



FORGÓSZÁRNYAS 10 REPÜLŐGÉPEK

Gausz Tamás
Budapest, 2014



Figyelem:

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





A NACA0012 profil közelítő görbái (numerikusan)

A felhajtóerő tényező közelítő görbéje:

$$c_L(\alpha) = a + b\alpha + c\alpha^2 + d\alpha^3 + e\alpha^4 + f\alpha^5 + g\alpha^6 + h\alpha^7$$

ahol:

a =	-4.4590947e-015
b =	0.11542032
c =	2.3850764e-016
d =	-0.00041975464
e =	-1.895904e-018
f =	3.9129772e-006
g =	3.7716407e-021
h =	-9.8337877e-009

Megjegyzések:

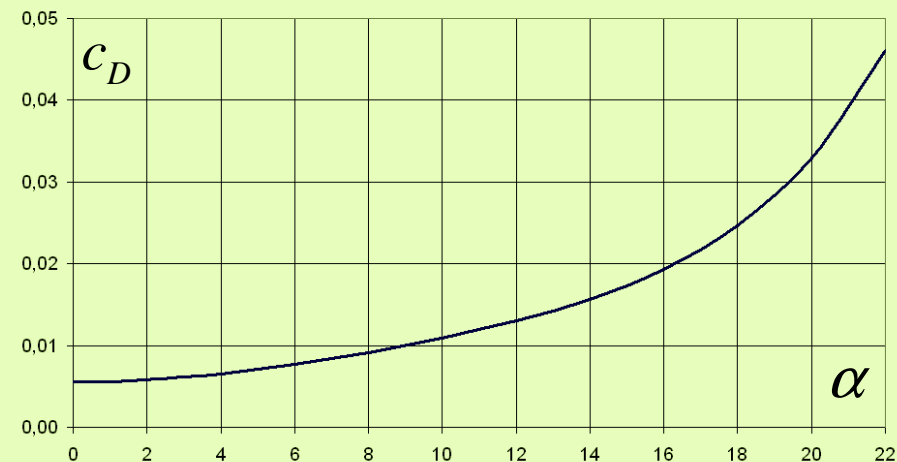
- az α itt valójában α_{PR} ;
- az $\alpha_{PR} > 18^\circ$ esetén a fenti közelítő polinom a felhajtóerő tényezőre nem érvényes!

Az ellenállás tényező közelítő görbéje:

$$c_D(\alpha) = a + b\alpha + c\alpha^2 + d\alpha^3 + e\alpha^4 + f\alpha^5 + g\alpha^6$$

ahol:

a =	0.0055615496
b =	2.0950013e-018
c =	6.1865542e-005
d =	-2.650129e-020
e =	-1.2014731e-007
f =	6.5244125e-023
g =	3.4172171e-010



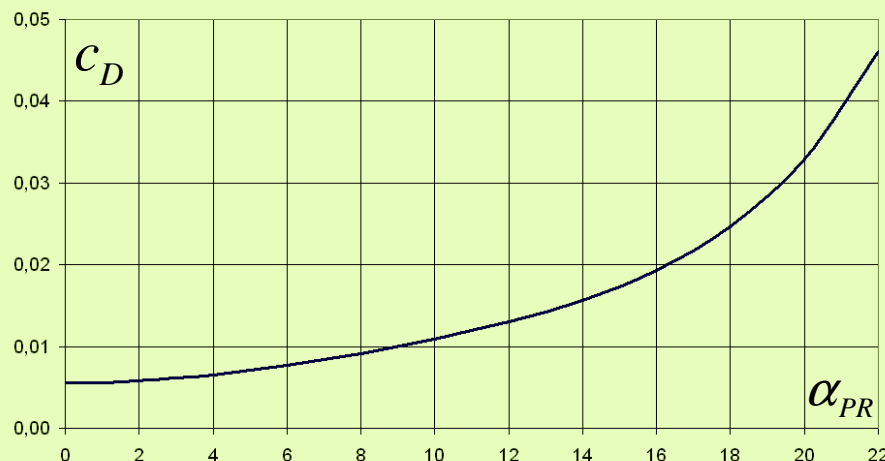


A NACA0012 profil siklőszögének változása az állásszög függvényében

A felhajtóerő-tényező az állásszög függvényében:



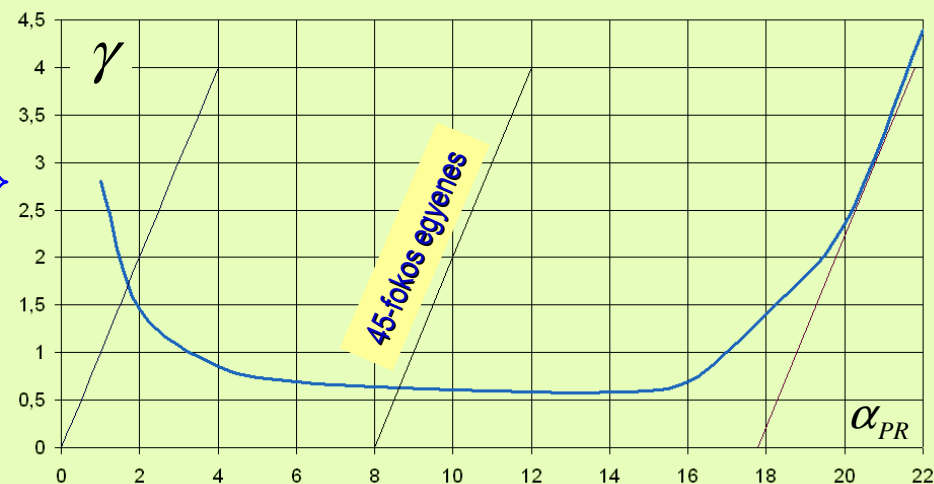
Az ellenállás tényező az állásszög függvényében:



$$\alpha \rightarrow c_D(\alpha_{PR}) \text{ és } c_L(\alpha_{PR})$$

$$\gamma = \text{Arctan} \left(\frac{c_D(\alpha_{PR})}{c_L(\alpha_{PR})} \right)$$

A siklőszög az állásszög függvényében:



és néhány „45-fokos” egyenes

(a jobboldali „45-fokos-érintő” az $\alpha \cong 17.8^\circ$ szögtől indul).



Autorotáció tengelyirányú megfúvásban

A siklószög (γ) nagyobb, mint a sebességi sokszög (háromszög) jellemző szöge (φ).
Ekkor az eredő erőnek a forgást fékező összetevője van \rightarrow ez a **fékező állapot**.

Jellemzően ez az állapot a külső sugaraknál jön létre.
Az eredő sebesség (\underline{W}) és a sugár is nagy \rightarrow a fékezés intenzív!

