

Körmendi Géza	Dr. Szabó László
főiskolai adjunktus	főiskolai docens
Repülő Sárkány-Hajtómű Tanszék	
tanszékvezető helyettes	szakcsoportvezető

### Helikopter hajtóművek automatikus szabályozó rendszerrel

A helikoptereket üzemeltető szakemberek körében sokszor vita tárgya, hogy a helikopter hajtóművek különböző üzemmódjain ml tekintünk szabályozott jellemzőnek, valamint az, hogy ezt, milyen szabályozó szervekkel tartják meghatározott értéken. Cikkünk ezen kérdés tisztázására igyekszik eligazítást adni.

A világon a legelterjedtebb konstrukciós megoldás az, amikor a helikopterre két hajtóművet építenek be, amelyek biztosítják a forgószármeghajtásához szükséges teljesítményt egy közös reduktoron keresztül.

A helikopter hajtóművek általában 2 -3 forgórészesek, *szabadturbinával* (nevezik *munkaturbinának* is) felszereltek, amely transzmisszió keresztül hajtja meg a forgószármeghajtást. A szabadturbina (munkaturbina) semmi féle mechanikus kapcsolatban nincs a kompresszort hajtó turbinával (ezentúl: *kompresszorturbina*), a kapcsolat közöttük csak gázdinamikai.

A helikopter hajtóművek kompresszorai viszonylag nagy sűrítési viszonyal, igen fejlett mechanizációval készülnek és saját meghajtó turbinával rendelkeznek (kompresszorturbina). Gázsugár fokozó (GSF) helyett gázkivezető csövet alkalmaznak, amely biztosítja a szabadturbinát elhagyó gáz stabil expanzióját.

Amiatt, hogy az alapvető üzemmódokon a szabadturbina első fokozat állóterelő lapátkoszorújában (ÁTLK) az expanzióviszony kritikushoz közeli, a szabadturbina fordulatszám változása gyakorlatilag nem gyakorol hatást a turbókompresszor üzemmódjára.

A közös és a ciklikus beállítási szög változtatása kizárólag a helikopter kormányzását szolgálja a helikoptervezető vagy a robotpilóta parancsai alapján. (Megjegyzés: A pilóta utasításai egyidejűleg a hajtóművek vezérlését is szolgálhatják.)



A hajtómű szabályozási rendszerében a forgószárny lapátok beállítási szöge -ellentétben a légcsavaros hajtóműveknél alkalmazott megoldással- beavatkozó jellemzőként *nem* kerül alkalmazásra. Így a helikopter hajtómű szabályozó rendszerében egyetlen beavatkozó jellemző lehetséges csak; ez az égőtérbe beadagolt tüzelőanyag mennyiség ( $\dot{m}_t$ ). Ennek megfelelően a szabályozási program megalkotásakor egyetlen szabályozott jellemző lehetséges csak, amely meghatározza a hajtómű üzemmódját.

*Szabályozott jellemzőként* (a hajtómű üzemmódjától függően) vagy a *szabadturbina-* (és természetesen vele arányos forgószárny fordulattal), vagy a *turbókompresszor fordulatszámát* választják.

*Megjegyzés:* A *turbókompresszor fordulatszáma helyett választható a kompresszor sűrítési viszonya is* ( $\pi_k$ ).

*Az utazó és névleges üzemmódokon* (amelyek a hajtómű *alapvető üzemmódjai*) *szabályozott jellemzőül* - a zárt hatásláncú szabályozórendszer ellenőrzése alatt álló- *szabadturbina fordulatszámát* választják, amelyre  $\dot{m}_t$  értékének változtatásával gyakorolnak hatást. Ekkor a  $n_{Szt}$  automatikus szabályozó rendszere a teljes magassági (H) és sebességi (V) tartományokon biztosítja a szabadturbina fordulatszámának állandó értéken tartását, és így teljesül:

$$n_{Szt} = n_{Szt p} = \text{const.}$$

Ahol:

- |             |   |
|-------------|---|
| $n_{Szt}$   | -szabadturbina (valós) fordulatszáma $\Rightarrow$ ellenőrzött jel, |
| $n_{Szt p}$ | -szabadturbina parancsolt fordulatszáma $\Rightarrow$ alapjel.      |

A helikopter forgószárny fordulatszám állandósítása az alábbiak miatt célszerű:

- Lehetővé teszi a forgószárny aerodinamikai jellemzőinek optimális értéken tartását;
- A lapátok geometriai formája nem változik az állandó centrifugális erő miatt;



- Célszerű a forgószárnyra és a transzmisszióra ható terhelések korlátozása végett;
- Egyszerűvé válik a helikopter kormányzása és a hajtómű vezérlése is.

