉSZÍTETT HÁLÓ	11
8. ÁBRA A FLUXUS TÉRBELI MEGOSZLÁSA A VASMAGBAN.....	13
9. ÁBRA INDUKÁLT FESZÜLTÉG AZ IDŐ FÜGGVÉNYÉBEN	13
10. ÁBRA A MÉRT ÉS SZÁMÍTOTT EREDMÉNYEK	14

Táblázatjegyzék

1. TÁBLÁZAT A MAKROSZKOPIKUS MAXWELL-EGYENLETEK	5
2. TÁBLÁZAT A HÁLÓ ADATAI	10
3. TÁBLÁZAT ANYAGTULAJDONSÁGOK	17

Jelölésjegyzék

Latin betűk, jelölések:

A :	felület;	$[A] = \text{mm}^2$
B :	mágneses indukció;	$[B] = \text{Vs/m}^2 = \text{T}$
D :	elektromos eltolásvektor;	$[D] = \text{As/m}^2$
E :	elektromos térerősség;	$[E] = \text{V/m}$
H :	mágneses térerősség;	$[H] = \text{A/m}$
J :	áramsűrűség;	$[J] = \text{A/m}^2$
N :	tekercs menetszám;	$[N] = \text{db}$
t :	idő;	$[t] = \text{s}$
U :	feszültség;	$[U] = \text{V}$

Görög betűk, jelölések:

ε :	dielektromos állandó;	$[\varepsilon] = \text{As/V} = \text{F/V}$
ρ :	térbeli töltéssűrűség;	$[\rho] = \text{As/m}^3 = \text{C/m}^3$
σ :	felületi töltéssűrűség;	$[\sigma] = \text{As/m}^2 = \text{C/m}^2$
Φ :	mágneses fluxus;	$[\Phi] = \text{Vs} = \text{Tm}^2 = \text{Wb}$

1. Bevezetés

Jelen dolgozat a Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft. közreműködésével és beleegyezésével készült. A cég bizalmas adatainak védelme érdekében minden közölt adatot, diagramot normalizálva és dimenziótalanítva jeleníték meg.

1.1. A dolgozat célkitűzése

A dolgozatomban egy keréksebesség szenzor modelljét kívánom elkészíteni, figyelembe véve további alkalmazásokban (pl. optimalizáció) való felhasználás lehetőségét. A modellen egy tranziens elektromágneses szimuláció elvégzésével a szenzor indukált feszültségét vizsgálom. Az szimuláció során kapott időfüggő feszültség eloszlás validálását korábbi mérési eredményekkel való összehasonlítással végzem. A szimulációt egy kereskedelmi forgalomban kapható szoftverrel készítem el, amely véges elemes analízist alkalmaz az elektromos és mágneses problémák megoldására.

1.2. A keréksebesség szenzorok

Közlekedésbiztonsági szempontból a kerékfordulatszám érzékelők különös jelentőséggel bírnak. Ezeknek az érzékelőknek a jelét számos alkalmazásban felhasználják. A vezetést segítő rendszereken túl, mint például az ABS, TCS, ESP vagy ACC, más rendszerek (motorvezérlés, váltó- és futómű vezérlő rendszerek [1] és navigációs rendszerek [2][3]) is használják ezeket az érzékelőket a kerék fordulatszámának meghatározására. A különböző alkalmazásoknak köszönhetően a keréksebesség szenzorok közvetlenül hozzájárulnak a vezetési dinamika, a közlekedésbiztonság és a vezetési kényelem fejlődéséhez, illetve az üzemanyag-fogyasztás és károsanyag-kibocsátás csökkentéséhez.

A kerékfordulatszám érzékelők feladata az, hogy a jármű kerekeinek forgási sebességét (kerékfordulatszám) meghatározzák. A fordulatszámjelek kábel közvetítésével jutnak el a vezérlőegységekhez.

A kerékfordulatszám-szenzor jeleit egy, a kerékagyhoz rögzített, acélból készült impulzus-jeladóval (passzív szenzoroknál) vagy sokpólusú mágneses impulzus-jeladóval (aktív szenzoroknál) hozzák létre. Ez a jeladó azonos forgási sebességet mutat, mint a keréké és érintkezésmentesen halad el a szenzorfej érzékelő területe előtt.

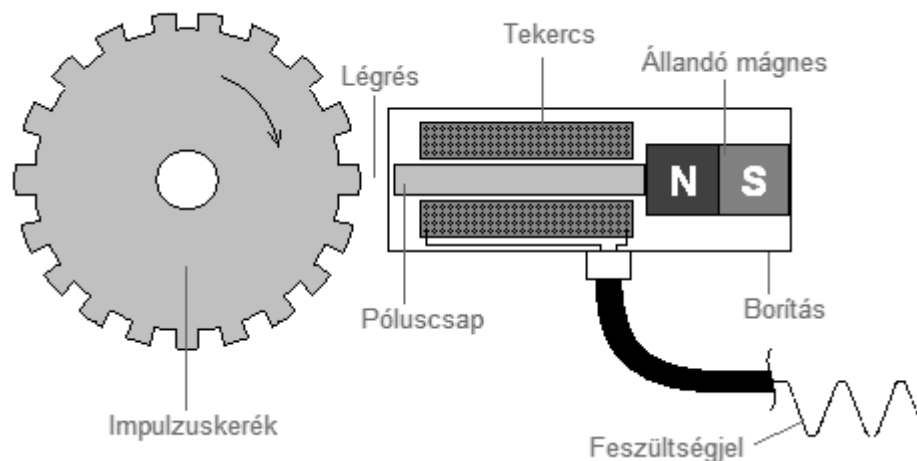
A szenzor közvetlen érintkezés nélkül, 2 mm-nél nem nagyobb légréseken keresztül végzi el a „leolvasást”. [4]