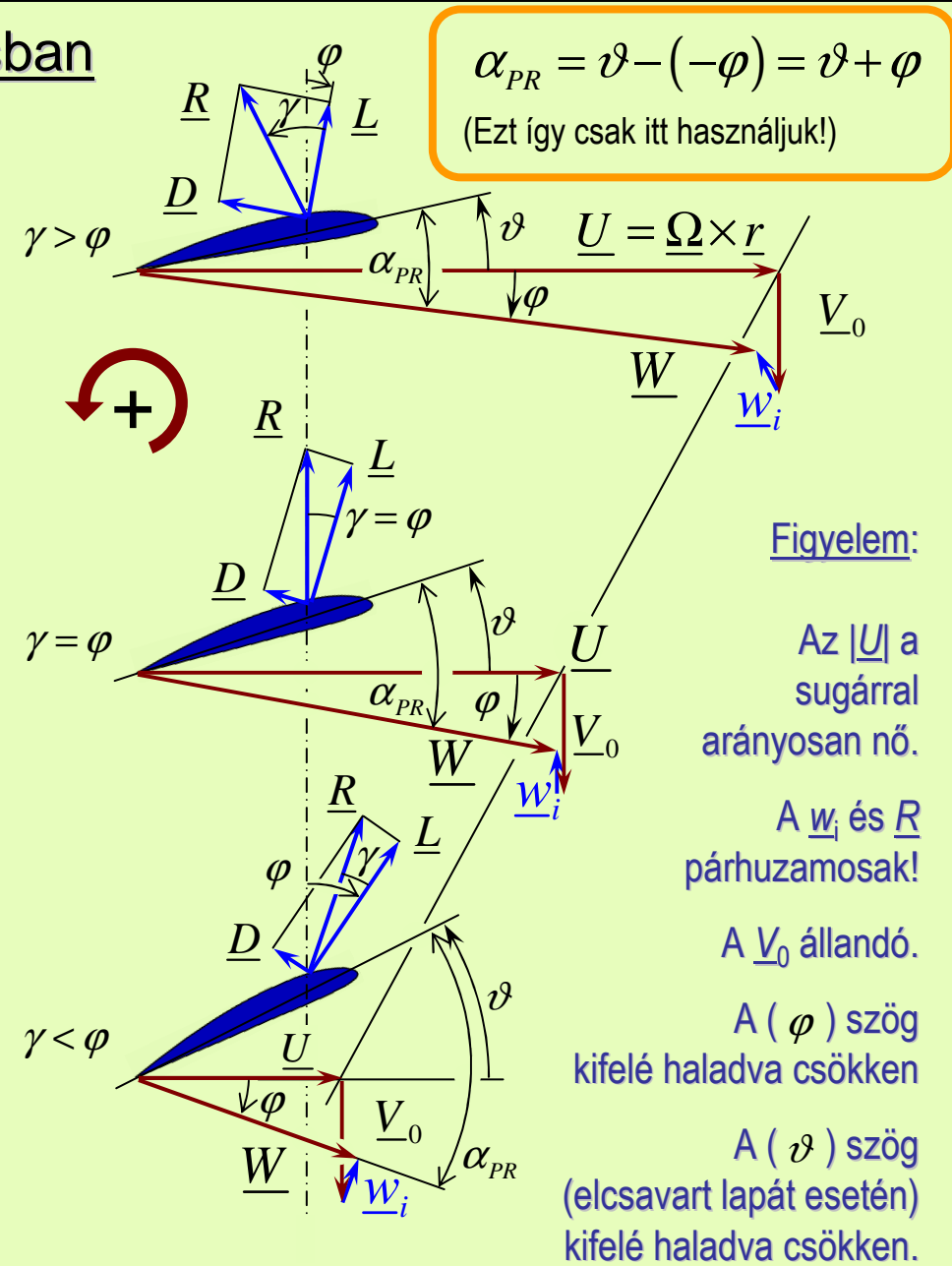
A siklószög (γ) egyenlő a sebességi sokszög (háromszög) jellemző szögével (φ).
Ekkor az eredő forgástengely irányú \rightarrow ez a **semleges állapot** vagy **ideális autorotáció**.

Ez az állapot (általában) egyetlen sugárnál áll elő!

A siklószög (γ) kisebb, mint a sebességi sokszög (háromszög) jellemző szöge (φ).
Ekkor az eredőnek a forgást segítő összetevője van \rightarrow ez a gyorsító **állapot**.

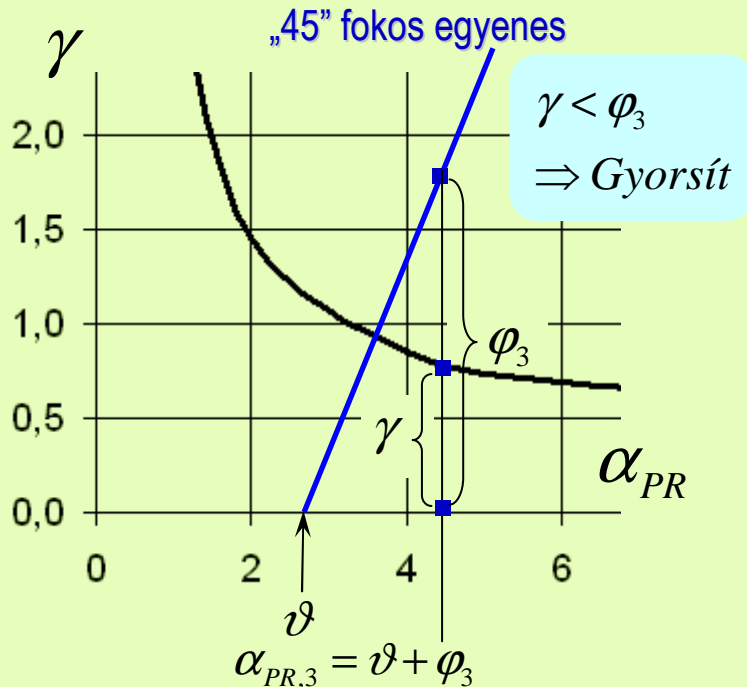
Az eredő sebesség (\underline{W}) és a sugár is kicsi \rightarrow a gyorsítás egyáltalán nem intenzív!

A legbelsőbb sugaraknál (általában) átesett ill. örvényes állapot áll elő.

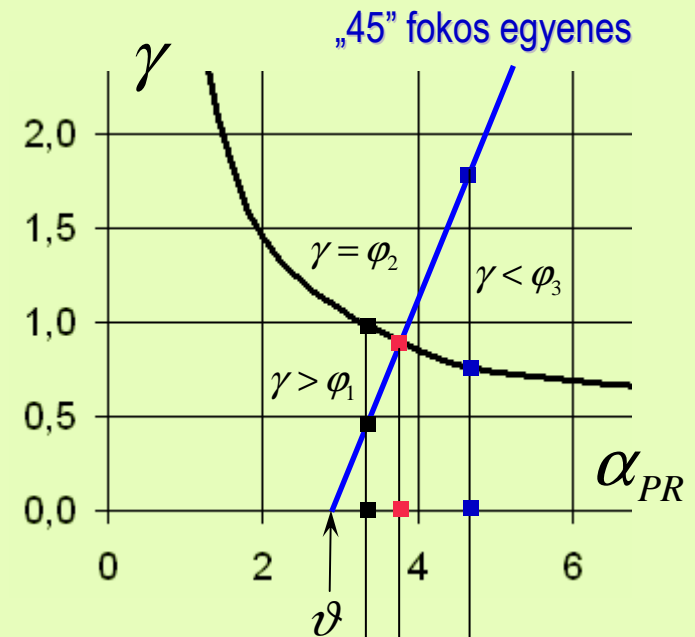




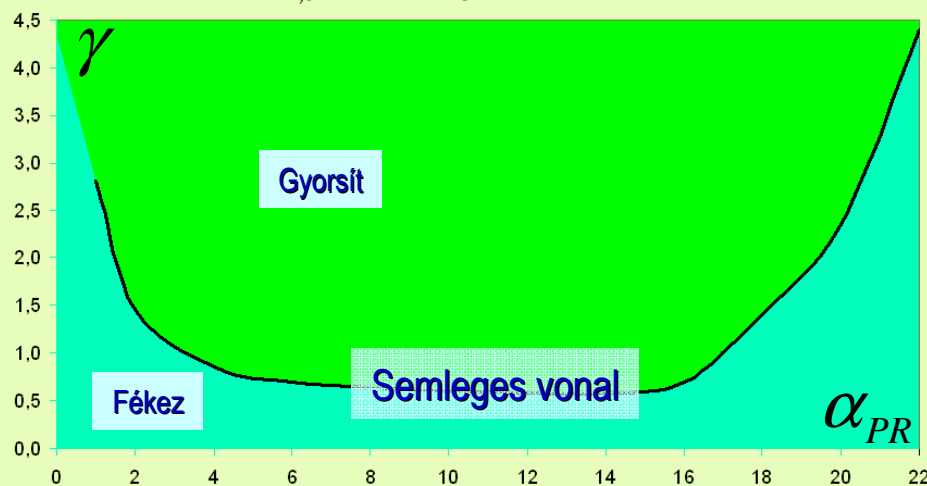
A „ $\gamma - \alpha_{PR}$ ” diagram (része)