A helikoptervezető vagy a botkormánnyal, vagy a egyesített vezérlőkarral (EVK) hidraulikus erősítőn (és rendszeren) keresztül változtathatja a lapátok beállítási szögét, ezzel a forgószárny terhelését is. A zárt  $n_{SZT}$  szabályozó rendszer az  $n_{SZT} = \text{const.}$  program miatt hatást gyakorol  $m_t$ -re. Így realizálódik az egyidejű repülés irányítás és a hajtómű belső folyamatának irányítása.

Felszálló és alapgáz üzemmódokon szabályozott jellemző a turbókompresszor  $n_{TK}$  fordulatszáma (vagy a sűrítési viszonya). A felszálló üzemmódon  $n_{TK}$  szabályozása, a turbókompresszor gázdinamikai és a hőterheléseinek korlátozása miatt célszerű. Gyakran a felszálló üzemmódon a nem szabályozott paraméterek határolása is történik.

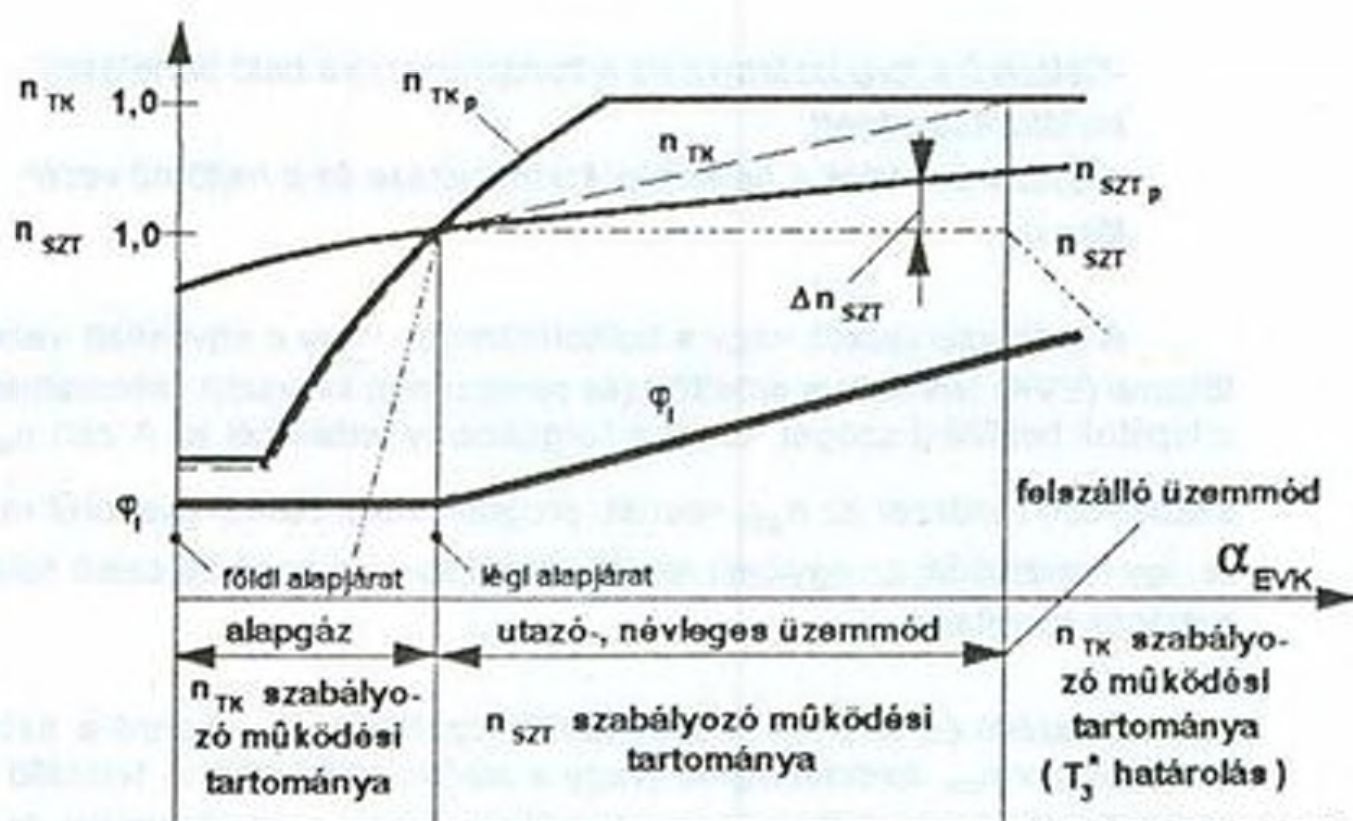
Alapgázon azért célszerű a  $n_{TK}$  szabályozása, mert így biztosítható a stabil égés az égőtérben, és ez által tartható fent az előírt forgószárnyra átadódó teljesítmény.

