

Horváth Dezső mk.alezredes, főiskolai adjunktus:

A REPÜLŐGÉP AUTOMATIKUS IRÁNYÍTÁSA A LESZÁLLÁS
VÉGREHAJTÁSÁKOR

1./ A leszállás szakaszai és a leszállást biztosító rádiótechnikai
eszközök

A repülőgép leszálláshoz való bejövetele és a leszállás végrehajtása a legbonyolultabb feladatok közé tartozik. A bonyolultságot a föld közelsége határozza meg. Ezért az automatikus repülőgép fedélzeti irányító rendszer repülési jellemzőinek stabilizálása iránti követelmények igen magasak.

A leszállást három fő szakaszra osztjuk fel (1. ábra).

I. szakasz. Jellemzői: A repülőgépet a leszállómező (1) tengelyébe vezéreljük. Ezután megtörténik a futóművek és fékszárnyak kibocsátása, majd ennek hatására a repülőgép sebességének a csökkentése a v_s sikló sebességig. Az első szakaszban a magasságot körülbelül 400 méteren stabilizáljuk.

Az első szakasz befejezése a siklopálya egyenlőjelek zónájának (2) elérésekor történik.

Az ε_s siklopálya egyenlőjelek zónája a horizonthoz viszonyítva $2,7^\circ$.

II. szakasz. Jellemzői: A repülőgép mekezdni a siklást, v_s siklósebességgel. A szakasz végét a felvétel megkezdése (3.) pont zárja le, $H = 15$ méter magasságon.

A szakasz siklopályáját rádiótechnikai eszközökkel biztosítják:

- a siklopályát a GRM siklopálya adó,

- míg az iránypályát a KRM siklopálya adó biztosítja.

A repülőgép eltérését a sikló és irányítópályától fedélzeti sikló és iránypálya rádióvevő berendezések értékelik.

III. szakasz. Jellemzői: A harmadik szakasz négy részből áll (2. ábra): felvételtől (siklószög csökkentése), kilebegtetésből, legkisebb sebességgel való süllyedés (liftezés) és kigurulásból.

A leszállás harmadik szakaszát a repülőgépvezető vizuálisan hajtja végre.

A fenti ok miatt az automatikus vezérlőrendszereknél a harmadik szakasz figyelmen kívül hagyható.

Vizsgáljuk meg a második szakaszt.

A bejövétel és a leszállás módszerei:

Bonyolult időjárási viszonyok között a következő módszereket alkalmazzák:

- nagykör módszere,
- kiskör módszere,
- számított szögre történő elfordulás módszere,
- szabványforduló módszere,
- a kör a rádióállomás fölött.

A bejövétel és a leszállás végrehajtására legtöbbször a "nagykör" módszert alkalmazzák (3. ábra). Az első fordulót a távoli irányadó rádióállomásra (TIRÁ) történt rárepülés végrehajtása után kell végrehajtani $MI_1 = LI - 90^\circ$ irányra (MI - mágneses irány, LI - leszállóirány, GRI - géptengely rádióirányszög).

A negyedik fordulót a fedélzeti automatikus irányító rendszer segítségével lehet végrehajtani.

2./ A repülőgép oldalirányú mozgásának automatikus irányítása a leszállás második szakaszában

Az oldalirányú mozgás vezérlését a következő módszerekkel lehet végrehajtani:

- a./ Csúszás szerinti vezérléssel.
- b./ Legyezőmozgás szerinti vezérléssel.

A repülőgép vízszintes síkban történő mozgásakor (4. ábra) állandó szél esetén a következő kinematikai egyenleteket lehet felírni (a repülési sebességet v_0 állandónak vesszük).

$$\frac{dZ}{dt} = -v_0 \sin / \Psi - \beta_B - \varphi_C /$$

$$Z = D_k \sin \varepsilon_i \quad (1)$$

$$D_k = D_{ko} - v_0 \int \cos / \Psi - \beta_B - \varphi_C / dt$$

ahol: D_{ko} - a repülőgép kezdeti távolsága a KRM iránypólya adó rádiómajakig,

φ_C - széleltérítési szög,

β_B - csúszás szög,

Ψ - legyező szög,

ε_i - irányadó rádiómajak egyenlő jelek zónájától való eltérés.

