

Allvarligt tillbud med ett flygplan av typ Embraer-550 Praetor 600

Statens haverikommission har utrett ett allvarligt tillbud på Stockholm/Bromma flygplats, Stockholms län, den 11 september 2024

2025-12-11



Om Statens haverikommission

Statens haverikommission (SHK) utreder olyckor och allvarliga tillbud från säkerhetssynpunkt oavsett om de inträffat på land, till sjöss eller i luften. Myndighetens olycksutredningar ska sprida kunskap och ge underlag för åtgärder hos myndigheter, företag, organisationer och enskilda som förbättrar säkerheten och minskar risken för olyckor. Verksamheten ska också bidra till att människor kan känna trygghet och tillit till samhällets institutioner och till förtroendet för transportsystemen. I uppdraget ingår också att bedöma de insatser som samhällets räddningstjänst har gjort i samband med en olycka. Däremot ska utredningarna inte fördela skuld eller ansvar, vare sig straffrättsligt, civilrättsligt eller förvaltningsrättsligt.

SHK:s utredningar syftar till att ge svar på tre frågor

- Vad hände?
- Varför hände det?
- Hur undviks att en likande händelse inträffar i framtiden?

Utredningar av luftfartshändelser regleras i huvudsak av förordningen (EU) nr 996/2010 om utredning och förebyggande av olyckor och tillbud inom civil luftfart och lagen (1990:712) om undersökning av olyckor. Utredningarna genomförs i enlighet med Chicagokonventionens Annex 13.

Rapporten finns även på SHK:s webbplats: www.shk.se

Rapporten omfattas av licensen Creative commons erkännande 2.5 Sverige (CCBY 2.5 SE). Det betyder att du får kopiera, sprida och bearbeta texten under förutsättning att du anger att SHK är upphovsrättsinnehavare. Om du använder materialet i denna rapport ska du som källa ange Statens haverikommission och rapportnummer.

Illustrationerna i SHK:s rapporter skyddas av upphovsrätt. Om inte annat anges i rapporten är SHK upphovsrättsinnehavare. Om någon annan än SHK är upphovsrättsinnehavare behöver du dennes tillstånd för att få använda materialet.

ISSN 1400–5719

Diarienummer: L-100/24

Innehållsförteckning

Om Statens haverikommission	2
Sammanfattning	6
Orsakerna till det allvarliga tillbudet	6
Säkerhetsrekommendationer	6
Slutrapport SHK 2025:19	7
Utredningen	8
Utredningsmaterialet	8
1. Faktaredovisning	9
1.1 Redogörelse för händelseförloppet	9
1.1.1 Operativa förutsättningar	9
1.1.2 Tekniska förutsättningar	10
1.1.3 Händelseförlopp	11
1.1.4 Tidigare liknande händelse: Paris Le Bourget den 2 augusti 2024	11
1.2 Personskador	12
1.3 Skador på luftfartyget	12
1.4 Andra skador	12
1.5 Besättningen/personalinformation	12
1.5.1 Piloternas kvalifikationer och tjänstgöring	12
1.5.2 Kabinbesättning	13
1.6 Luftfartyget	13
1.6.1 Flygplanet	13
1.6.2 Styrsystemet	14
1.6.3 AOM Nödproceduren vid varningsmeddelandet "FLTCTRL N-MODE FAIL"	21
1.6.4 Utbildningskrav för EMB-550-piloter på styrsystemet	22
1.7 Meteorologisk information	22
1.8 Navigationshjälpmedel	22
1.9 Radiokommunikationer	22
1.10 Flygfältsdata	22
1.10.1 Luftrummet över flygplatsen	22
1.11 Färd- och ljudregistratorer	23
1.11.1 Färdregistratorer (FDR, QAR)	23
1.11.2 Ljudregistrator (CVR)	24
1.12 Plats för händelsen	24

1.13	Medicinsk information.....	25
1.14	Brand.....	25
1.15	Överlevnadsaspekter	25
1.15.1	Räddningsinsatsen	25
1.16	Särskilda prov och undersökningar	26
1.16.1	Registrerade data (FDR och QAR).....	26
1.16.2	Trimläget vid händelsen och vid tidigare flygningar med 9H-MFX samma dag, den 11 september 2024.....	28
1.16.3	Utläsning av FCC-data och riggprov.....	29
1.16.4	Rekonstruktion av händelsen i en träningssimulator	30
1.16.5	Piloternas uppfattade arbetsbelastning.....	30
1.16.6	Intervju med Flexjets provflygare.....	31
1.17	Berörda aktörers organisation och ledning	31
1.17.1	Operatör – Flexjet Europe.....	31
1.17.2	Flygplanstillverkare/konstruktionsansvarig – Embraer.....	32
1.17.3	Luftvärdighetsmyndigheten (Civil Aviation Directorate) – Transport Malta (TM).....	32
1.18	Övrigt.....	32
1.18.1	Liknande händelser	32
1.18.2	Rapportering, analys och uppföljning av händelser inom civil luftfart	33
1.18.3	Notifiering till utredningsmyndigheter vid olyckor eller allvarliga händelser	33
1.18.4	Vidtagna åtgärder	34
1.19	Särskilda utredningsmetoder.....	35
2.	Analys	35
2.1	Flygplanets beteende i samband med det uppkomna felet	35
2.1.1	Begränsad spakauktoritet efter felet	35
2.1.2	Trimstabilisatorns beteende	36
2.1.3	Styrsystemets beteende.....	36
2.2	Besättningarnas arbetsbelastning.....	36
2.3	Trimreglagets position i cockpit.....	37
2.4	Åtgärder efter Le Bourget händelsen	37
2.5	Flygtrafikledningens hantering av nödsituationen	38
2.6	Operatörens riskhantering av felet	38
2.7	Rapportering till utredningsmyndigheter vid olyckor eller allvarliga händelser 39	
2.8	Händelser som klassificeras som signifikanta tillbud	39
2.9	Sammantagen bedömning.....	40
3.	Utlåtande	41
3.1	Utredningsresultat.....	41

3.2	Orsakerna till det allvarliga tillbudet	41
4.	Säkerhetsrekommendationer	42

Sammanfattning

Strax efter start från bana 12 på Stockholm/Bromma flygplats fick piloterna en varning om ett styrsystemfel och flygplanet ökade tippvinkeln hastigt utöver det som besättningen förväntade sig. Piloten försökte motverka tipp rörelsen med styrspaken men noterade att spaken hade begränsad auktoritet. Piloten använde då den manuella tipptrimmen för att minska vinkeln på den horisontella stabilisatorn och hejda den fortsatta stigningen. Besättningen sände ett nödanrop på radio och flygledaren assisterade dem för en inflygning och landning på samma flygplats efter att styrsystemets fulla funktion hade återställts.

