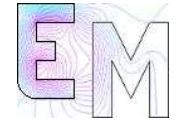




SZÉCHENYI ISTVÁN UNIVERSITY  
HTTP://UNI.SZE.HU  
15-3210-02

LABORATORY OF ELECTROMAGNETIC FIELDS  
SZÉCHENYI ISTVÁN UNIVERSITY  
HTTP://MAXWELL.SZE.HU



# MÁGNESES CSAPÁGY SZIMULÁCIÓJA VÉGESELEM-MÓDSZERREL

MARCSA DÁNIEL

Elektromágneses Terek Laboratórium  
Széchenyi István Egyetem, 9026, Egyetem tér 1, Győr

E-mail: marcsadaniel@yahoo.co.uk

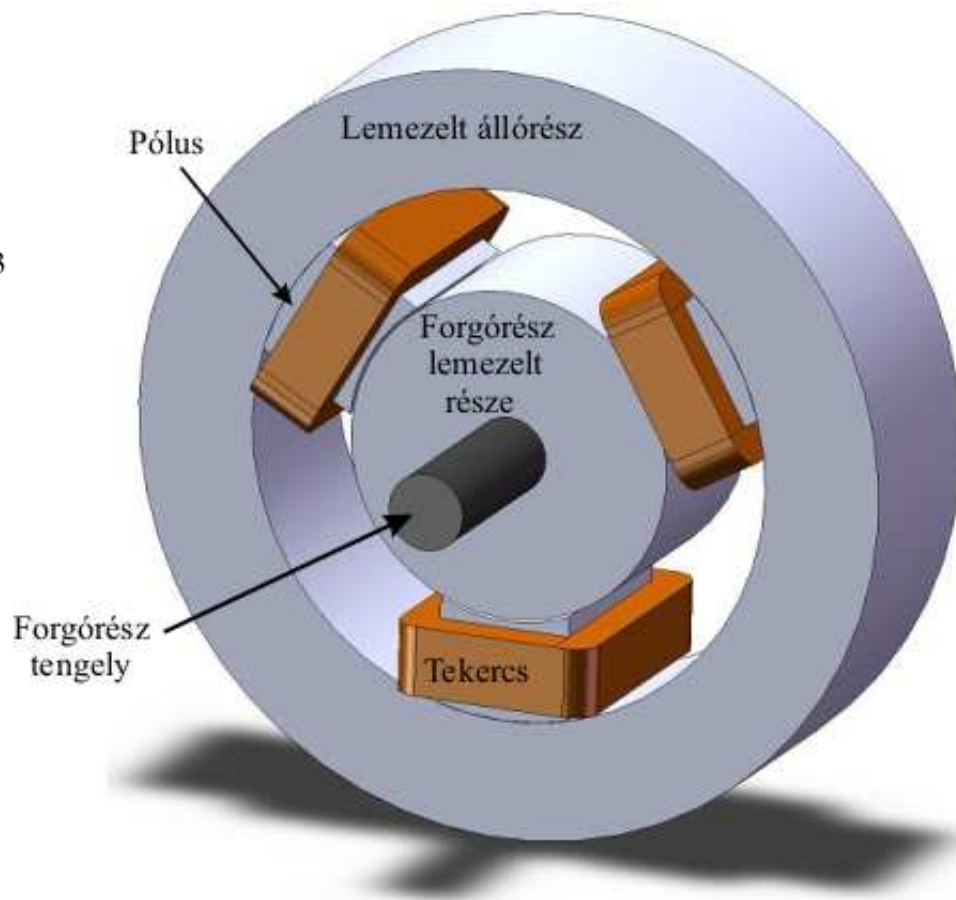
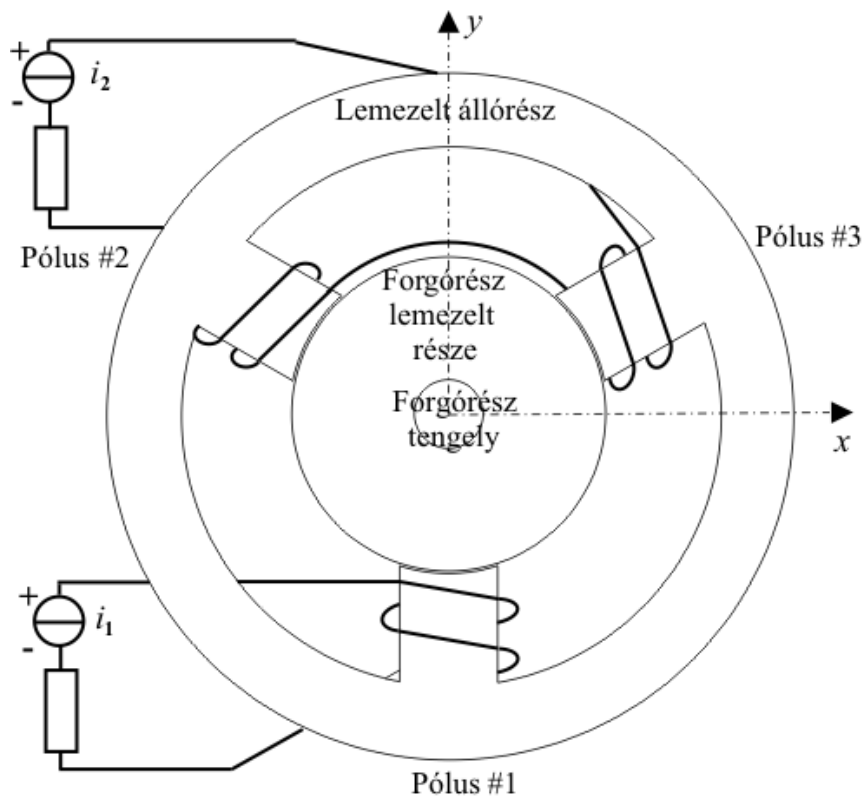


HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES  
HTTP://WWW.MTA.HU

HUNGARIAN SCIENTIFIC RESEARCH FUND (OTKA)  
HTTP://WWW.OTKA.HU  
OTKA PD 73242



# HÁROMPÓLUSÚ AKTÍV MÁGNESES CSAPÁGY



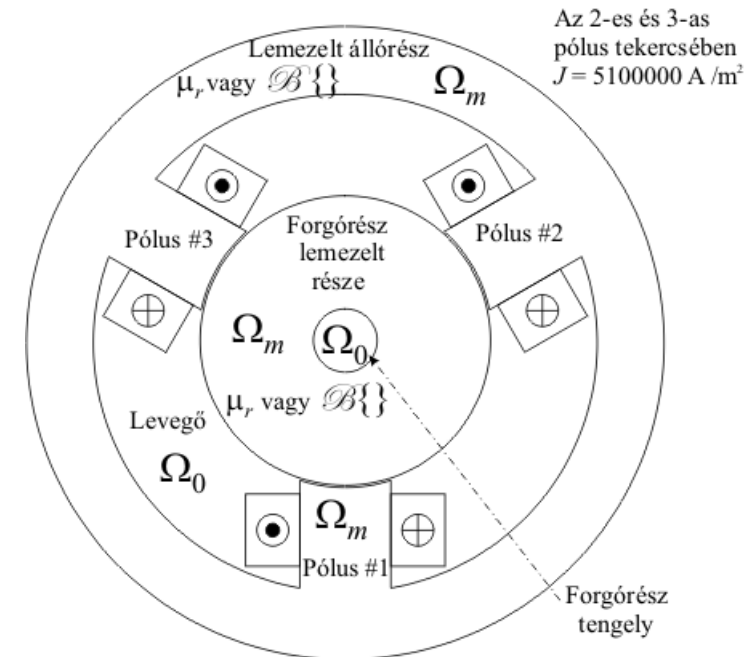
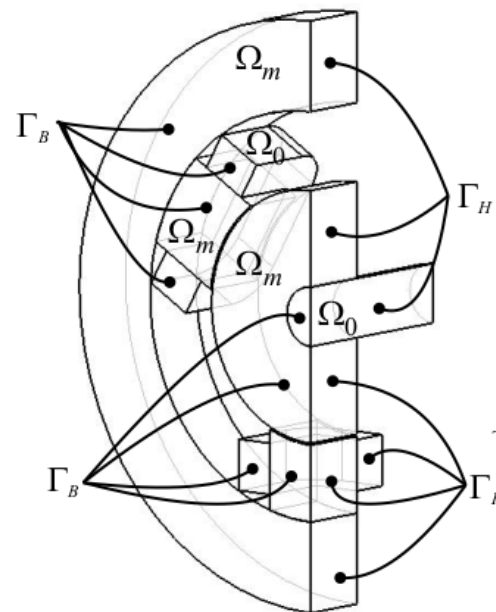
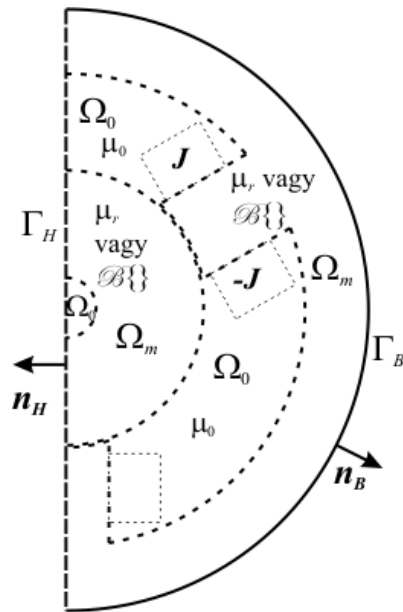
# A MÁGNESES CSAPÁGY TÉREGYENLETEI

## A stacionárius mágneses tér Maxwell-egyenletei

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_0, \quad \text{az } \Omega_0 \cup \Omega_m \quad \nabla \cdot \vec{J}_0 = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0, \quad \text{az } \Omega_0 \cup \Omega_m$$

$$\vec{H} = \begin{cases} \nu_0 \vec{B} \\ \nu_0 \nu_r \vec{B} \\ \mathcal{B}^{-1}\{\vec{B}\} = \nu_0 \vec{B} + \vec{I} \end{cases}$$



## Peremfeltételek a szimmetriasíkon

$$\vec{H} \times \vec{n}_H = \vec{0}, \quad \text{a } \Gamma_H \text{ peremen}$$

$$\vec{B} \cdot \vec{n}_B = 0, \quad \text{a } \Gamma_B \text{ peremen}$$

# FORMALIZMUS A MÁGNESES VEKTORPOTENCIÁLLAL

## Kétdimenziós esetben

$$\nabla \times (\nu \nabla \times \vec{A}) = \vec{J}_0$$

$$\nabla \times (\nu_o \nabla \times \vec{A}) = \vec{J}_0 - \nabla \times \vec{I}$$

## Háromdimenziós esetben

$$\nabla \times (\nu \nabla \times \vec{A}) = \nabla \times \vec{T}_0$$

$$\nabla \times (\nu_o \nabla \times \vec{A}) = \nabla \times \vec{T}_0 - \nabla \times \vec{I}$$

## Peremfeltételek

$$(\nu \nabla \times \vec{A}) \times \vec{n} = \vec{0}, \quad \text{a } \Gamma_H \text{ peremen}$$

$$(\nu_o \nabla \times \vec{A} + \vec{I}) \times \vec{n} = \vec{0}, \quad \text{a } \Gamma_H \text{ peremen}$$