A Ψ , β_B , φ_C és ε_i kis értékei mellett az (1) egyenletrendszer megoldva kapjuk:

$$/t_0 - t / \frac{d\varepsilon_i}{dt} - \varepsilon_i = -\Psi + \beta_B + \varphi_C \quad (2)$$

ahol: - $t_0 = D_{ko} / v_0$

A (2) egyenlet sajátosságai:

- $/t_0 - t /$ változó,

- valamint mínusz előjel az ε_i előtt, amiből azt a következtést lehet levonni, hogy a repülőgép ezen paraméter szerint instabil.

a./ Vezérlés csúszás szerint.

Csúszás szerinti vezérlés esetén a (2) egyenlet a következő alakot veszi fel:

$$/ t_0 - t / \frac{d\varepsilon}{dt} - \varepsilon = \beta_B + \gamma_C^* \quad (3)$$

ahol: $\gamma_C^* = \gamma_C - \gamma_0$

Nyilvánvaló, hogy a repülőgép nagy pontosságú stabilitását az ε szög szerinti csak akkor lehet elérni, ha állandósult állapotban

$$\beta_0 = \gamma_C^*$$

A csúszás szerinti vezérlést a következő egyenletrendszerrel írhatjuk le:

$$/ t_0 - t / \frac{d\varepsilon}{dt} - \varepsilon - \beta_B = \gamma_C^*$$

$$\frac{d\beta_B}{dt} - b_{11}\beta_B - b_{14}\gamma_C^* = \frac{d\beta_T}{dt} \quad (4)$$

$$\gamma_C^* + F/K_\xi \varepsilon + K_\xi \frac{d\varepsilon}{dt} + K_\gamma \gamma_C^* / = 0$$

F - nemlineáris határoló függvény.

A (4) egyenletrendszert megoldva:

az első egyenletből kapjuk:

$$\beta_B = / t_0 - t / \frac{d\varepsilon}{dt} - \varepsilon - \gamma_C^* \quad (5)$$

$$\frac{d\beta_B}{dt} = / t_0 - t / \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} - 2 \frac{d\varepsilon}{dt} - \frac{d\gamma_C^*}{dt}$$

Másodszor feltételezve, hogy ideális esetben a karakterisztika lineáris szakaszát használjuk fel, valamint az (5) egyenletből behelyettesítjük a β_B és $d\beta_B/dt$ értékeit a (4) egyenletbe és β értékét a harmadik egyenletből kapjuk:

$$\begin{aligned} & /t_0 - t/ \frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} + / b_{14} K_{\varphi} - b_{11} / t_0 - t / = 2 / \frac{d\varepsilon}{dt} + \\ & + / b_{14} K_{\xi} + b_{11} / \cdot \varepsilon = \frac{d\beta_T}{dt} - / b_{14} K_{\varphi} + b_{11} / \varphi^* C \end{aligned} \quad (6)$$

A (6) egyenletből látható, hogy $K_{\varphi} = - b_{11} / b_{14}$ (7)

esetben a rendszer statikussá válik.

Végezzük el a stabilitás elemzését.

Tételezzük fel, hogy az átmeneti folyamat ideje a rendszerben t_0 -nál kisebb.

Az intervallum számára, összehasonlítva az átmeneti folyamat hosszúságával

$$t_0 - t \approx t_0 .$$

Figyelembe véve azt, hogy b_{11} együttható negatív, nem nehéz belátni, hogy a stabilitás elegendő feltétele, ha teljesül a következő egyenlőtlenség

$$- b_{11} / t_0 - t / - 2 > 0$$

és a repülőgép egész idő alatt siklórepülést végez a siklópálya mentén. Ebben az esetben a vezérlési törvénybe nem szükséges $K_{\xi} \cdot d\varepsilon/dt$ tag. Ahhoz, hogy az egész második szakasz idején a leszállás minőségét jellemző átmeneti folyamat állandó maradjon, meg kell változtatni a vezérlési törvényben a K_{ξ} és K_{ε} tényezőket.

Ezek után felhasználva a (7) összefüggést és elhanyagolva a zavarótényezőket a (6) összefüggést a következőképpen lehet felírni

$$/ p^2 + A p + B / \varepsilon = 0 \quad (8)$$

ahol:

$$A = \frac{b_{14} K_{\dot{\varepsilon}} - 2}{t_0 - t} - b_{11} \quad (9)$$

$$B = \frac{b_{14} K_{\varepsilon} + b_{11}}{t_0 - t}$$

A (9) egyenletrendszer meghatározza a $K_{\dot{\varepsilon}}$ és K_{ε} együtthatók változásának törvényszerűségét, adott $A = \text{const}$ és $B = \text{const}$ értékeknél.

