EVOLUCE STROJŮ TBM

Text: Aleš Kurka ● **Foto:** DAHER, pokud není uvedeno jinak

2. díl

V MINULÉM DÍLU FLYING REVUE JSME SI PŘEDSTAVILI MODELOVOU ŘADU TBM OD JEJÍHO VZNIKU AŽ PO TYP TBM 910, KTERÝ BYL NA TRH UVEDEN V ROCE 2017. DNES PŘEDSTAVENÍ VÝVOJOVÉ HISTORIE LETOUNŮ TBM DOKONČÍME.

Nejprve se musíme v časové ose vrátit o jeden rok zpět, do roku 2016, kdy byl na trh uveden model TBM 930. Zachovává většinu specifik modelu TBM 900, avšak k významné změně dochází opět v kokpitu, který je poprvé u TBM vybaven systémem **Garmin G3000.**

Instalovaný systém G3000 lze vizuálně snadno rozeznat podle trojice stejně velkých displejů v horní řadě (zleva: PFD1, MFD, PFD2) a dvojice menších ovládacích dotykových displejů ve spodní řadě. Oproti systému G1000 případně G1000Nxi zmizela ze středové konzole ovládací klávesnice typická pro předchozí verze Garmin.

• *G3000 v TBM 930*

Systém G3000 je velice intuitivní a přehledný. Některým pilotům u letounů vybavených tímto systémem klasická ovládací klávesnice chybí, ale to je spíše otázka zvyku.

V rámci instalace systému G3000 byla významně zvýšena bezpečnost letu implementací ochranných prvků důležitých pro kritické fáze letu. V TBM je souhrn těchto prvků nazýván **e-copilot** a zahrnuje následující funkce:

- **ESP / USP – Electronic Stability Protection and Underspeed Protection System**

  Tento systém zajišťuje u TBM 930 a následujících verzí automatický návrat letounu do stabilizovaného letu při dosažení kritických letových parametrů, jakými jsou:

  - přiblížení se k hranici pádové rychlosti ať již v čisté letové konfiguraci, či při vysunutých vztlakových klapkách
  - dosažení maximální konstrukční rychlosti (Vmo).
  - spuštění výstrahy před pádem (Stall Warning)
  - dosažení nadměrného podélného sklonu (22° UP, 17° DOWN)
  - dosažení nadměrného příčného sklonu (60°a více)

  Systém v takových situacích spustí optická a zvuková varování a automaticky zasáhne do řízení letounu (tzn. při hrozícím pádu nebo při dosažení nadměrného stoupání potlačí) při dosažení Vmo nebo při nadměrném klesání přitáhne a při dosažení příčného sklonu 60° zasáhne do řízení křidélek a vrátí letounu v příčném směru pod tento úhel. Při nepřetržité aktivaci ESP/USP po dobu delší než deset vteřin systém uvede letoun automaticky do přímého horizontálního letu (funkce LVL)

- **AOA / Stall Indicator and Stick Shaker**

  Na PFD je zobrazen indikátor aktuálního úhlu náběhu křídla vůči proudícímu okolnímu vzduchu. V případě, kdy se tento úhel přiblíží meznímu / kritickému úhlu náběhu a hrozila by ztráta vztlaku na profilu křídla a prosednutí letounu, systém začne vydávat optické i akustické varování před tímto stavem. Oproti klasickému čidlu pádové rychlosti tento systém kalkuluje ve výpočtu jak s údaji z čidla pádové rychlosti, tak s údaji o výšce a rychlosti letu, teplotě okolního vzduchu a aktuální poloze přistávacích klapek letounu a poskytuje tak včasnější a významně přesnější údaje pro tato varování.

- **Smooth Transition from Barometric VNAV to Glideslope Path**

  Tato funkce umožňuje pilotovi v průběhu letu manuálně zadat teplotu okolního vzduchu v cílové destinaci a tím modifikovat výškový profil trati před doletem na cílové letiště (resp. posunout bod, ve kterém má letoun zahájit klesání při přiblížení na přistání na tomto letišti). Cílem systému je dosažení plynulého klesání z cestovní hladiny a plynulého navázání na sestupovou rovinu ILS apod.