Ennek valóban így kell lennie: $\alpha_{PR,1} < \alpha_{PR,2} < \alpha_{PR,3}$



- Fékez: $\alpha_{PR,1} = \vartheta + \varphi_1$
- Semleges: $\alpha_{PR,2} = \vartheta + \varphi_2$
- Gyorsít: $\alpha_{PR,3} = \vartheta + \varphi_3$



A „ $\gamma - \alpha_{PR}$ ” görbe egyúttal az ún. semleges vonal is, felette található a gyorsító állapotok (ez a gyorsító terület), alatta pedig a fékező állapotok (ez a fékező terület). Magán a vonalon a semleges állapotok foglalnak helyet.



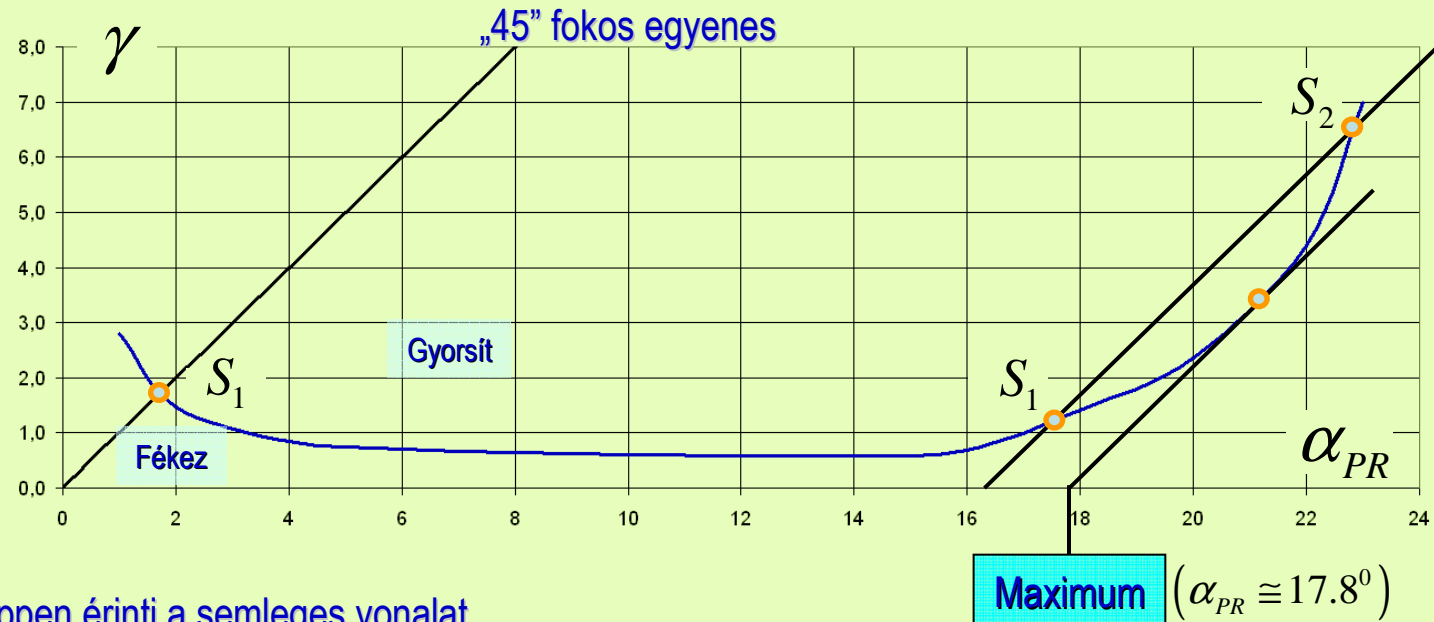
A „ $\gamma - \alpha_{PR}$ ” diagram és a munkapontok

Az ábrán 3 db. „45” fokos egyenes látható.

A baloldalinak a semleges vonallal egy metszéspontja van (S_1).

A középsőnek két metszéspontja van (S_1 és S_2).

A harmadik, a jobboldali éppen érinti a semleges vonalat.



Az ábrán látható mindkét S_1 munkapont (statikailag)stabil: $pl. + \Delta\alpha_{PR} \rightarrow gyorsít \rightarrow +\Delta U \rightarrow -\Delta\alpha_{PR}$

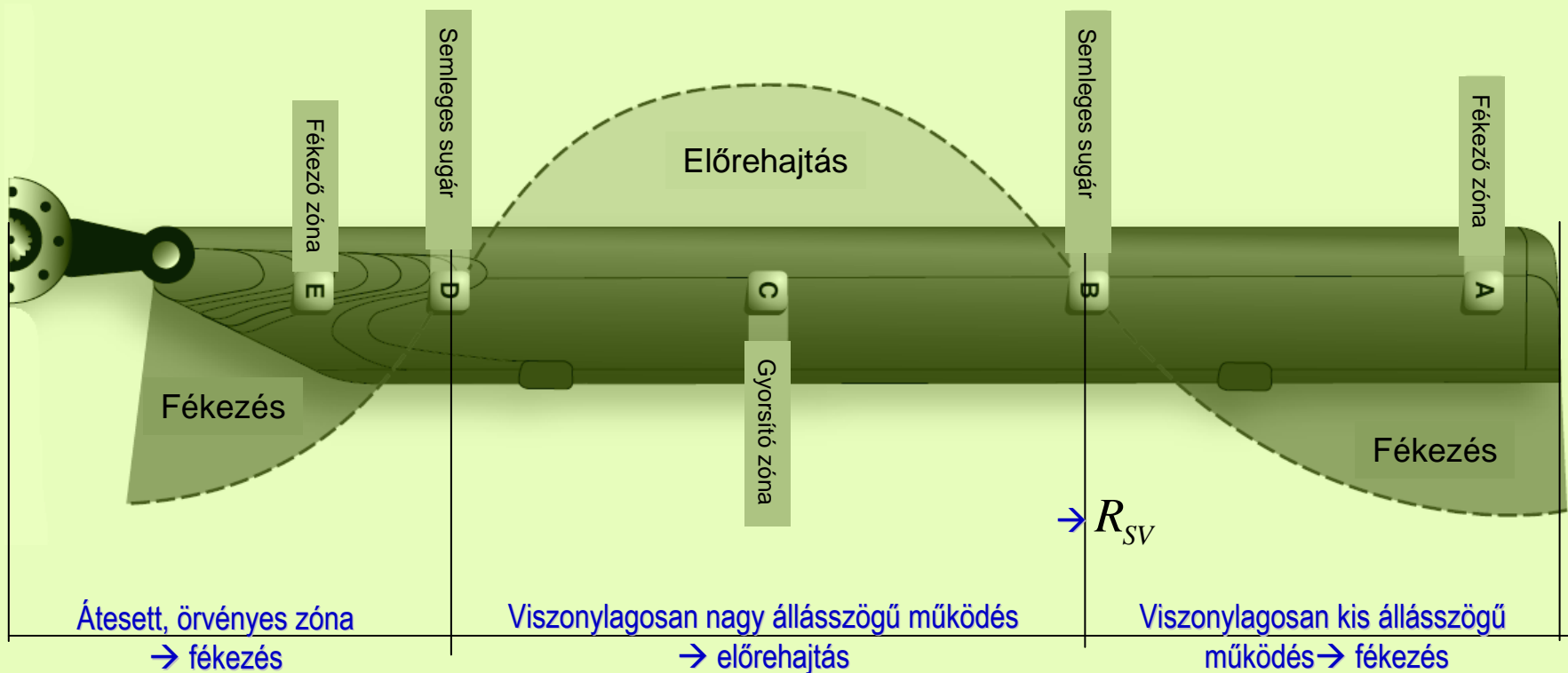
Az S_2 munkapont labilis: $+\Delta\alpha_{PR} \rightarrow fékez \rightarrow -\Delta U \rightarrow +\Delta\alpha_{PR} (\rightarrow leáll)$; $-\Delta\alpha_{PR} \rightarrow gyorsít \rightarrow +\Delta U \rightarrow S_1$