$$\vec{n} \times \vec{A} = 0, \quad \text{a } \Gamma_B \text{ peremen}$$

$$\vec{T}_0 \cdot \vec{n} = 0, \quad \text{a } \Gamma_B \text{ peremen}$$

$$\vec{T}_0 \times \vec{n} = \vec{0}, \quad \text{a } \Gamma_H \text{ peremen}$$

} A  $T_0$  vektorpotenciál miatt

# A VÉGESELEM-MÓDSZER LÉPÉSEI

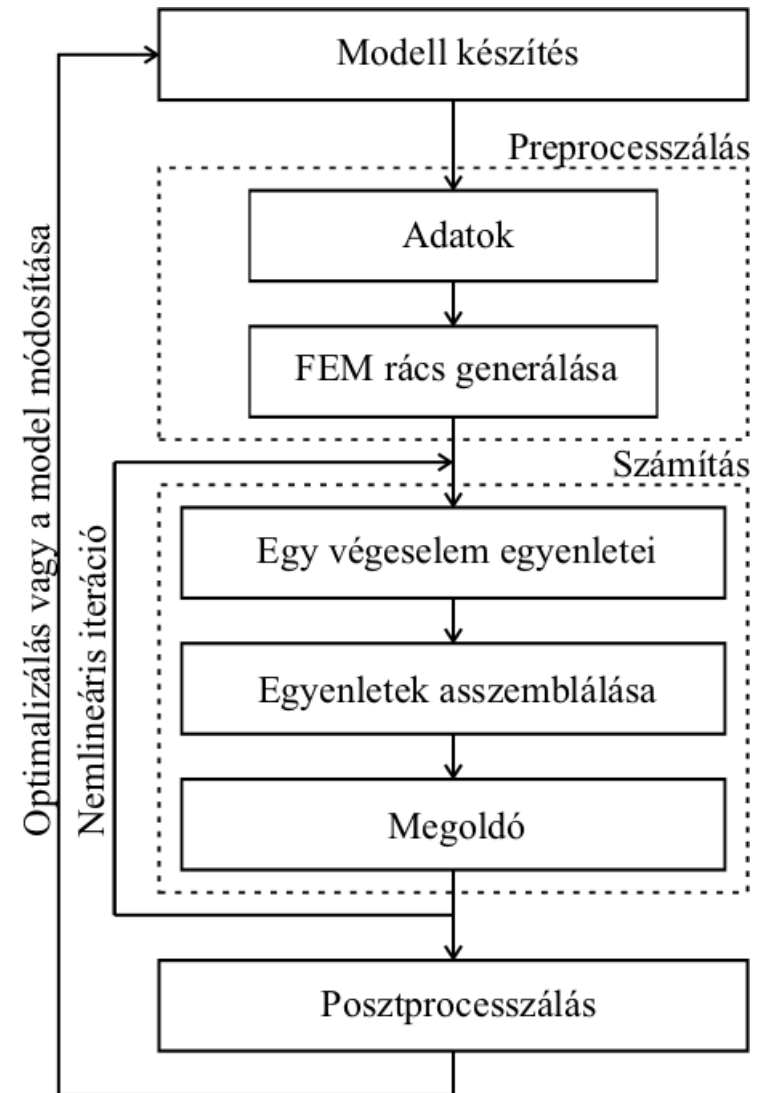
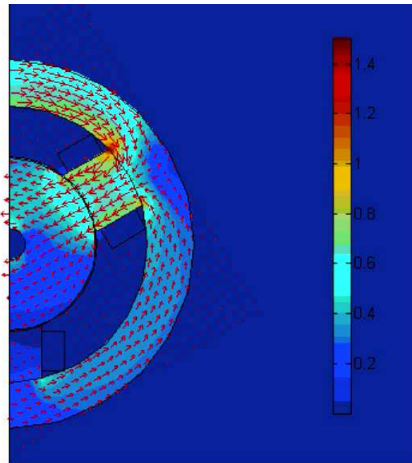
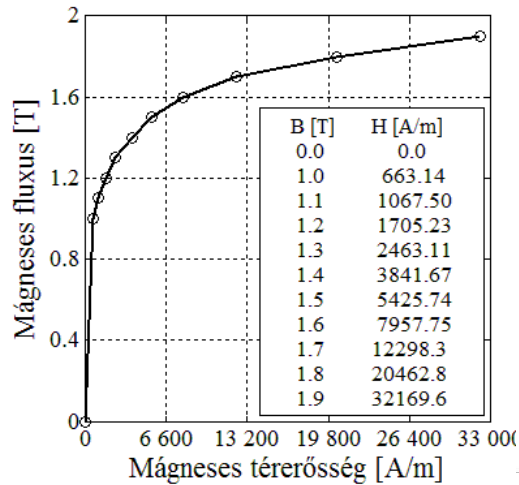
Nemlineáris 2D esetben

Newton – Raphson  
módszer

Nemlineáris 3D esetben

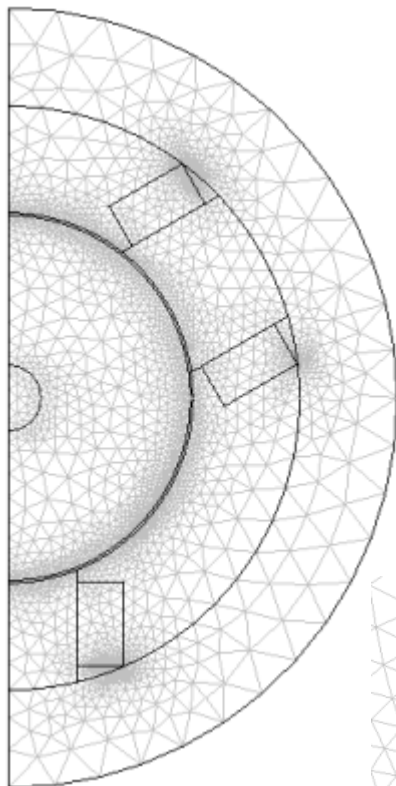
Fixpontos iterációs  
módszer

A megoldó script a COMSOL  
Multiphysics függvényeivel készült



# SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

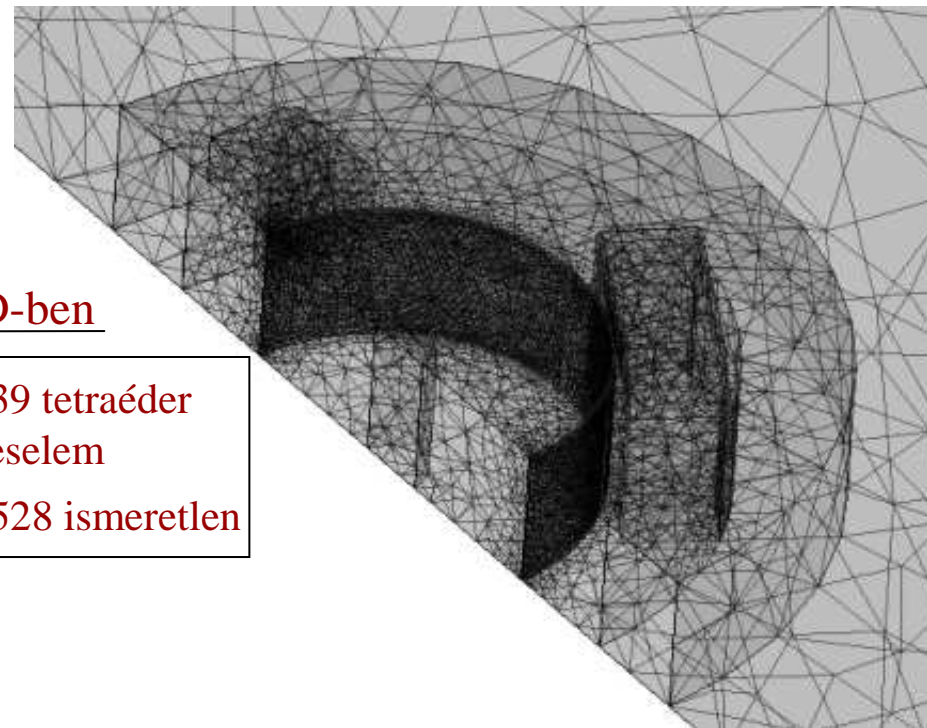
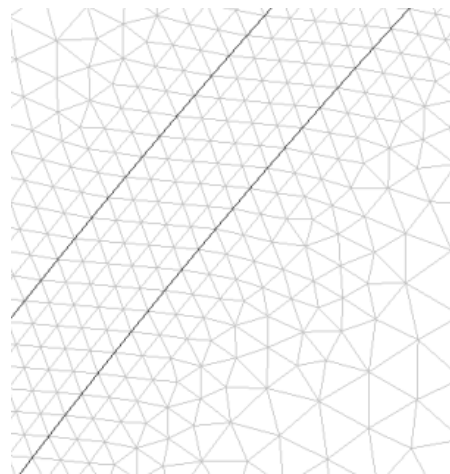
AMB végelelemes rácsa



