FORGÓSZÁRNYAS REPÜLŐGÉPEK

09

Gausz Tamás
Budapest, 2014

Figyelem:

A következő képeken közölt ismeretek az előadásokon elhangzottakkal együtt képeznek érthető és tanulható egységet!

Egyensúly

$$\sum \underline{F} = 0$$
$$\sum \underline{M} = 0$$

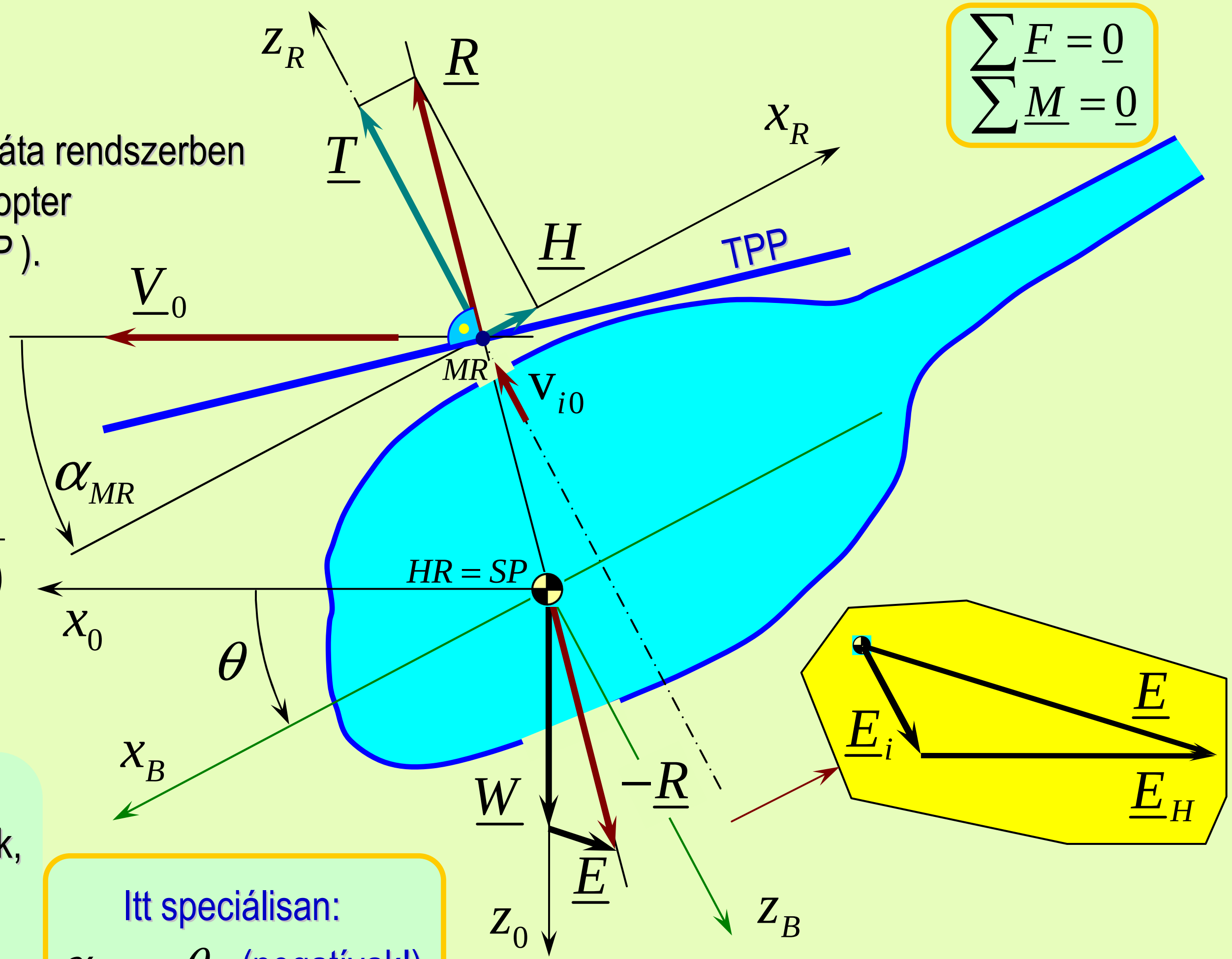
A vizsgálatokat a „*test, azaz B*” koordináta rendszerben végezzük, ennek origója legyen a helikopter súlypontjában („*SP*” pont, tehát: *HR*=*SP*).

Feltesszük, hogy elegendő a szimmetria síkban vizsgálódni.

A levegő eredős sebessége a rotornál – közelítőleg:

$$V_{ER} = \sqrt{\left(-V_0 c\alpha_{MR}\right)^2 + \left(-V_0 s\alpha_{MR} + v_{i0}\right)}$$

ahol v_{i0} a „z_R” irányú, átlagos (közepes) indukált sebesség.



Az ellenállást az „ellenállás-felület” koncepció alapján számoljuk; feltesszük, hogy az „*E*”-k a súlypontban hatnak:

$$E_H = \frac{\rho}{2} V_0^2 A_E \quad \textit{és} \quad E_i = \frac{\rho}{2} v_{i0}^2 A_E$$

Itt speciálisan:

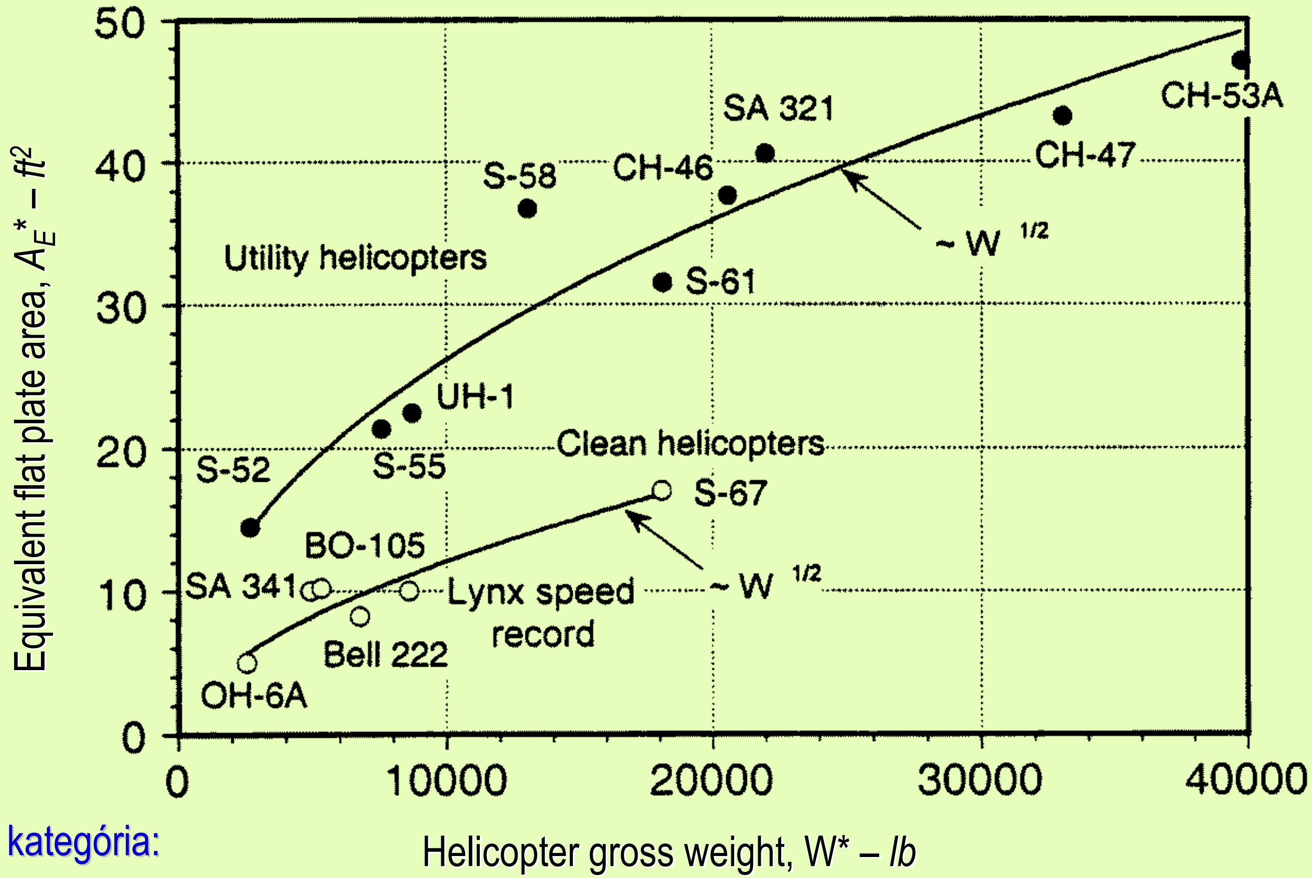
$\alpha_{MR} = \theta$ (negatívak!)

Az eredő ellenállás-vektor: $$\underline{E}^B = \begin{bmatrix} -E_H \cos\theta \\ 0 \\ -E_H \sin\theta + E_i \end{bmatrix}$$

Az $\left(x_R, z_R\right)$ rendszer origójának („*MR*” pont) helye az $\left(x_B, z_B\right)$ rendszerben: $\left(x_{R0}, z_{R0}\right)$

Konkrétan a számpéldában: $\left(-0.02, -2\right)$

Ellenállás felület - A_E



Metrikus egységben, a „Utility” kategória:

$$A_E = 0.265 + 0.010324\sqrt{W}$$

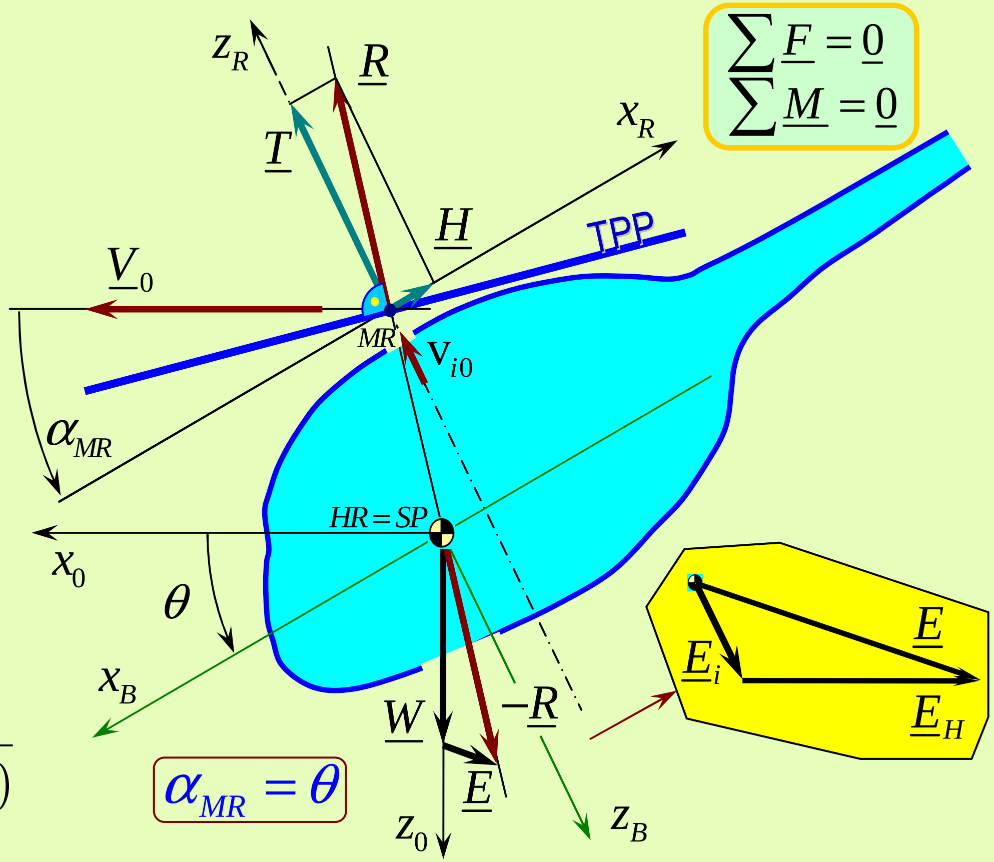
$$W \to N \quad és \quad A_E \to m^2$$

$$1\,ft^2 = 0.092903\,m^2$$

$$1\,lb = 4.4482\,N$$

Az MD-500E helikopternél W=10791 [N] → AE=1.4 [m2]

Erő és nyomatéki egyensúly



Erőegyensúly a „*test*" koordináta rendszerben:

$$-H - E_H \cos\theta - W \sin\theta = 0$$

$$-T - E_H \sin\theta + E_i + W \cos\theta = 0$$

Nyomatéki egyensúly a súlypontra,
a „*test*" koordináta rendszerben:

$$\underline{0} = \begin{bmatrix} \underline{i} & \underline{j} & \underline{k} \\ x_{R0} & 0 & z_{R0} \\ -H & 0 & -T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ z_{R0}H - x_{R0}T \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow z_{R0}H = x_{R0}T$$

A rotor által befolyásolt tömegáram:

$$\dot{m} = \rho R^2 \pi V_{ER} = \rho R^2 \pi \sqrt{(-V_0 \mathrm{c}\alpha_{MR})^2 + (-V_0 \mathrm{s}\alpha_{MR} + \mathrm{v}_{i0})}$$

A közeli átlagos indukált sebesség:

$$\mathrm{v}_{i0} = T / (2\dot{m})$$

Megjegyzés: $\underline{E}^B = \begin{bmatrix} -E_H \cos\theta \\ 0 \\ -E_H \sin\theta + E_i \end{bmatrix} = (itt) = \begin{bmatrix} -E_H \cos\alpha_{MR} \\ 0 \\ -E_H \sin\alpha_{MR} + E_i \end{bmatrix}$ $\quad V_{ER} = \sqrt{(-V_0 \mathrm{c}\alpha_{MR})^2 + (-V_0 \mathrm{s}\alpha_{MR} + \mathrm{v}_{i0})}$

Erő és nyomatéki egyensúly: – számítási példa (1)

MD-500E helikopter $W = 10791[N],\ A_E = 1.4\left[m^2\right],\ R = 4.012[m],\ \rho = 1.225\left[kg/m^3\right]$

Első lépés: az indukált sebesség számítása iterációval, feltesszük, hogy V_0 *és* $\alpha_{MR}\,(=\theta)$ *adott*

Kezdő értékek ill. állandó mennyiségek:

$$V_0 := 0,\quad \alpha_{MR} := -2^0,\quad E_H = \frac{\rho}{2}V_0^2 A_E$$

```
V0=0 : alfaMR=-2*pi/180 : i=1                    (Yabasic program)
Eh=(ro*V0*V0*Ae)/2
```

Ablaknyitás, koordináta tengelyek rajzolása, szövegfelírás a grafikus képernyőre az áltagos indukált sebesség kezdő étéke

```
ablaknyit(600,400)
line 10,50 to 585,50 : line 10,40 to 10,390
text 100,350,"Az indukalt sebesseg hiba-tortenete"
text 590,43,"0"
color "0,87,227"
vi0=-100
```

Az iteráció kezdőpontja: label kezd

$$E_i = \frac{\rho}{2}\mathrm{v}_{i0}^2 A_E$$

$$T = -E_H \sin\alpha_{MR} + E_i + W\cos\alpha_{MR}$$

$$V_{ER} = \sqrt{\left(-V_0 c\alpha_{MR}\right)^2 + \left(-V_0 s\alpha_{MR} + \mathrm{v}_{i0}\right)}$$

$$\dot{m} = \rho R^2 \pi V_{ER},\quad \mathrm{v}_{i1} = T/(2\dot{m})$$

konvergencia történet rajzolásához segédlépés;
Cauchy konvergencia → label vege
2000-szer körbemegy, $\mathrm{v}_{i0} = \mathrm{v}_{i1}$ kezd →

```
label kezd
  Ei=(ro*vi0*vi0*Ae)/2
  T=-Eh*sin(alfaMR)+Ei+W*cos(alfaMR)
  Ver=((-V0*cos(alfaMR))^2+(-V0*sin(alfaMR)+vi0)^2)^0.5
  mpont=ro*R*R*pi*Ver : vi1=T/(2*mpont)
  if i=1 then mxx=abs(vi0-vi1) : fi
  dot 10+i/4,50+1000*abs(vi0-vi1)/mxx+1
  if abs(vi0-vi1)<0.001 then goto vege : fi ← Cauchy konvergencia
  i=i+1 : vi0=vi1
if i<2000 then goto kezd : fi

label vege
```

A számításban mindenütt „alfaMR" szerepel, illetve a lapátvég veszteséget nem vesszük figyelembe!