Flygplanets oväntade tipp rörelse uppåt orsakades av ett fel i båda styrdatorerna efter rotationen. Styrsystemet nedgraderade till en enklare styrmod, kallad Direct Mode vilket medförde att stabilisatorn slutade trimma automatiskt och att trimvinkeln inte var den rätta för den rådande flygfarten.

Flexjet har varit med om två liknande händelser inom en kort tidsperiod. Efter en tidigare händelse på Paris Le Bourget, vidtog Flexjet konkreta åtgärder för att minska konsekvenserna av en eventuell liknande händelse.

Vid rekonstruktioner hos tillverkarna har felet kunnat återskapas och systembeteendet har identifierats. Det har gett förutsättningar att modifiera styrsystemet för att minska risken för sådana fel.

SHK bedömer att de åtgärder som tillverkaren vidtagit är tillräckliga för att kunna hantera liknande händelser i framtiden.

Under utredningen har det framkommit att liknande händelser har inträffat utan att de rapporterats vidare till flygutredningsmyndigheterna (SIA¹) i det land där händelserna har inträffat. SHK anser att det rör sig om ett systematiskt problem men bedömer att EASA:s vidtagna och planerade åtgärder kommer att förbättra processen så att händelserapporter ska kunna nå rätt SIA i tid för att kunna starta en effektiv utredning.

Orsakerna till det allvarliga tillbudet

Flygplanets snabba och oväntade noshöjning direkt efter lyft orsakades av ett fel som ledde till att båda flygkontrollatorerna (Flight Control Computers) återställdes. Detta resulterade i att systemet nedgraderades till ett enklare kontrolläge, vilket även innebar att stabilisatorvinkeln inte automatiskt justerades för den ökande lufthastigheten.

Den extremt obalanserade trim-situationen krävde att piloten använde nästintill fulla styrspaksutslag för att återfå den önskade tippattityden, vilket tvingade fram en manuell trimjustering av flygplanet.

Säkerhetsrekommendationer

Inga.

Med hänsyn till EASAs, Flexjets och Embraers vidtagna åtgärder avstår SHK från att utfärda ytterligare säkerhetsrekommendationer.

¹ SIA (Safety Investigation Authority) – statlig myndighet med ansvar för säkerhetsutredningar.

Slutrapport SHK 2025:19

Uppgifter	
Luftfartyget:	Registrering: 9H-MFX Modell: Embraer-550 Praetor 600 Luftvärdighet: Luftvärdighetsbevis och gällande granskningsbevis (ARC) ² Serienummer: 55020189 Operatör: Flexjet Operations Malta Ltd (MT.0068)
Tidpunkt för händelsen:	2024-09-11, klockan 17.03 i dagsljus Anmärkning: all tidsangivelse avser svensk sommartid (UTC ³ + 2 timmar) om ingen annan tid presenteras.
Plats:	Stockholm/Bromma flygplats, Stockholms län, (position 5921N 01757 E, 600 fot över havet)
Typ av flygning:	Kommersiell lufttransport
Väder:	Enligt SMHIs analys: vind sydostlig 10 knop, med byar upp till 16 knop, sikt mellan 5 och 10 km, molnbas mellan 300 och 800 fot, temperatur/daggpunkt +15/+14°C, QNH ⁴ 996 hPa
Antal ombord:	Totalt: 5 personer ombord. Besättning inklusive serviceperson: 3 Passagerare: 2
Skador:	Personskador: Inga Skador på luftfartyget: Inga Andra skador: Inga
Befälhavaren:	Ålder: 45 år Certifikat: ATPL(A) ⁵ Total flygtid: 4 659 timmar
Biträdande piloten:	Ålder: 50 år Certifikat: ATPL(A) Total flygtid: 6 700 timmar

² ARC (Airworthiness Review Certificate) – granskningsbevis avseende luftvärdighet.

³ UTC (Coordinated Universal Time) – referens för angivelse av tid världen över.

⁴ QNH (atmospheric pressure adjusted to mean sea level) – anger det atmosfäriska trycket vid havsytans medelnivå.

⁵ ATPL(A) (Airline Transport Pilot License) (Aeroplanes) – trafikflygarcertifikat med befälhavarbehörighet för stora luftfartyg (flygplan).

Utredningen

SHK underrättades den 12 september 2024 av LFV om att ett tillbud med ett luftfartyg med registreringsbeteckningen 9H-MFX inträffat efter start från Stockholm/Bromma flygplats, Stockholms län, den 11 september klockan 17.03.

Tillbudet har utretts av SHK som företrätts av John Ahlberk, ordförande till den 3 mars 2025 och därefter Jonas Bäckstrand, Gideon Singer, utredningsledare samt operativ utredare och Kristoffer Danèl, teknisk utredare.

SHK har biträtts av Ulf Persson som styrsystemexpert.

Som ackrediterad representant för Malta har Robert Camilleri deltagit.

Som ackrediterad representant för Brasil har Diego Bandeira da Costa och från den 19 maj 2025 Leandro Hilário deltagit. De har biträtts av Daniel Satoshi Marimoto och Fabio Couto Bonnett som rådgivare från Embraer.

Som ackrediterad representant för Storbritanniens har Steve Connor deltagit.

Som ackrediterad representant för USA har Aaron Sauer deltagit.

Utredningen har följts av Linus Dyner som rådgivare för Transportstyrelsen och av Reijo Stenman som rådgivare för den Europeiska unionens byrå för luftfartssäkerhet (EASA).

Dessutom har följande organisationer notifierats: Internationella civila luftfartsorganisationen (ICAO), EASA och EU-kommissionen.