Jelen munkámban egy passzív szenzort vizsgálok, amely állórésze egy állandó mágnesből és egy ezzel kapcsolatban lévő lágyvas póluscsapból áll, melyet egy több-ezer menetszámú tekercsben helyeztek el. A póluscsapot közvetlenül az impulzuskerékkel szemben helyezik el, amely valójában egy, a kerékagyhoz rögzített fogazott kerék, ez a szenzor forgórésze, melynek fordulatszáma azonos a kerék fordulatszámaival.[4]

Egy ilyen szenzor metszete látható az 1. ábrán, elméleti vázlata pedig a 2. ábrán.



1. ábra A keréksebesség szenzor



2. ábra A passzív fordulatszám szenzor felépítése

Az impulzuskerék forgásakor a fogak és a fogközök egymást követő váltása révén az addig állandó mágneses tér „zavart” lesz. Ezáltal változni fog a póluscsap mágneses fluxusa. A mágneses tér változása változó feszültséget indukál a tekercsben, amely a tekercsek pólusain mérhető. A változó feszültség frekvenciája arányos a kerék fordulatszámával. Álló keréknél az indukált feszültség gyakorlatilag nulla. A fogak alakja, a légrés, a feszültség növekedés sarkossága és a vezérlőegység bemeneti érzékenysége egyaránt meghatározzák a legkisebb, még mérhető sebességet és ezzel az ABS alkalmazásoknál minimálisan elérhető megszólalási érzékenységet és kapcsolási sebességet. Beépítéskor ügyelni kell a póluscsap impulzuskerékhez történő pontos irányításra.[4]

Az állandó mágneses teret a beépített állandómágnes biztosítja, a vasmag szerepe az, hogy kis felületre koncentrálja a fluxust. Ha a lágyvas póluscsapot azonos keresztmetszetű mágnessel helyettesítjük, a fluxus kisebb lesz. Azonos fluxus és azonos méretű mágnes esetén nagyobb tekercsátmérőre lenne szükség, illetve nagyobb méretű fogak szükségesek a póluskeréken.

2. Elektromágneses modellezés

Az elektromágneses szimuláció célja a tervezésben általában a prototípusok számának csökkentésével, a költségek és a tervezési idő csökkentése. Emellett bizonyos esetekben a méréseket bonyolult vagy lehetetlen elvégezni, ellenben a szimulációval. A szimuláció továbbá lehetővé teszi a tervezés során több variáció vizsgálatát, így

alkalmazásával módunkban áll lehetőségelemzés és megvalósíthatósági vizsgálatok elvégzése még a tervezés korai szakaszában, az első prototípusok gyártása előtt. Mindez azonban kizárólag pontos számítások esetén lehetséges. Ezért a jelen kutatási munka egyik legfontosabb célja, hogy validálja az alkalmazott számítási módszert.

2. 1. Alkalmazott összefüggések

2. 2. 1. Alapegyenletek

A program alapvetően a makroszkopikus Maxwell egyenletek differenciális alakját használja.

Ezek az egyenletek az 1. táblázatban találhatók. A program mindig az adott megoldandó feladatnak megfelelő egyenletrendszer és határfeltételeket alkalmazza. A Maxwell magnetosztatikus, örvényáramú, és tranziens feladatokat képes megoldani. A megoldandó feladat jellegét a felhasználó adja meg.[3]

Megnevezés	Differenciális alak	
Ampère-törvény	$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$	(2.1.)
Faraday–Lenz-törvény	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	(2.2.)
Gauss mágneses törvénye	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	(2.3.)
Gauss-törvény	$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$	(2.4.)

1. táblázat A makroszkopikus Maxwell-egyenletek

A keréksebesség szenzor szimulációja során a mágneses tranziens megoldót választottam, amely 3D szimuláció esetén a következő egyenleteket oldja meg [6]:

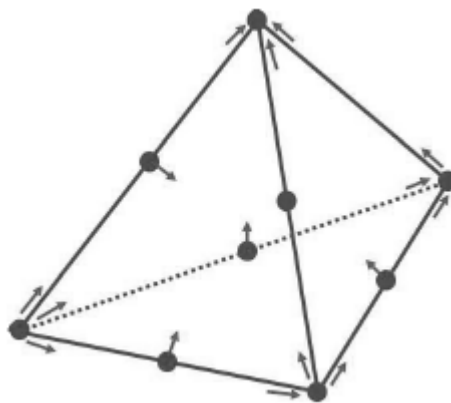
$$\nabla \times \frac{1}{\sigma} \nabla \times \mathbf{H} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0 \quad (2.5.)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2.6.)$$

$$-\nabla \cdot \left(\varepsilon \nabla \frac{\partial \Phi}{\partial t} \right) - \nabla \cdot (\sigma \nabla \Phi) = 0 \quad (2.7.)$$

2. 2. 3. Geometria diszkretizálása

Az alkatrészt modellező geometriai tartományt véges sok elemre osztjuk fel. Az alkalmazott programban az elemek tetraéder alakúak (3. ábra). A felosztás eredményeként kapjuk meg a numerikus hálót.