- **Surface Watch™ for Airport Environment Awareness**

  Surface Watch je funkcí systému Garmin, která upozorňuje pilota na nedostatečnou délku dráhy pro vzlet nebo přistání. Na základě dat, která jsou zadána pro aktuální let (aktuální vzletová hmotnost letounu) systém porovná minimální potřebné délky vzletu a přistání s údaji o drahách z databáze daného letiště. Za letu pak systém kalkuluje s údaji o aktuální poloze letounu, rychlosti a směru letu a v reálném čase upozorňuje pilota na nevhodně zvolenou dráhu pro přistání.

- **Automated Ice Protection System with Ice Detector**

  Na pravé straně směrového stabilizátoru jsou letouny TBM 930 a následující verze vybaveny čidlem vznikající námrazy. Podstata detekce spočívá v tom, že čidlo ve tvaru malého aerodynamického profilu s výstupkem válcového tvaru je elektronicky rozkmitáváno do rezonanční (vlastní) frekvence celého čidla. V případě, kdy letoun vlétne do podmínek námrazy, začne se toto čidlo, vystavené proudění okolního vzduchu, obalovat namrzajícím ledem. Jeho hmotnost se změní (vzroste) a frekvence jeho vib-

rací se tím sníží. Snížení frekvence systém vyhodnotí jako podmínky, při kterých došlo ke vzniku námrazy na čidle a automaticky uvede v činnost všechny systémy protinámrazové ochrany letounu. Bez ohledu na automatiku může pilot uvést systémy proti námraze do provozu kdykoliv manuálně.

Popis systémů proti námraze viz kapitola TBM 700.

- **LVL – Level Button**

Tento systém je pilotům znám i z jiných typů letounů a v případě ztráty prostorové orientace pilota (např. při letu v mlze, mraku, či v noci) zajišťuje po stisku tlačítka LVL (level) návrat letounu do stabilizované polohy a stabilizované výšky letu.

- **EDM – Emergency Descent Mode**

Tento systém slouží k ochraně posádky a cestujících proti vzniku hypoxie, která může nastat při nevyžádaném poklesu tlaku v kabině letounu. V případě, že kabinová výška překročí 11 500 FT (tzn., že tlak v kabině poklesne pod minimální stanovenou hodnotu), zareaguje systém autopilota automaticky tím, že potlačí letoun a přejde do režimu nouzového klesání do letové hladiny zajišťující přežití všech osob na palubě (FL150) a v této letové hladině opět letoun sám vyrovná do horizontálního letu. Automaticky je též spuštěn odpovídač sekundárního radaru v režimu nouze (kód 7700). Pokud se toto stane ve vysokých letových hladinách, tak v případě TBM, která oproti tryskovým letounům umožňuje radikální odbrždění letounu pomocí vrtule, se může jednat o opravdu dramatické klesání, kdy posádka visí v bezpečnostních pásech a letoun míří po tuto dobu strmě k zemi. Rychlost vertikálního klesání v režimu EDM je až 6 000 ft/min a sklesání do FL150 – hladiny přežití – je tak oproti tryskovým letounům, které budou při klesání zápasit s nutností nepřekročit svou maximální konstrukční rychlost, otázkou necelých tří minut.

- **PV, LNAV/VNAV (including Baro VNAV) Approach Support and Advisory Vertical Guidance for LP, LNAV and Visual Approaches**

- *TBM 940*

Systém G3000 instalovaný v TBM 930 a vyšších verzích TBM podporuje možnost přiblížení na přistání za využití GPS a publikovaných přibližovacích schémat letišť. Jedná se stále o režim nepřesného / přístrojového přiblížení (tedy nesupluje ILS), ale při možnostech dnešních procesorů a dostupných přesnostech GPS přivede tento systém letoun precizně do stanovené polohy, ve které přebírá odpovědnost pilot, který na základě vyhodnocení aktuálních vizuálních podmínek rozhodne o provedení konečného přiblížení na přistání a vlastního přistání. Dle typu přiblížení je systém certifikován jako 2D nebo 3D přiblížení a může dosáhnout obdobných „minim“ jako při klasickém přesném přiblížení (ILS).

