

## ***Hajtómű típusok, a hajtómű hatások jellemzése***

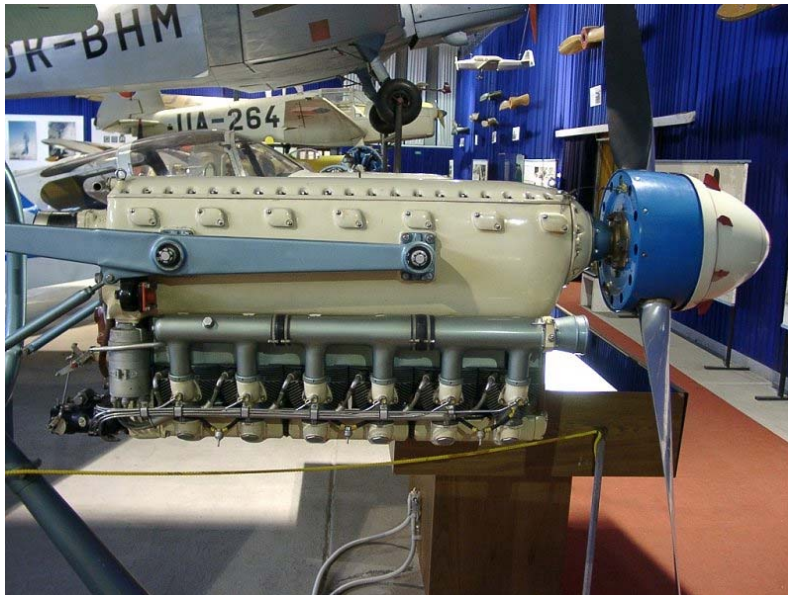
Dr. Bauer Péter  
BME Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék  
2015.

Repülőgépek meghajtására dugattyús motorokat, vagy gázturbinákat szoktak használni (a témáról bővebben lásd [7]).

A dugattyús motorra légsavart rögzítve (általában valamilyen fogaskerék áttételen keresztül) a légsavar képes a repülőgép hajtásához szükséges vonóerőt létrehozni (légsavarokról bővebben lásd [7]). A felhasznált dugattyús motorok működési elve nem tér el az autókban használt motorokétól, de szerkezetileg több mindenben eltérnek, többek között alkalmasnak kell lenniük a nagyobb magasságban, ritka levegőben való üzemelésre, illetve műrepülésre is. A dugattyús motorokat napjainkban alapvetően a kis teljesítményigényű gépek hajtására használják. Két fő típus a csillag (lásd 1. ábra) és a soros (lásd 2. ábra) motor.



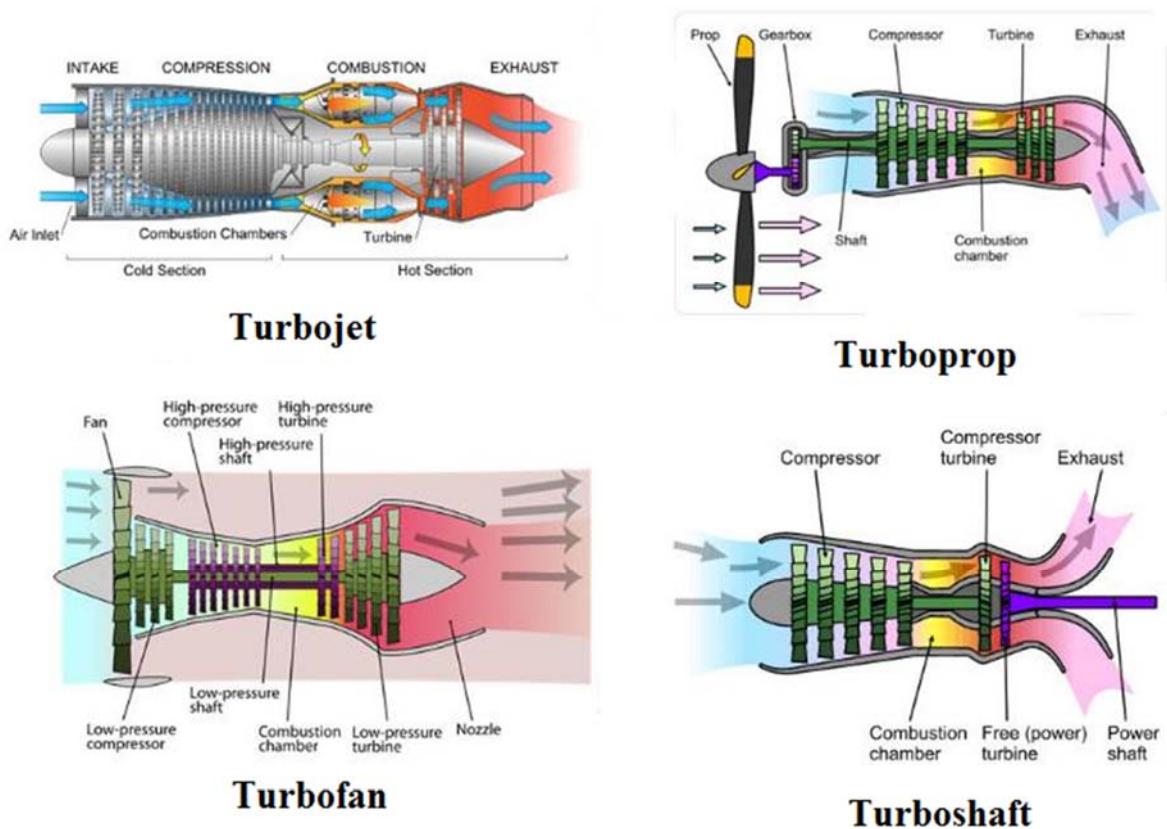
1. ábra Csillagmotor légsavarral (forrás: [http://hu.wikipedia.org/wiki/Svecov\\_M-11](http://hu.wikipedia.org/wiki/Svecov_M-11))



