# HIBRID KISREPÜLŐGÉP PROPULZIÓS RENDSZER-ELEMEINEK MODELLEZÉSÉRE ALKALMAS MÓDSZER KIDOLGOZÁSA

**Molnár István Tamás, Veress Árpád**

**BME**
**Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék**

Magyar Repüléstudományi Konferencia

Magyarország, Budapest, 2017. 11. 16.

# Tartalom

- Elektromos és hibrid rendszerek
- Referencia repülőgép választás
- A szükséges tolóerő meghatározása és a NHT
- Számítási eljárás kidolgozása és alkalmazása a szükséges tolóerő fedezése érdekében
  - Dugattyús motor
  - Gázturbinás hajtómű
  - Villanymotor

# Tartalom

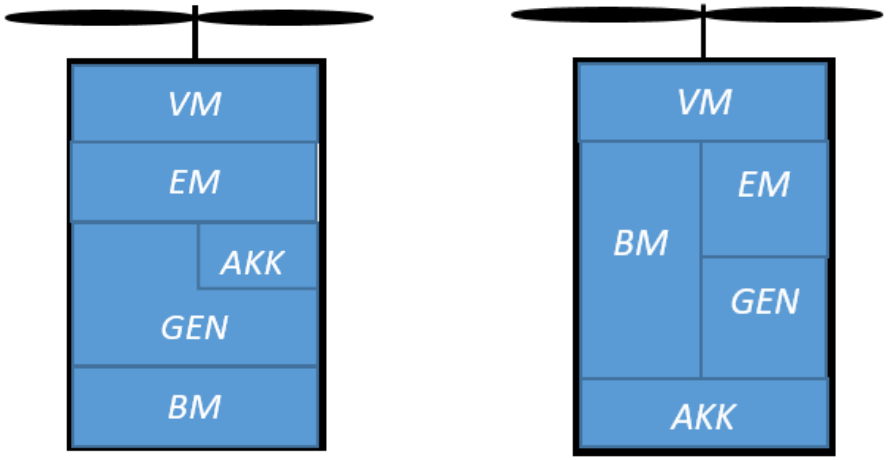
- Elektromos és hibrid rendszerek
- Referencia repülőgép választás
- A szükséges tolóerő meghatározása és a NHT
- Számítási eljárás kidolgozása és alkalmazása a szükséges tolóerő fedezése érdekében
  - Dugattyús motor
  - Gázturbinás hajtómű
  - Villanymotor

# Elektromos hajtás

- Előnyök:
  - Jó hatásfok
  - Szélesebb sebességi tartományban működtethetőek
  - Kevésbé terheli meg a környezetet
  - Nagy teljesítmény és nyomaték leadása
- Hátrányok:
  - Nagy az akkumulátorok tömege kicsi energiasűrűségük miatt (~0.2kW/kg)
  - Például $P_T$ = 400 kW, $V$ = 300 km/h és 2500 km megtételéhez szükséges energia biztosításához több, mint 16 t akkumulátorra lenne szükség

# Hibrid rendszerek

- A nagy akkumulátor tömeg kiküszöbölése érdekében született meg a hibrid meghajtás ötlete, amely az elektromos motort kombinálja egy belsőégésű motorral (dugattyús motor, gáz turbina, stb.)
  - Soros elrendezés
  - Párhuzamos elrendezés



# Hibrid rendszerek

- Manapság párhuzamos elrendezést alkalmaznak
- Ennek előnye:
  - Kedvezőbb tüzelőanyag fogyasztás
- Hátránya:
  - Bonyolult hajtáslánc
  - Nagy tömeg

A jelen munkában egy olyan számítási eljárást dolgoztunk ki, amellyel összehasonlíthatóak a jelenleg rendelkezésre álló, valamint a jövőben megalkotott konstrukciók a hagyományos dugattyús, és turbólégcsavaros meghajtásokkal.