A kollektív beállítási szög (ϑ) elméleti legnagyobb értéke az ábrán feltüntetett „Maximum”, ui. itt van utoljára közös pontja a „45” fokos egyenesnek és a semleges vonalnak. Ezért kell az autorotációra történő áttérésnél a kollektív szöget (az előírt értékre) csökkenteni.

Elméletileg ha a kollektív beállítási szög csökken, akkor kisebb profil állásszögnél alakul ki az autorotáció. Ebben az esetben viszont kb. azonos rotorerő létrehozásához a fordulatszámnak kell növekednie.



Autorotáció tengelyirányú megfúvásban

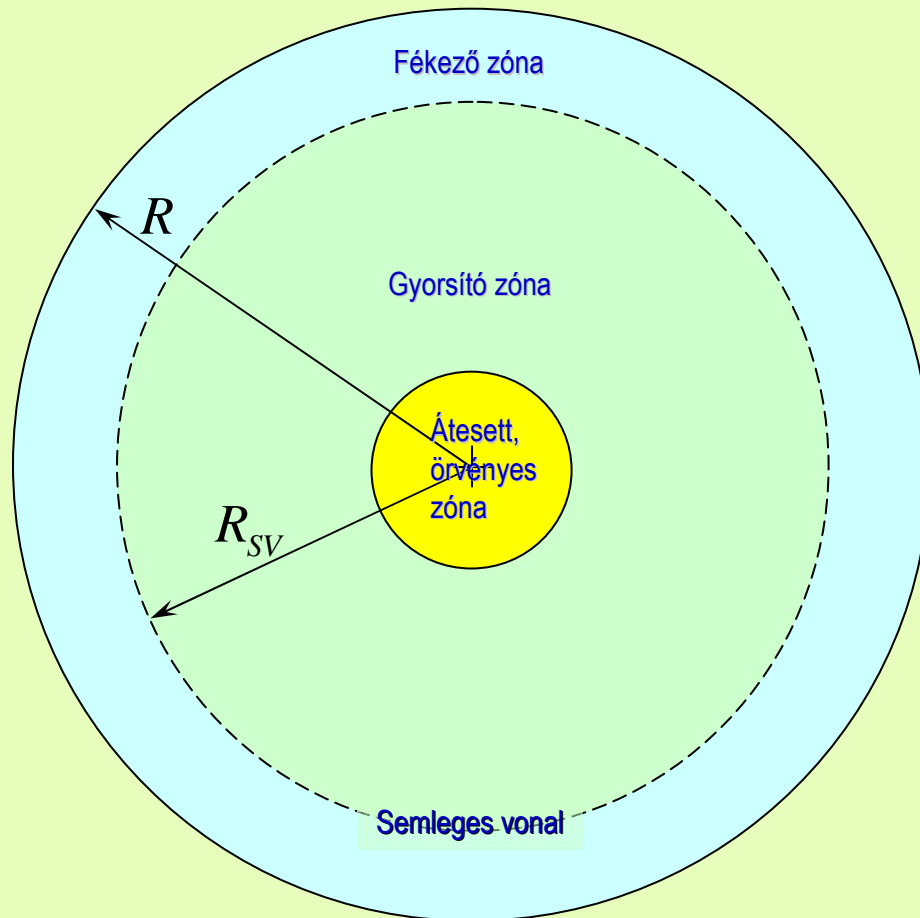


A fékezés döntően a nagy sugaraknál, nagy eredő sebességen (ennek a négyzete még nagyobb!) történik – ezzel szemben az előrehajtás kis-közepes sugaraknál, viszonylag kis eredő sebességeken történik.

Vagyis a nagy nehezen összerakott előrehajtó nyomatékot könnyedén egyenlíti ki a lapát külső részén keletkező fékező nyomaték – ez nem igazán gazdaságos működés!



Az autorotáció statikai stabilitása tengelyirányú megfűvás esetében



A korábbiaknak megfelelően a rotor külső része fékez (lassít) a semleges vonalig, a vonalon belül gyorsít és a kétféle nyomaték eredője (a súrlódástól és egyéb veszteségektől eltekintve) nulla \rightarrow ez jelenti az egyensúlyi autorotációt.

Ez statikailag stabil működési állapot:

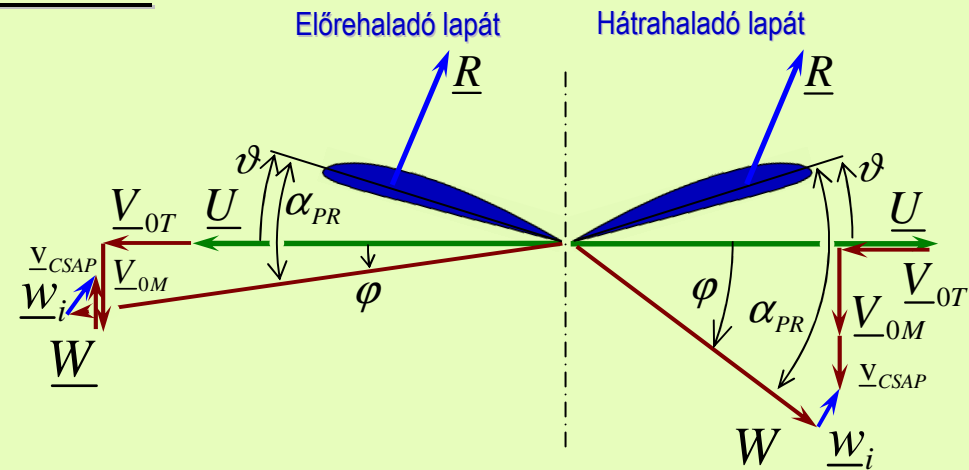
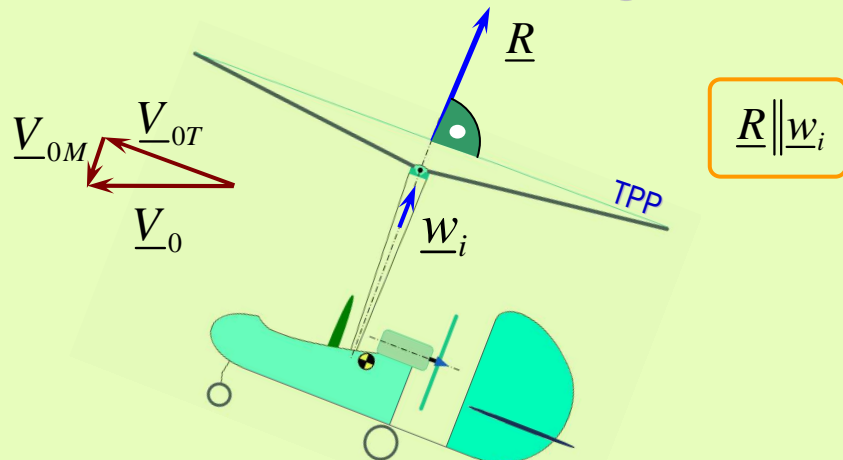
$$+\Delta\Omega \rightarrow +\Delta U \rightarrow R_{SV} \text{ csökken} \rightarrow \text{fék nő} \rightarrow -\Delta\Omega$$

$$-\Delta\Omega \rightarrow -\Delta U \rightarrow R_{SV} \text{ nő} \rightarrow \text{fék csökken} \rightarrow +\Delta\Omega$$

A lassuló forgás esetén – adott esetben – az állásszög túlzott növekedése áteséshez vezet (a központi, átesett zóna a lapátvég felé terjed) – ez a forgás megszűnését okozhatja.