2. ábra Soros motor légsavarral (forrás: <http://hampage.hu/repules/pragarepules/05110126.jpg>)

A gázturbina működési elve hasonlít a dugattyús motoréhoz annyiban, hogy a beszívott levegőt sűríti, majd üzemanyagot fecskendez bele és elégeti. Az égés hatására expandáló gáz azonban nem dugattyút hajt, hanem az úgynevezett turbina részt forgatja és sok esetben a fűvócsövön át kiáramolva impulzusváltásával tolóerőt hoz létre.

A tényleges működés nagyban függ a hajtómű adott típusától, szerkezetétől. A legfontosabb típusokat a 3. ábra mutatja.



3. ábra Gázturbinás hajtómű típusok (eredeti kép forrása: <http://wizardiron.tistory.com/5>)

A 3. ábra első típusa a Turbojet gázturbinás sugárhajtómű, mely a kiáramló forró gázok segítségével hozza létre a repülőgép hajtásához szükséges tolóerőt (egy példával: mint ahogy a lufit tolja a levegőben a kiáramló levegő, ha elengedjük). Az ábrán szereplő elnevezések magyar megfelelői:

*A gázturbina munkafolyamat részei:*

Compression:	sűrítés
Combustion:	égés
Exhaust:	kiáramlás

*A megnevezett részek:*

Intake (air inlet):	levegő beömlő
Cold section:	hideg rész (égés előtti rész)
Combustion chambers:	égőterek
Hot section:	forró rész (égés utáni rész)

Az ábra mutatja, hogy a dugattyús motor munkafolyamata itt nem ciklusonként, hanem folyamatosan a gázturbina különböző szekcióiban zajlik.

A Turbojet mellett látható a Turboprop légszaváros gázturbina, mely nem tolóerőt hoz létre, hanem egy turbinán, tengelyen és fogaskerék áttételen keresztül a meghajtott légszavarral termel vonóerőt. Az ábrán szereplő elnevezések:

Prop:	propeller, légszavar
Gearbox:	fogaskerék hajtómű
Shaft:	tengely
Compressor:	kompreszor
Turbine:	turbina

A Turboprop ábráján jobban látható, hogy ténylegesen hogyan működik a gázturbina. A levegőt a forgó kompresszor lapátok segítségével szívja be és sűríti (a lapátozás egyszerűsítve úgy képzelhető el, mint a szobai ventilátor, ami forgatva szintén szívja és fújja a levegőt). A sűrített és felmelegedett levegőbe az égőtérben fecskendezi be és égeti el az üzemanyagot. Innen a forró gázok a turbinát meghajtva (itt az áramló levegő forgatja a lapátokat, mint a szélérőműveknél) áramlanak ki a hajtóműből.

A turbojet hajtómű esetében a turbina feladata csak a kompresszor meghajtása és így a gázturbina működés fenntartása. A kiáramló gázok energiájának nagy része a tolóerőt hozza létre. A turboprop esetében a turbina a kompresszort és a légszavart is hajtja, a kiáramló gázok itt nem, vagy alig hoznak létre tolóerőt, energiájukat a turbina forgatására adják le.