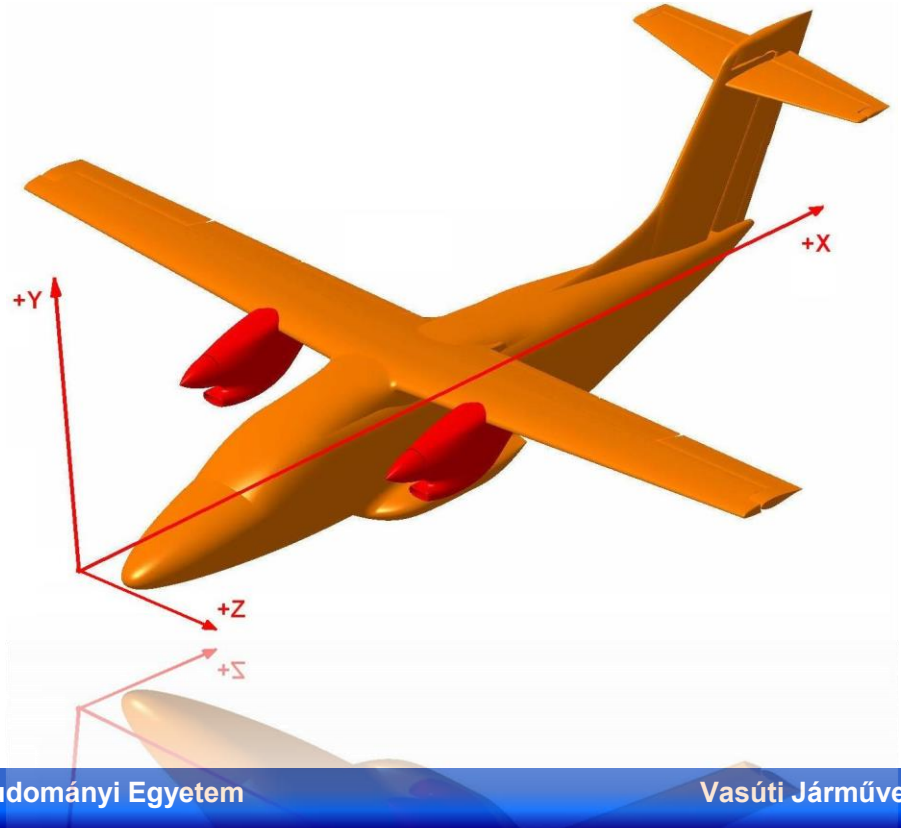
Ehhez a Normalizált Hatótávolság Tényezőt használjuk fel.

# Tartalom

- Elektromos és hibrid rendszerek
- Referencia repülőgép
- A szükséges tolóerő meghatározása és a NHT
- Számítási eljárás kidolgozása és alkalmazása a szükséges tolóerő fedezése érdekében
  - Dugattyús motor
  - Gázturbinás hajtómű
  - Villanymotor

# Referencia repülőgép

- A számítási eljárás felépítéséhez ki kell választanunk egy referencia repülőgépet, hogy a különböző hajtásrendszerek összehasonlíthatóak legyenek
- Az ESPOSA projektben alkalmazott repülőgép modellt választottuk:



# Referencia repülőgép

- Tudnunk kell, hogy különböző sebességeken mekkora vonóerőt szükséges előállítanunk
- Egy hajtómű $V = 112$ m/s sebességen $P_T = 364$ kW tengelyteljesítményt ad le, ezért a repülőgép ellenálláserejе ezen a sebességen, két hajtómű esetén:

$$T = D = \frac{P_T * \eta_k}{V} = C_D V^2 \frac{\rho_{lev}}{2} S = \frac{2 * 364000 * 0.856}{112} = 5564\ N$$

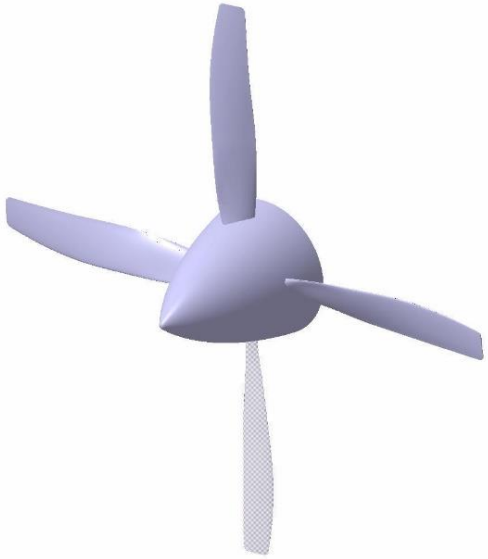
# Referencia repülőgép

- Utazáskor a az ellenálláserővel megegyezik a vonóerő
- $C_D$, $\rho$ és $S$ egy konstansnak tekinthető, így több repülési sebességre is meg tudjuk határozni a szükséges vonóerőt
- Egy hajtómű esetén:

| *M* | 0.15 | 0.2 | 0.25 | 0.3 | 0.34 | 0.4 | 0.41 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *V [m/s]* | 49.27 | 65.69 | 76.53 | 82.11 | 98.54 | 112 | 131.38 |
| *D [N]* | 538.34 | 957.05 | 1495.39 | 2153.37 | 2782.00 | 3828.21 | 4022.01 |

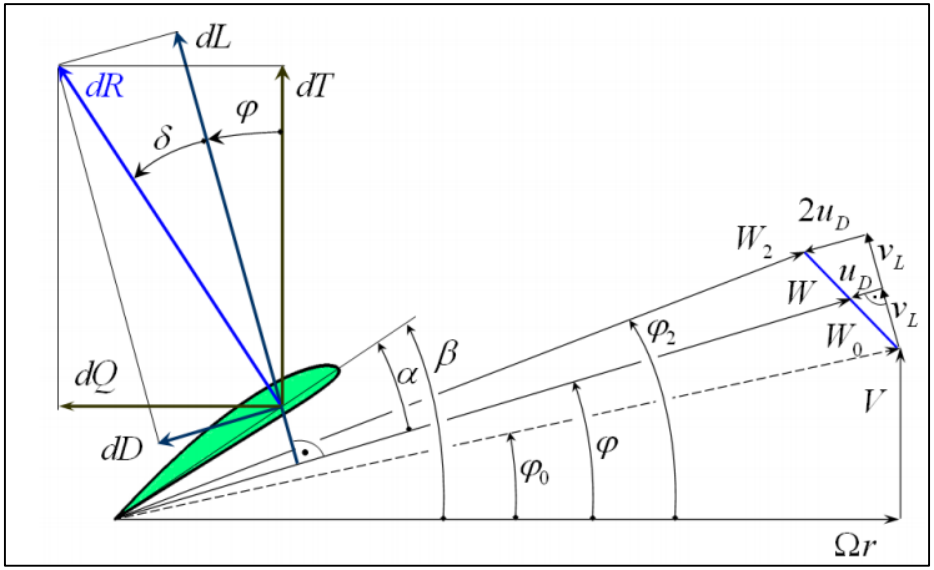
# Referencia légcsavar

- AV-844-1-E-C-R-(P) típusú légcsavar
- NACA 4412 szárnyprofil a sugár 75%-ban
- 1950 RPM
- 4 db légcsavar lapát
- $P_T$ = 364 kW, $V$ = 112 m/s repülési sebességen