Az 1. ábra mutatja be azokat a függvényeket, amelyek az egyes hajtómű üzemmódokon egyértelműen mutatják az egyes szabályozott jellemzők prioritását.

Az ábra jelölései:

$n_{SZT}$	-szabadturbina (valós) fordulatszáma $\Rightarrow$ ellenőrzött jel,
$n_{SZTp}$	-szabadturbina parancsolt fordulatszáma $\Rightarrow$ alapjel,
$n_{TK}$	-turbókompresszor (valós) fordulatszáma $\Rightarrow$ ellenőrzött jel,
$n_{TKp}$	-turbókompresszor parancsolt fordulatszáma $\Rightarrow$ alapjel,
$\varphi_1$	-forgószárny lapát beállítási szög,
$T_3$	-Kompresszorturbina előtti gázhőmérséklet,
$\alpha_{EVK}$	-EVK helyzete (beállítási szöge).





1. ábra

A beavatkozó jellemzők korlátozott száma teszi szükségessé egy sor hajtómű-paraméter korlátozását;

Például:  $T_{3\max}$ ;  $n_{TK\text{átsz.max.}}$ ;  $P_{fsz\max}$ ;  $\pi_{k\max}^*$ , azaz a kompresszorturbina előtti gázhőmérséklet-, átszámított fordulatszám-, forgószámy teljesítmény-, kompresszor sűrítési viszonyának maximális értéke. A korlátozások szintén az  $m_t$ -ra gyakorolt hatással valósulnak meg.

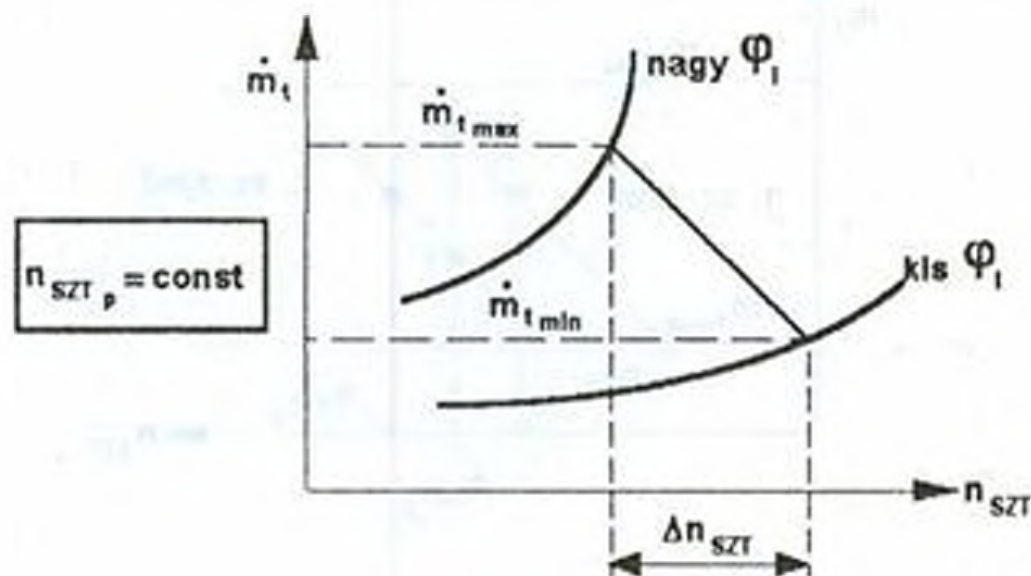
Kéthajtóműves helikoptereknél szükséges a hajtóművek (teljesítményének) üzemmódjának szinkronizálása is (ezt ún. "n\_SZT szinkronizátor" valósítja meg), amit az azonos leterhelés elérése tesz szükségessé. A szinkronizátor biztosítja az üzemi idő azonos ütemű ledolgozását, valamint a transzmisszió elemein az egyenletes terhelés eloszlást. Bármely határoló működésekor az üzemmód szinkronizátor az  $m_t$ -re hatva egyidejűleg blokkolja az n\_SZT szabályozót.