Utredningsmaterialet

- Intervjuer har genomförts med piloterna, piloterna från ett liknande tillbud på Paris-Le Bourget flygplats den 2 augusti 2024, operatörens provflygare samt med Flexjets nyckelpersoner (NP).
- En utvärdering av händelserna samt bedömning av piloternas arbetsbelastning och luftfartygets flygegenskaper har genomförts av SHK i en godkänd träningssimulator.
- Flygplanets typdokumentation och flygplansindividens tekniska dokumentation, har granskats.
- Registrerade data från tillbudet och ett liknande tillbud på Le Bourget den 2 augusti 2024 har analyserats.
- Minnesenheter från flygplanets styrsystemdatorer (FCC) har analyserats.
- Felsökningsresultat från styrsystemprov från tillverkarna har analyserats.
- Händelserapporter från bland annat räddningsinstanserna och flygtrafikledningen har hämtats in och analyserats.

Ett haverisammanträde hölls den 10 juni 2025. Vid mötet presenterade SHK det faktaunderlag som förelåg vid den tidpunkten.

1. Faktaredovisning

1.1 Redogörelse för händelseförloppet

1.1.1 Operativa förutsättningar

Vid händelsen skulle två av Flexjets kunder flygas från Stockholm/Bromma flygplats till Oostende-Brygges internationella flygplats i Belgien. Flygplanet använde anropssignal FJO67M.

Befälhavaren satt i vänster pilotstol och var flygande pilot, dvs. den som manövrerade flygplanet (PF⁶). Styrmannen satt i höger pilotstol och var monitorerande pilot (PM⁷).

Vädret i området vid flygplatsen var molnigt med regn och måttlig horisontell sikt.

Flygplatsens flygtrafikledning var i tjänst och koordinerade flygtrafiken med ATCC⁸ Stockholm. Besättningen fick en klarering från Brommatornet att stiga till 3 000 fot och kontakta *Stockholm Control* efter start. Under samma period var en landning och en start på gång på flygplatsen.

För att få en tydligare bild av hur piloterna hanterade händelsen presenteras nedan den huvudsakliga vyn från deras position i cockpit. Illustrationen visar också placeringen av styrspakarna och de skärmar som visar flyginstrument och systeminformation, se figur 1.



Figur 1. Utformning av Cockpit. Skärmar visar flyginstrument och systeminformation. Bild: Embraer.

⁶ PF (Pilot Flying) – pilot som manövrerar luftfartyget.

⁷ PM (Pilot Monitoring) – assisterande pilot.

⁸ ATCC (Air Traffic Control Center) – ansvarar för luftrummet över Stockholmsområdet.

Nedan beskrivs de tre cockpitfunktionerna som var viktiga för händelsen, se figur 2.

Varje pilot kan styra flygplanet med hjälp av en sidospak och pedaler. Sidospaken kan ge styrkommando i tipp och roll. Flygplanet kan trimmas i tippel med trimreglaget genom att ändra den horisontella stabilisatorns vinkel. Detta görs normalt automatiskt i luften men kan göras manuellt på marken och i luften vid vissa felutfall. Piloten kan ändra styrsystemets mod genom att trycka på knappen märkt FLIGHT CONTROLS på piedestalen.



Figur 2. Vänsterpilotens styrspek för tipp och roll, det manuella tipptrimreglaget (Pitch Trim) på den centrala piedestalen, och knappen märkt Flight Controls NORMAL MODE (en röd lampa lyser i knappen när systemet är i DIRECT MODE). Röd ring infogad av SHK. Källa: Embraer.

1.1.2 Tekniska förutsättningar

Flygplanstypen har ett helt elektroniskt och digitalt styrsystem, ett s.k. full Fly-By-Wire-system, vilket innebär att det inte finns något mekaniskt länkage mellan manöverdon i cockpit och flygplanets kontrolltytor. Sensorvärden och kommandosignaler förmedlas som elektriska digitala signaler via ett ledningssystem som kallas databussar. Dessutom moduleras signalerna av datorer beroende på systemets status för att ge olika beteenden, vilka tillsammans utgör de så kallade styrlagarna (CLAWS⁹). Dessa styrlagar är dock endast aktiva under vissa förhållanden.

Cockpiten är en s.k. glasscockpit där traditionella flyginstrument ersatts med skärmar, se figur 1. Övriga data och specifikationer presenteras i avsnitt 1.6.1.

Det fel som uppstod har kunnat härledas till flygplanets styrsystem och delar av systemet beskrivs i rapporten i varierande djup och detaljeringsgrad. För att få förståelse för orsaken till det uppkomna felet och beskrivningen av de system som nämns senare i rapporten krävs det kunskap om bland annat digitala styrsystem hos flygplan och om databussar, särskilt kommunikation över databussar av typen TTP¹⁰. Följande referenser ger en grundläggande beskrivning av dessa system.¹¹ Det speciella med TTP-bussarkitekturen är att varje buss består av två parallella kanaler (A och B). Data till dessa bussar skrivs synkront från de anslutna noderna, dock kan det i vissa fall uppstå en liten tidsförskjutning mellan en *frame*¹²

⁹ CLAWS (Control Laws) – styrlagar.

¹⁰ TTP (Time-Triggered Protocol) – datanätverk och bussystem för digital kommunikation.

¹¹ H. Kopetz, Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications, vol. 2, Springer, 2011 och Moir, A. Seabridge och M. Jukes, Civil Avionics Systems, Wiley & Sons, 2013 och Collinson, R.P.G., Introduction to Avionics Systems fourth edition, Springer Nature Switzerland AG, 2023.

¹² En *frame* är en strukturerad enhet av data som skickas över en databuss eller ett nätverk. Den används för att säkerställa att data kan överföras på ett organiserat och pålitligt sätt mellan olika enheter.

som skrivs till kanal A och B. Denna förskjutning kallas *skew* och är en normal egenskap hos TTP-buss arkitekturen. Ett annat viktigt begrepp att känna till är *stale* vilket bäst kan beskrivas som att data som skickas över nätverket har identifierats som föråldrat eller inaktuellt och inte längre speglar systemets aktuella tillstånd.