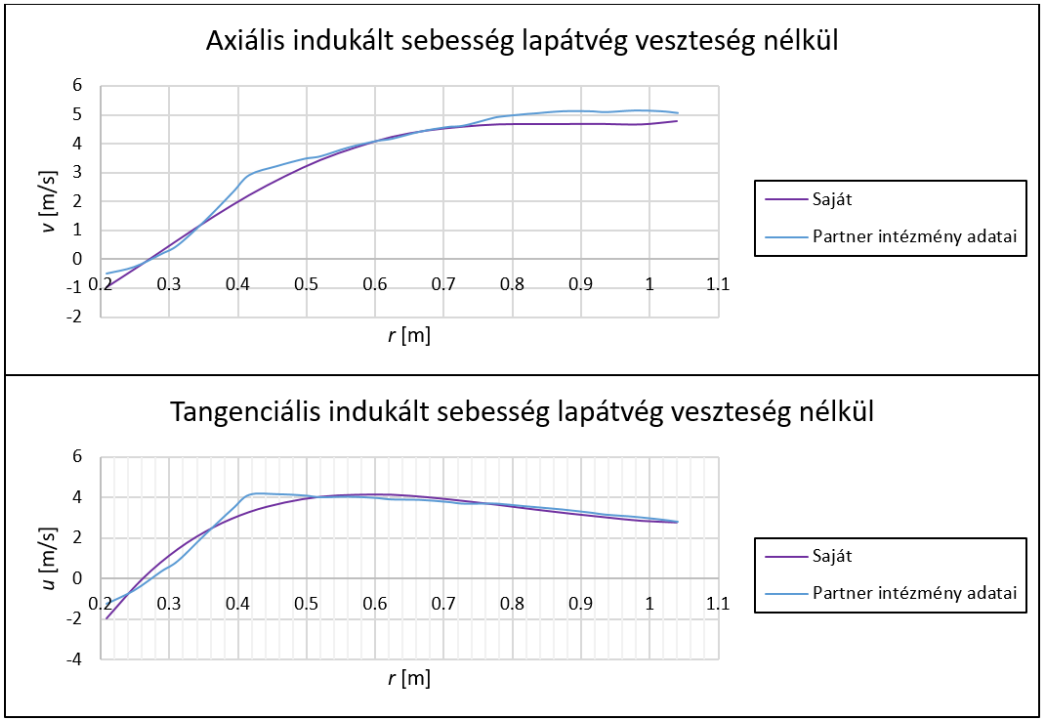
# Referencia légcsavar

- Légcsavar vonóerőt MATLAB programmal számítottuk
- Schmitz-féle egyesített lapelem és impulzus elméletet alkalmaztuk



# Referencia légcsavar

- A program pontosságát a partner intézmény által és általunk számolt indukált sebességek összehasonlításával ellenőriztük le, amelyek $V = 112$ m/s repülési sebességen érvényesek




- A kumulatív relatív hiba értéke kisebb, mint 4,5 %.

# Tartalom

- Elektromos és hibrid rendszerek
- Referencia repülőgép választás
- A szükséges tolóerő meghatározása és a NHT
- Számítási eljárás kidolgozása és alkalmazása a szükséges tolóerő fedezése érdekében
  - Dugattyús motor
  - Gázturbinás hajtómű
  - Villanymotor

# A szükséges tolóerő

- A vonóerőt több sebességre meghatároztuk
- Légcsavar beállítási szöge állandó
- Fordulatszám szabályozással állítottuk elő a repüléshez szükséges vonóerőt

| $M$ | 0.15 | 0.2 | 0.25 | 0.3 | 0.34 | 0.40 | 0.41 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V$ [m/s] | 49.27 | 65.69 | 82.11 | 98.54 | 112 | 131.42 | 134.70 |
| $n$ [RPM] | 863.64 | 1151.52 | 1439.40 | 1727.28 | 1964.00 | 2310.81 | 2404.03 |
| $T$ [N] | 538.34 | 957.05 | 1495.39 | 2153.37 | 2782.00 | 3828.11 | 4022.13 |
| $v$ [m/s] | 1.48 | 1.97 | 2.46 | 2.96 | 3.36 | 3.92 | 3.94 |
| $P_{LCS}$ [kW] | 26.51 | 62.83 | 122.72 | 212.06 | 311.58 | 502.65 | 541.33 |
| $\eta_k$ | 0.855672 | 0.855672 | 0.855672 | 0.855672 | 0.855687 | 0.824585 | 0.774952 |
| $P_T$ [kW] | 30.98 | 73.43 | 143.42 | 247.83 | 364.13 | 609.58 | 698.53 |

# NHT meghatározása

- A NHT a hajtómű, valamint az adott távolság megtételéhez szükséges üzemanyag tömegének összegével és a tolóerő hajtóműgondola ellenálláserejével csökkentett hányadosával egyezik meg
- Meghatároztuk külön dugattyús motoros, turbólégcsavaros és villanymotoros hajtásra is

$$NHT = \frac{m_{hm} + m_{tüz.a}}{T - F_{gondola}}$$

# Tartalom

- Elektromos és hibrid rendszerek
- Referencia repülőgép választás
- A szükséges tolóerő meghatározása
- Számítási eljárás kidolgozása és alkalmazása a szükséges tolóerő fedezése érdekében
  - Dugattyús motor
  - Gázturbinás hajtómű
  - Villanymotor

# Dugattyús motor

- Fogyasztás számítása:

- $B_t = b_t P_T$
- $b_t = \frac{1}{\eta_e H_{üa}}$
- $\eta_e = 0.3$
- $H_{üa}$ = 43.5 MJ/kg (100LL AvGas)

| M | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.34 | 0.40 | 0.41 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_{rep}$ [h] | 45.10 | 33.83 | 27.06 | 22.55 | 19.84 | 16.91 | 15.03 |
| $B_t$ [kg/h] | 7.54 | 17.87 | 34.91 | 60.32 | 88.63 | 148.38 | 170.03 |
| $m_{tüz.a}$ [kg] | 340.11 | 604.64 | 944.75 | 1360.44 | 1758.58 | 2508.98 | 2804.98 |
| $F_{gondola}$ [N] | 119.58 | 212.59 | 332.16 | 478.32 | 13.29 | 53.15 | 119.58 |
| NHT | 1.48 | 1.19 | 1.05 | 0.98 | 0.94 | 0.94 | 0.99 |

# Turbó légcsavaros hm.

- Fogyasztás számítása:
- $\eta_{ö} = \eta_{tüz}\eta_t\eta_{mech}\eta_k = \frac{\dot{Q}_{be}}{\dot{Q}_{égés}} \frac{P_{h,körf}}{\dot{Q}_{be}} \frac{P_T}{P_{h,körf}} \frac{P_{LCS}}{P_T}$
- $\dot{Q}_{égés} = \dot{B}_t H_{üa} = P_T \eta_{ö}$
- $\eta_{tüz} = 0.93$
- $\eta_t = 0.33$
- $\eta_{mech} = 0.97$
- $H_{üa} = 42.8$ MJ/kg (Jet-A1)

| M | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.34 | 0.40 | 0.41 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_{rep}$ [h] | 45.10 | 33.83 | 27.06 | 22.55 | 19.84 | 16.91 | 15.03 |
| $B_t$ [kg/h] | 8.75 | 20.75 | 40.52 | 70.02 | 102.88 | 172.24 | 197.37 |
| $m_{tüz.a}$ [kg] | 394.80 | 701.86 | 1096.66 | 1579.20 | 2041.35 | 2912.41 | 3256.01 |
| $F_{gondola}$ [N] | 119.58 | 212.59 | 332.16 | 478.32 | 13.29 | 53.15 | 119.58 |
| NHT | 1.24 | 1.11 | 1.05 | 1.02 | 1.00 | 1.02 | 1.08 |