Erő és nyomatéki egyensúly: – számítási példa (2)

```
G=10791 : R=4.012 : ro=1.225 : Ae=1.4
'Felveszünk kezdő értékeket:
V0=0 : alep=-0.001
open #2,"c:\\ered.dat","w"
for V0=0 to 70
Eh=(ro*V0*V0*Ae)/2 : alfaMR=0

label eleje
 i=0
  vi0=10
 label kezd
   ........
   if abs(vi0-vi1)<0.001  then goto vege : fi
 if i<2000 then goto kezd : fi

 label vege
 H1=-W*sin(alfaMR)-Eh*cos(alfaMR)  :   H2=T/100
 if H1>H2 then goto vege : fi
 alfaMR=alfaMR+alep
 goto eleje

label vege
print T,"   ",V0,"   ",vi0,"       ",alfaMR*57.3
print #2,V0,";",T,";",vi0,";",alfaMR*57.3
next
close #2
end
```

Az „indukált sebesség" ciklus

A „V0" ciklus

$$\begin{cases} z_{R0}H = x_{R0}T \rightarrow H_2 = \left(x_{R0}/z_{R0}\right)T \\ H_1 = -W\sin\alpha_{MR} - E_H\cos\alpha_{MR} \end{cases}$$

$$\alpha_{MR} = \theta!$$

← Eredmény-kiiratás

(Megjegyzés: a számítás ebben a formában a felvett súlypont helyzetben és ahhoz elég közel működik megfelelően.)

Erő és nyomatéki egyensúly: az átlagos indukált sebesség
(a repülési sebesség függvényében)

Megjegyzések a v_{i0} számításához:

Pontos és közelítő számítás lebegésben:

$$(W+E_i)=\rho R^2\pi 2\mathrm{v}_{i0}^2 \rightarrow \mathrm{v}_{i0}\approx\sqrt{W\big/\left(2\rho R^2\pi\right)}$$

$$V_0{=}0:\ \mathrm{v}_{i0}=9.365(\,pontos\,)\ 9.333(\,közelítő\,)$$

.... és nagysebességű előrehaladó repülésben:

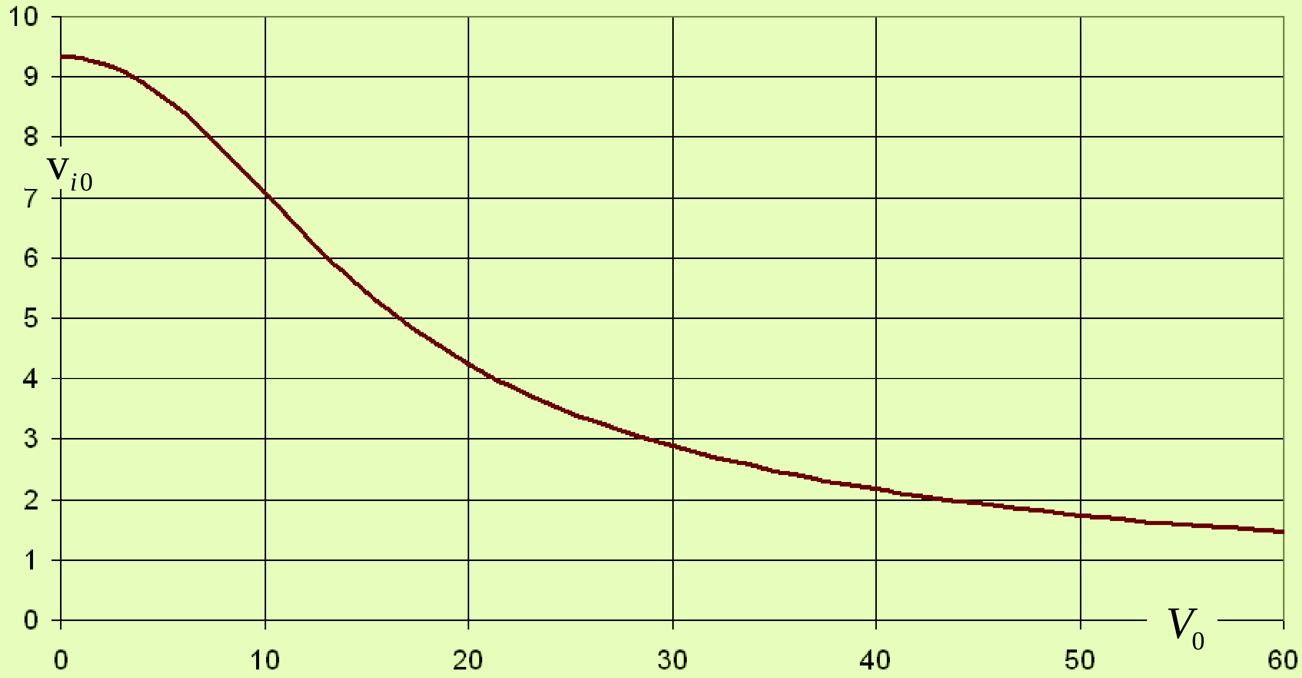
$$W\approx\rho R^2\pi V_0 2\mathrm{v}_{i0}\rightarrow \mathrm{v}_{i0}\approx W\big/\left(\rho R^2\pi V_0 2\right)$$

$$V_0{=}7:\ \mathrm{v}_{i0}=8.114(\,pontos\,)\quad 12.443(\,közelítő\,)$$

$$V_0{=}17:\ \mathrm{v}_{i0}=4.892(\,pontos\,)\quad 5.124(\,közelítő\,)$$

$$V_0{=}27:\ \mathrm{v}_{i0}=3.186(\,pontos\,)\quad 3.226(\,közelítő\,)$$

A közeli közepes (átlagos) indukált sebesség, a repülési sebesség függvényében – ennek éppen így illik kinéznie!