3. ábra A tetraéder elem [5]

2. 2. 4. Az alapegyenletek diszkretizálása

A zárt alakban meg nem oldható differenciál-egyenleteket folytonosról diszkrét alakra kell hozni. A szoftver a véges elemek módszerét alkalmazza, és variációs elven működik. A funkcionál megoldása Ritz és Gajlorkin módszerrel történik. [9]

A geometria minden egyes elemében a megoldást egy másodfokú négyzetes polinommal közelíti:

$$H_x(x,y,z) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3z + a_4xy + a_5yz + a_6xz + a_7x^2 + a_8y^2 + a_9z^2 \quad (2.8.)$$

A bázisfüggvények komponenseit úgy kapjuk, hogy az erőter értékeit 10 pontban számítja. Ezek a csomóponti értékek a csúcsokon és az éleken. Egy elemen a tíz pont elhelyezkedése látható a 3.ábrán.[5]

2.2. 5. A diszkretizált egyenletek megoldása

Az eljárás a tetra elemek definiálása után, a függvényeket egy mátrix egyenletbe rendezi:

(2.9.)

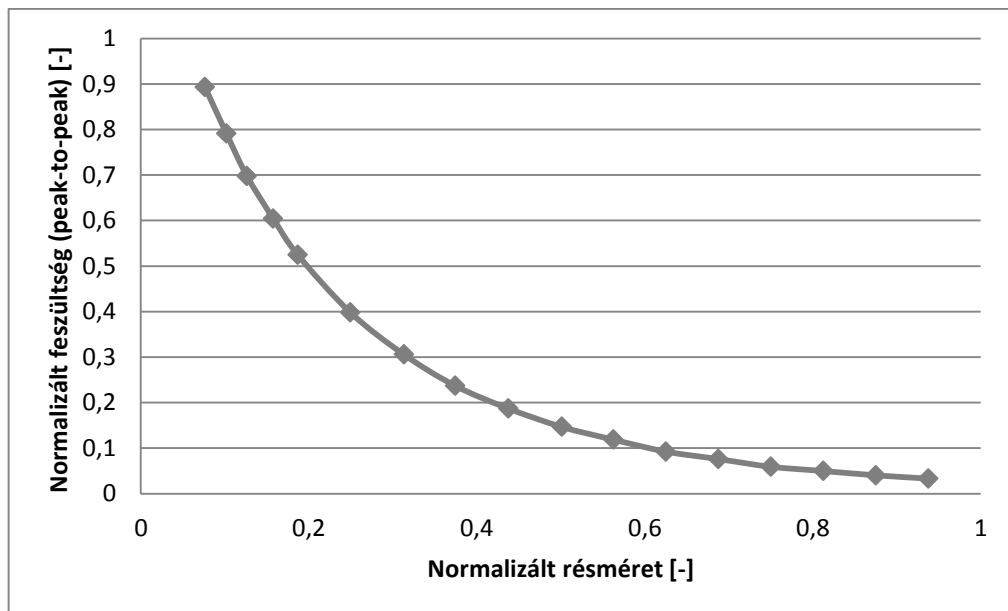
$$[S][H]=[J]$$

A (2.9.) megoldható általános mátrix megoldó technikákkal, mint például a Gauss eliminációs módszer ritka mátrixokra, ami a közvetlen megoldó vagy a befejezetlen Choleski konjugált gradiens eljárás (iteratív módszer). Az alapértelmezett megoldó a közvetlen megoldó, amelyet a keréksebesség szenzor esetében is alkalmaztam.[5]

3. Gyakorlati megvalósítás

3.1. Mérés és számítás

A mérés során különböző résméreteket állítottak be a vasmag és az impulzuserék között, a mért mennyiség pedig a kimeneten mért indukált feszültség. A csúcstól-csúcsig mért feszültségek a 4. ábrán láthatók a résméret függvényében, normalizálva, dimenziók nélkül.

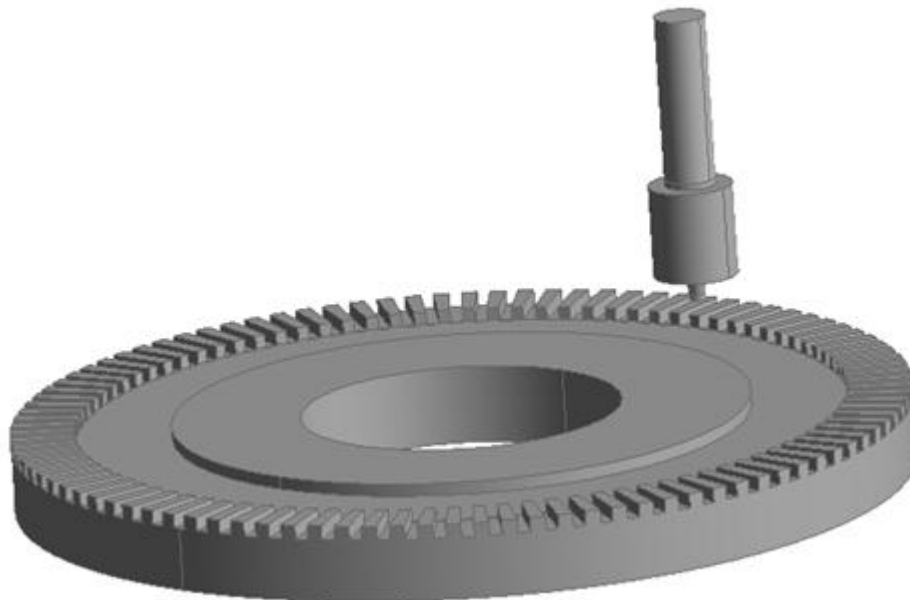


4. ábra Mérési eredmények

A számítás általában a megfelelő modell kialakításával kezdődik, melyet jelen esetben az anyagtulajdonságokkal együtt rendelkezésekre bocsájtottak. A következő lépés a

háló elkészítése, amit a peremfeltételek és a megoldó paramétereinek beállítása követ. A program ezek után megoldja a megfelelő egyenletrendszereket, majd a számítás végén az eredmények megjelenítése után az adatok kiértékelése következik.