1.1.3 Händelseförlopp

Flygplanet startade klockan 15.02 UTC från bana 12 och strax efter lättning fick piloterna en CAS¹³-varning om ett styrsystemfel och flygplanets tippvinkel ökade hastigt till mer än vad besättningen förväntade sig. PF försökte motverka den abrupta tipp rörelsen med nästan fulla utslag av styrspaken men noterade att spaken hade begränsad auktoritet i nos-ner-riktning. PF använde därför det manuella trimreglaget för stabilisatortrimmen för att hejda den fortsatta stigningen och kopplade ur den automatiska gasregleringen för att kunna kontrollera flygfarten manuellt. Flygplanet passerade den klarerade höjden och flög högre in i Stockholms luftrum. Efter att ha fått flygplanet i ett trimmat läge återtog piloten den klarerade höjden. PM kommunicerade med flygtrafikledningen, sände ett nödmeddelande (Mayday) och informerade om att de inte kunde följa klareringen.

Efter att PF återfått kontroll av flygläget, följde besättningen checklistan och tryckte på och släppte FCS NORMAL MODE knappen vilket ledde till att de fick tillbaka normal funktion för styrsystemet. Efter att ha återfått normal styrfunktion genomförde besättningen TDODAR¹⁴ – checklistan och personal och passagerare i kabinen blev informerade enligt bolagets procedurer. Som en del av checklistan diskuterade de Arlanda som en möjlig landningsflygplats men beslutade att Bromma uppfyllde landningskraven. Inflygningen och landningen förlöpte därefter utan anmärkning.

Under händelseförloppet gav flygtrafikledaren på Bromma startklarering till ett annat flygplan från samma bana och en ankomst var på cirka 8 NM final för bana 12. Initialt uppfattades pilotens första meddelanden på radio som oklart. Sedan förtydligade piloten problemet som ett styrsystemproblem följt av ett nödanrop (Mayday) och att de avsåg att återvända för landning. Brommas flygledare samordnade kontinuerligt med flygtrafikledaren på Stockholm Control under händelsen med hänsyn till flygtrafiken ovanför. I samband med händelsen hanterade Stockholm Control tre andra ankomster som fick vänta, och fick klaring att hålla sig i vänteläge. Två andra ankomster fick hålla sig i vänteläge längre söderut.

Tillbudet inträffade under dagen i position 5921N 01757 E, ca 600 fot över havet.

1.1.4 Tidigare liknande händelse: Paris Le Bourget den 2 augusti 2024

En liknande händelse inträffade den 2 augusti 2024 på flygplatsen Paris-Le Bourget med ett av Flexjets flygplan av modellen EMB-550 med registrering 9H-XFX. SHK har valt att inkludera händelsen i denna utredning. Felutfallet, flygplanets respons och påverkan på besättningen har mycket gemensamt med den nu aktuella händelsen vid Bromma flygplats. SHK har även intervjuat piloterna som var inblandade i den händelsen, undersökt flygplansdata och fått teknisk information. SHK har också granskat Flexjets interna rapport från händelsen samt inhämtat data FCCn, se avsnitt 1.18.

¹³ CAS (Crew Alerting System) – varningssystemet för piloterna.

¹⁴ TDODAR (Time-pressure, Diagnose, Options, Decide, Act or Assign, Review) – de åtgärder som besättningen bör beakta inför inflygningen efter att nödsituationen är åtgärdad. Ingår i operatörens procedurer.

Befälhavaren, som var PF vid händelsen, noterade en snabbt ökande tippvinkel och en saknad respons från spakrörelser i tippled framåt. Han lämnade därför över kontrollen av flygplanet till styrmannen som också upplevde en saknad respons från spakrörelser framåt. Piloterna applicerade spakrörelser framåt samtidigt men utan den förväntade responsen. Befälhavaren valde då att trycka på FCS NORM knappen enligt nödproceduren och felmeddelandet försvann. Piloten återfick auktoriteten och kunde därefter flyga normalt och landa på startflygplatsen.

1.2 Personskador

Inga.

1.3 Skador på luftfartyget

Inga.

1.4 Andra skador

Inga.

1.5 Besättningen/personalinformation

1.5.1 Piloternas kvalifikationer och tjänstgöring

Befälhavaren

Befälhavaren, 45 år, hade ATPL(A), behörighet på typen och ett gällande medicinskt intyg. Vid tillfället var piloten PF.

Flygtid (timmar)				
Senaste	24 timmar	7 dagar	90 dagar	Totalt
Alla typer	4	9	151	4 659
Aktuell typ	4	9	151	1 088

Antal landningar aktuell typ senaste 90 dagarna: 47.

Godkänt flygprov på typen utfördes den 13 februari 2022.

Senaste PC¹⁵ genomfördes den 12 mars 2024 på typen.

Biträdande pilot (styrman)

Piloten, 50 år, hade ATPL(A), behörighet på typen och ett gällande medicinskt intyg. Vid tillfället var piloten PM.

Flygtid senaste	24 timmar	7 dagar	90 dagar	Totalt
Alla typer	4	14	92	6 700
Aktuell typ	4	14	92	275

Antal landningar aktuell typ senaste 90 dagarna: 17.

Godkänt flygprov på typen utfördes den 24 oktober 2023.

¹⁵ PC (Proficiency Check) – kompetenskontroll.

Piloternas tjänstgöringstider vad gäller antal dagar i tjänst och ackumulerade tjänstetimmar låg innanför begränsningarna. Båda piloterna fick en intilliggande viloperiod före den aktuella dagen som var längre än 13 timmar.

1.5.2 Kabinbesättning

En serviceperson från Flexjet fanns ombord. Denne satt bak i kabinen och hade inte någon kabinsäkerhetsroll.

1.6 Luftfartyget

Flygplanet, en Embraer-550 Praetor 600, är en tvåmotorig affärsjet med 7 441 km räckvidd, bild på flygplanet visas i Figur 3. Det kan ta upp till 12 passagerare.



Figur 3. Embraer-550 Praetor 600. Bild: Flexjet.