2019 TBM 940

Po dalších třech letech vývoje navazujícího na model TBM 930 byla představena a do výroby uvedena verze TBM 940. I tato varianta je osazena systémem G3000, ale oproti předchozí verzi poprvé disponuje systémem Autothrottle a od roku 2020 i systémem HomeSafe pro automatické nouzové přistání letounu při indispozici pilota či jiných nepředvídatelných okolnostech letu.

- *G3000 s HomeSafe v TBM 930*

Autothrottle

Plynová páka je v tomto případě ovládána nejen pilotem, ale i servem řízeném automatickými systémy, jako jsou autopilot, ESP/USP a HomeSafe. Toto servo pak přes pohyb plynové páky fakticky řídí výkon motoru v závislosti na požadovaných parametrech letu.

Podle zvolených módů autopilota je možno tímto způsobem automaticky dodržovat stanovené rychlosti, vertikální profily letu apod.

V případě aktivace ochran ESP / USP (tj. automaticky při dosažení kritických letových parametrů letounu) dochází v případě potřeby k automatickému pohybu páky dopředu či dozadu, a tím ke zvýšení nebo snížení výkonu motoru.

V případně aktivace systému HomeSafe pak funkce Autothrottle přebírá kompletní řízení výkonu motoru po celou dobu aktivace systému.

HomeSafe™ Emergency Autoland System (2020)

• *Tlačítka HomeSafe*

Někteří z nás si možná z minulosti pamatují krátké tiskové zprávy, které před lety ukázaly jako naprostou novinku schopnost vojenských bezpilotních dronů přistávat autonomně, ať již na pozemních letištích, či na letadlových lodích. Doba pokročila a sofistikované řídicí systémy se dostaly i do oblasti civilního letectví.

Konstruktérům se podařilo vyvinout a sestrojit systém, který je schopen po stisku jediného tlačítka uvést letoun do autonomního návratového režimu a zajistit jeho bezpečné přistání na automaticky vybraném vhodném letišti. Tlačítko je umístěno v pilotní kabině viditelně pod horní hranou palubní desky a je snadno dosažitelné pro kteroukoliv osobu na palubě.

K aktivaci systému může dojít i automaticky, a to v případě, že pilot po dlouhou dobu nikterak nezasáhne do řízení

• *TBM 960*

letounu. Zdravotní či jiná indispozice pilota neznamená vždy jen zhroucenou osobu na pilotním sedadle, někdy nemusí být z kabiny cestujících ani patrná. Po aktivaci HomeSafe je mimo jiné automaticky aktivován nouzový maják polohy (ELT), který uvádí do pohotovosti službu řízení letového provozu (ŘLP) a další pátrací a záchranné složky. Cestujícím se promítne na MFD krátké instruktážní video seznamující je s celou nadcházející procedurou automatického přistání.

Předpokladem bezvadného fungování systému HomeSafe je nejen bezvadný technický stav letounu, ale též aktuální a přesné navigační, letištní a meteorologické informace a informace o okolním provozu. Při aktivaci systém pracuje nejen s těmito daty, ale též s mnoha dalšími, jako např. s informacemi o zeměpisné poloze letounu, o výšce, rychlosti a směru letu, s informací o množství zbývajícího paliva atd. Výsledkem je provedení automatického výběru vhodného letiště pro přistání, tzn. takového letiště, které je v dobrém letovém dosahu, na kterém panují vhodné meteorologické podmínky, na kterém je hustota provozu v danou chvíli přiměřená a které disponuje odpovídajícími radionavigačními prostředky, které jsou nutné pro bezpečné provedení přistání na takovém letišti.

Po přistání letounu systém automaticky vypne motor a zabrzdí letoun na ranveji, na které přistál. Cestujícím zbývá pouze otevřít dveře letounu a vystoupit.

2022 TBM 960

Mohli bychom mylně konstatovat, že již není moc prostoru, kam dále malé civilní letectví posouvat. Opak je však pravdou. V první polovině

• *Palubní deska TBM 960*

roku 2022 ohlásil výrobce TBM, společnost Daher, certifikaci zcela nového TBM 960. Jedná se o nejnovější a nejsofistikovanější TBM, jaké bylo dosud navrženo a vyrobeno. O tom, že se jedná o opravdu zdařilou konstrukci, mluví čísla. Za tři roky se po celém světě prodalo více než 180 ks TBM 960, čímž se řadí po boku TBM 850 mezi nejprodávanější modely TBM vůbec. Výrobní linka TBM 960 jede na dvě směny a i přes navýšení produkce o 20 % ročně je pořadník na letadlo už několik let vyprodán na rok dopředu. Již čtyři exempláře z uvedeného počtu jsou prodány do České republiky, což nás řadí mezi nejrychleji se rozvíjející trh pro tento letoun.