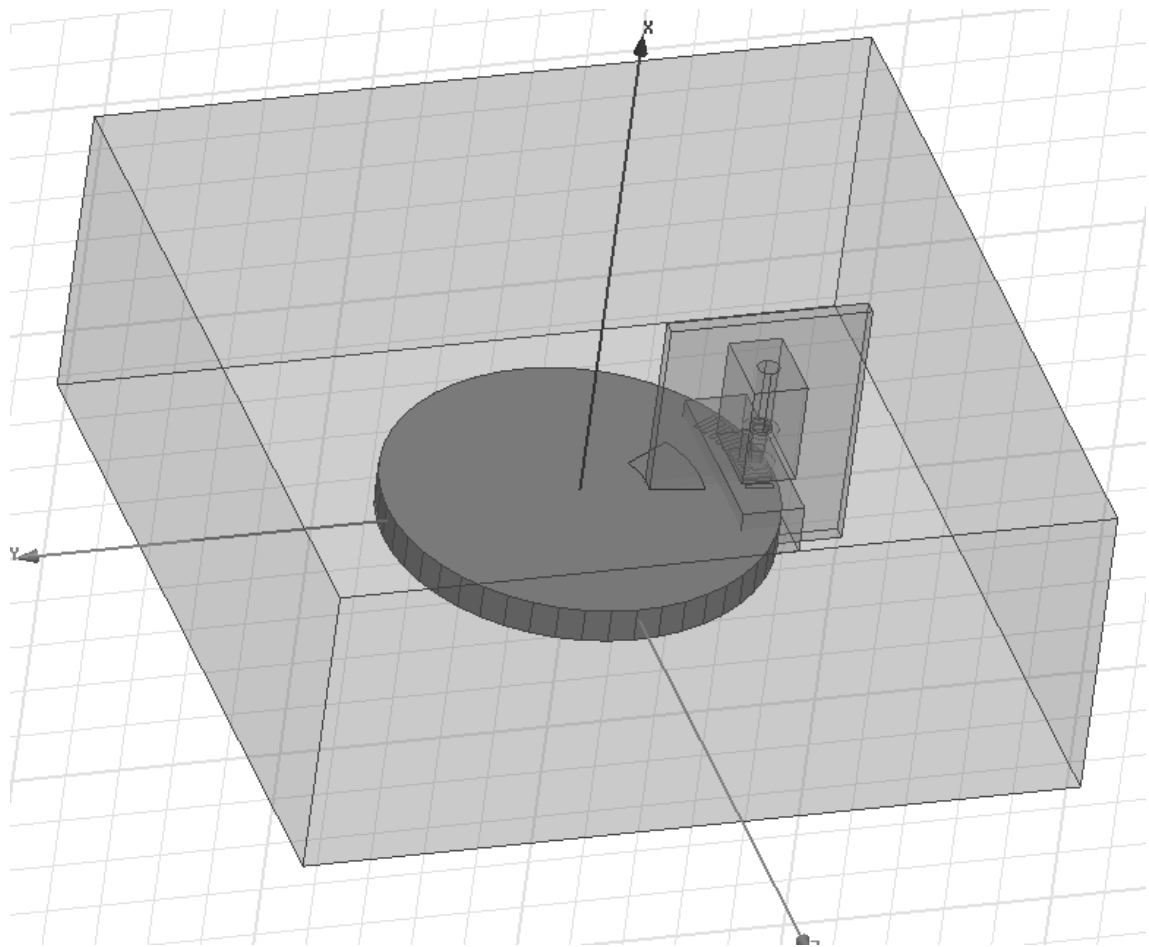
3.2. Geometria kialakítása



5. ábra A modell

A numerikus vizsgálat során az első és az egyik legfontosabb lépés a megfelelő geometria kialakítása. Ez esetben a rendelkezésemre bocsájtották a 3D-s geometriai modellt, ami az 5. ábrán látható. A geometriai modellt a valós szenzor képével összevetve látható, hogy bizonyos részeket a modellből elhanyagoltam. Ennek oka az, hogy a fém borítás anyaga 1.4303 számú rozsdamentes acél, ami egy ausztenites anyag, tehát nem mágnesezhető. Jelenléte elhanyagolható mértékben befolyásolja a mágneses teret. A valódi szerkezetben az egyes alkatrészeket körülvevő közeg nem levegő, hanem műgyanta, ami szintén nem mágnesezhető anyag.

Miután a geometriát összekapcsoltam a szimulációs programmal, néhány kiegészítő és egyszerűsítő módosítás után előállt a végleges modell (6. ábra). Az impulzuskeréknek elegendő csak egy cikket modellezni és ehhez hozzárendelni a forgást, illetve megadni a ennek paramétereit. Az indukció számításához szükséges a közeg is hozzáadni a geometriához, később ezt is be kell hálózni. Valós esetben ez a közeg műgyanta, rozsdamentes acél, illetve levegő, de ezek relatív mágneses permeabilitása 1-hez közeli érték. Az 6. ábrán látható nagy téglatest jelzi a szerkezetet körülvevő közeg.