1.6.1 Flygplanet

Flygplan	Flygplansspecifikation
Typcertifikatinnehavare	Embraer
Modell	EMB-550 Praetor 600
Serienummer	20189
Tillverkningsår	2023
Flygmassa, kg	Max tillåten startmassa 19 440 kg aktuell vid start 16 049 kg
Masscentrumläge	Inom tillåtna gränser för start 27% MAC (FWD 19% MAC AFT 37% MAC)
Total gångtid, timmar	985
Gångtid efter senaste tillsyn, timmar	37
Antal cykler	32

Flygplan	Flygplansspecifikation
Typ av bränsle som tankats före händelsen	Jet-A1

Motor	Motorspecifikation
Typcertifikatinnehavare	Honeywell
Motortyp	AS907-3-1E
Antal motorer	2
Motor nr 1	
Serienummer	P131685
Total gångtid, timmar	985
Gångtid efter senaste tillsyn, timmar	44
Motor nr 2	
Serienummer	P131683
Total gångtid, timmar	985
Gångtid efter senaste tillsyn, timmar	44

Kvarstående anmärkningar
Inga relevanta kvarstående anmärkningar

Luftfartyget hade luftvärdighetsbevis med ARC.

EMB-550 Praetor 600 certifierades 2019 av den brasilianska luftvärdighetsmyndigheten och av EASA.

1.6.2 Styrsystemet

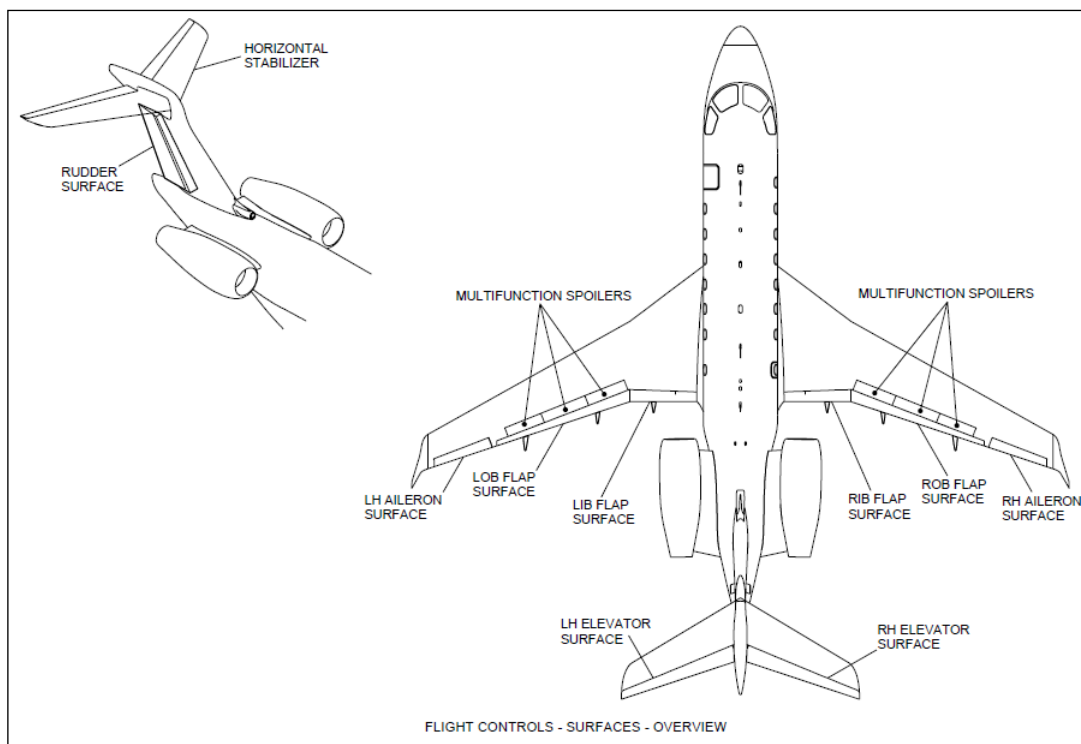
Styrsystemets kontrolltor

Ett flygplan har ett antal kontrolltor, som vid utslag skapar aerodynamiska krafter som påverkar och på så sätt kan kontrollera flygplanets rörelse. Hos den aktuella flygplanstypen kontrolleras samtliga kontrolltor via Fly-By-Wire-systemet. Till dessa hör höjdrodern och den horisontella stabilisatorn. Ett tvådelat höjdroder och stabilisator styr flygplanets tipp-attityd och anfallsvinkel. Styrkommandot skapas från styrpakarna i cockpit, autopilot-systemet och internt i FCS.

Den horisontella stabilisatorn stabiliserar flygplanet i tippad och dess vinkel är ställbar och justeras för att trimma flygplanet i tippad. Trimläget styrs av autotrimsystemet i Normal Mode (NM¹⁶) och manuellt via trimströmbrytare i Direct Mode (DM¹⁷). Figur 4 visar placeringen av kontrolltor på flygplanet.

¹⁶ NM – Normal Mode.

¹⁷ DM – Direct Mode.



Figur 4. Utdrag ur en schematisk bild av samtliga kontrolltytor. Källa: Embraer AMM.

Översikt av Styrsystemet

Styrsystemet (FCS) i den aktuella flygplanstypen består av flera integrerade komponenter som arbetar tillsammans. Här beskrivs systemet övergripande, med fokus på de delar som är direkt relevanta för den aktuella händelsen.

FCS består bland annat av följande enheter:

- fyra Inceptor Interface Moduler (IIM¹⁸)
- åtta Remote Electronic enheter (REU¹⁹)
- två FCC enheter
- två Motor Control Electronics enheter (MCE²⁰).

Data kommuniceras över ett TTP-bussystem bestående av fyra parallella TTP-databussar.

De ovan listade systemen och enheterna ser till att pilotkommandon från reglage i cockpit, kommandon från autopilot och interna FCS-kommandon omsätts till roderutslag, motorernas dragkraftsreglering, klaffläge m.m. för att på så sätt kontrollera flygmaskinens rörelser.

Kommunikationen inom FCS och dess enheter sker via tre olika typer av databussar, var och en dedikerad för kommunikationens specifika behov; TTP, A429 och CCDL²¹.