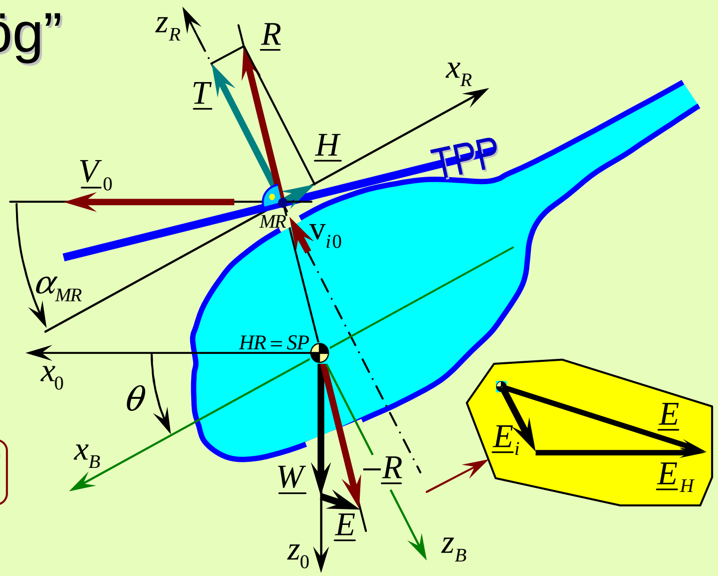
Megjegyzés: merevszárnyú repülőnél a sebességnek alsó korlátja van: $V_0\geq V_{min}$

Erő és nyomatéki egyensúly: a „rotor-állásszög”

(a repülési sebesség függvényében)

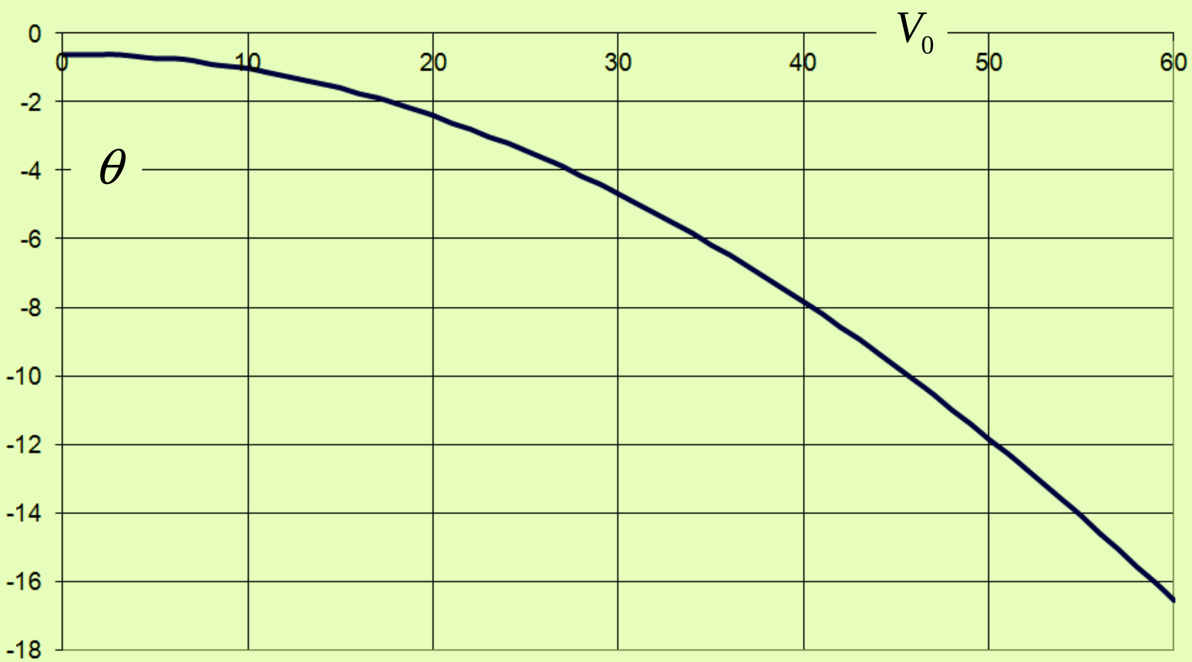
Megjegyzés az α_{MR} *vagy* θ számításhoz:

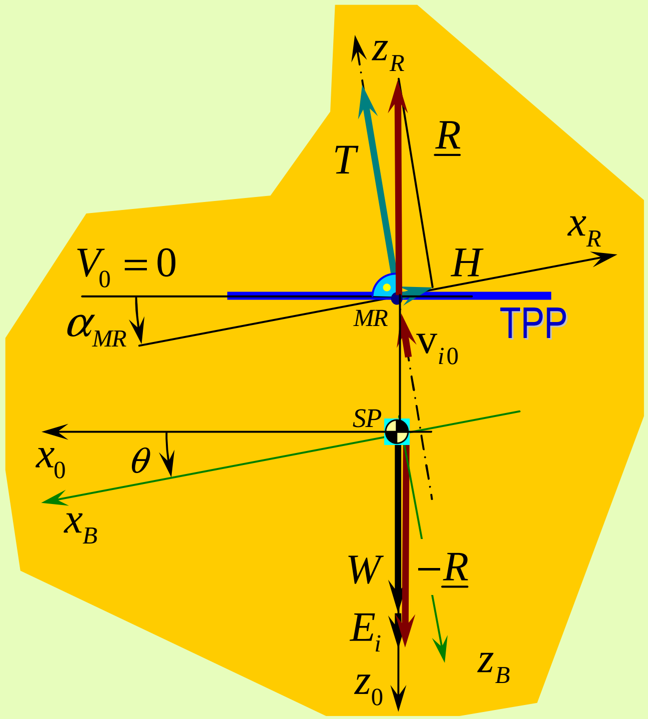
$V_0 = 0 \rightarrow \theta\left(=\alpha_{MR}\right) = -0.63^0 \left(azaz\ nem\ nulla!\right)$



A rotor-állásszög, a repülési sebesség függvényében – ennek szintén éppen így illik kinéznie!