6. ábra A végleges modell

3.3. Anyagtulajdonságok definiálása

A geometriához tartozó egyéb adatok is rendelkezésemre állnak. Az anyagtulajdonságok geometriához rendelése a geometria kialakításánál történik. Az általam vizsgált szenzor anyagai:

- Mágnes: AlNiCo 35/5
- Vasmag: X6CrMoS17
- Tekercs: Réz (szoftver által adott)
- Pulzuskerék: St37 Ba
- Az alkatrészeket körülvevő közeget vákuummal modelleztem, mert mágneses permeabilitásuk közel egyező

Az egyes anyagok tulajdonságai az 1. mellékletben találhatók.

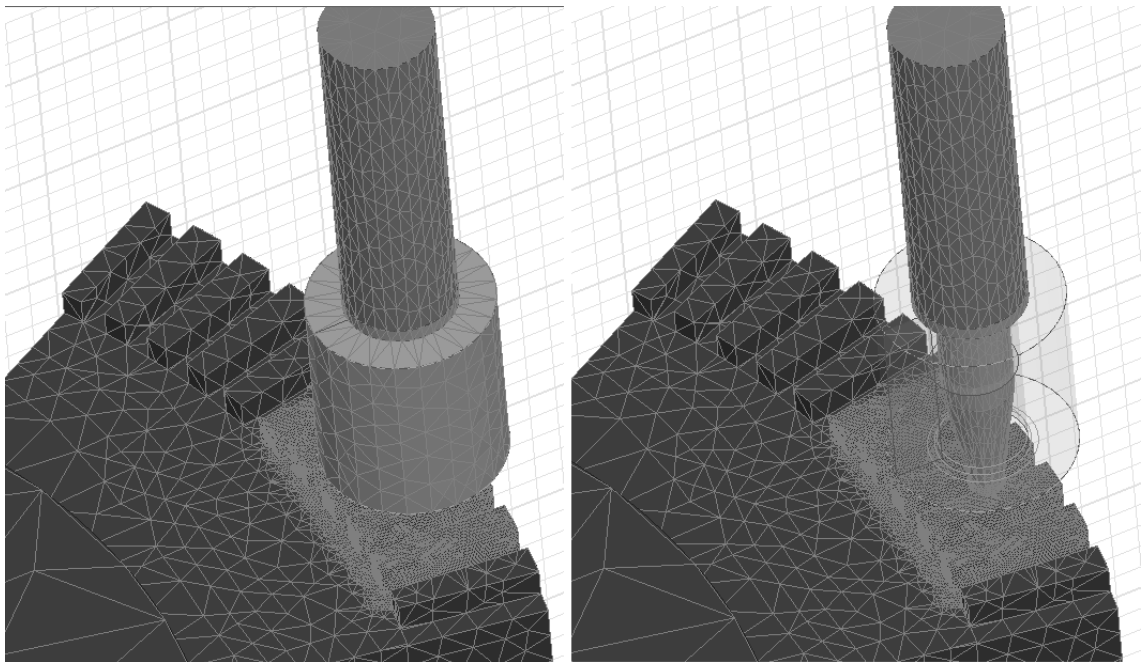
3.4. Geometriai diszkretizáció

A modell előkészítése után a hálót készítettem el, ami az adott geometria véges sok elemre bontását jelenti. A program által automatikusan generált hálót alkalmaztam (7. ábra), a szükséges helyeken hálófinomítást végeztem a geometriában létrehozott ún. nem modellezett dobozok segítségével. A hálósűrítés helyeit az 6. ábrán látható téglatestek jelölik. Ilyen sűrített terület az érzékelő és a póluskerék közötti légrés, és a modellezés időtartama alatt a szenzor előtt elhaladó pulzuskerék-fogazat. Az impulzuskerék azon része, amelyen a háló sűrítése szükséges, a kerék forgási sebességéből és a szimuláció időtartamából adódik.

Az 7. ábra az elkészült hálót mutatja, ami összesen 679393 db elemet tartalmaz. A háló méreteit az egyes alkatrészekben a 2. táblázat tartalmazza.

Total number of mesh		679393						
	Num Tets	Min edge length	Max edge length	RMS edge length	Min tet vol	Max tet vol	Mean tet vol	Std Devn [vol]
Dauermagnet	2793	0.00128949	0.00315423	0.0023078	7.69089e-01...	2.0758e-009...	4.64943e-010	2.58796e-010
Moving_zone	182441	0.000167632	0.0928012	0.00187486	1.51235e-01...	8.13671e-006...	1.07286e-009	4.68713e-008
Polstift	5859	5.50502e-005	0.00310527	0.00124145	8.92081e-01...	1.50539e-009...	5.55202e-011	1.28427e-010
Region	307219	8.67344e-005	0.164481	0.00472538	1.06152e-01...	0.000235982...	3.162e-008	1.33581e-006
Solid	178372	0.000176871	0.0175515	0.00080918	2.99928e-01...	2.34064e-007...	9.00369e-011	1.86958e-009
Spule	2709	0.00104466	0.00327481	0.00233627	1.71919e-01...	1.8155e-009...	5.59171e-010	2.64103e-010

2. táblázat A háló adatai



7. ábra Az elkészített háló

3.5. A szimuláció előkészítése

A szimuláció futtatása előtt további beállításokra van szükség. Ilyen a például pulzuskerék forgási sebessége. Miután fentebb definiáltam a kerék geometriáját illetve annak mozgási terét, meg kell adni a forgási sebességet is. Erre azért van szükség, mert a feszültség keletkezését a fluxus változása idézi elő. Ha sem a vezető, sem a mágneses mező nem mozog, a tekercsben csak akkor indukálódik feszültség, ha az áramhurok által közrefogott mágneses indukcióvonalak száma (fluxusa) időben megváltozik. Álló helyzetben nincs fluxusváltozás, így feszültség sem indukálódik. A szimuláció során a pulzuskerék forgási sebessége 60 ford./min (360 °/sec).