¹⁸ IIM – Inceptor Interface Module.

¹⁹ REU – Remote Electronic Unit.

²⁰ MCE – Motor Control Electronics.

²¹ CCDL – Cross Channel Data Link.

När flygplanet befinner sig i luften har *FCS* två huvudsakliga driftlägen:

- Normal Mode – Används vid normal flygning och inkluderar funktioner som auto-trim, anfallsvinkelbegränsning och överfartsskydd. Här nyttjas samtliga databussar.
- Direct Mode – Aktiveras vid systemfel och innebär att piloten har direkt kontroll över styrtorna utan skyddsfunktioner. Signalöverföring sker då via A429-bussar.

Normal Mode används som namnet antyder i normalfallet vid flygning. NM avser att ge en minskad arbetsbelastning för piloten genom bland annat autotrim, vidmakthållande av flygbanan, begränsare för anfallsvinkel, överfartsskydd, och lastfaktorskydd.

Vid flygning i *Normal Mode* används olika styrlagar, vilket innebär att huvudstyrdatorerna modulerar/förbättrar pilotens styrkommandon innan dessa skickas till kontrolltorna.

Direct Mode aktiveras när styrdatorerna inte är kapabla att upprätthålla NM och ger piloten styrlogik som för ett konventionellt flygplan. Piloten behöver då trimma manuellt och skyddsfunktionerna utgår. I DM kan signalerna från pilotkommandon antingen gå genom REU:erna via en A429-buss eller via FCC.

Orsaker till att varken FCC1 eller FCC2 är kapabla att upprätthålla NM kan vara att signalerna från de väsentliga sensorerna för normalt läge (AHRS²², ADS²³ eller klaffindikering) inte är giltiga, avvikelse detekterad av CIM²⁴, en primär styryta inte är kapabel till normal-läge eller nod-synkronisering misslyckades eller nedtryckning av FCS-knappen i cockpit, se figur 2.

FCC återgår till NM om FCC:erna är kapabla till NM och flygplanet är på marken och är stillastående eller om FCC är kapabel för NM, flygplanet är i luften och FCS-tryckknappen i cockpit trycks in.

STYRLAGAR

Som ovan nämnts har FCS två driftlägen som kallas Normal Mode och Direct Mode. Styrlagarna är endast aktiva i Normal Mode och är olika beroende på vilken flygfase flygplanet befinner sig i.

Longitudinell kontroll och kontroll av tipp rörelser

Kontrollen av tipp rörelser i Normal Mode varierar för olika flygfaser. På marken under 65 knop kommer systemet att operera med en fast spak till roderförstärkning, dvs. ingen modulering annat än förstärkning (*gain*) av kommandosignalerna sker. När farten överstiger 65 knop kommer spakkommandona generera ett tippvinkelhastighetskommando (eng. pitch-rate). Tre sekunder efter lättning övergår styrlagen till *Styrlagen för tippvinkeldämp-*

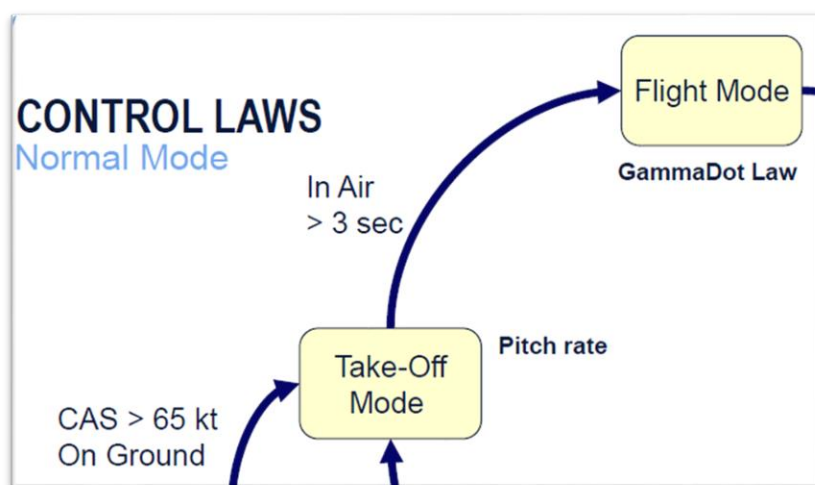
²² AHRS (Attitude and Heading Reference System) – Enhet som ger information om luftdatasystem, är ett viktigt system i flygplan som används för att mäta, beräkna och tillhandahålla information om olika luftrelaterade parametrar som påverkar flygningens prestanda och säkerhet. Ett flygplans orientering och rörelse.

²³ ADS (Air Data System) – Luftdatasystem, system för att mäta, beräkna och tillhandahålla information om olika luftrelaterade parametrar som påverkar flygningens prestanda och säkerhet.

²⁴ CIM (Command Integrity Monitor) – Integritets monitor.

ning, vilken är aktiv under rotationsfasen. Fem sekunder efter lättning, övergår styrlagen till *stigvinkelhastighet* ($\gamma \dot{\gamma}$ ²⁵) och autotrimfunktion aktiveras, se Figur 5.

Den styrlag som används vid flygning är den s.k. *Styrlagen för longitudinell kontroll*. Denna styrlag ser till att flygplanet befinner sig på sin flygbana och styrkommandona moduleras så att de anpassas till förändringar i flygbanan. När inga styrkommandon ges (styrspaken i neutralläge) ser styrlagen till att flygplanet behåller rätt stigvinkel (γ) gentemot flygbanan. Flygplanet kommer då att bli ”banstabil” men styrlagen tillåter att farten varierar, dvs. icke fartstabil. Styrlagen kommer att se till att flygplanet är trimmat vid olika farter och även vid en eventuell fartvariation som då kan uppstå.



Figur 5. Bild som beskriver hur styrlagarna ändras mellan olika flygfaser efter start.
Källa: Embraer.

Tipptrimlogiken

I Normal Mode och i luften, finns det ingen möjlighet att manuellt trimma den horisontella stabilisatorn. Trimning sker då automatiskt av FCS. På marken, i NM, är manuell trimning av den horisontella stabilisatorn möjlig och ska sättas före varje start.