Helikopter hajtóműveknél nagy figyelmet fordítanak a jó gyorsuló képességre, ami feltétele a biztonságos repülésnek, valamint a magasság szerinti jó kormányozhatóságnak.

Magas követelményeket támasztanak a szabályozó rendszer dinamikai tulajdonságaival szemben (különösen az  $n_{SZT}$  esetére), ami lényegében meghatározza a helikopter repülési üzemmódját. Lengéses folyamatok megjelenése a szabályozó rendszerben nem kívánatos, mert az a forgószárny fordulat-számának lengését, és így a forgószárny felhajtóerő periodikus változását eredményezi. (Megjegyzés: Például az  $n_{SZT}$  1% -os változása a felhajtóerő 2% -os változását vonja maga után.)

A szabályozó rendszer dinamikai tulajdonságai javításának egyik módja az  $n_{SZT}$  szabályozó statikussá tétele jelentős nagyságú statikus hibával. A hiba nagysága elérheti  $\Delta n_{SZT} = 3 - 6 \%$ -ot (2. ábra).



2. ábra

A statikus hibával bíró  $n_{SZT}$  szabályozó hasznos abból a szempontból is, hogy így biztosítható két hajtómű alkalmazása egy reduktor meghajtására.

*Megjegyzés: A statikus  $n_{SZT}$  szabályozóval nem lehetséges egy reduktor meghajtása két hajtóműről.*

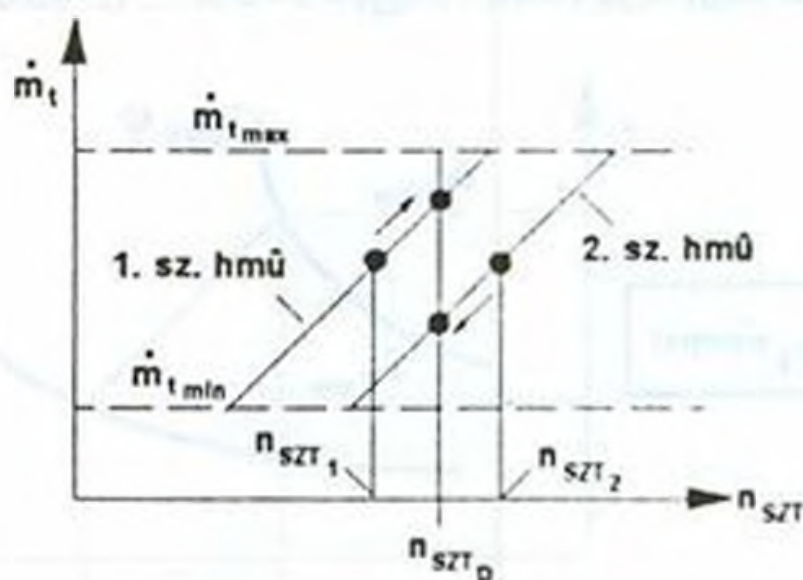
A két hajtómű szabadturbinája a reduktoron keresztül kinematikai kapcsolatban van egymással, így  $n_{SZT_1} = n_{SZT_2}$ . A statikus szabályozónál,



illetve szabályozásnál a parancsolt (alapérték) és a valós (ellenőrzött érték)  $n_{SZT}$  fordulatszámnak pontosan meg kell egyeznie, azaz:  $n_{SZT} = n_{SZT p}$ .

Ha a két hajtóműnél kismértékű beállítási eltérés van ( $n_{SZT p_1} \neq n_{SZT p_2}$ ), úgy a két szabad turbina fordulatszám stabilizálása gyakorlatilag nem oldható meg. Ebben az esetben az astatikus szabályozók az egyik hajtóművet a maximális, a másikat pedig a minimális teljesítményre szabályozzák be.