Čím se tedy TBM 960 liší od svých předchůdců?

Nový motor PWC PT6E-66XT

Kromě toho, že motor PT6E-66XT poskytuje letounu o hmotnosti necelé 3,5 tuny výkon 899 shp, liší se od všech předešlých motorů osazených v předešlých verzích TBM systémem EPEC (Engine and Propeller Electronic Control) neboli systémem elektronického řízení motoru a vrtule. Je to ekvivalent dobře známého FADECu u turbofanových či turbohřídelových motorů. Instalovaná řídicí jednotka motoru (FCU = Fuel Control Unit) postrádá u tohoto motoru tolik typická táhla mechanického řízení dodávky paliva a zpětných mechanických vazeb vracejících do FCU informace o nastaveném úhlu náběhu vrtule a režimu jejího provozu (prapor, pozitivní tah, nulový tah, beta režim, reverz). Namísto toho se nyní jedná o plně elektronicky řízený modul, který spolupracuje s klíčovými elektronickými senzory. Doposud instalovaný mechanicky ovládaný regulátor otáček vrtule (propeller governor), který pomocí nastavování úhlu náběhu vrtulových listů řídí její otáčky (Np) a režim provozu, byl taktéž vyměněn za plně elektronicky řízený, komunikující s touto FCU elektronicky.

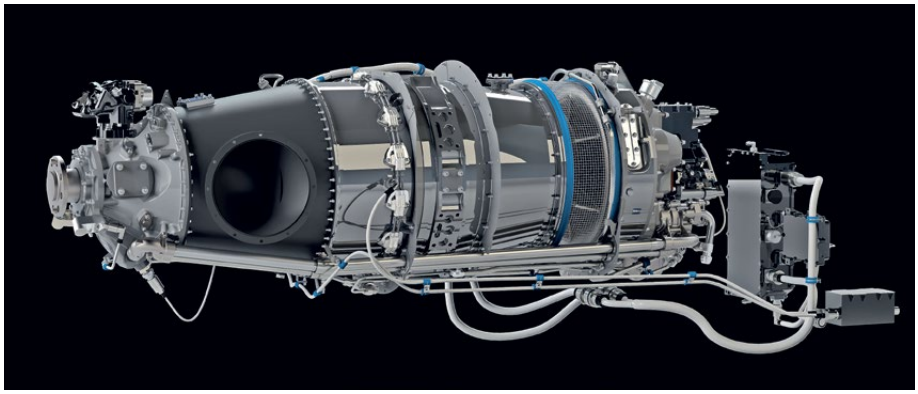
Elektronické řízení FCU přineslo do provozu motoru několik zcela klíčových prvků:

- automatickou startovací sekvenci motoru, která proběhne po stisku jediného tlačítka
- automatickou sekvenci vypnutí motoru
- ovládání motoru jedinou plynovou pákou v jednoduché dráze

A hlavně :

- automatickou ochranu motoru proti překročení maximálních povolených provozních teplot palivové směsi v motoru (ITT = Inter Turbine Temperature), a to jak při startu či vypínání motoru, tak za letu při vysokých zátěžích motoru
- automatickou ochranu proti překročení krouticího momentu (TRQ = Torque) na hřídeli mezi vrtulí a reduktorem otáček vrtule při vysokých zátěžích vrtule, tj. při vysokém výkonu a vysokých úhlech náběhu vrtulových listů
- ovládání motoru a vrtule se zjednodušilo na pohyb jedinou plynovou pákou, jejíž poloha je snímána elektronicky (chybějí klasická mechanická táhla a nelze je tak například poškodit při pokusu posunout plynovou páku do režimu beta či režimu reverz bez běžícího motoru)

• *E-Throttle v TBM 960*



• *E-Throttle v TBM 960*

Pilot má tím pádem velmi zjednodušenou práci. Veškerá jeho pozornost se může koncentrovat na bezvadné provedení letu a odpovědnost za technicky správnou obsluhu motoru a vrtule přebírá v tomto případě automatika. Hot Start (start s překročením ITT) způsobený nesprávnou obsluhou nebo překročení ITT či TRQ za letu lze tedy považovat u tohoto motoru, resp. u TBM 960 za minulost.

