

LITERATURA

- 111 Beranger, P.: Nova pravila proizvodnje. ČGP Delo. Ljubljana 1989.
- 112 Brohan, P.: The Internal Application of Just-in-Time to the Manufacturing Process. 2nd Int. Conf. Just in Time Manufacturing. London 1987.
- 113 Kopač, J.-Noe, D.: Strega in montaža. Fakulteta za strojništvo. Ljubljana 1989.
- 114 Marsde, A.W.: Just in Time - a people driven philosophy. Proc. 2nd Int. Conf. IFS. November 1987.
- 115 Schonberger, R.J.: Japanese Manufacturing Techniques. Collier Macmillan Publ. London 1982.
- 116 Shingo, S.: Nova Japanska proizvodna filozofija. Jugoslovanski zavod za produktivnost rada. Beograd 1985.
- 117 Cate, G.P.: JIT Implementation in a Small Electronics Comp., 2nd. Int. Conf. JIT Manufacturing. London 1987.
- 118 Cooper, R.E.: Operating Experience with JIT Kanban Cells. 2nd Int. Conf. Just in Time Manufacturing. London 1987.

119 Dangelmaier, W.: Ideje za praktične sisteme planiranja rasporeda opreme. Planiranje i upravljanje proizvodnjom. 1983/4-5.

1101 Matthee, R.: Razmještaj strojeva orijentiran na optimalni tok materijala. Planiranje i upravljanje proizvodnjom. 1976/1.

1111 Theunissen, T.J.: Throughput Time as a Critical Factor. 2nd Conf. Just in Time Manufacturing. London 1987.

1121 Werkzeuge - Kosten im Nebel. Werkzeugmanagement. Werkzeuge. December 1990.

Naslovi avtorjev: docent dr. Janez Kopač, dipl. inž.
Fakulteta za strojništvo v Ljubljani.
mag. Miloš Požar, dipl. inž. in
Mitja Simčič, dipl. inž. oba
ISKRA Avtoelektrika, Nova Gorica

Prispelo: 15.11.1990

Recenzirano: 3.2.1991

UDK 629.7.035.3

Razvoj in izdelava turbopropellerskega motorja za model letala Iljušin IL-114

BRANE ŠIROK - EDVARD HÖFLER - MIHA PIŠLJAR - MARCEL KOMPARE

0. UVOD

Prispevek govori o največjem in najdražjem letalu, ki je bilo do sedaj izdelano v Jugoslaviji in ne bo nikoli letelo. Toda ne zaradi konstrukcijskih ali tehnoloških napak, pač pa je taka zahteva sovjetskega naročnika.

Ta nenavadni projekt, ki ga v nadaljevanju imenujemo model letala, je namenjen za testiranje kompleksnih aerodinamičnih značilnosti pri geometrijskem razmerju prototip : model = 2 : 1 v velikih vetrovnikih. Uporabljen bo za analizo zmožnosti letala IL-114 pri vzletu in pristanku.

V Sovjetski zvezi ima letalski promet zaradi velikih razdalj in nerazvite prometne infrastrukture velik pomen. Sedanje civilno letalstvo v Sovjetski zvezi sega v šestdeseta leta in je tehnološko preživeto. Zaradi tega pospešeno razvijajo štiri nova letala, med katerimi je najmanjši Iljušin IL-114. To je dvomotorno turbopropellersko letalo za 60 potnikov, ki sodi v isto kategorijo kakor britanski ATP ali francosko--italijanski ATR [1]. Pri razvoju tega letala so bile uporabljene sodobne konstrukcijske in raziskovalne metode, med katere spadajo tudi meritve na modelu v

sklepni fazi razvoja. S tem namenom je sovjetski naročnik AVIOEXPORT naročil pri jugoslovanskem združenju letalske industrije razvoj in izdelavo omenjenega modela. V sklopu zahtev je naročnik zahteval tudi razvoj in izdelavo dveh turbopropellerskih motorjev s skupno močjo 920 kW pri vrtilni hitrosti propelerja 2400 min^{-1} in omejeni skupni masi 1400 kg. Turboinštut je sprejel izziv in razvil motorje, ki so bili izdelani po delih širom po Jugoslaviji.