I Direct Mode är den manuella trimningsfunktionen via trimbrytaren tillgänglig. När styrsystemet hamnar i DM aktiveras varningsmeddelandet ”FLTCTRL N-MODE FAIL”.

Styrsystemets datakommunikation

Styrsystemet innehåller kommunikationsbussar av tre olika typer, TTP-bussar, A429-bussar och CCDL. TTP-bussarna används i NM, A429-bussarna används i både NM och DM och CCDL-bussarna används för kommunikation mellan REU:erna i alla moder.

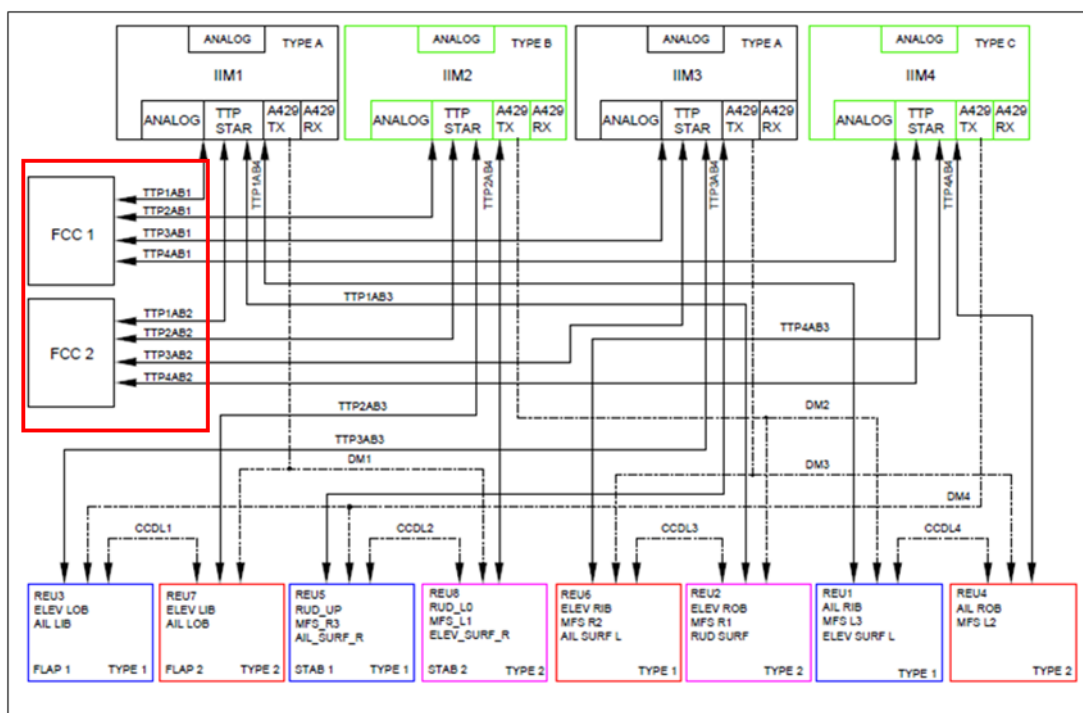
I Normal Mode sker datakommunikation via s.k. TTP-bussar, det finns fyra parallella TTP-bussar. Fyra stycken IIM:s skickar nödvändiga data för att beräkna styrkommandon till FCC1 och FCC2. FCC:erna beräknar styrkommandon som sedan skickas tillbaka till respektive IIM för vidarebefordran till en REU som kontrollerar ställdon och i sin tur för roderytan till kommenderat läge.

²⁵ Gamma avser flygbanans vinkel gentemot horisontalplanet, gammadot avser tidsderivatan vilket innebär flygbanans vinkelförändring per tidsenhet. Vid styrlagen *gammadot* kontrollerar flygplanets styrsystem förändringshastigheten av banvinkeln.

I Direct Mode kommer den information som krävs för kontroll av flygplanet att skickas från IIM:s till REU:erna via A429-bussar. REU:erna kommer då att beräkna styrkommandon baserat på informationen som sänds över A429-bussen.

Kommunikation mellan REU:er sköts av CCDL av ethernet typ.

Figur 6 visar en schematisk bild av styrsystemet och dess kommunikation.



Figur 6. TPP och CCDL kommunikationsschema. TPP-ingångar till FCC1 och 2 markerade i rött av SHK.
Källa: Embraer. Utdrag ur Embraer AMM.

Styrsystemets huvudkomponenter

Inceptor Interface Module

Styrsystemet har fyra stycken IIM:er av två typer. Den grundläggande IIM-funktionen är att utföra datainsamling, in-line-övervakning av respektive sensoringångar, analog- till digital-konvertering, och att överföra digitala data till enheter genom TTP- och A429-bussarna. IIM tillhandahåller kommunikation till och från flygplanets avioniksystem genom A429. IIM-enheterna tar emot A429-signaler från ADSP-enheter Air Data Smart Probe (ADSP²⁶) samt ett analogt interface från höger och vänster sidospak och pedaler. Dessa signaler skickas via A429-bussar till REU:erna och används uteslutande i *Direct Mode*. Det är IIM som omvandlar bland annat styrspekens utslag till en digital signal som skickas vidare till FCS, se figur 6.

Huvudstyr dator

I det elektroniska styrsystemet (Fly-By-Wire, FBW) finns det två huvudstyr datorer, FCC – (Flight Control Computer). Den ena FCC är placerad under cockpit medan den andra är placerad bak i kabinen. Kommunikationen mellan IIM:er, FCC och REU:er sker via TTP-bussar, och beskrivs i avsnittet Styrsystemets datakommunikation. Dessutom kommunicerar båda FCC:erna med sensorer via databusstypen A429.

²⁶ ADSP (Air Data Smart Probes) – luftdatasensorer.

FCC:ernas konstruktion och funktion implementerades av BAE Systems enligt definitioner framtagna av Parker och Embraer.

I *Normal Mode* hanterar FCC styrlagarna som använder sig av ett slutet styrsystem (closed loop), vilket innebär att det finns en återkoppling baserad på observationer och mätning av systemets tillstånd.