Tehát, a feszültség számításához szükség van a fluxus értékére, ennek számítási módját a program 'Calculator' alkalmazásában adtam meg. Az indukált feszültség a következőképpen számítható:

$$U(t) = -N \cdot \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (3.1.)$$

Ez Lenz törvénye, ahol a fluxus:

$$\phi = \int B \cdot dA \quad (3.2.)$$

A számítások során a hiszterézis veszteséget figyelembe kell venni, a következő módon:

A vasmag tulajdonságainál a programban be kell állítani a veszteségi modellt. Én ezt elektroacélra állítottam és megadtam a hiszterézisveszteség tényező (K_h) értékét. Ez az érték külső forrás [7] alapján 27.63 és 40.2 közötti. További információk hiányában a tényező értékét az intervallum közepére adtam meg.

A hiszterézis veszteséget a szoftver (3.3.) alapján számolja.

$$P_v = K_h f(B_m)^2 + K_c (f B_m)^2 + K_e (f B_m)^2 \quad (3.3.)$$

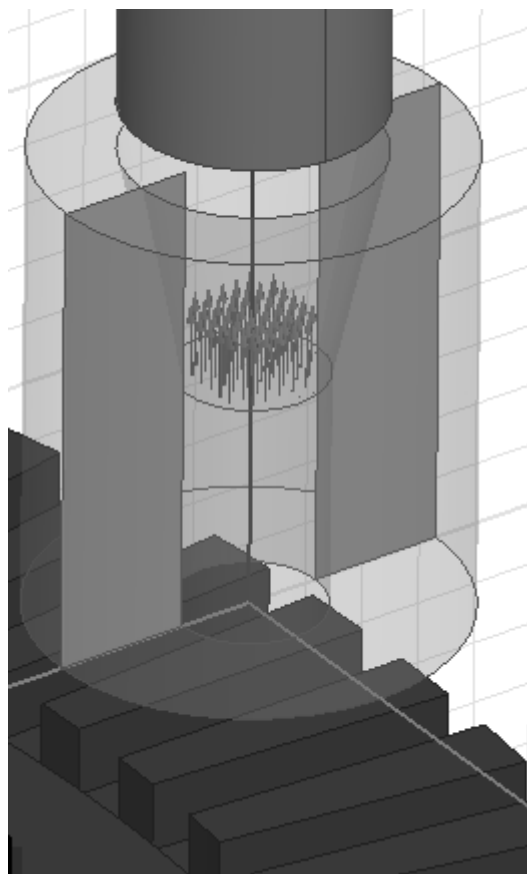
Az örvényáram veszteség elhanyagolható, mert az örvényáram lemezelt alkatrészek esetén jelentős, illetve az örvényáram kialakulása függ a geometriától is. Kisméretű geometriáról lévén szó jelen esetben ez a veszteség a kapott eredményeket nem befolyásolja. Túl-áramról pedig ilyen szerkezet esetében nem beszélhetünk, mert a tekercsben áram nem folyik. Így a (3.3.) leegyszerűsödik:

$$P_v = K_h f(B_m)^2 \quad (3.3.b)$$

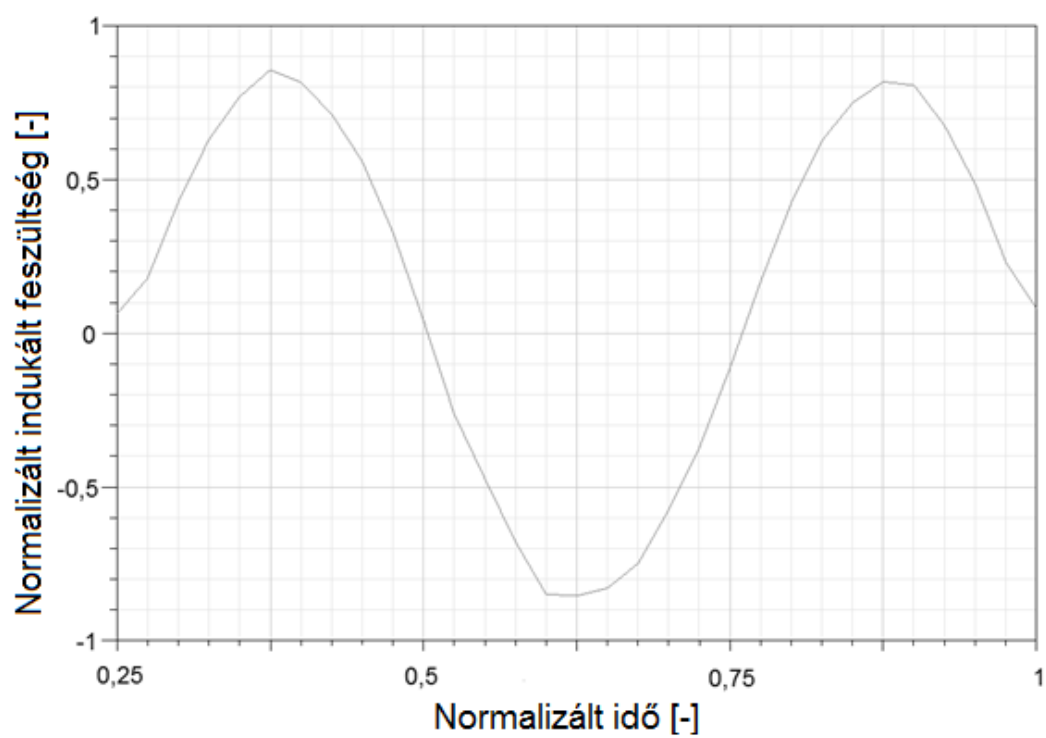
A futtatás előtti utolsó lépés a megoldó tulajdonságainak beállítása. A szimuláció időtartama 0,03 másodperc, az elektromágneses jellemzőket a szoftver 0,0005 másodperces időközönként számolja.