A statikus hibával rendelkező  $n_{SZT}$  szabályozók alkalmazása lehetővé teszi az  $n_{SZT_1}$  és  $n_{SZT_2}$  állandó értéken tartását a tüzelőanyag fogyasztások közötti különbség miatt (3. ábra).



3. ábra

A statikai jelleggörbék lefutásából következik, hogy a statikai hiba növelése célszerű a tüzelőanyag fogyasztások kiegyenlítése és a hajtóművek üzemmódjának szinkronizálása szempontjából is.

A helikopter hajtóműveknek ún. "rendkívüli üzemmódon" is megfelelő működési idővel kell bírnia, ami tulajdonképpen egyhajtóműves repülést jelent. Ezt azt jelenti, hogy a helikopterek repülőképesnek kell maradnia az egyik hajtómű leállása esetén is.

A 4. ábra egy lehetséges, helikopter hajtómű szabályozó rendszer hatásvázlatát szemlélteti. A rajzon egy egységben látható a hajtómű és a



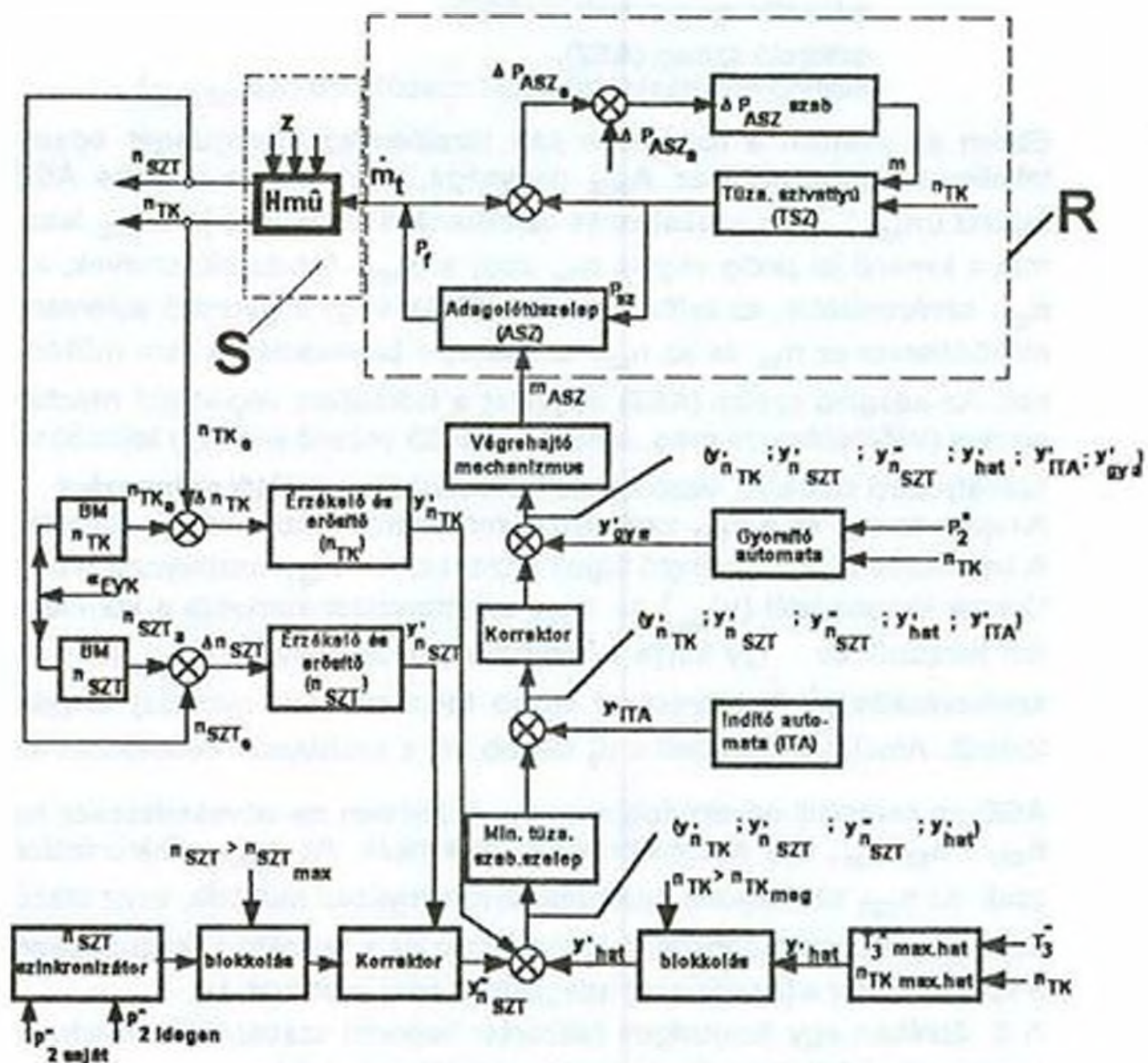
tüzelőanyagellátó rendszer, amelyek együtt képezik -a szabályozott szakasz (S) és a (fő) szabályozó (R) egységet- a szabályozás objektumát. Ebbe tartozik;