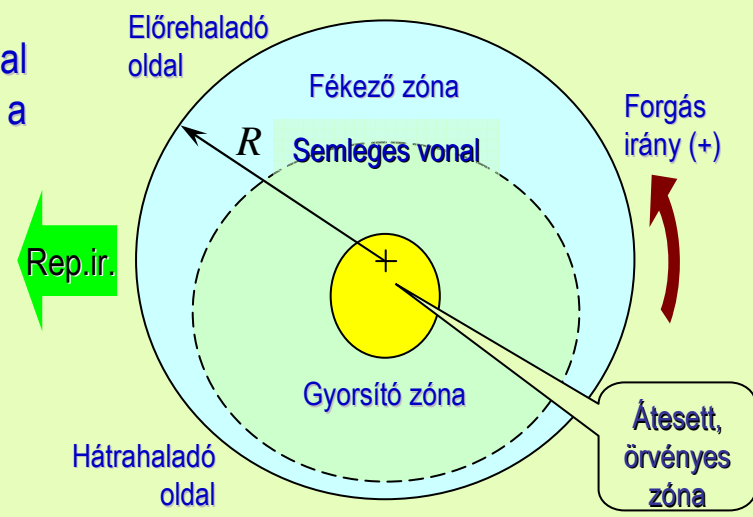
Autorotáció általános megfűvás esetében



Tegyük fel, hogy az autorotáció – közelítőleg – egy, átlagos indukált sebességgel (w_i) jellemezhető, illetve, hogy ez a rotoron keletkező eredő légerővel párhuzamos.

Ekkor – a jobb felső ábra szerint – az állásszög az előrehaladó oldalon kicsi, a hátrahaladó oldalon nagy – vagyis általában az előrehaladó oldal (elsősorban a külső sugarakon) fékező, a hátrahaladó oldal (elsősorban a belső sugarakon, de az örvényes zónán kívül) hajt előre.

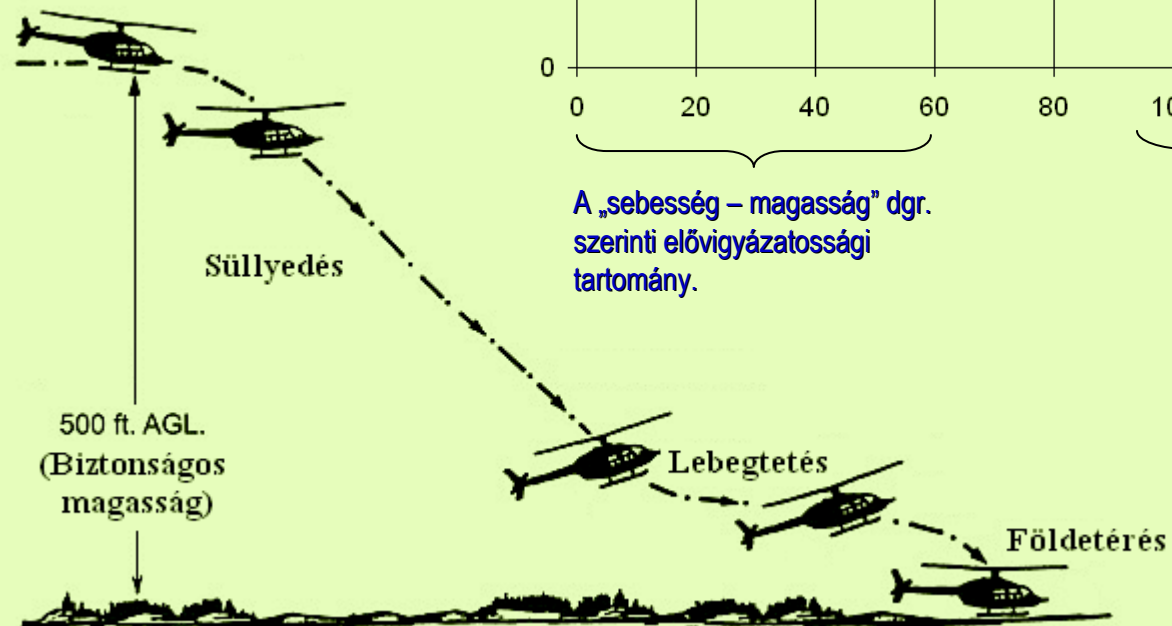
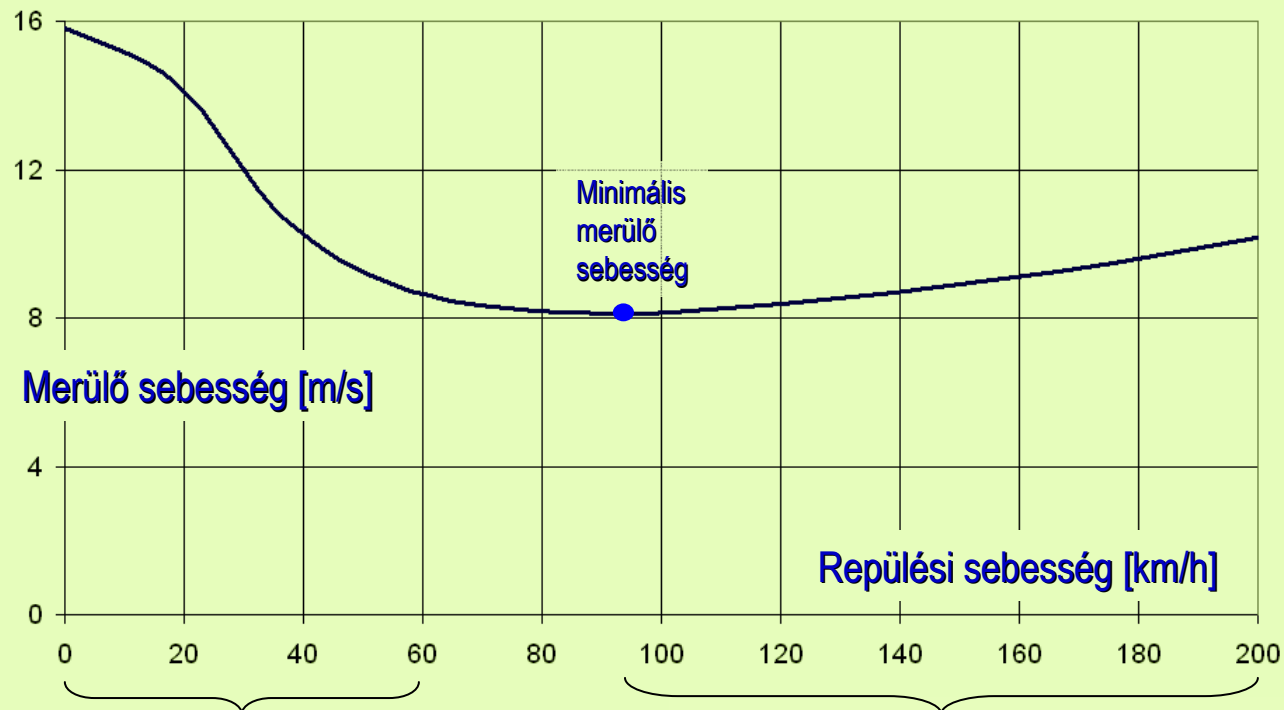
- \underline{V}_{0M} a repülési sebesség „Lvs”-re merőleges összetevője;
- \underline{V}_{0T} a repülési sebesség „Lvs”-be eső összetevője;
- \underline{V}_{CSAP} a csapkodás sebessége.