V prispevku želimo pregledno opisati obseg razvojno-raziskovalnega dela, ki je bilo opravljeno na omenjenem projektu.

1. TEHNIČNE ZNAČILNOSTI MODELA IL-114

Model letala IL-114 je prikazan na sliki 1. Velikost modela si lahko ponazorimo z razpetino krila 15 m in dolžino trupa, ki znaša 13 m. Osnovna nosilna konstrukcija iz duraluminija je prekrita z lesnimi oblogami, ki so bile na končno obliko obdelane na računalniško krmiljenih strojih. Po nanosu kemične zaščite in barvnega sloja je bila preverjena točnost izdelave, obrisov s trikoordinatnim merilnikom DEA.



Sl. 1. Model letala Iljušin IL-114 v montažni dvorani podjetja SOKO, Mostar.

Območje odstopkov je bilo določeno z 0,05 mm tolerančnim pasom. Glede na zahtevano univerzalnost testiranja so morala biti na modelu gibljiva vsa krmila (smerno krmilo, višinsko krmilo in krilca) ter zakrilca in spojlerji. Model je bil izdelan v tovarni letal SOKO, Mostar.

Glede na zahtevane različne obratovalne režime in različne vpadne kote krila in kote bočnega drsenja pri preizkušanju v vetrovniku je bil izdelan servoregulacijski hidravlični sistem za nameščanje in regulacijo lege gibljivih delov modela. Ta sistem vsebuje poleg močnostnega dela in razvodnih cevovodov še hidravlične valje in merilnike lege za krmila, zakrilca in spojlerja makete. Celoten hidravlični sistem je voden s procesno-računalniškim sistemom. Izdelan je bil v PRVI PETOLETKI, Trstenik.

Na površini makete je razporejenih 1570 mernih mest za merjenje zračnega tlaka. Ta mesta so povezana s teflonskimi cevkami s programljivimi diferenčnimi tlačnimi pretvorniki izdelave IHTM, Beograd.

Poleg porazdelitve tlaka se na sami maketi meri tudi 24 momentov na krmilih, zakrilcih in spojlerjih. Tako momenti kakor podatki o porazdelitvi tlaka se merijo v štirih procesnih računalnikih tipa TIMKO, ki jih izdeluje Institut Mihajlo Pupin (IMP Beograd). Značilnosti priključenih procesnih računalnikov so:

- 64 vhodnih kanalov,
- 150 kHz, frekvenca vzorčenja,
- 14-bitni A/D pretvornik.

Njihova funkcija je, poleg omenjenega merjenja podatkov mernih veličin, še krmiljenje parametrov toka zraka v vetrovniku, krmiljenje zakrilc, krmil in spojlerjev makete in spremljanja parametrov obratovanja turbopropellerskih motorjev. Kompleksna obdelava podatkov pa je izvedena na dveh osrednjih računalnikih TIM 600, izdelanih v IMP Beograd.

2. TURBOVENTILATORSKI MOTOR

Za vzpostavitev popolne aerodinamične podobnosti je naročnik zahteval razvoj in izdelavo dveh turbopropellerskih motorjev, ki po svojih značilnostih v popolnosti simulirata obtekanje zračnega toka na prototipu letala. Poleg kinematične podobnosti je bilo zahtevano tudi razmerje med vlečno silo propelerja in silo impulza iztekajočega zračnega toka na izstopni šobi motorja. Pred opisom zahtevanih parametrov in osnovnih geometrijsko-konstrukcijskih značilnosti želimo oceniti izbor tipa pogonskega motorja za dano vrsto letala.

Glede na to, da je letalo IL-114 namenjeno za prevoz potnikov na kratkih in srednjih razdaljah, v svetu za ta tip letal v novjšem času uporabljajo turboventilatorske ali turbopropellerske motorje. Značilnost teh motorjev je njihovo optimalno obratovanje pri hitrostih do 30 % zvočne hitrosti ($M < 0,3$) in velika gospodarnost, kar ustreza zahtevam te vrste letal.