- a hajtómű (Hmű),
- a tüzelőanyag szivattyú (TSZ),
- adagoló szelep (ASZ),
- állandó nyomáskülönbséget szabályozó ( $\Delta p_{ASZ\ szab}$ ).

Ebben az esetben a hajtóműbe jutó tüzelőanyag mennyiségét egyértelműen meghatározza az  $A_{ASZ}$  nagysága, vagy a vele arányos ASZ helyzet ( $m_{ASZ}$ ). Így a szabályozás objektumánál a bemenő jel  $m_{ASZ}$  lesz, míg a kimenő jel pedig vagy a  $n_{TK}$  vagy a  $n_{SZT}$ . A határoló szervek, az  $n_{SZT}$  szinkronizátor, az indító automata (ITA), vagy a gyorsító automata működésekor az  $n_{TK}$  és az  $n_{SZT}$  szabályozó berendezések nem működnek. Az adagoló szelep (ASZ) helyzetét a hidraulikus végrehajtó mechanizmus (VM) határozza meg, amelynek eredő vezérlő jele ( $y_1'$ ) különböző szabályozási körökből, vezérlési és határolási egységektől származhat. A rajzon az  $n_{TK}$  és a  $n_{SZT}$  szabályozó rendszerek főbb elemei is láthatók. A korrekciós és a végrehajtó tagok közösek. Az  $n_{SZT}$  szabályozó erősítőjének kimenő jelét ( $y'_{n_{SZT}}$ ) az  $n_{SZT}$  szinkronizátor korigálja a korrekcion keresztül és így kapja a rendszer a már korigált  $y''_{n_{SZT}}$  jelet. A szinkronizálás  $p_2^*$  (kompresszor utolsó fokozata utáni nyomás) alapján történik. Amelyik hajtóműnél a  $p_2^*$  kisebb, ott a szabályozó berendezés az ASZ -en keresztül növelni fogja az  $m_t$  -t. Hirtelen  $m_t$  növekedésekor ha  $n_{SZT} > n_{SZT\ max}$ , úgy a szinkronizátort blokkolják. Az  $n_{SZT}$  szinkronizátor csak az  $n_{SZT}$  szabályozó működési tartományában működik, azaz utazó és névleges üzemmódokon, míg a alapgáz és a felszálló üzemmódokon a szinkronizátor a tüzelőanyag adagolásba nem avatkozik be. A 5. ábrában egy lehetséges helikopter hajtómű szabályozási rendszer szerkezeti vázlattal kiegészített hatásvázlatát mutatjuk be.