Autorotációs siklás és leszállás

Az ábrán egy tipikusnak mondható helikopter merülő sebességei láthatók a repülési sebesség függvényében, autorotációban.



A „sebesség – magasság” dgr. szerinti elővigyázatossági tartomány.

Egy darabig javul a siklószám →



Veszélyes (elkerülendő) területek

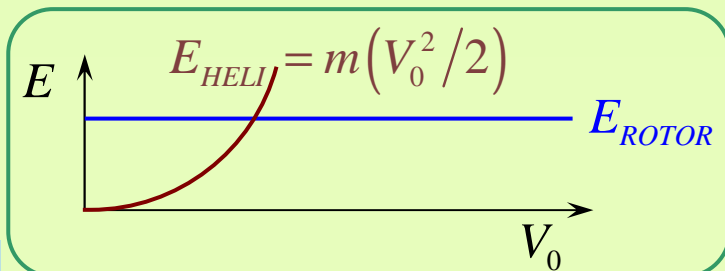
Lebegésben, illetve kis sebességű repülésben az autorotációba történő átmenet jelentős magasságvesztéssel jár.

Másrészt, hajtóműhiba esetén a rotor kinetikai energiája csak kis magasságból történő, helikopterszerű leszállást tesz lehetővé.

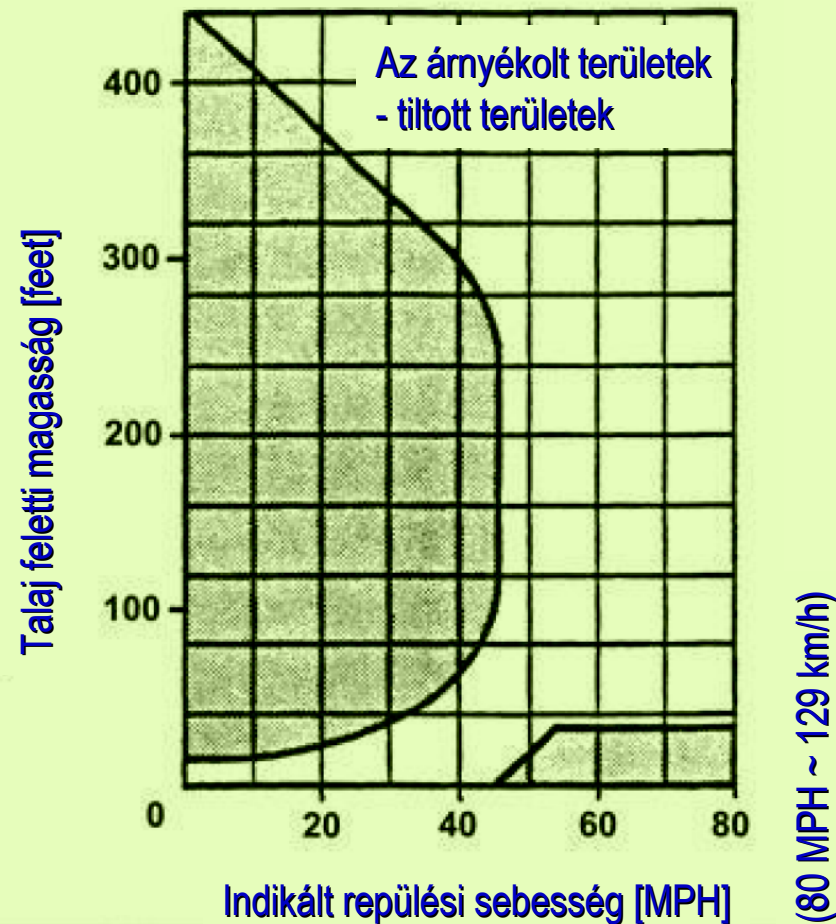
Ezért az ábrán látható, bal oldali területen belül tilos repülni, mert hajtóműleállás esetén a magasság az autorotációhoz még nem elegendő, a helikopterszerű leszálláshoz viszont már túl nagy – így a törés elkerülhetetlen. („Caution area.”)

A határoló görbe függ a típustól, a hajtóművek számától, az aktuális légköri viszonyoktól is.

A jobb oldali tiltott terület egy, adott sebesség felett biztonsági magasságot ír elő, hogy szükséges esetben legyen elegendő idő a repülési állapot rendezéséhez.



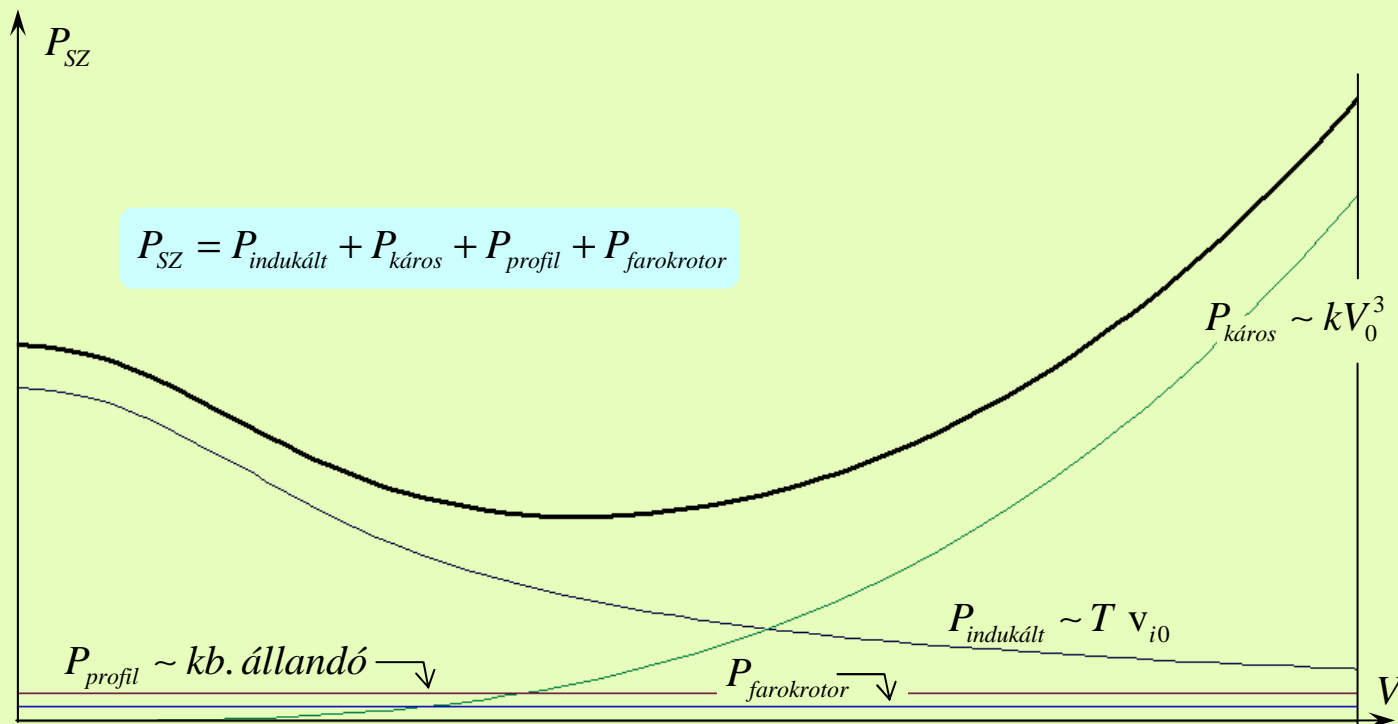
(400 feet ~ 122 m)