Z pohledu údržby došlo absencí mechanického soupáčí na FCU k významnému zjednodušení nastavení a seřízení motorových a vrtulových parametrů a došlo i ke zjednodušení údržby motoru jako takového.

Motor PT6E-66XT je schopen v jiných instalacích než v TBM dosáhnout výkonu až 1 250 shp. Na TBM je jeho výkon uměle snížen na 899 shp tak, aby byl v rovnováze s aerodynamickými silami, kterými musí letoun kompenzovat síly vyvozované motorem do draku letounu. Snížení výkonu motoru znamená z technického pohledu dlouhodobé snížení termodynamické a mechanické zátěže klíčových komponentů motoru. V součtu se zavedenými ochrannými funkcemi proti překročení ITT a TRQ se toto odrazilo v dramatickém nárůstu délek limitů stanovených výrobcem pro těžkou údržbu motoru. Kontrola spalovací komory a trubíny kompresoru **(HSI = Hot Section Inspection) je předepsána po 2 500 h provozu** (oproti 1 800 h u předešlých verzí) a **generální oprava motoru** (tzn. klíčový okamžik v životě každého leteckého motoru) až **při dosažení 5 000 h**! (oproti 3 600 h u předešlých verzí). Lze tedy konstatovat, že letoun má při používání před sebou 15 a více let provozu bez významných investic do motoru jako takového, v závislosti na průměrném ročním náletu letounu.

Pětilistá kompozitová vrtule Hartzell Raptor

Instalace pětilisté plně stavitelné vrtule Hartzell HC-E5N-3C Raptor zajišťuje optimální přenos výkonu motoru a jeho přeměnu na tah vrtule / dopřednou sílu pohánějící letoun a to natolik, že mohly

• *E-Throttle v TBM 960*

být sníženy její normální provozní otáčky z 2 000 RPM (revolutions per minute) na 1 925 RPM. Snížené otáčky a optimalizovaný aerodynamický tvar jejich listů navíc přinesly signifikantní snížení úrovně hlukové zátěže.

Zvýšení MTOW a užitečného zatížení

Zvýšení výkonu motoru z 850 na 899 shp umožnilo lehce zvýšit celkovou hmotnost letounu a jeho užitečné zatížení. Celková vzletová hmotnost letounu (MTOW = Maximum Take-Off Weight) vzrostla u modelu TBM 960 na 3 454 kg (oproti TBM 940 s 3 354 kg). Užitečné zatížení letounu pak vzrostlo na 1 284 kg. Při plně natankovaném letounu (při 1 106 Ltr Usable Fuel) letoun stále legálně uveze 415 kg nákladu. Při maximálním využití nákladní kapacity letounu uveze letoun **legálně!** až 656 kg nákladu při doletu sníženém pouze o cca 20 % oproti doletu při plně natankovaném letounu. Prakticky jakákoliv evropská destinace tak i při maximálním přepravovaném nákladu stále zůstává v doletu letounu bez mezipřistání, a to v cestovních rychlostech dosahujících kategorie JET letounů.

• *E-Throttle v TBM 960*

Nový přetlakový a klimatizační systém

V TBM 960 byl poprve použit komplexní systém přetlakování a klimatizace společnosti Enviro. Je plně digitální a navazuje na digitální řízení motoru. Distribuce teplého i chladného vzduchu je několikazónová a poskytuje maximální komfort jak posádce, tak pasažérům. Poprvé v historii TBM nejsou řídicí a pojistný ventil přetlakování kabiny ovládány podtlakově (zdrojem vakua), nýbrž plně elektronicky. Ventily již také nejsou rozděleny na řídicí a pojistný, nýbrž oba vykonávají shodně funkci obou ventilů, jak řídicího, tak pojistného.