A harmadik lehetséges típus a Turbofan gázturbinás sugárhajtómű ventilátor fokozattal. Ennek az elejére egy a gázturbina átmérőjénél jóval nagyobb átmérőjű ventilátor fokozatot szerelnek, mely tulajdonképpen egy légszavar szerepét tölti be, csak éppen zárt csatornában működik és persze más a lapátozása. Így egy külső, hideg levegőárammal jelentős többlet tolóerőt hoz létre a kiáramló forró gázok tolóereje mellé. Ebben a típusban általában már két független forgórészt alkalmaznak, mint az az ábrán is látható. Az ábrán látható elnevezések:

Fan:	ventilátor (fokozat)
Low-pressure compressor:	kisnyomású kompresszor
Low-pressure turbine:	kisnyomású turbina
High-pressure compressor:	nagynyomású kompresszor
High-pressure turbine:	nagynyomású turbina

Low-pressure shaft:	kisnyomású tengely
High-pressure shaft:	nagynyomású tengely
Nozzle:	fűvócső

A negyedik lehetséges típus a Turboshaft tengelyteljesítményt leadó gázturbina, melyet nem repülőgépeken, hanem más feladatokra szoktak alkalmazni. Itt egy külön turbinán keresztül egy tengelyt hajtanak a kiáramló gázok, melyre bármilyen forgó meghajtást igénylő berendezés ráköthető. A kiáramló gázok itt szintén nem adnak tolóerőt, hanem a tengelyt hajtják. A kapcsolódó ábra elnevezései:

Free (power) turbine:	szabadon forgó (teljesítmény) turbina
Power shaft:	teljesítményt leadó tengely

## A hajtómű hatások jellemzése

A hajtóművek a repülőgépen vonóerőt, vagy tolóerőt generálnak, de e mellett más egyéb hatásuk is van a repülőgép dinamikájára. Ebből a legfontosabbak a forgó részek reakciónyomatéka, a vonó/tolóerő nyomatéka és a szintén a forgó részek miatti precessziós nyomaték. A továbbiakban mindezen hatások matematikai leírását tekintjük át.

### A vonó/tolóerő

Mivel a motor, vagy hajtómű tengelye a legtöbb esetben közelítőleg párhuzamos a test rendszer X tengelyével, ezért a tolóerő vektorát ezzel párhuzamosnak feltételezzük:

$$F_T = \begin{bmatrix} T \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

A megadott képletben  $T$  a tolóerő abszolút értéke.

### A forgó részek reakciónyomatéka

Ez a nyomaték a légsavár, vagy gázturbina forgórész(ek) forgatásához szükséges nyomaték visszahatása negatív előjellel a repülőgépre a motor, vagy hajtómű rögzítésén keresztül. Ha a forgórészek párhuzamosak az X tengellyel, akkor ennek is csak X irányú nyomatéka van. Jelöljük ezt a nyomatéki komponenst  $M_R$ -vel.

### A vonó/tolóerő nyomatéka

Ha a tolóerő hatásvonala nem esik egybe az X tengellyel, akkor többi tengelyekre forgató nyomatékot fog generálni a következő kifejezés szerint:

$$M_T = r_T \times F_T$$

Itt  $r_T$  a repülőgép súlypontjából a tolóerő támadáspontjába mutató vektor.

### Precessziós nyomaték

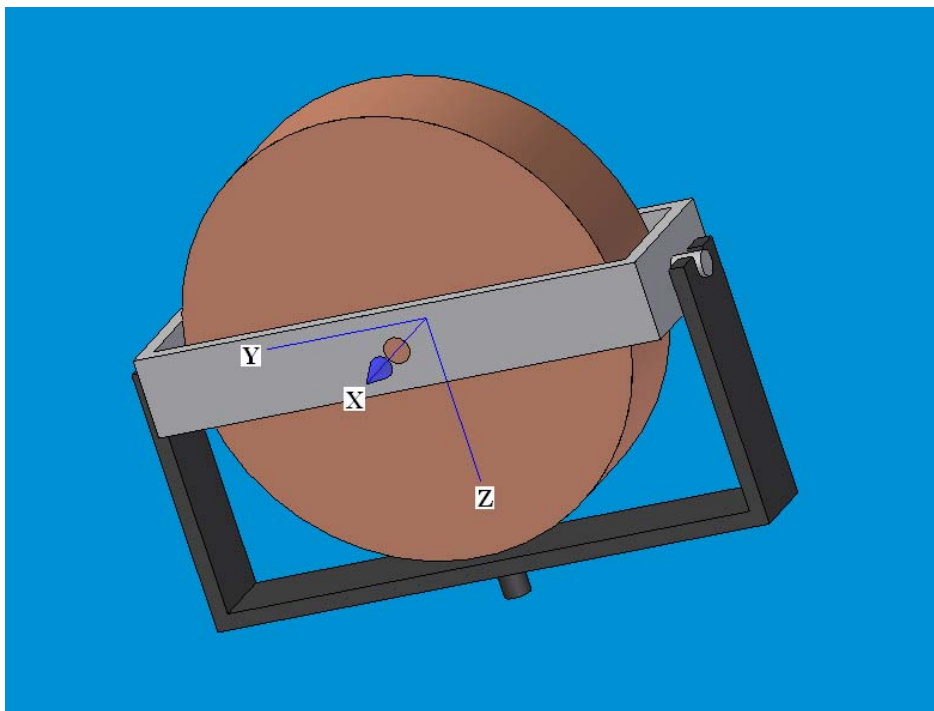
Ha egy nagy fordulatszámmal forgó testet (amilyen a légsavár, vagy a gázturbina forgórésze(i)) egy a forgástengelyével szöveget bezáró tengely körül forgató nyomatékkal terhelünk (megkíséreljük elforgatni), akkor a test törekedni fog úgy elfordulni, hogy szögsebesség vektorát egy egyenesbe állítsa a terhelő nyomaték vektorával. Ezt a hatást hívjuk precesszióknak, a repülőgép dinamikájára ez is hatással lehet.