$\boxed{\alpha_{MR} = \theta}$



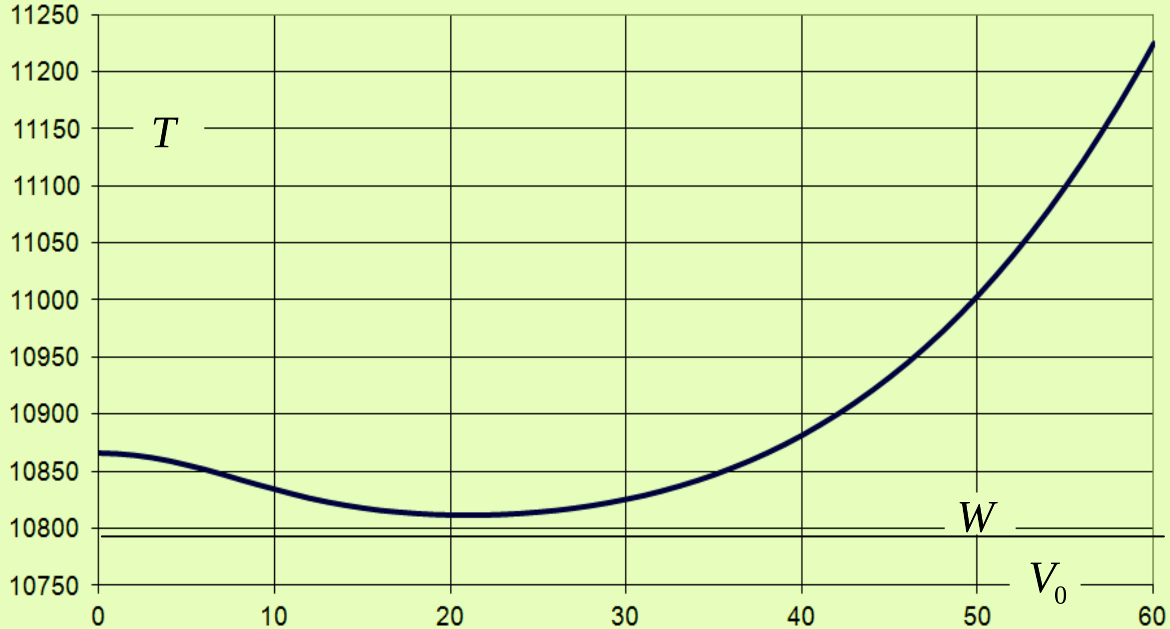


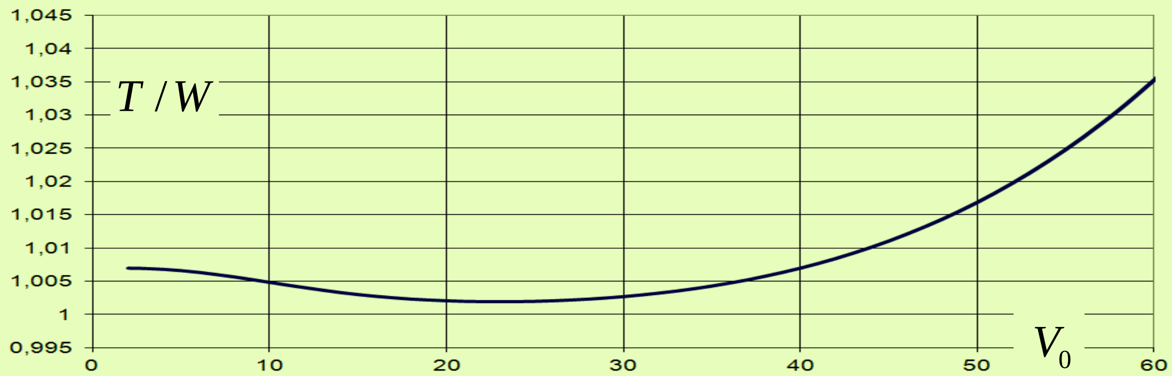
Erő és nyomatéki egyensúly: a „*T* ” erő
(a repülési sebesség függvényében)

A „*T* ” erő a repülési sebesség függvényében – ennek megint éppen így illik kinéznie!

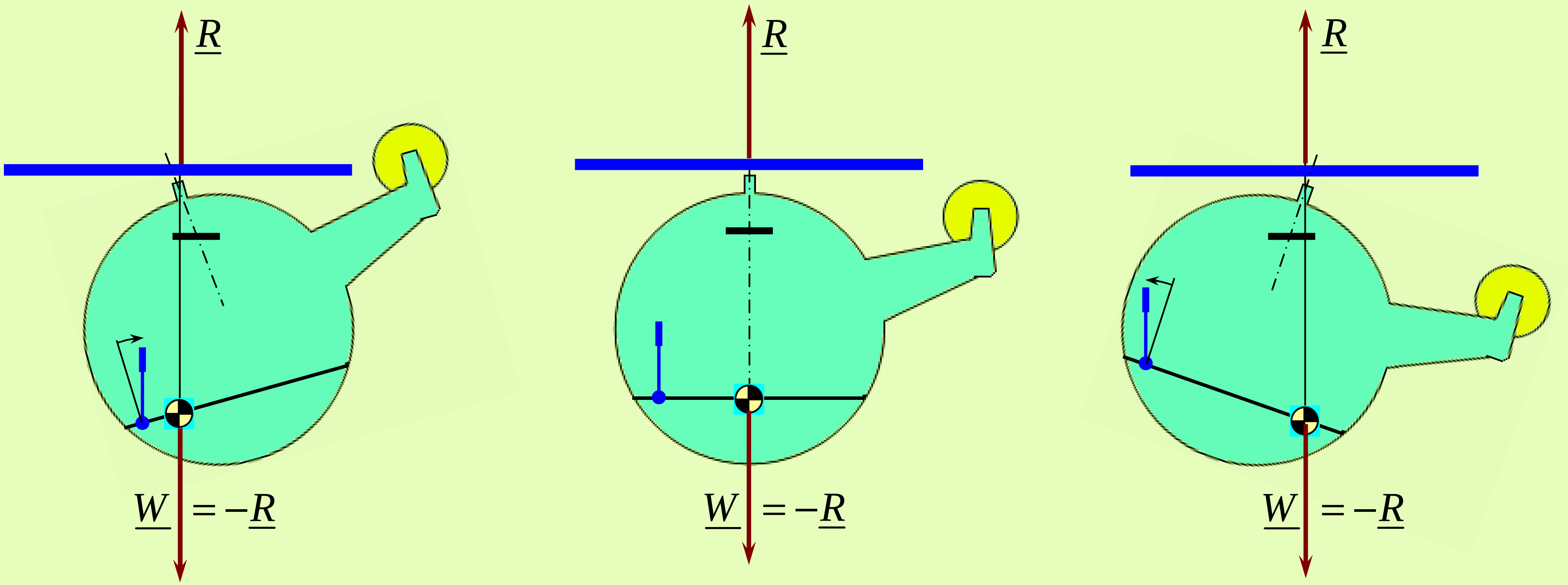
A „*T* ” erő a repülési sebesség függvényében nem változik túl nagy mértékben, a súlynál átlagosan 3.5%-kal nagyobb.