Explicit alakban

$$K_{\dot{\varepsilon}} / t / = \frac{1}{b_{14}} \left\{ / A + b_{11} / / t_0 - t / + 2 \right\} \quad (10)$$

$$K_{\varepsilon} / t / = \frac{1}{b_{14}} \left\{ B / t_0 - t / - b_{11} \right\} \quad (11)$$

A $K_{\dot{\varepsilon}}$ együtthatót okvetlenül szükséges csökkenteni olyan speciális esetekben, amikor a K_{ε} együttható függ az A nagyságtól, azaz amikor

$$A = - b_{11} \quad \text{és az} \quad K_{\dot{\varepsilon}} = \frac{2}{b_{14}} = \text{const.}$$

Vizsgáljuk meg a törvény gyakorlati realizálását.

A γ_C^* értékét számítsuk ki a következő képlet alapján:

$$\gamma_C^* = \beta_B + / t_0 - t / \frac{d\varepsilon}{dt} - \varepsilon \quad (12)$$

Felhasználva a (12)-t a vizsgált vezérlési törvény

$$\dot{\gamma} = F / \tilde{K}_E \varepsilon + \tilde{K}_i \varepsilon \frac{d\varepsilon}{dt} + K_B \beta_B / \quad (13)$$

ahol: $\tilde{K}_E = K_E - K\dot{\gamma}$

$$\tilde{K}_i = K_i + K\psi / t_0 - t / \quad (14)$$

$$K_B = K\dot{\gamma}$$

A (14) egyenletrendszer azt jelenti, hogy az irányítási rendszerben a szél-eltérítési adó helyett fel lehet használni a csúszás adót, de eközben változtatni kell az ε és a $d\varepsilon / dt$ felhasználásával az áttételi viszonyszámot a következő kifejezés szerint:

$$\tilde{K}_E / t / = \frac{B}{b_{14}} / t_0 - t / \quad (15)$$

$$\tilde{K}_i / t / = \frac{1}{b_{14}} \left\{ A / t_0 - t / + 2 / \right\}$$

b./ Vezérlés legyezősög szerint

A legyezősög szerinti vezérlésnél a vezérlési törvények astatikus jellegűek (a ψ és $\dot{\gamma}$ kapcsolat figyelembe vételével). Az astatikus jelleg azt eredményezi, hogy szükségtelen a széleltérítés szerinti jel bevitele, valamint a $\dot{\gamma}_a$ bedöntési jel korlátozása (a leszállás második szakaszában). Ez azért lehetséges, mert azok a mennyiségek, amelyek a vezérlési törvényeket létrehozzák, kicsik.

A legyezősög (ψ) szerinti vezérlést a következő egyenletrendszerrel lehet leírni:

$$\begin{aligned} / t_0 - t / \frac{d\varepsilon_i}{dt} - \varepsilon_i + \psi &= \dot{\gamma}_C \\ -\omega_y - b_{14} \dot{\gamma} &= 0 \\ -b_{53} \omega_y + \frac{d\psi}{dt} &= 0 \\ \dot{\gamma} + K_{\varepsilon_i} \varepsilon_i + K_{\dot{\varepsilon}_i} \frac{d\varepsilon_i}{dt} &= 0 \end{aligned} \quad (16)$$

A (16) egyenletrendszer megoldva megkapjuk az ε_i és a γ_C értékeket összekapcsoló összefüggést:

$$/ t_0 - t / \frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} + K_{\varepsilon_i}^* - 2 / \frac{d\varepsilon_i}{dt} + K_{\varepsilon_i}^* \cdot \varepsilon_i = \frac{d \gamma_C}{dt} \quad (17)$$

$$\text{ahol: } K_{\varepsilon_i}^* = b_{14} b_{53} K_{\varepsilon_i}$$

$$K_{\varepsilon_i}^* = b_{14} b_{53} K_{\varepsilon_i}$$

Abban az esetben, amikor $K_{\varepsilon_i}^* = 0$, a $d\varepsilon_i / dt$ együttható negatív lesz, aminek következtében a vezérlési törvénybe szükséges az ε_i szerinti differenciál jel bevétele.