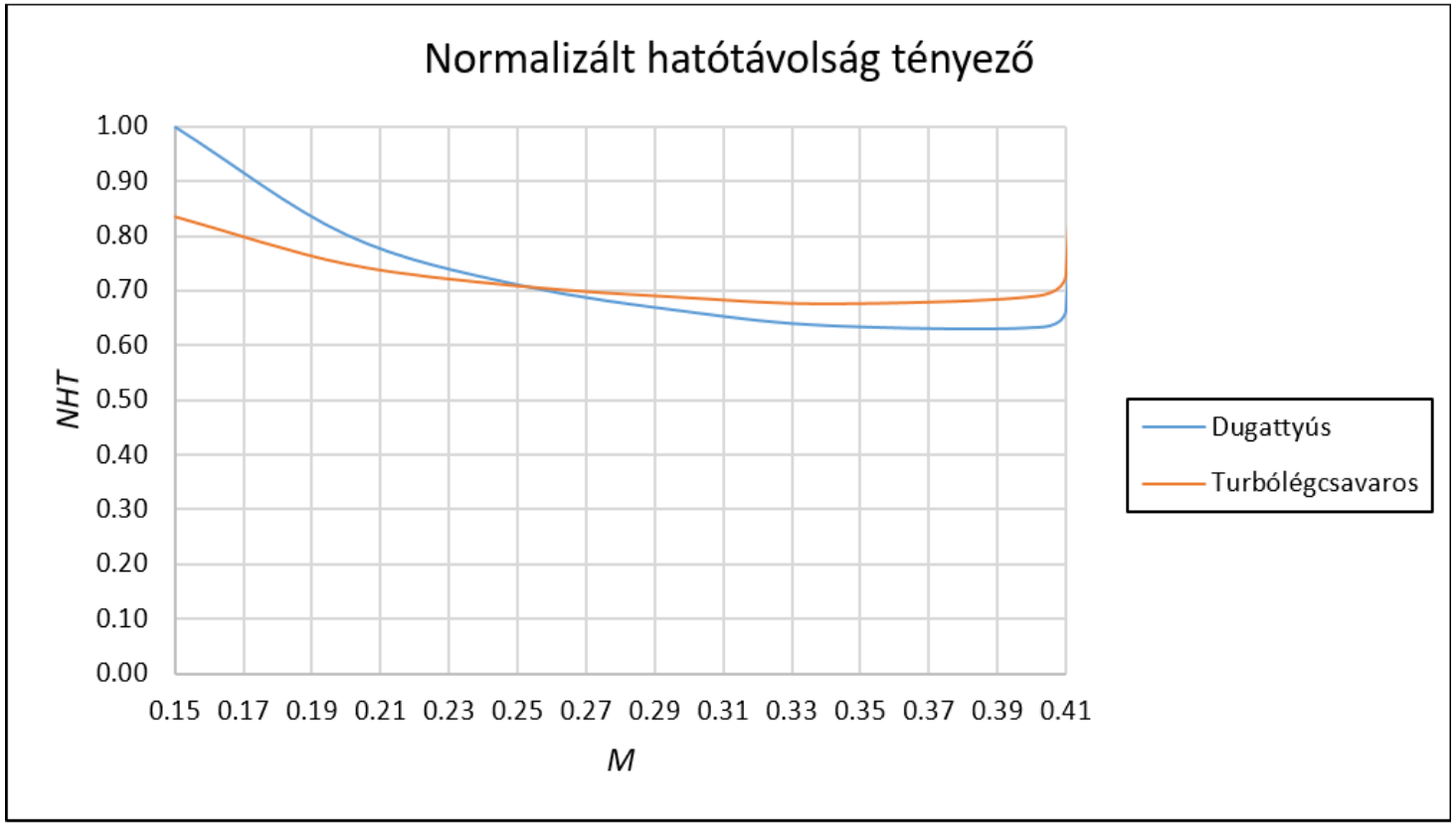
# Villanymotor

- Az energiaforrás az akkumulátor, aminek tömege nem csökken repülés közben
- Kis energiasűrűséggel, tehát nagy tömeggel rendelkeznek az akkumulátorok
- *NHT* számításakor nem a tüzelőanyag mennyiségét, hanem a repülési táv megtételéhez szükséges energia biztosításához elegendő akkumulátor mennyiség tömegét vettük figyelembe