4. Eredmények

A következő lépés az eredmények megjelenítése és kiértékelése. A fluxus vonalak térbeli megoszlása a 8. ábrán látható, a 0,015 másodperces időpillanatban.



8. ábra A fluxus térbeli megoszlása a vasmagban



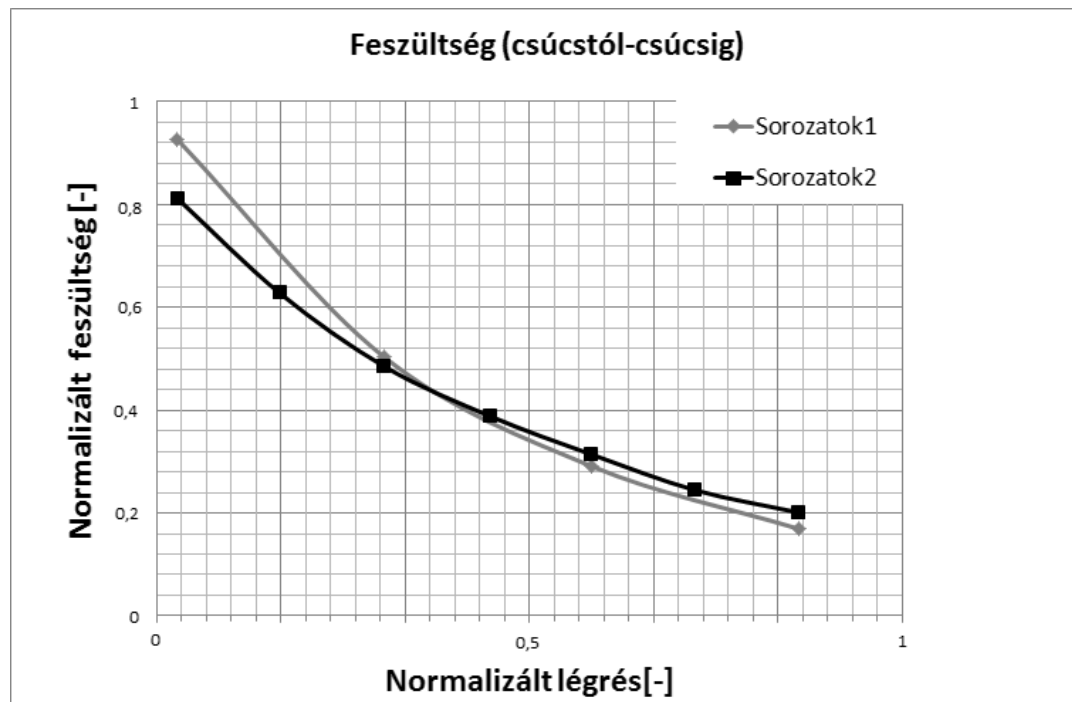
9. ábra Indukált feszültség az idő függvényében

A 9. ábrán a számított feszültség változás látható, amely 0,83 relatív részmérethez tartozik, ami a gyakorlatban leggyakrabban alkalmazott légrés.

Ebben az esetben megközelítőleg 8% eltérés volt tapasztalható a mérési és a számított eredmények között. (lásd 10. ábra)

4.4 Mérés és számítás összehasonlítása

Az eredmények áttekintése után a mérési és számítás összevetése következik. A mérési és a kapott számítási eredményeket a 10. ábra diagramján ábrázoltam.



10. ábra A mért és számított eredmények

Az eltérések fő oka a pulzuskerék kialakítása lehet. A kerék fogzatának kismértékű kopása vagy gyártási pontatlansága is jelentősen befolyásolhatja a feszültség lefutását. Főként a fogak magassága határozza meg a fluxusváltozás mértékét, így a feszültség értékét is. Emellett pedig a fogak alakja, illetve kialakítása is befolyásoló tényező. A lekerekítések vagy letörések hatással vannak a feszültség lefutására és csúcserkéire is.

5. Tovább lépési lehetőségek

Az alkalmazott eljárást megvizsgálva, az eredmények és a valós mért adatok alapján kijelenthető, hogy a vizsgált módszer a jövőben alkalmas lehet más, hasonló elven

működő szerkezetek vizsgálatára, azok fejlesztésében fontos szerephez juthat.

A keréksebesség szenzor tekintetében a jelenlegi modell, illetve a szimulációs technika egy optimalizációs körbe kapcsolva a jövőben egy olyan továbblépési lehetőséget kínál, amellyel különböző fejlesztési célokat valósíthatunk meg. Ilyen cél lehet például a jeladó hatékonysága, a leadott jel stabilitására vonatkozóan. Ezt a feszültségjel ingadozása befolyásolja, mivel minél nagyobb a feszültség csúcstól-csúcsig való ingadozása, a jel annál nagyobb biztonsággal értékelhető ki. További fejlesztési cél lehet a szenzor súlyának, térfogatának vagy előállításai költségeinek csökkentése is. Ezzel összefüggésben különböző mágnes- vasmag- vagy vezetőanyagok alkalmazását is vizsgálhatjuk.