Ha nem vesszük figyelembe a zavaró hatást a (17) egyenletet a következő formában írhatjuk fel:

$$/ p^2 + A p + B / \varepsilon_i = 0 \quad (18)$$

$$\text{ahol: } A = \frac{/ b_{14} b_{53} K_{\varepsilon_i} - 2 /}{t_0 - t}$$

$$B = \frac{b_{14} b_{53} K_{\varepsilon_i}}{t_0 - t}$$

Határozzuk meg K_{ε_i} és $K_{\dot{\varepsilon}_i}$ együtthatók időbeni változásainak törvényszerűségeit, amelyek a transziens folyamatok állandóságát biztosítják:

$$K_{\varepsilon_i} / t / = \frac{B}{b_{14} b_{53}} / t_0 - t /$$

$$K_{\dot{\varepsilon}_i} / t / = \frac{1}{b_{14} b_{53}} \left\{ A / t_0 - t / + 2 \right\}$$

Mivel $b_{53} \approx 1$, a (19) vezérlési törvény megegyezik a (15) vezérlési törvénnyel.

A (19) egyenletrendszerből levont következtetés lehetőséget ad arra, hogy viszonylag egyszerű módon megvalósítsuk a vezérlésben a két módszer kombinálását. Felhasználva azok előnyeit; a./ A csúszás szerinti vezérlés nem követeli meg az ε_i szerinti differenciál jel bevitelét, de a rendszerbe csúszás adót kell bekötni. Ezenkívül a csúszás jelenléte negatív tényezőként hat. b./ A legyezőszög szerinti vezérlés viszont az ε_i differenciál szerinti jel bevitelét teszi szükségessé. Az ε_i jel differenciálása a fedélzeti iránypálya-vevő rádióállomás kimenő jelének differenciálásával érhető el. A rádiótechnikai adók jelei nagyfrekvenciás zavarokkal rendelkeznek, mely jelek a differenciálás során erősödnek. Ezáltal komoly problémák jelentkeznek a rendszer zavarvédetségének megoldásában.

A legyezőszög szerinti vezérlésben a kombinált módszer alkalmazása csak rövid ideig történhet. Abban az esetben, ha a csúszás adó meghibásodik a legyezőszög szerinti vezérlést állandóan kell alkalmazni, de ekkor ezt véghelyzetnek kell tekinteni.

Néhány rendszerben, ahol a legyezőszög szerinti vezérlést valósítjuk meg, a $d\varepsilon/dt$ hányados helyett a ψ jelet vezetik be, ekkor a vezérlési törvény a következőképpen alakul:

$$\ddot{\sigma} = -K_{\varepsilon} \varepsilon - K_{\psi} \psi \quad (20)$$

Nilvánvaló, hogy pozitív ψ esetén és a repülőgép pozitív bedöntésénél annál gyorsabb sebességgel közeledik a leszállómezhöz, minél nagyobb ψ , miközben a $d\varepsilon/dt$ negatív.

Íly módon a ψ nagysága a $-d\varepsilon/dt$ mértékéül szolgál, ill. fordítva $-\psi$ nagysága a $d\varepsilon/dt$ mértékéül. Következésképpen feltételezhetjük azt, hogy $-\psi$ jel hatása a rendszer stabilitására analóg hatással van $d\varepsilon/dt$ jelével.

Azonban a $-\psi$ jel hatására a vezérlés statikus jellegűvé válik. Ez látható a (20) vezérlési törvény struktúrájából. A jel felcserélésével

$$\ddot{\sigma} \leftarrow \frac{1}{b_{14}} \omega y, \quad \omega y \leftarrow \frac{1}{b_{53}} \frac{d\psi}{dt} \quad \text{a következő}$$

íráható fel

$$/ T_p + 1 / \psi = \tilde{K}_{\varepsilon_i} \varepsilon_i \quad (21)$$

ahol:

$$T = \frac{1}{b_{14} b_{53} K_{\Psi}}$$

$$\tilde{K}_{\varepsilon_i} = \frac{K_{\varepsilon}}{K_{\Psi}}$$

A statikus hiba csökkentésére a rendszerbe vezetett jelek a széleltérítés szerint, amelyet a következők szerint képzünk:

$$\Psi_C = / t_0 - t / \frac{d\varepsilon}{dt} - \varepsilon + \Psi \quad (22)$$

és $\beta_B = 0$ -nál, ismét szükségessé válik a fedélzeti rádióiránypályavevő rádióállomás kimenőjelének differenciálása.