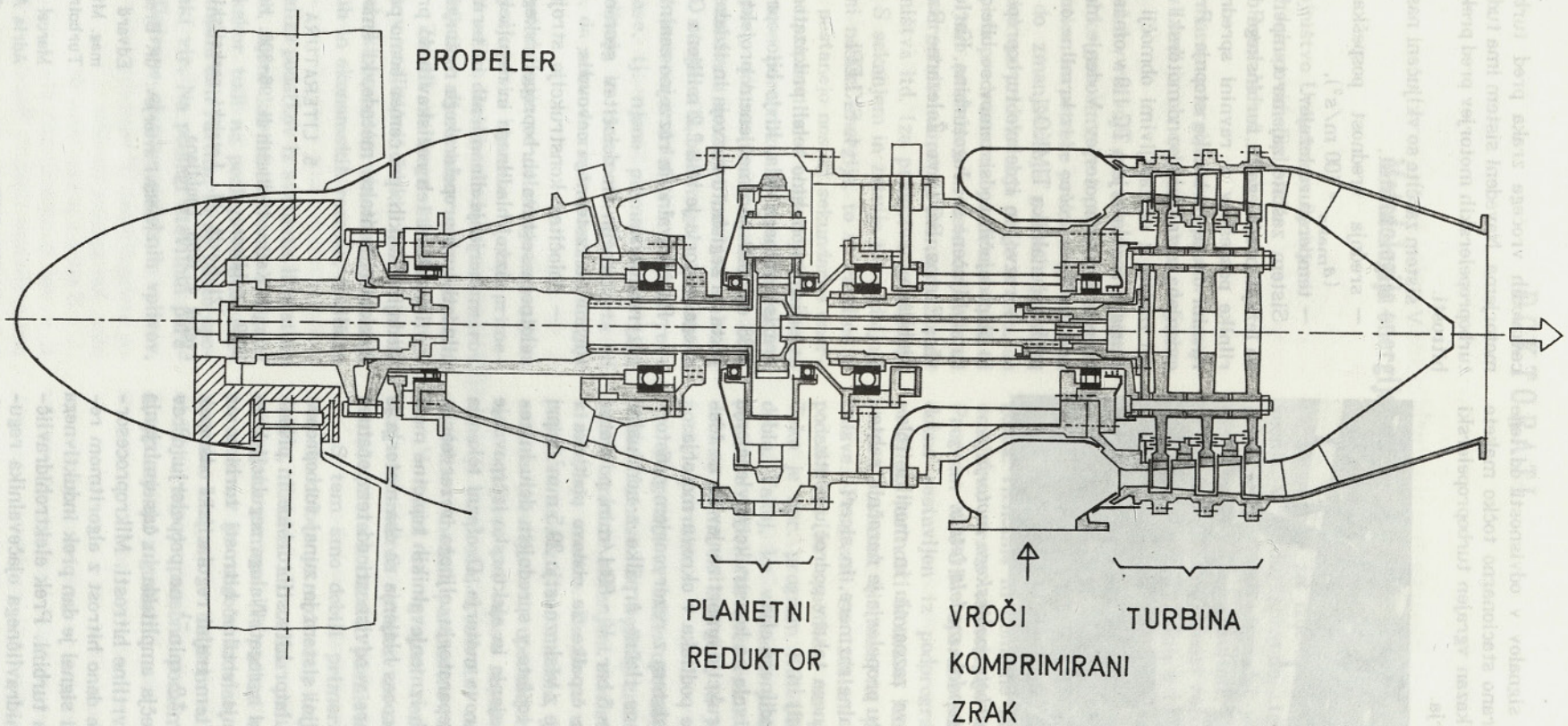
Naša zasnova turbopropellerskega motorja se v veliki meri razlikuje od standardne konstrukcije podobnih letalskih motorjev. Vse razlike izhajajo iz dejstva, da maketa letala ne bo letela oziroma, da bo testirana v vetrovniku, pritrjena na konzole »aero-tehtnice«. Te okoliščine so omogočile bistvene poenostavitve pri razvoju in konstruiranju motorjev. V prispevku omenjamo samo glavno poenostavitev, to je prenos kompresorja in gorilne komore zunaj okrova motorja. Kompresor in gorilna komora sta nadomeščena s sistemom za komprimiranje in segrevanje pogonskega zraka zunaj makete letala.