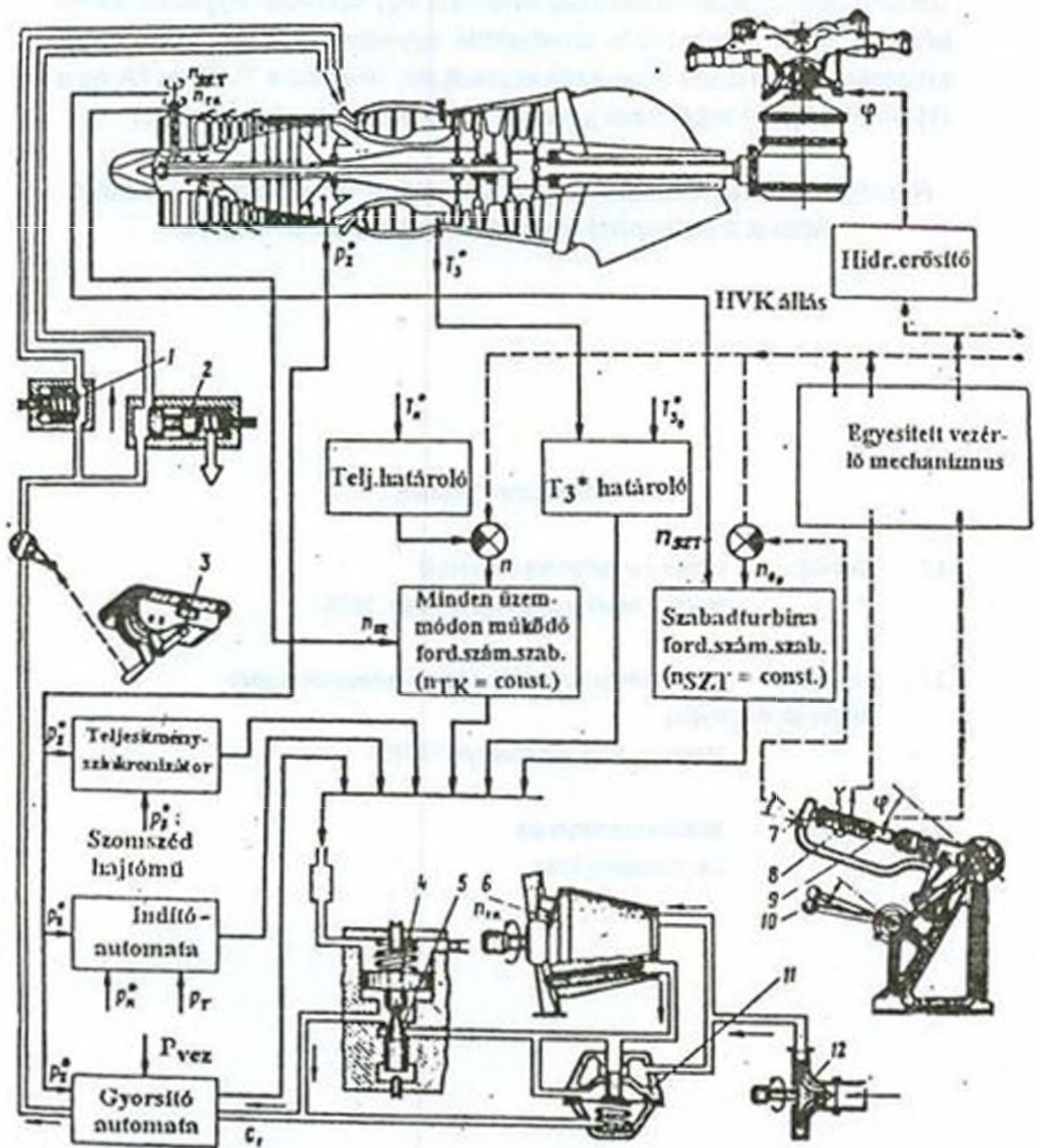
(Számokkal jelzett szervek: 1, 2: nyomástbővítő- és elzárószelep, 3: gyorsleállító csap a karral, 4, 5: szervodugattyú az adagoló tőszeleppel, 6: tüzelőanyag szivattyú, 7, 8, 9: EVK és rendszerrel, 10: OVK (osztott vezérlőkar), 11: állandó nyomáskülönbséget szabályozó, 12: tüzelőanyag beszállító szivattyú.)





4. ábra





5. ábra



A 4. és az 5. ábrán bemutatott rendszer csak egy megoldást mutat be a gyakorlatban üzemelő változatok közül. Természetesen vannak olyan konstrukciók amelyeknél több tag funkcióját egy szervben egyesítik, illetve lehetnek olyan változatok is amelyeknél egy-egy tag illetve szerv alkalmazását nem tartották a tervezők indokoltnak. (Például a TV 2 -117A és a GTD - 350 típusú hajtóműnél gyorsító automatát nem alkalmaznak.)

*Reméljük ezzel a cikkel sikerült a bevezetőben leírt kérdésre eligazítást adnunk a helikoptert üzemeltető szakemberek részére.*

#### A felhasznált irodalom

- 1/ Gaevkij: Osznovi aviaclonnoj avtomatiki  
M VVA. Imeni N.E. Zsukovszkogo. 1976.
- 2/ Horonyin: Konsztrukcija i proektyirovannie aviaclonnüh gezo-  
turbinnüh dvigatelyej  
Moszkva, Masinosztroenyje 1989.
- 3/ Kurucz: Szabályozástechnika  
Tk. Budapest 1981.