Ha a széleltérítési jel helyett annak integrálját használjuk, a stabilitás problémájának megoldását bonyolultabbá teszi.

A leszállás automatizálásába beiktatott Ψ szerinti ernyedő visszacsatolással pozitív hatást érünk el.

A vezérlési törvény ekkor:

$$\tilde{\sigma} = - / K_{\varepsilon_i} \varepsilon_i - K \frac{T_p}{T_p + 1} \Psi / \quad (23)$$

A visszacsatolásba tett ernyedő tag, a differenciáló taghoz hasonló effektust hoz létre.

A (23) egyenlet a jel felcserélésével

$$\tilde{\sigma} = \frac{1}{b_{14} b_{53}} \frac{d\Psi}{dt} \quad (24)$$

$$/ T' p + 1 / \frac{d\Psi}{dt} = K' / T p + 1 / , \quad (25)$$

$$\text{ahol } T' = \frac{T}{1 + b_{14} b_{53} K_{\psi} T}$$

$$K_{\xi}' = \frac{b_{14} b_{53} K_{\xi}}{1 + b_{14} b_{53} K_{\psi} T}$$

Nem nehéz belátni, hogy a differenciáló hányados bevitelétől kapott pozitív effektus annál nagyobb, minél kisebb a T' időállandó a T -hez viszonyítva. A különbség $T - T'$ között nő a T növekedésével.

Azonban, a K_{ξ}' áttételi viszonzszámot egyidőben csökkenteni ahhoz vezet, hogy megnő az átmeneti folyamat, következésképpen ez okvetlenül a dinamikus hiba növekedéséhez vezet. Következésképpen ebben az esetben az ernyedő visszacsatolás a teljes hatásban nem nagy.

3./ A repülőgép hosszirányú mozgásának automatikus irányítása a leszállás második szakaszában

A repülőgép függőleges síkban történő mozgásának megfelelően (5. ábra) a mozgást leíró kinematikai egyenlet:

$$\frac{dH_y}{dt} = v_0 \sin \Theta - \dot{\bar{F}}_S$$

$$H_y = D_S \sin \bar{\xi} \quad (26)$$

$$D_S = D_{S0} - v_0 \int_0^t \cos \Theta + \dot{\bar{F}}_S + \bar{\xi} / dt$$

H_y - a síklópálya feletti repülési magasság,

D_{S0} - a repülőgép kezdeti távolsága a GRM síklópálya adó rádiómajakig.

Ha figyelembe vesszük, hogy a Θ , $\bar{\xi}_0$ szögek értéke kicsi, valamint azt, hogy $\Theta = \Theta_0 + \Delta\Theta = -\bar{\xi}_0 + \Delta\gamma - \Delta\alpha$ a (25) egyenletet megoldva kapjuk:

$$/ t - t_0 / \frac{d\bar{\xi}}{dt} - \bar{\xi} = \Delta\gamma - \Delta\alpha \quad (27)$$

$$t_0 = D_{S0} / v_0 .$$

A hosszirányú vezérlést két módszerrel hajtjuk végre:

a./ Statikus módszer: $\Delta v^s = - K_F \bar{F}$ (28)

b./ Astatikus módszer:

$$\frac{d\Delta v^s}{dt} = - / K_F \bar{F} + K_F \frac{d\bar{F}}{dt} / \quad (29)$$

Az Y tengely mentén ható erők egyensúlyának egyenlete:

$$- \frac{d\Delta \alpha}{dt} - a_{22} \Delta \alpha + \frac{d\Delta v^s}{dt} = c_{21} \Delta v_x + c_{22} \alpha T \quad (30)$$

Mivel a repülőgép tehetetlenségénél fogva a v szerinti tranziens folyamatok viszonylag lassúak, ezért $\Delta v = 0$.