2D-ben

15829 háromszög  
végelelem

31930 ismeretlen



3D-ben

86339 tetraéder  
végelelem

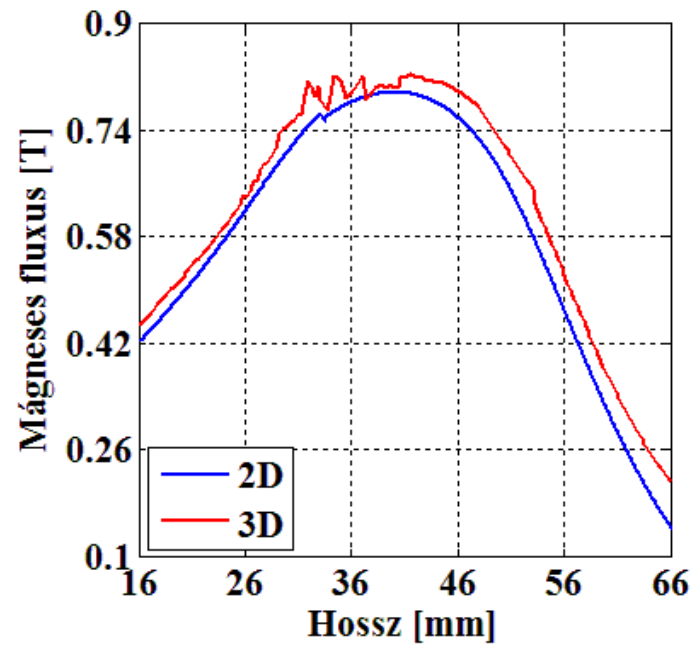
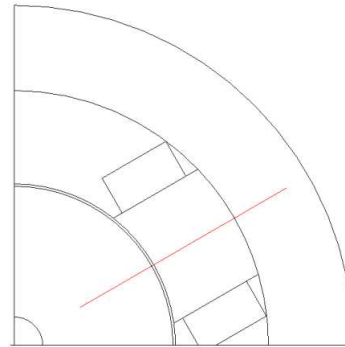
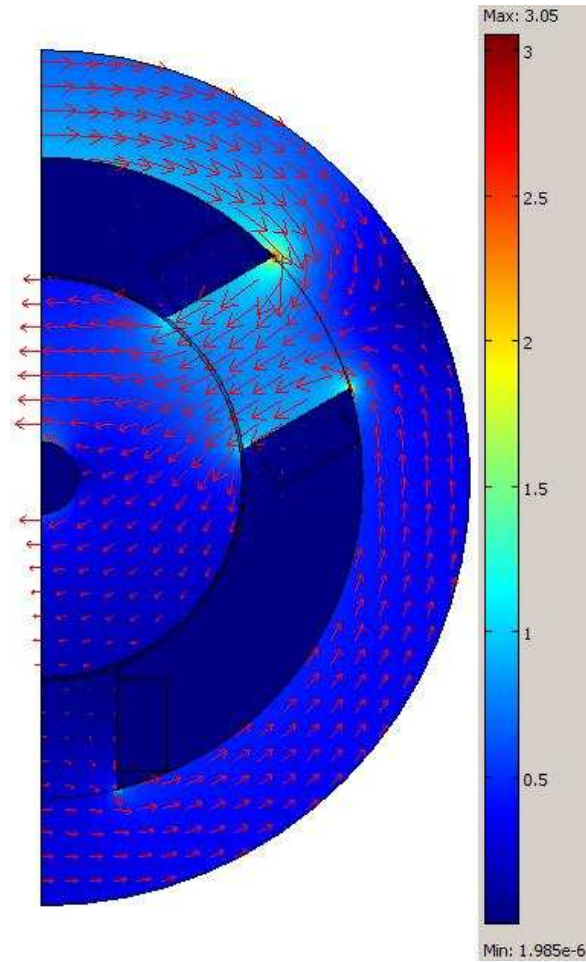
563528 ismeretlen