Egyhajtóműves, könnyű helikopter – tipikus „tiltott repülési területek” dgr. (ISA 0-méter)



Szükséges teljesítmény



Az indukált teljesítmény nagyjából az indukált sebességgel arányos;

a káros teljesítmény a repülési sebesség harmadik hatványával arányos;

a profil teljesítmény – állandó főrotor fordulattal esetén – első közelítésben állandó;

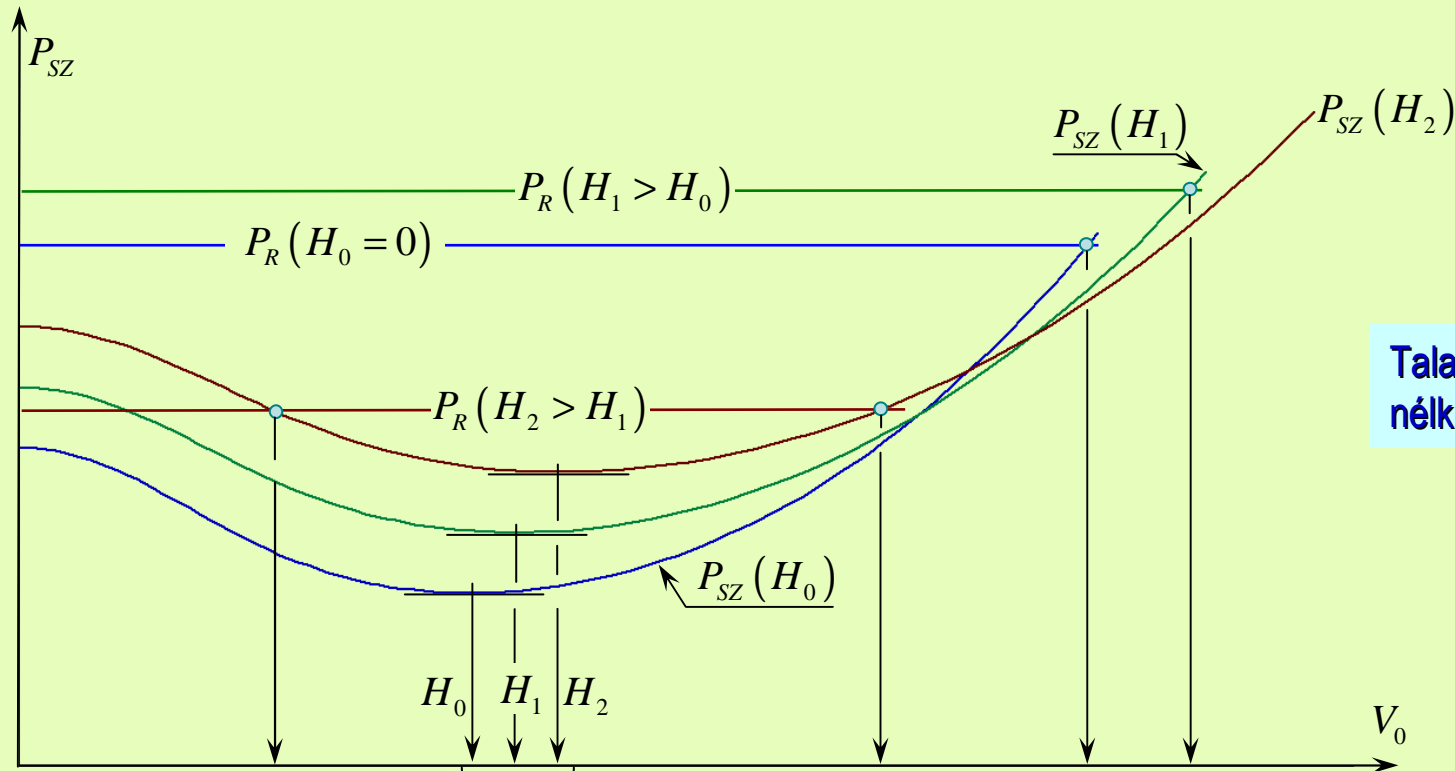
a farokrotor forgatásához szükséges teljesítmény kb. állandónak vehető.

A helikopterek repüléséhez szükséges teljesítmény nem csak lebegésben és előrehaladó repülésben, hanem hátrafele és oldalirányú repülésben is értelmezendő!

Talajhatás figyelembe vétele nélkül – OGE



A magasság hatása és a rendelkezésre álló teljesítmény



Talajhatás figyelembe vétele nélkül – OGE

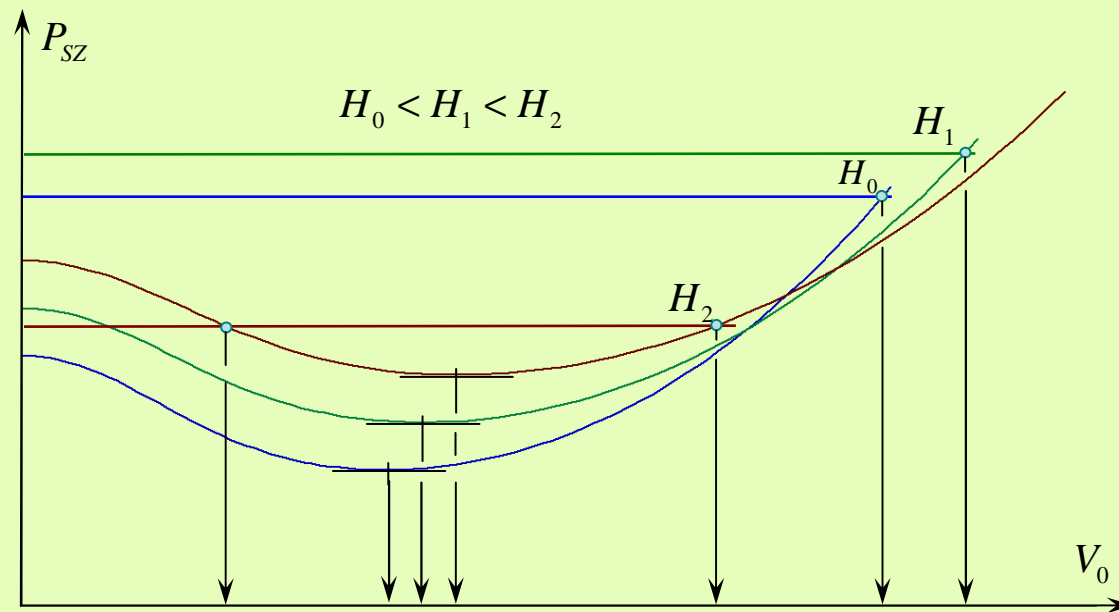
Maximális teljesítmény tartalék

← A maximális sebességek maximuma mondjuk H_1 magasságban van, ahol a hajtómű a „legjobban” működik.