Slika 2 prikazuje sestavno risbo turbopropellerskega motorja, ki ga lahko v grobem razdelimo na: zadnji del s tristopenjsko aksialno turbino, srednji del s planetnim reduktorjem in sprednji, prenosno vpenjalni del propelerja. Tristopenjska akcijska turbina doseže pri vstopnih pogojih toplega zraka:

- masni pretok $\dot{m} = 3,2 \text{ kg/s}$,
- temperaturo zraka $T = 573 \text{ K}$ in
- tlak na vstopu $p = 4 \text{ bar}$,
- moč na gredi turbine 460 kW pri vrtilni hitrosti turbine 9300 min^{-1} .

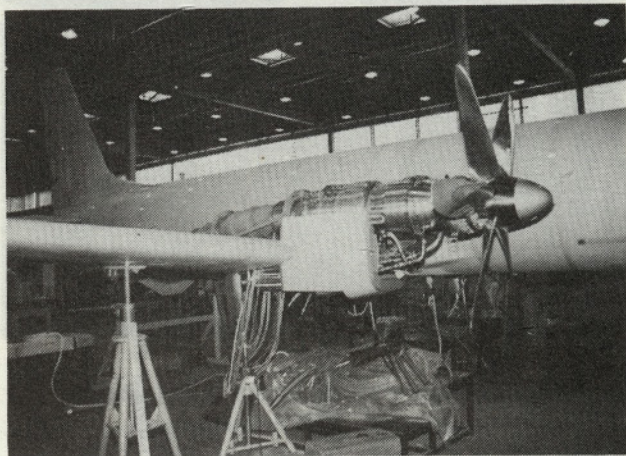
Pri tem izstopa topli zrak pri temperaturi $T = 453 \text{ K}$ skozi izstopni cevovod in povzroča reakcijsko silo $F = 382 \text{ N}$, ki pri razmerju $382 \text{ N} : 8000 \text{ N}$ izpolnjuje zahtevano razmerje iz projekta. Mehanski moment na gredi turbine se prenaša prek planetnega reduktorja s prestavnim razmerjem 3,87 na gred propelerja.

Vpetje šestih krakov propelerja v pesto je nestandardno. Kraki imajo spremeljiv korak, ki ga lahko nastavimo, ko propeler miruje. Način vpetja je prilagojen zahtevam merjenja sil in momentov na krakih. Na vsakem izmed krakov se merijo tri komponentne sile in tri komponente momentov. Na vrtečem se delu pesta propelerja pa se meri porazdelitev tlaka. Na propelerju je skupno 50 merjenih parametrov. Vsi parametri se prenašajo prek sistema za brezkontaktni



Sl. 2. Sestavna risba turbopropelerskega motorja za model letala s slike 1.

prenos VFM merilnih signalov v odvisnosti od lege propelerja glede na izbrano stacionarno točko makete letala. Na sliki 3 je prikazan vgrajen turbopropellerski motor v gondolo motorja.



Sl. 3. Vgradnja turbopropellerskega motorja v motorsko gondolo modela letala.

Glede na občutljiva zaznavala in merilni telemetrični sistem v pestu propelerja je naročnik zahteval specifične obratovalne razmere, in sicer:

- omejitve toplotnega toka v področju pesta,
- omejitve vibracij in
- prepuščanja hladilnega olja.

Te zahteve so vplivale na konstrukcijo vleženja sprednjega dela, konstrukcijo amortizerjev in na tesnjenje in na nastajanje podtlaka v okrovu motorja.