Ötrétegű rács a légrésben

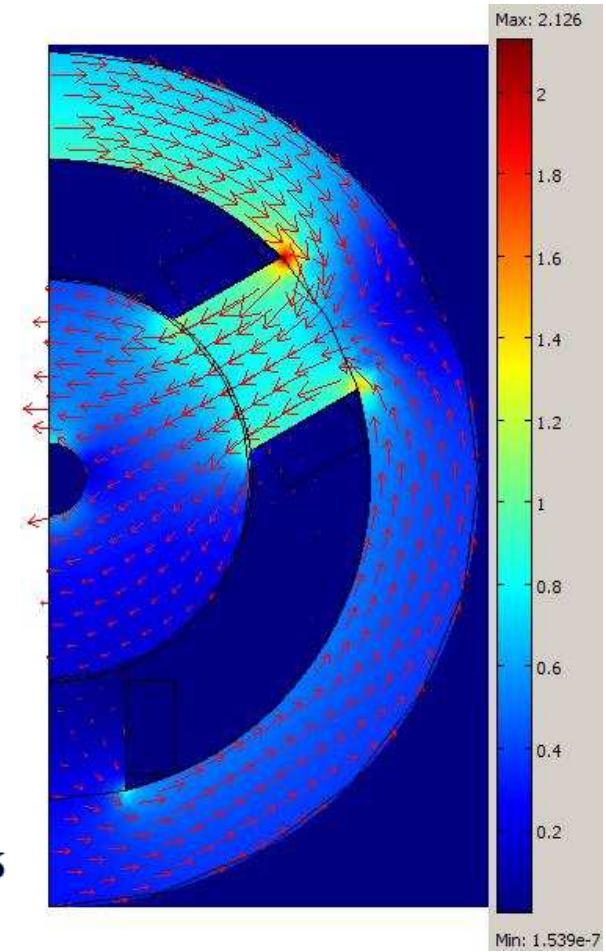


# SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK - LINEÁRIS

Lineáris 2D-ben

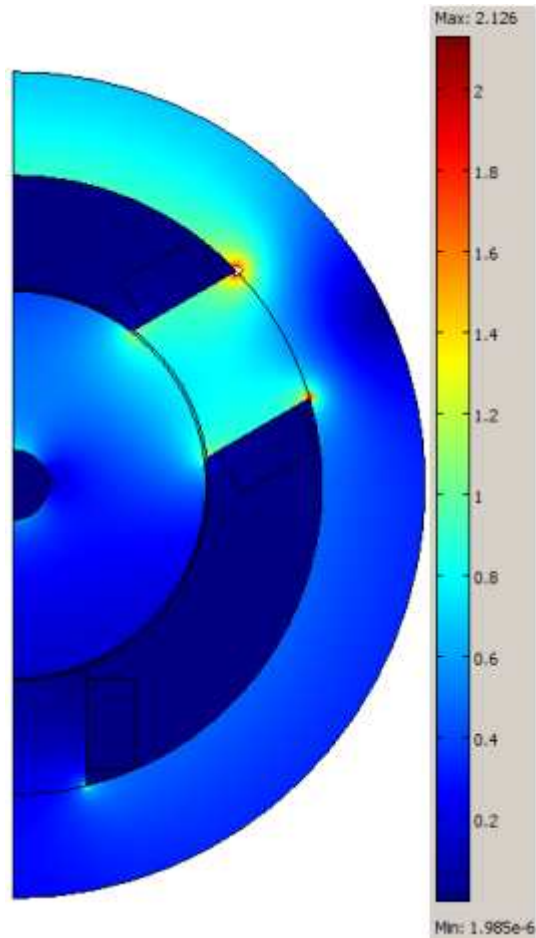


Lineáris 3D-ben

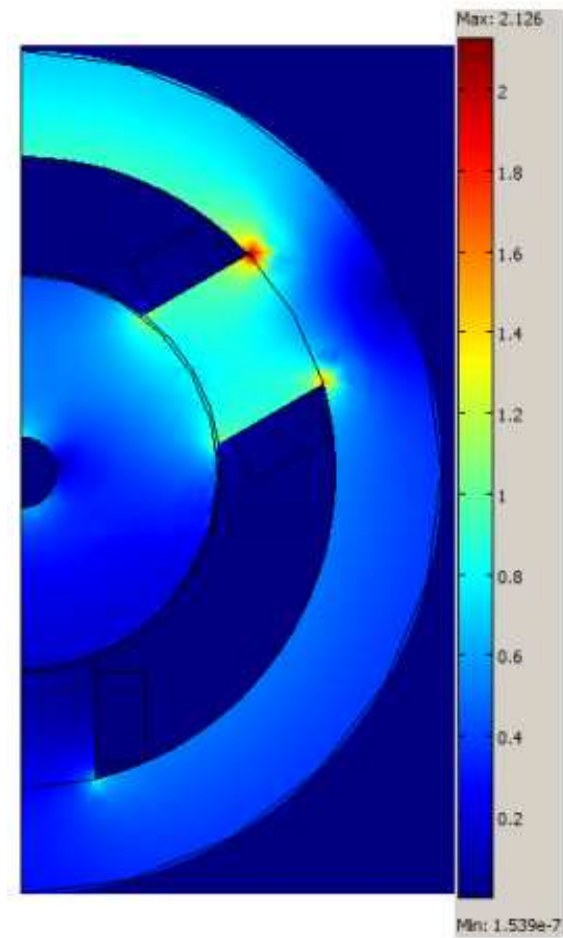


# SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK - LINEÁRIS

Lineáris 2D-ben



Lineáris 3D-ben



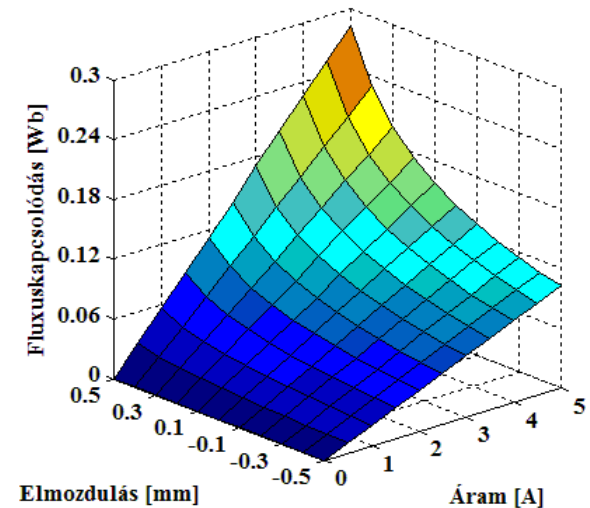
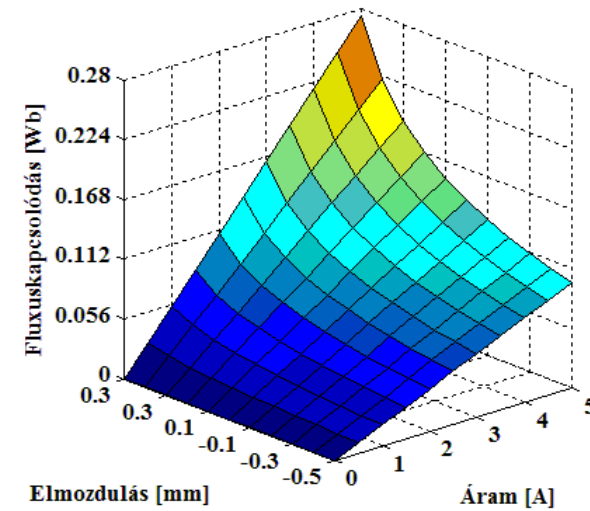
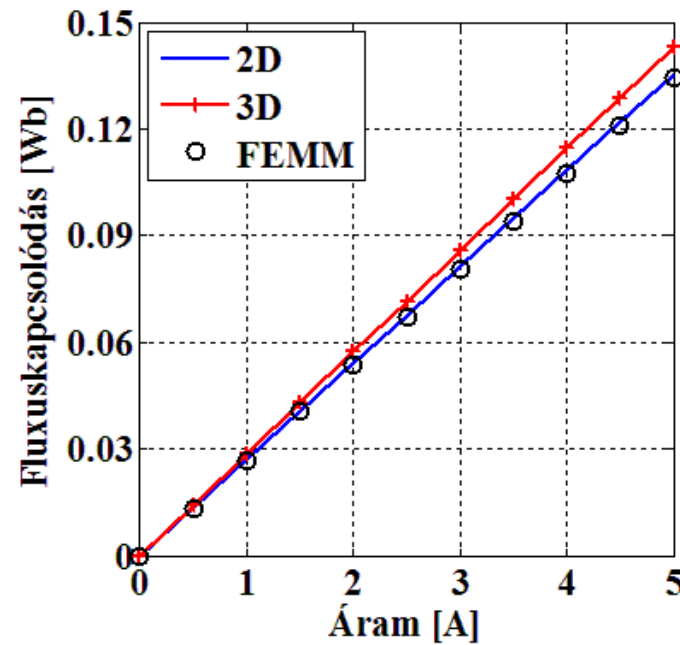
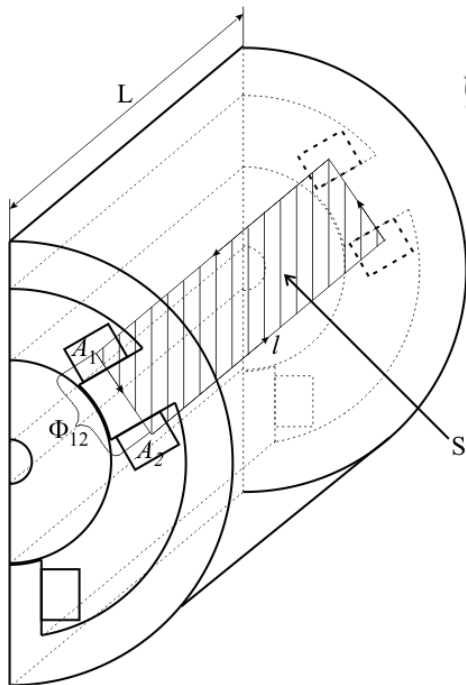


# SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK - LINEÁRIS

## Fluxus kapcsolódás

$$\Psi = N_w \Phi = N_w \int_S \vec{B} d\vec{S}$$

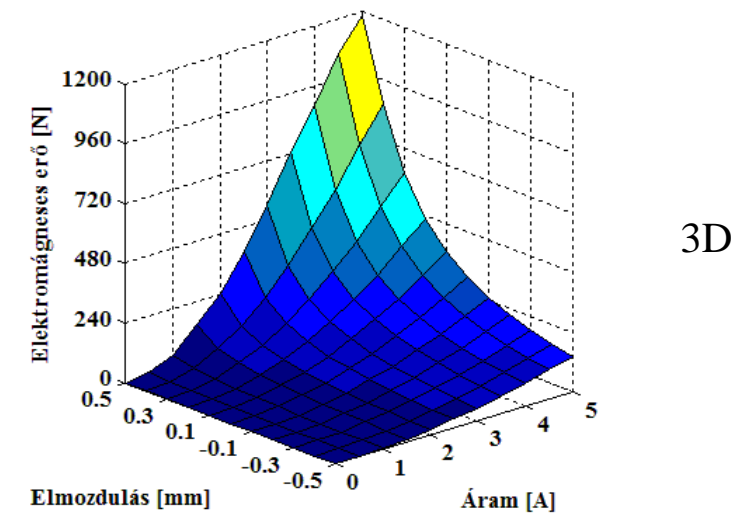
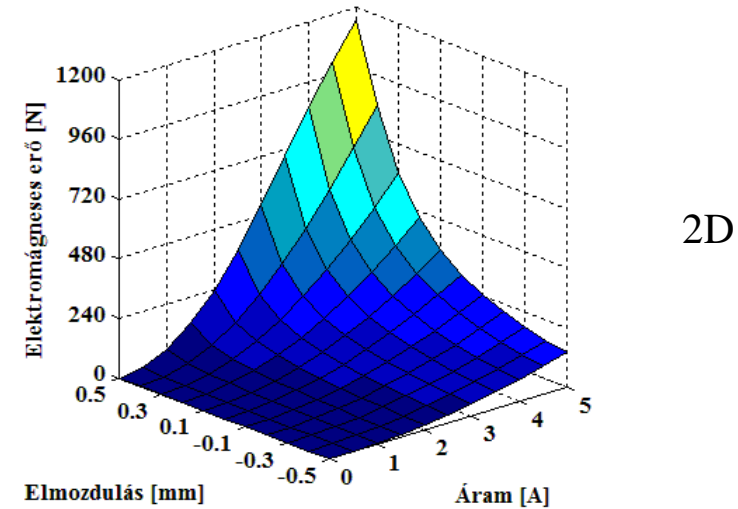
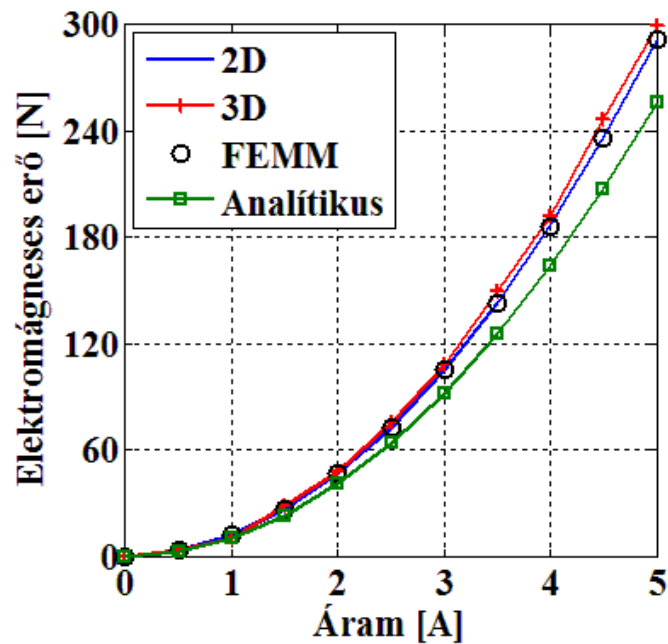
$$\Psi = N_w L (A_1 - A_2)$$



# SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK - LINEÁRIS

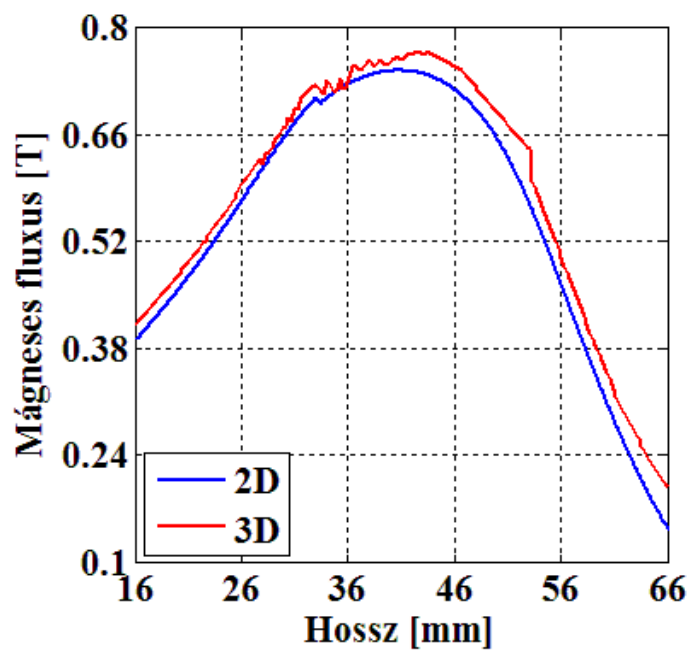
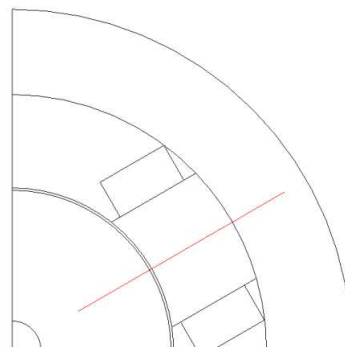
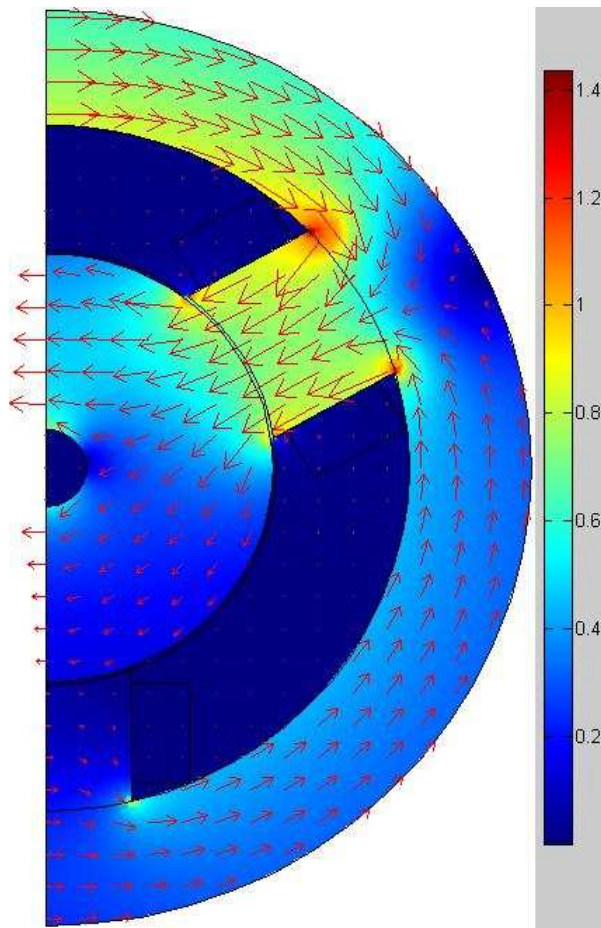
## Elektromágneses erő