Ekkor a statikus módszerre a következő egyenletet kapjuk:

$$\begin{aligned} / t_0 - t / \frac{d\bar{F}}{dt} - \bar{F} - \Delta \alpha + \Delta \alpha &= 0 \\ - \frac{d\Delta \alpha}{dt} - a_{22} \Delta \alpha + \frac{d\Delta v^s}{dt} &= c_{21} \Delta v_x + c_{22} \end{aligned} \quad (31)$$

$$\Delta v^s + K_F \bar{F} = 0 .$$

\bar{F} -re megoldva:

$$\begin{aligned} / t_0 - t / \frac{d^2 \bar{F}}{dt^2} + a_{22} \left\{ / t_0 - t / - 2 \right\} \frac{d\bar{F}}{dt} + \\ + a_{22} / K_F - 1 / \bar{F} = c_{21} \Delta v_x + c_{22} \alpha T \end{aligned} \quad (32)$$

Astatikus módszerre pedig:

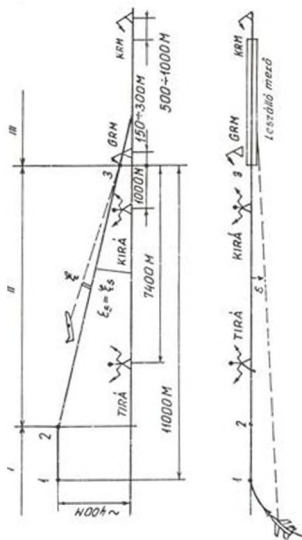
$$\begin{aligned} & / t_0 - t / \frac{d^3 \bar{\varphi}}{dt^3} + a_{22} \left\{ / t_0 - t / - 3 \right\} \frac{d^2 \bar{\varphi}}{dt^2} + \\ & + a_{22} / K_{\bar{\varphi}} - 2 / \frac{d \bar{\varphi}}{dt} + a_{22} K_{\bar{\varphi}} \bar{\varphi} = \\ & = c_{21} \frac{d \Delta v_x}{dt} + c_{22} \frac{d \alpha_T}{dt} \end{aligned} \quad (33)$$

Ha összehasonlítjuk a (32) és a (33) egyenleteket belátható, hogy a statikus módszerrel (28) a stabilitást könnyebb biztosítani, mint az astatikus módszerrel, függetlenül attól, hogy $K_{\dot{\varphi}} = 0$.

Az v_x és α_T közepes értéke a süllyedés folyamán kicsi marad és ezért nem várható, hogy a (28) egyenlet szerint jelentős statikus javulás jöjjön létre (α_T értéke a $K_{\bar{\varphi}}$ értékének növelésekor csökken).

FELHASZNÁLT IRODALOM

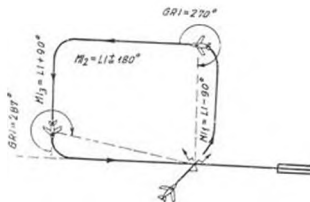
- 1./ Kraszovszkij A.A.: A repülés automatikus vezérlő rendszerei és azok analitikus tervezése
"Nauka" 1973. Moszkva
- 2./ Kraszovszkij H.H.: A mozgás vezérlésének elmélete
"Nauka" 1968. Moszkva
- 3./ Mihajlov J.A. és mások: A repülőgép automatikus vezérlésének rendszerei
- 4./ Durov A.A.: Az elfogó vadászrepülőgépek harci alkalmazása, harcászati hatékonysága
"Voenizdat" 1972. Moszkva
- 5./ Dmitrijevskij és mások: Pilótánélküli repülőszerkezetek mozgásának optimalizált vezérlés elmélete
"Masinosztroenyije" 1978. Moszkva
- 6./ Csáki Frigyes: Szabályozások dinamikája. Lineáris szabályozás elmélete
"Akadémia Kiadó" 1964. Budapest
- 7./ Benyó Z.: Szabályozástechnika
"Tankönyvkiadó" 1965. Budapest



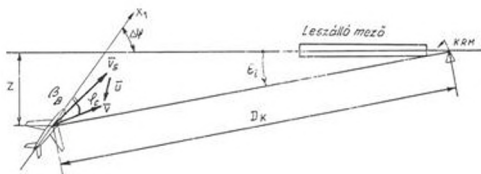
1. ábra



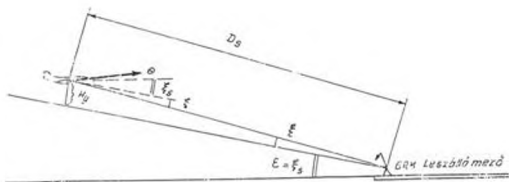
2. ábra



3. ábra



4. ábra



5. ábra