6. Összefoglalás

A keréksebesség szenzor vizsgálata során a gyártó által rendelkezésemre bocsájtott geometria paramétereit a szintén a gyártótól származó anyagtulajdonságok felhasználásával állítottam be. Tranziens megoldót választva futattam a számításokat, különböző résméretek esetére. Az eredmények a vizsgált tartományon belül minimális eltérést mutatnak a valós mérési adatoktól (átl. 12 %). A gyakorlatban leggyakrabban alkalmazott résméret esetén ez az eltérés nem éri el a 8%-ot.

Az eltérés oka a pulzuskerék gyártási pontatlanságából vagy az alkalmazott egyszerűsítésekből adódhat.

Összességében megállapítható, hogy az eljárás megfelelő hatékonysággal alkalmazható a keréksebesség szenzorok, illetve más, hasonló fizikai folyamatokkal rendelkező szerkezetek tervezése és fejlesztése során.

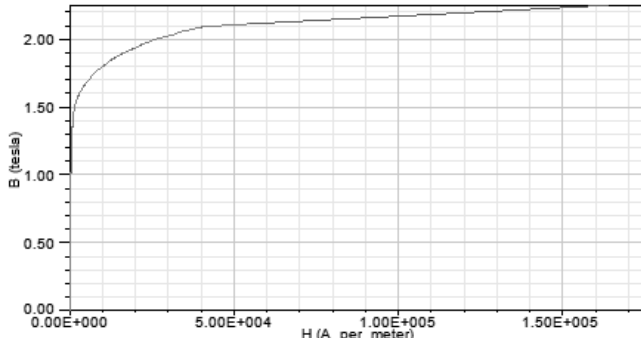
7. Felhasznált irodalom

- [1] Fundamentals of Automotive and Engine Technology; Konrad Reif; © Springer Fachmedien Wiesbaden 2014; pp 194-201;
- [2] Development of Precise GPS/INS/Wheel Speed Sensor/Yaw Rate Sensor Integrated Vehicular Positioning System; J. Gao, M.G. Petovello and M.E. Cannon; Position, Location And Navigation (PLAN) Group Department of Geomatics Engineering Schulich School of Engineering University of Calgary
http://raginbot.com/wiki/images/5/53/GPS_INS_wheel_encoder.pdf (11.09.2014.)
- [3] Differential Wheel Speed Sensor Integration with GPS/INS for Land Vehicle Navigation; Andrew Hazlett; State University of New York, Buffalo; John Crassidis, State University of New York, Buffalo; Daniel Fuglewicz, State University of New York, Buffalo; Patrick Miller, Calispan
<http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2011-6577> (01.10.2014.)
- [4] http://rs1.sze.hu/~szauter/tetelek/041_TETEL.pdf (2014.07.04.)
- [5] ANSYS Maxwell 2014 Training Manual; Lecture1: Introduction to ANSYS Maxwell
- [6] ANSYS Maxwell 2014 Training Manual; Lecture 5: Transient Solvers
- [7] R.K. Rajput – Basic Electrical Engineering, Laxmi Publications (P) Ltd.; New Delhi; 2005; page 271.
- [8] Stefan Zippel – Masterarbeit, Analyse des magnetischen Systems eines ABS-Sensors - Feldsimulation, automatisierte Kennfeldmessung, Signalsynthese
http://edoc.sub.uni-hamburg.de/haw/volltexte/2012/1594/pdf/Masterthesis_Zippel.pdf
- [9] Konzultáció alapján a szoftver magyarországi forgalmazójával, akivel a Knorr-Bremse budapesti fejlesztőközpontja kapcsolatban áll (a levélváltás időpontja: 2014.10.21.).

8. Mellékletek

1. sz. melléklet

3. táblázat Anyagtulajdonságok

AlNiCo 35/5																						
μ_0	18.909498																					
γ	625 000 S/m *																					
H	50 500 A/m *																					
B_r	1,2 T																					
Cu																						
μ_0	0,999991																					
γ	50 500 S/m																					
St37 Ba																						
μ_0		<table><tr><th>H (A_per_meter)</th><th>B (tesla)</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>193.0036</td><td>0.34563432</td></tr><tr><td>231.0043</td><td>0.51160307</td></tr><tr><td>266.0049</td><td>0.63436211</td></tr><tr><td>326.006</td><td>0.80317073</td></tr><tr><td>388.0072</td><td>0.92852027</td></tr><tr><td>473.0087</td><td>1.05389872</td></tr><tr><td>568.0105</td><td>1.15628066</td></tr><tr><td>743.0137</td><td>1.27665908</td></tr></table>	H (A_per_meter)	B (tesla)	0	0	193.0036	0.34563432	231.0043	0.51160307	266.0049	0.63436211	326.006	0.80317073	388.0072	0.92852027	473.0087	1.05389872	568.0105	1.15628066	743.0137	1.27665908
		H (A_per_meter)	B (tesla)																			
		0	0																			
		193.0036	0.34563432																			
		231.0043	0.51160307																			
		266.0049	0.63436211																			
		326.006	0.80317073																			
		388.0072	0.92852027																			
		473.0087	1.05389872																			
		568.0105	1.15628066																			
743.0137	1.27665908																					
γ	2 000 000 S/m																					
X6CrMoS17																						
μ_0	1690 *																					
H_{cb}	400 A/m																					
B_r	0,85 T																					
ρ	7870 m ³																					

*Szoftver által számított érték