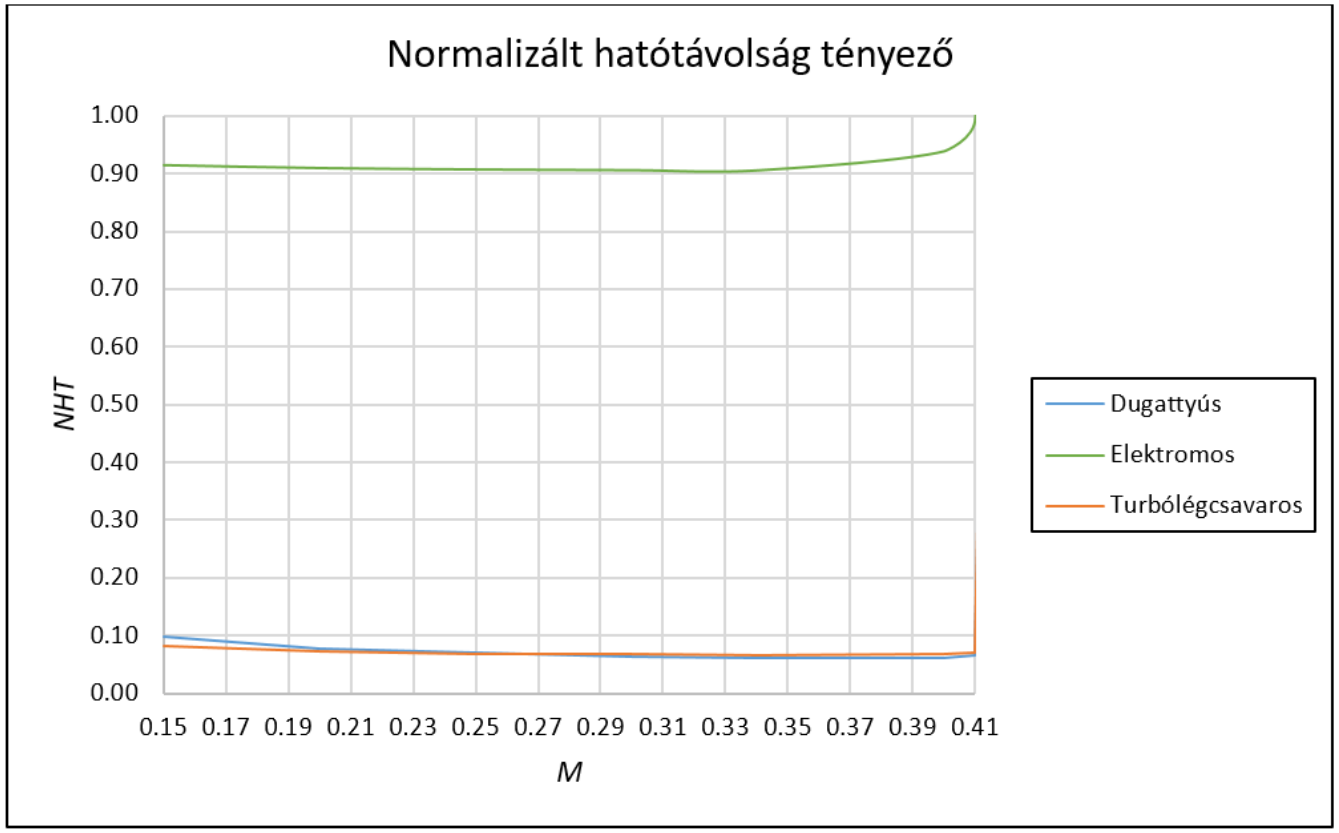
$$NHT = \frac{m_{hm} + m_{akku}}{T - F_{gondola}}$$

| $M$ | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.34 | 0.40 | 0.41 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_{rep}$ [h] | 45.10 | 33.83 | 27.06 | 22.55 | 19.84 | 16.91 | 15.03 |
| $E_{akku}$ [kWh] | 1397.28 | 2484.06 | 3881.34 | 5589.16 | 7224.83 | 10307.73 | 11523.78 |
| $m_{akku}$ [kg] | 5750.13 | 10222.45 | 15972.58 | 23000.66 | 29731.82 | 42418.64 | 47422.97 |
| $F_{gondola}$ [N] | 119.58 | 212.59 | 332.16 | 478.32 | 13.29 | 53.15 | 119.58 |
| NHT | 13.83 | 13.79 | 13.77 | 13.76 | 13.76 | 14.26 | 15.17 |

- Dugattyús és turbólégcsavaros hajtásra meghatározott értékek, dugattyús motor legnagyobb értékére (NHT = 1.48) normalizálva:



- Dugattyús, turbólégcsavaros és villanymotoros hajtásra meghatározott értékek, villanymotoros hajtás legnagyobb értékére (NHT = 15.17) normalizálva



# Konklúzió

- Tisztán elektromos esetre sokkal magasabb értékeket kapunk az NHT-re, mint a dugattyús és turbólégcsavaros esetekre, így ennek a konstrukciónak a megvalósítása a tudomány jelenlegi álláspontja szerint kevésbé lenne gazdaságos az akkumulátorok kis energiasűrűsége, ennek következtében pedig a nagy tömege miatt. Ráadásul itt is igaz a korábbi megállapítás, hogy a megnövekedett tömeg miatt még nagyobb teljesítményű villanymotorokra lenne szükségünk.
- A módszer - a megfelelő átalakításokat követően - felhasználható a különböző hibrid megoldások vizsgálatára abból a célból, hogy eldönthető legyen azok hatékonysága.

# Köszönöm a figyelmet!

**Molnár István Tamás**
**Konzulens: Dr. Veress Árpád**

**BME**
**Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék**

**Az előadást támogatja:**

**Az EFOP-3.6.1-16-2016-00014 projekt: Diszruptív technológiák kutatás-fejlesztése az e-mobility területén és integrálásuk a mérnökképzésbe**