V ločeni hladilni sistem z rezervoarjem prostornine 600 l so vključene tlačne črpalke z nominalno obratovalno točko: $\dot{p} = 6$ bar, $V = 80$ l/min, povratne črpalke in vakuumske črpalke za obnovo podtlaka v okrovi motorjev. Olje z viskoznostjo $29,5 \text{ mm}^2/\text{s}$ pri 20°C se poleg odvoda toplote v sprednjem delu in reduktorju uporabi za hlajenje in ejektorsko izčrpavanje olja iz turbinskega okrova motorja. Dvofazni tok olja in zraka se loči v separatorju oljnega rezervoarja. Olje se ohlaja v vodnih izmenjevalnikih toplotne moči $P = 10$ kW. Celoten proces hlajenja za oba motorja je voden iz krmilne omare v odvisnosti od temperature na ležajih motorja.

Podobno kakor oljni sistem je zunaj turbopropellerskega motorja regulator hitrosti turbine in pripadajoči servohidravlični agregat. Naloga regulacijskega sistema je vzdrževanje vrtilne hitrosti turbine na želeni vrednosti. Pri tem trajni regulacijski odstop ne presega vrednosti $\pm 2 \text{ min}^{-1}$ na propelerju. Prav tako je omejena največja amplituda in čas umirjanja regulacijske krivulje vrtilne hitrosti. Mikroprocesorski regulator vzdržuje dano hitrost z algoritmom regulacije PID. Povratni signal je dan prek induktivnega dajalnika impulzov na turbini. Prek elektrohidravličnega pretvornika in hidravličnega ojačevalnika regulator ločeno krmili pnevmatska ventila na vstopnih

cevovodih vročega zraka pred turboventilatorskima motorjema. Navedeni sistem ima tudi funkcijo zaščite turbopropellerskih motorjev pred prekoračitvijo obodne hitrosti.

V sistem zaščite so vključeni naslednji parametri:

- obodna hitrost,
- srednja vrednost pospeška pri vibracijah ($a_{\text{maks}} = 100 \text{ m/s}^2$),
- temperatura ležajev.

Sistem zaščite zajema temperaturna zaznavala na ležajih prednjega in turbinskega dela ter štiri merilnike pospeškov v ravnini sprednjega ležaja in v ravnini druge turbinske stopnje. Predojačevalniki za omenjena zaznavala so v motorski gondoli. Izvršilni del zaščite z nastavljivimi območji aktiviranja pa so skupaj z regulatorjem TC 110 v omari za vodenje turbopropellerskih motorjev. Vodenje motorjev je mogoče neposredno — ročno — iz krmilne omare ali posredno prek računalnika TIMKO.

V razvoj in izdelavo turbopropellerskih motorjev in pripadajočih podsistemov so bile poleg Turboinstituta vključene še: Jugoturbina, Karlovac; Orao, Rajlovac; Famos, Sarajevo; Železarne Ravne in Saturnus, Ljubljana.

4. SKLEPI

S člankom smo želeli prikazati pregled razvojno-raziskovalnega dela, ki je bilo opravljeno v obdobju 1988 do 1990 na omenjenem projektu. Vrednost projekta na segmentu razvoja in izdelave turbopropellerskega motorja je bila 2,2 milijona CL\$.

Raziskovalno in razvojno zanimiva področja lahko razvrstimo v:

- izračun in določitev geometrijskih značilnic turbine in izstopnega cevovoda;
- določitev konstrukcije strojnih elementov in celotnega sestava turbopropellerskega motorja;
- razvoj hladilnega in regulacijskega sistema;
- merjenje dinamičnih in termodinamičnih značilnosti turbopropellerskega motorja.

Rezultati teh raziskav bodo predstavljeni v naslednjih člankih, pri čemer bomo prikazali teoretične in eksperimentalne metode, ki smo jih pri tem uporabili.

5. LITERATURA

- [1] Kacin, J.: Iljušin IL 96-300. Krila. 53. zvezek 5/6. 1989. Ljubljana.
- [2] Kovič, M.: Letalski reakcijski motorji. Krila. 27. zvezek 4. 1988. Ljubljana.

Naslovi avtorjev: dr. Brane Širok, dipl. inž.

Edvard Höfler, dipl. inž.

mag. Miha Pišljar, dipl. inž.

Turboinstitut, Ljubljana in

Marcel Kompare, dipl. inž.

Adria Airways, Ljubljana

Prispelo: 12.11.1990

Recenzirano: 17.4.1991