Ezért érthető, hogy a legegyszerűbb számításokban a $T \approx W$ feltételt alkalmazzák.





Egyensúly - lebegés



Első súlypont helyzet
→ bot hátra
(ez pozitív szög-kitérítés)

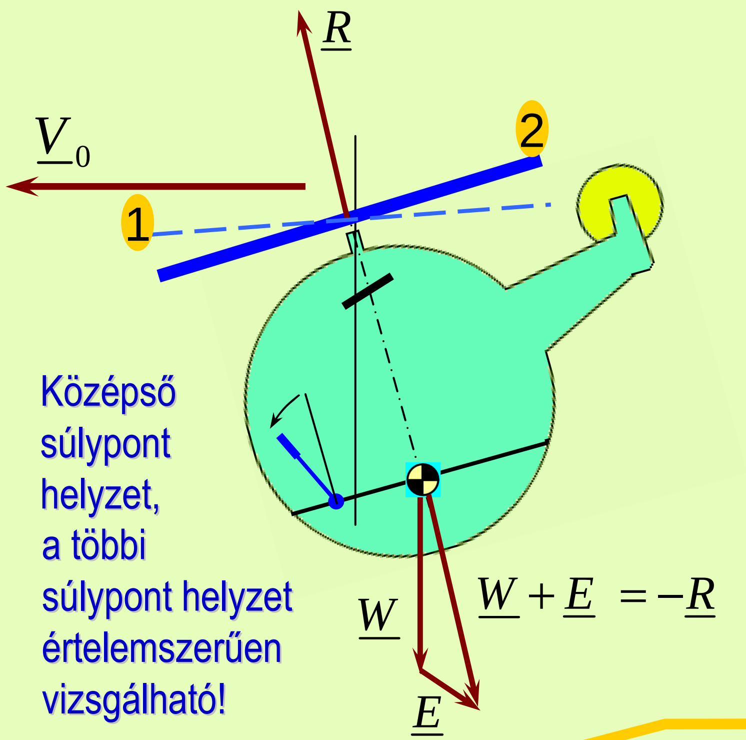
Középső súlypont helyzet
→ bot semleges helyzetben
(nulla kitérítés)

Hátsó súlypont helyzet
→ bot előre
(ez negatív szög-kitérítés)

Ebben az esetben a lapátvég-sík (esetleg túlságosan) megközelíti a faroktartót, ez veszélyes lehet.

Az egyensúlyhoz egyidejű erő- és nyomatéki egyensúly szükséges. Vizsgáljuk a fenti, jelentősen leegyszerűsített eseteket. Ekkor, ha a rotoron keletkező eredő légerő ($\underline{R}$ – ez a lapátvég síkra kb. merőleges) a súlyerő *(* $\underline{R}$=-$\underline{W}$ *)* ellentettje és a két erő azonos hatásvonalon hat, akkor az egyensúly teljesül!

Egyensúly (lebegés és előrehaladó repülés)



Középső súlypont helyzet, a többi súlypont helyzet értelemszerűen vizsgálható!

Az egyszerűség és rövidség kedvéért csak a középső súlypont helyzetet vizsgáljuk. Tegyük fel, hogy a helikopter $\underline{V}_0$ sebességgel repül előre.

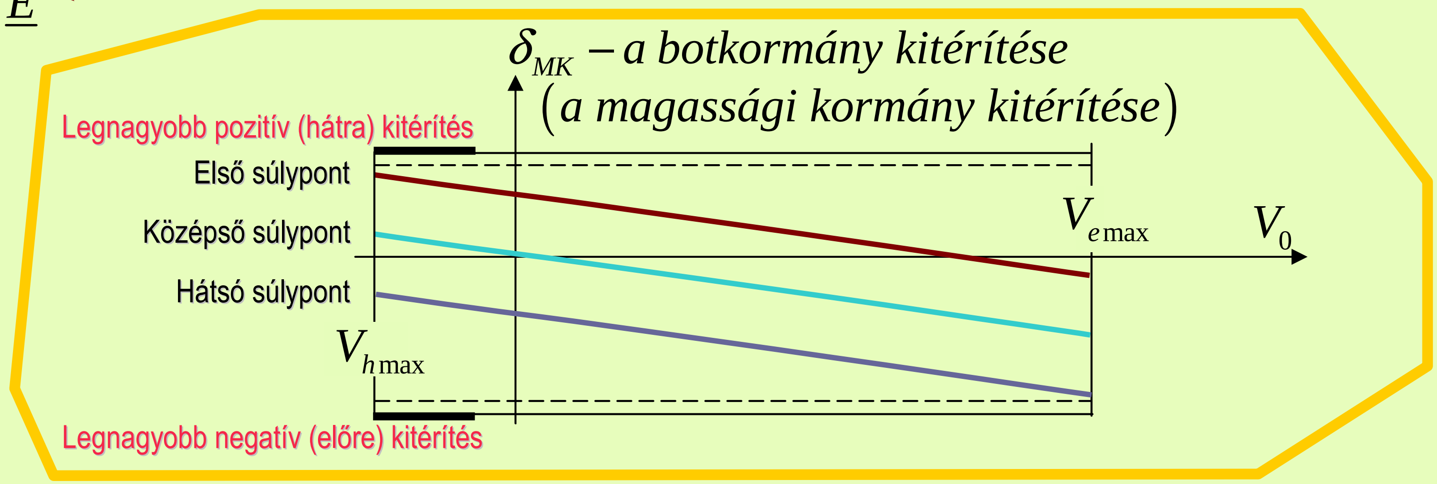
Ebben az esetben – kormányzás nélkül – a lapátvég sík (Lvs) hátra billen („1” jelű, szaggatott vonal).