$$\vec{F} = \oint_S \sigma \cdot d\vec{S} = \oint_S \left( \frac{1}{\mu_0} (\vec{B} \cdot \vec{n}) B - \frac{1}{2\mu_0} B^2 \vec{n} \right) d\vec{S}$$

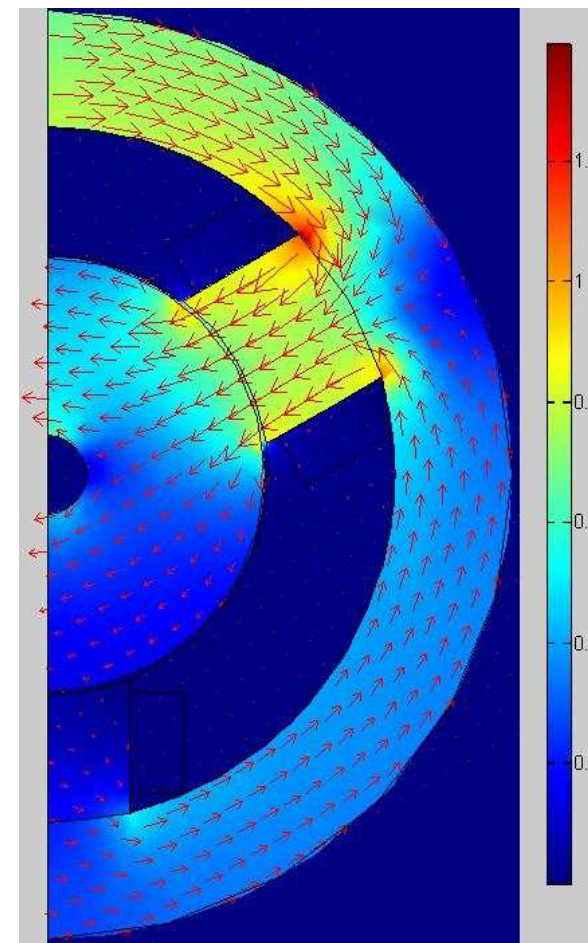


# SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK - NEMLINEÁRIS

Nemlineáris 2D-ben



Nemlineáris 3D-ben

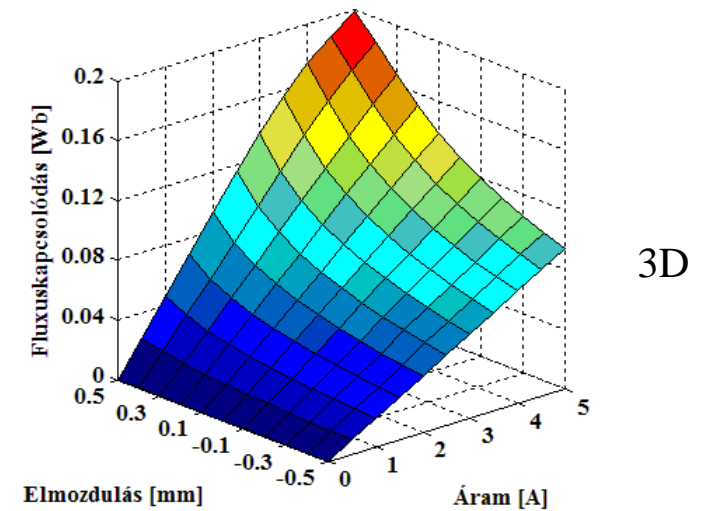
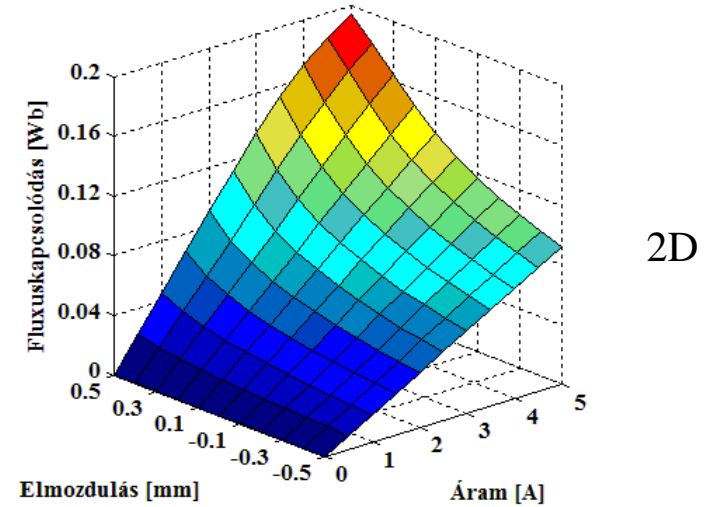
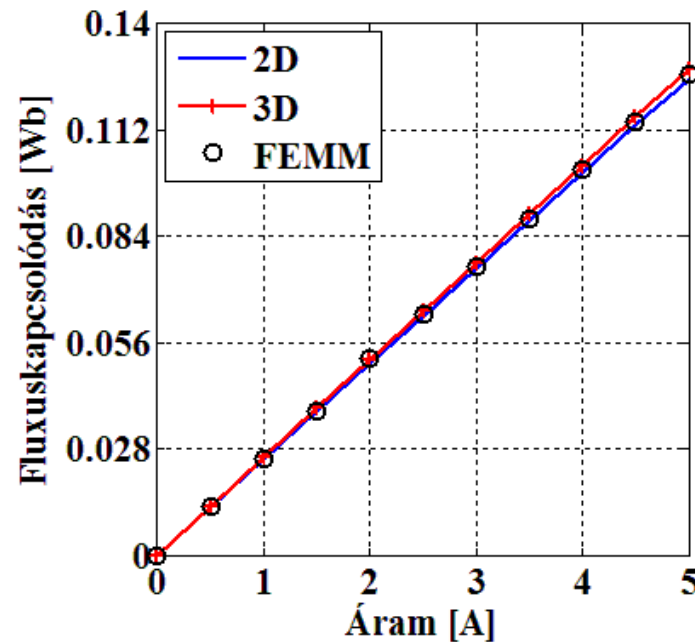
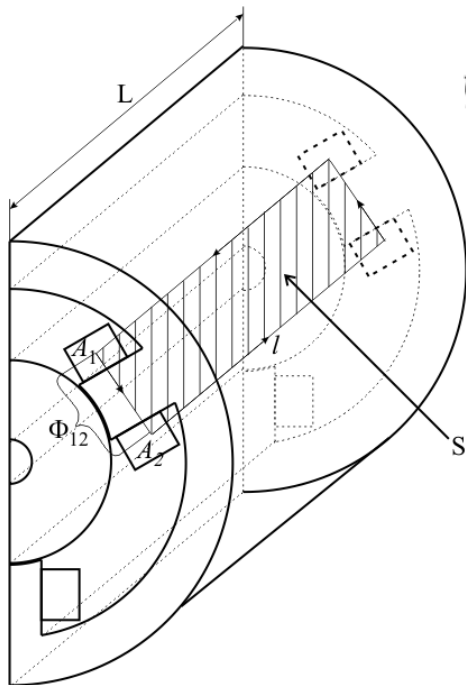


# SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK - NEMLINEÁRIS

## Fluxus kapcsolódás

$$\Psi = N_w \Phi = N_w \int_S \vec{B} d\vec{S}$$

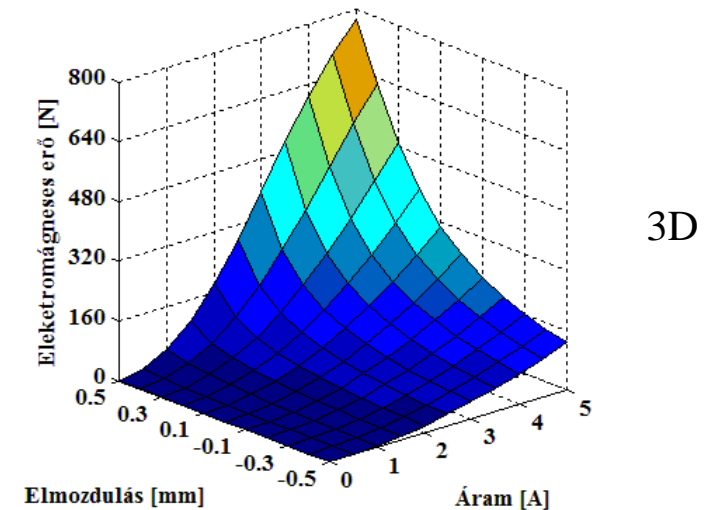
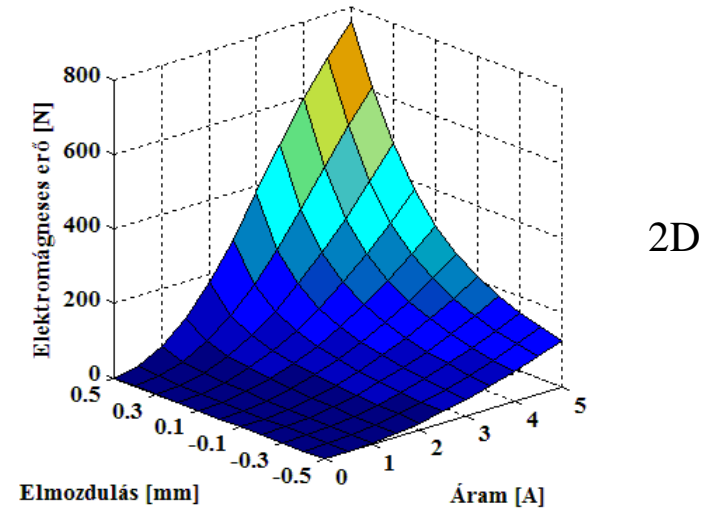
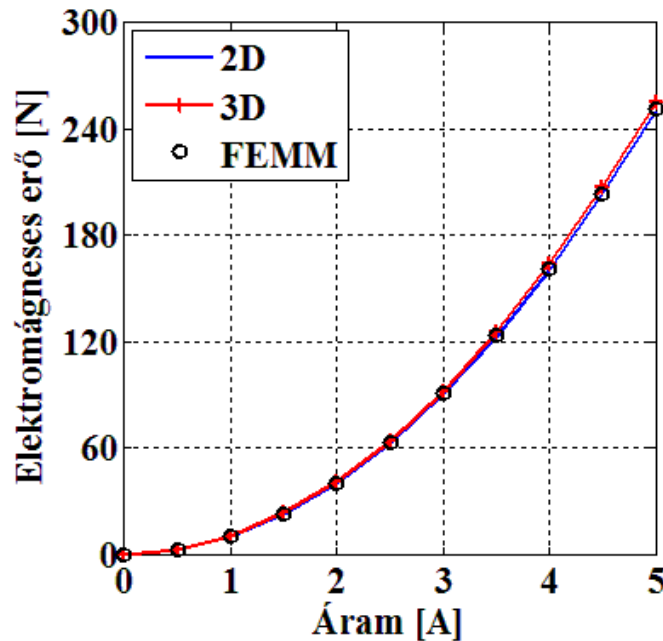
$$\Psi = N_w L (A_1 - A_2)$$



# SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK - NEMLINEÁRIS

Elektromágneses erő

$$\vec{F} = \oint_S \sigma \cdot d\vec{S} = \oint_S \left( \frac{1}{\mu_0} (\vec{B} \cdot \vec{n}) B - \frac{1}{2\mu_0} B^2 \vec{n} \right) d\vec{S}$$





# KONKLÚZIÓ ÉS JÖVŐBELI TERVEK

- Lineáris és nemlineáris véges elem-módszerrel két és háromdimenzióban oldottam meg a feladatot.
  - A két- és háromdimenziós eredmények összehasonlításánál az eredmények jól egyeztek, vagyis a csapágyvégeknél létező mágneses tér elhanyagolható, és elegendő a kétdimenziós szimuláció alkalmazása a rövid tengelyhosszal rendelkező mágneses csapágy esetében.
- 
- A radiális mágneses csapágy prototípusának megépítése.
  - A megfelelő működéshez szükséges, a lágyszámítási eljárásokon alapuló nemlineáris szabályozó tervezése.