Forgó keretekre rögzített pörgettyűt mutat a 4. ábra. A forgórész akár lehetne egy légsavár is, a befogások pedig lehetnének fixen rögzítettek, mint a repülőgép motor esetében. Tegyük fel, hogy a pörgettyű rész egy állandó  $p_g$  X irányú szögsebességgel forog, miközben a külső keretet a Z tengely körül  $r_g$  állandó szögsebességgel forgatjuk. Az eredő szögsebesség vektort, a diagonális inercia mátrixot (két szimmetriatengelye van a hengernek) és az ábrán feltüntetett koordináta rendszert felhasználva a perdület tétel (bővebben lásd később) az alábbi összefüggésekre vezet:

$$\omega_g = \begin{bmatrix} p_g \\ 0 \\ r_g \end{bmatrix} \quad \dot{\omega}_g = 0 \quad J_g = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{yy} \end{bmatrix}$$

$$M_g = -\omega_g \times (J_g \omega_g) = \begin{bmatrix} 0 \\ p_g r_g (I_{xx} - I_{yy}) \\ 0 \end{bmatrix}$$

Látható, hogy a megadott forgások egy az Y tengelyre ható nyomatékot eredményeznek. Ha az Y tengely mentén csak forgó keret rögzíti a pörgettyűt, mint az ábrán, akkor az a kerettel együtt el fog fordulni. Fix rögzítés esetén a rögzítést kísérli meg elforgatni.



4. ábra Forgó keretekre rögzített pörgettyű

## **Felhasznált és ajánlott irodalom**

- [1] Bokor József, Gáspár Péter: *Irányítástechnika járműdinamikai alkalmazásokkal*, Typotex kiadó, Budapest, 2008.
- [2] Bauer Péter: *Repülőgépek egyszerű referencijel követő szabályzóinak tervezése LQ Servo módszerrel*, Matlab/Simulink környezetben, BME Közlekedésautomatikai Tanszék, 2009.  
(url:  
[http://www.kjit.bme.hu/images/stories/targyak/automatikus\\_fedelzeti/lq\\_servo\\_tervezes.pdf](http://www.kjit.bme.hu/images/stories/targyak/automatikus_fedelzeti/lq_servo_tervezes.pdf))
- [3] Lantos Béla: *Irányítási rendszerek elmélete és tervezése, egyváltozós szabályozások*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2005.
- [4] Prof. Bokor József és szerzőtársai: *Irányítástechnika gyakorlatok*, Typotex kiadó, Budapest, 2012.
- [5] Randal W. Beard, Timothy W. McLain: *Small Unmanned Aircraft, Theory and Practice*, Princeton University Press, 2012.
- [6] Scott Gleason, Demoz Gebre-Egziabher: *GNSS Applications and Methods*, Artech House, 2009.
- [7] Rohács József, Gausz Zsanna, Gausz Tamás: *Repülésmechanika, egyetemi jegyzet*, Typotex kiadó 2012. ([www.tankonyvtar.hu](http://www.tankonyvtar.hu))
- [8]  $\mu$ BLOX: Datum Transformations of GPS Positions, Application Note, 5th July 1999.
- [9] Guowei Chai, Ben M. Chen and Tong Heng Lee: *Unmanned Rotorcraft Systems*, Advances in Industrial Control, Springer, London, 2011.