Az egyensúlyhoz szükséges, hogy a $\underline{W}+\underline{E}=-\underline{R}$ teljesüljön. Ezért a botkormányt előre kell nyomni, miáltal az „Lvs” a „2” helyzetig billen (előre) és így teljesül az egyensúly feltétele.

A sebesség növekedésével az „Lvs” hátrébb billen, illetve az ellenállás érétke ($\underline{E}$) növekszik, ezért a botkormányt egyre nagyobb mértékben kell előrefele kitéríteni.

A repülési sebesség változásának tartománya:

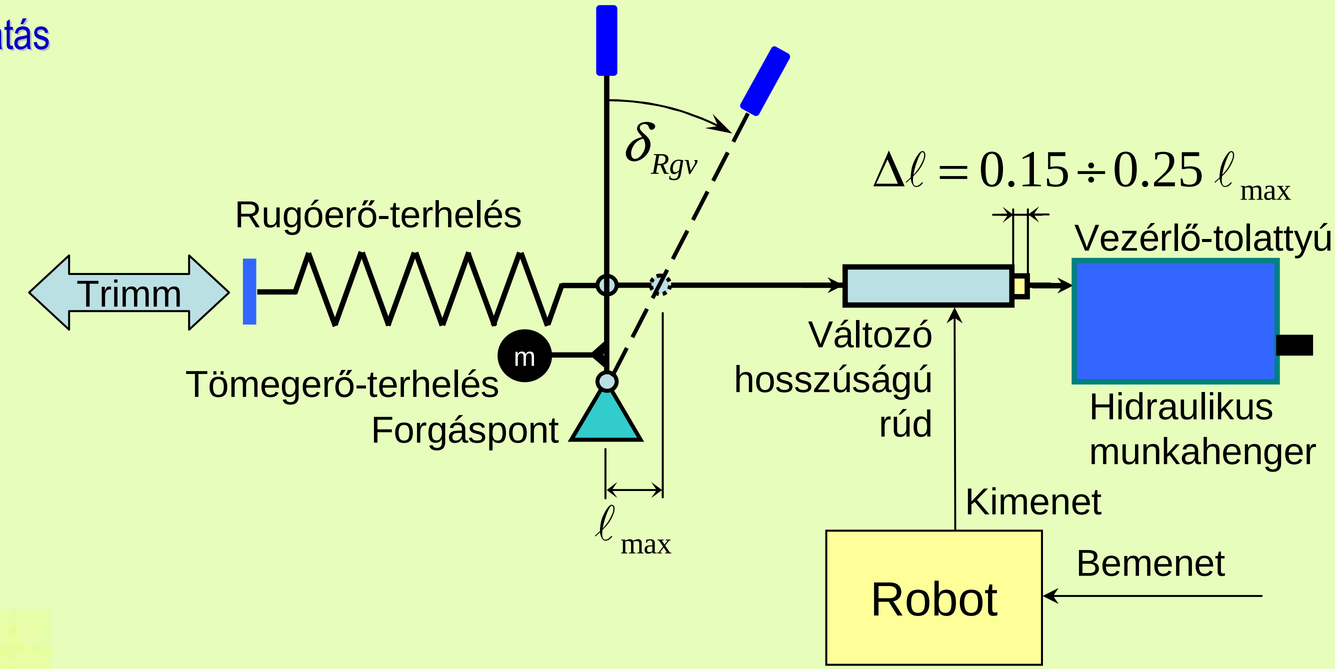
$$V_{h\max} \le \left|\underline{V}_0\right| \le V_{e\max}$$



Kormányzás

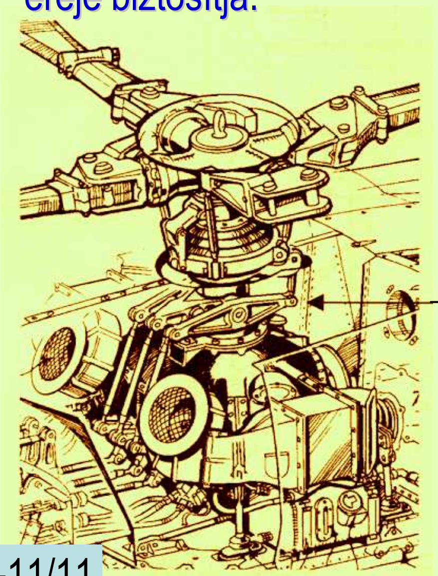
Az ábrán egy, visszahatás nélküli, hidraulikus kormány-rendszer egy „csatornájának” vázlata látható.

A vezetéshez szükséges kormányerőt a rugó deformációja, illetve a tömeg tehetetlenségi ereje biztosítja.



A botkormány kitérítés az az alapjel, amit a pilóta határoz meg, illetve a beprogramozott algoritmusnak megfelelően ezt az alapjelet követi a robot.

A kormányrendszer nagy erőket (nyomatékokat) átvivő részét – a hidraulikus munkahenger utáni részt – a lehető legrövidebbre készítik.



Az ábrán „keverőhibás” kormányrendszer látható.

Köszönöm a figyelmet!