To, co ho ale činí opravdu výjimečným, je, jakým způsobem řídí průběh přetlakování kabiny. V závislosti na nadmořské výšce letiště vzletu a nadmořské výšce letiště přistání (tento údaj zadá nepřímo pilot před provedením letu provedením zadání letiště přistání v G3000) a v závislosti na zadaném letovém profilu trati systém sám navrhne a pak sleduje optimální rozložení změny tlaku v kabině v průběhu letu, aby to pro pasažéry bylo co nejpříjemnější. Pro jednoduchou ilustraci, při letu z letiště A v nadmořské výšce 0 m nad mořem s naplánovaným strmým stoupáním do FL310 (cca 9 450 m.n.m.) a strmým klesáním na letiště B v nadmořské výšce 1 500 m.n.m. systém vypočte a sleduje takovou křivku změny tlaku v kabině, která odpovídá co nejpomalejšímu možnému stoupání letounu (tedy co nejpomalejšímu snížení tlaku v kabině z nadmořské výšky 0 m.n.m do hodnoty kabinového tlaku udržovaného v průběhu letu) a následně co nejpomalejšímu klesání letounu (tedy co nejpomalejšímu zvýšení tlaku v kabině z tlaku udržovaného v průbehu letu do tlaku v nadmořské výšce 1 500 m.n.m., tedy v místě přistání). Je to trochu výpočetní věda, ale výsledek je skvělý.

Elektronicky ztmavovatelná okna kabiny cestujících

Okenní záclonky kabiny cestujících, často ušmudlané a pomačkané tak, že s nimi nelze plně manipulovat, už v TBM 960 není třeba hledat. Jako volitelnou výbavu lze totiž do TBM 960 instalovat elektronicky ztmavovatelná okna kabiny cestujících. Ovládání je individuální pro každé kabinové okno zvlášť, takže každý z cestujících si může osvit svého místa samostatně regulovat.

• *Elektronické ztmavování oken v TBM 960*

Výrazné prodloužení údržbových intervalů

Ve verzi TBM 960 došlo k výraznému prodloužení hodinových intervalů pro provádění periodické údržby. Všechny předchozí verze vyžadují údržbu každých 200 h/rok, verze TBM 960 pak každých 300 h/rok. Při množství letových hodin pronásobených cestovní rychlostí letounu je na místě konstatování, že v podmínkách provozu ve střední Evropě a v Evropě vůbec jen málokterý provozovatel bude schopen oněch 300 h za rok letově naplnit, neřku-li překročit.

Všechny další údržbové lhůty letounu pak jsou ucelenými násobky této základní doby (300 h/rok, 600 h/2 roky, 900 h/3 roky, 1 200 h/4 roky) a oproti jiným letounům tak koncentrují veškerou údržbu do jednoho údržbového bloku. Odpadá tím nekonečná anabáze opakovaných návštěv letounu v servisu pro provedení drobných úkonů údržby v průběhu jednoho kalendářního roku.

• *Pilotní kabina TBM 960*

Záruka a doplňkové služby

Celková záruka na TBM 960 je výrobcem letounu poskytována v délce **5 let / 1 000 letových hodin** dle toho, co uplyne dříve. Ve stejné délce je pak při dodání nového letounu výrobcem kryta veškerá pravidelná údržba letounu, kromě výměn spotřebních materiálů (gumy, brzdové destičky, brzdové disky, atd.) a případných provozních seřízení.

Záruka na motor je poskytována v délce 7 let, záruka na vrtuli pak v délce 6 let / 2 400 hodin.

V ceně nového letounu je obsažen typový výcvik dvou členů posádky na dodaném letounu a některé další služby, jako je ETM (Engine Trend Monitoring) či vedení údržby v sofistikovaném systému CAMP.

Co říci závěrem?

TBM je značka jedinečných letounů, které jsou dílensky zpracovány na úrovni dílů pro letouny Dassault či Airbus, jejichž je společnost Daher taktéž výrobcem. Jsou robustní, spolehlivé, výkonné a s přímými provozními náklady přepočtenými na přepravenou osobu jsou na úrovni čtyřmístných letounům s pístovým motorem.

Výkony a užitné vlastnosti TBM jsou na absolutní světové špičce jednomotorových turbovrtulových letadel. Jsou podtrženy prvotřídní avionikou a sofistikovanými ovládacími a bezpečnostními prvky, které z tohoto letounu dělají vynikající volbu pro osobní a korporátní cestování nejen po Evropě.

• *Pilotní kabina TBM 960*