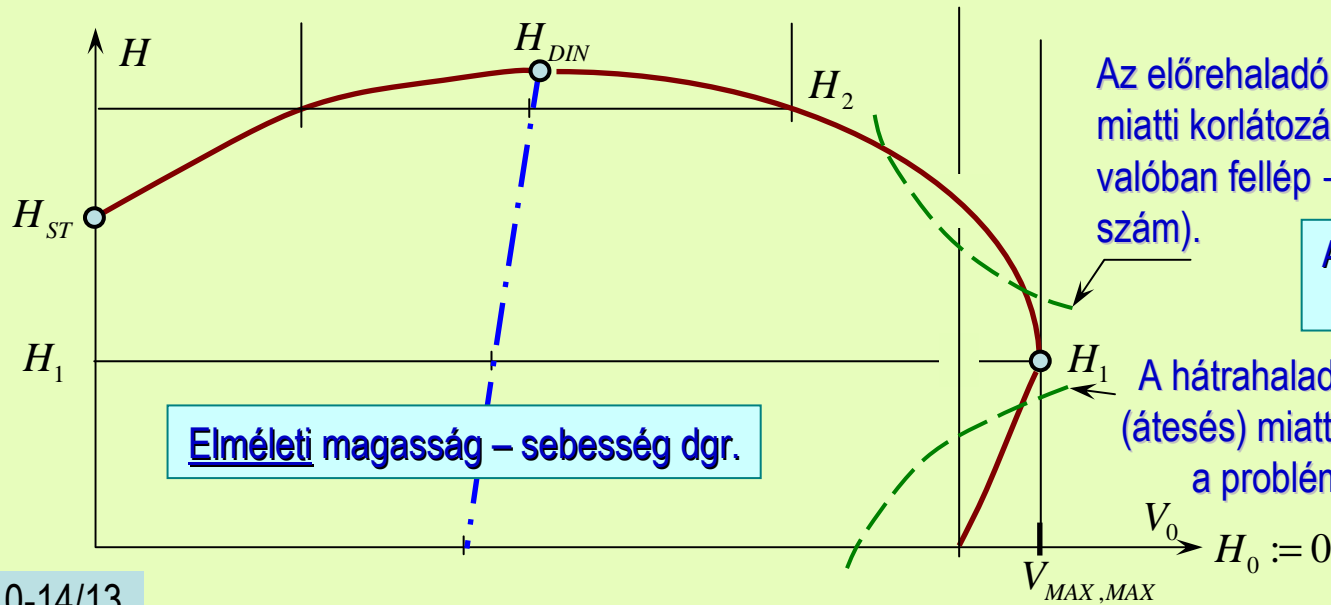
Például a H_2 magasságban a maximális mellett megjelenik egy minimális sebesség is: ez alatt a sebesség alatt a helikopter nem tud repülni, mivel a szükséges teljesítmény nagyobb, mint a rendelkezésre álló teljesítmény.



A magasság hatása és a rendelkezésre álló teljesítmény



Talajhatás figyelembe vétele nélkül – OGE



Elméleti magasság – sebesség dgr.

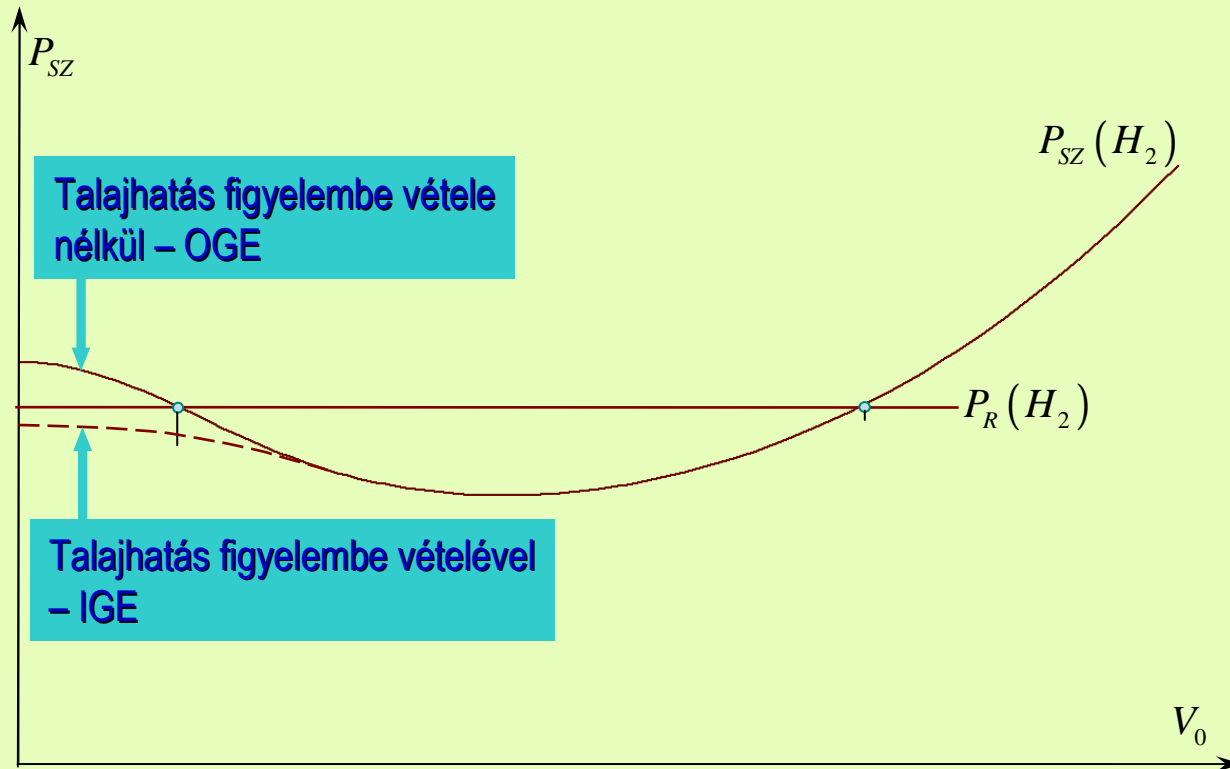
Az előrehaladó lapátvég túl nagy Mach száma miatti korlátozás (csak akkor, ha ez a probléma valóban fellép → nem elég nagy kritikus Mach szám).

A maximális repülési sebesség esetleges korlátozásai

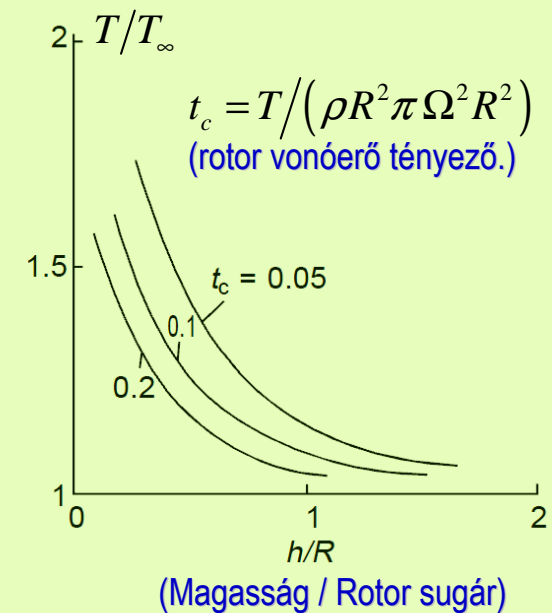
A hátrahaladó lapátvég túl nagy állásszöge (átesés) miatti korlátozás (csak akkor, ha ez a probléma valóban fellép → kis kritikus állásszög).



A magasság hatása és a rendelkezésre álló teljesítmény



A talajhatás:



A talajhatás segítségével egy helikopter pl. a H_2 magasságban is fel tud ülni a légpárnára, illetve tud gyorsítani (hacsak ez egyáltalán lehetséges pl. nincs akadály előtte) és nagyobb vízszintes sebességeken már a manőverezéshez (esetleg emelkedéshez) is rendelkezésre áll valamennyi teljesítmény tartalék.

Így ebben a magasságban is képes lehet a helikopterszerű felszállásra, ami talajhatás nélkül nem lenne lehetséges.



Köszönöm

a

figyelmet!