Båda FCC:erna arbetar samtidigt och parallellt med att bearbeta data, men endast en FCC är ansvarig för styrkommandon vid ett givet tillfälle. Detta arrangemang är utformat för att säkerställa redundans och feltolerans samtidigt och syftar till att upprätthålla en effektiv och tillförlitlig systemdrift. Skulle av någon orsak en av FCC:erna inte vara kapabel att utföra sina uppgifter tar den andra FCC:n över, dock under förutsättning att den själv har tillräcklig kapabilitet. Båda FCC:erna övervakar och bearbetar aktivt systemets in- och utdata, t.ex. pilotkommandon, sensordata och ställdonsstatus. Bearbetning av data uppges vara identisk hos båda FCC:erna. FCC:erna genomför kontinuerligt beräkningar för styrtornas kommandon (position) och övervakar varandras prestanda och beslut.

Även om båda styrdatorerna är aktiva är det bara en FCC som är ”beslutande FCC” (ansvarig), medan den andra fungerar som ”standby FCC”. Vilken FCC som är den beslutande bestäms av en prioritetslogik.

Prioriteringsmekanismen

Efter uppstart av systemet genomgår FCC:erna ett uppstartstest och den FCC som vid tidigare tillfälle var beslutande kommer nu att bli stand-by. Under drift finns det en prioriteringsmekanism, som använder sig av tidigare nämnda prioriteringslogik, som avgör vilken FCC som har befälet och är beslutande. Prioriteringsmekanismen tar fram ett prioritetsindex mellan 0 och 6, se Tabell 1. Den FCC som har de mest tillgängliga resurserna och den högsta operativa förmågan (t.ex. avseende kommunikationsbussar, autopilotfunktionalitet, sensorintegritet) tar på sig rollen som beslutande FCC. Prioritetslogiken är baserad på tillgängligheten av olika delsystem, varav ett är antalet giltiga TTP-bussar.

Tabell 1. FCC prioritetsindex

FCC prioritetsindex	FCC operabilitet	Drifttillstånd
6-3	NM	Normaltillstånd
2-1	DM	FCC direktläge
0	Ej operabel/tillgänglig	REU direktläge

FCC In Command

Under normala driftförhållanden behåller den beslutande FCC:n (FCC In Command) kontrollen under en flygning. Innan nästa flygning kommer beslutande FCC att växla till den andra FCC:n.

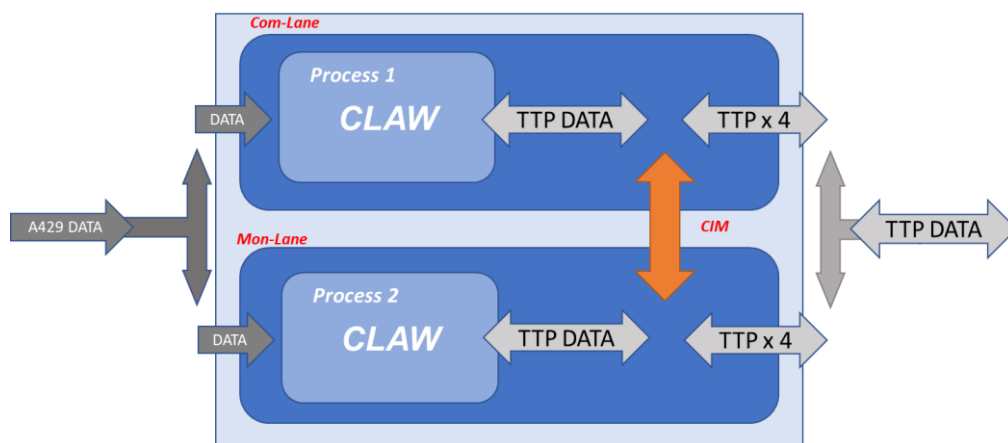
Om den beslutande FCC:n drabbas av fel eller försämrad prestanda (t.ex. förlust av kritiska ingångar eller resurser) växlar systemet till standby-FCC:n, som sömlöst ska ta över kontrollen och de beslutande funktionerna. Standby-FCC fungerar som backup och övervakar den beslutande FCC:n. Internt i varje FCC, mellan FCC:erna samt REU:na används en röstningslogik för att välja de mest tillförlitliga kommandona och data, vilket säkerställer att övergången sker smidigt och felfritt.

Säkerställande av systemintegritet

Hos FCS som helhet men även hos de enskilda FCC:erna har interna funktioner till uppgift att säkerställa systemintegritet genom bearbetning av mottagna sensorvärden, lägesaktivering och felhantering. Detta sker med hjälp av två skilda men parallella processer. Varje process har sin egen kommunikationsväg – Mon (Monitor) Lane och Com (Command) Lane vilka utgör grunden för den interna övervakningen. De två processerna hanteras av integrerade komponenter i FCC:ernas systemarkitektur och utgörs av två spegelvända moduler och avses ge en redundant och feltolerant konstruktion av FCS. Denna process för intern kontroll av data kallas Command Integrity Monitor, (CIM).

Via Command Lane skickas kontrollkommandona till IIM:er och vidare till REU:er och ställdonen som i sin tur manövrerar styrtorna och fungerar som den primära kommunikationsvägen för att utföra styrfunktioner och driva manöverdon under normal drift.

Monitor Lane fungerar parallellt med Command Lane som en säkerhetskontroll. Dess primära uppgift är att övervaka den primära kommunikationsvägen gällande beslut, åtgärder och utdata för att säkerställa korrekthet och integritet. Den arbetar med en egen hårdvara och oberoende mjukvarulogik för att förhindra att fel sprids från Command Lane. Här jämförs kontinuerligt resultaten av beräkningarna med dem från Command Lane för att upptäcka avvikelser, bland annat avvikelser från fastställda gränsvärden hos de beräknade storheterna gällande värde och tidsrymd. Om ett fel identifieras sparas det i det interna minnet (NVM²⁷) på FCC:n. Processen och kommunikationsvägarna visas schematiskt i figur 7. CIM kontrollerar med andra ord överensstämmelsen mellan Command Lane och Monitor Lane. Om en diskrepans upptäcks kan systemet initiera en återgång eller växla till ett säkert läge (t.ex. direktläge eller nedgradering till minimal funktionalitet).

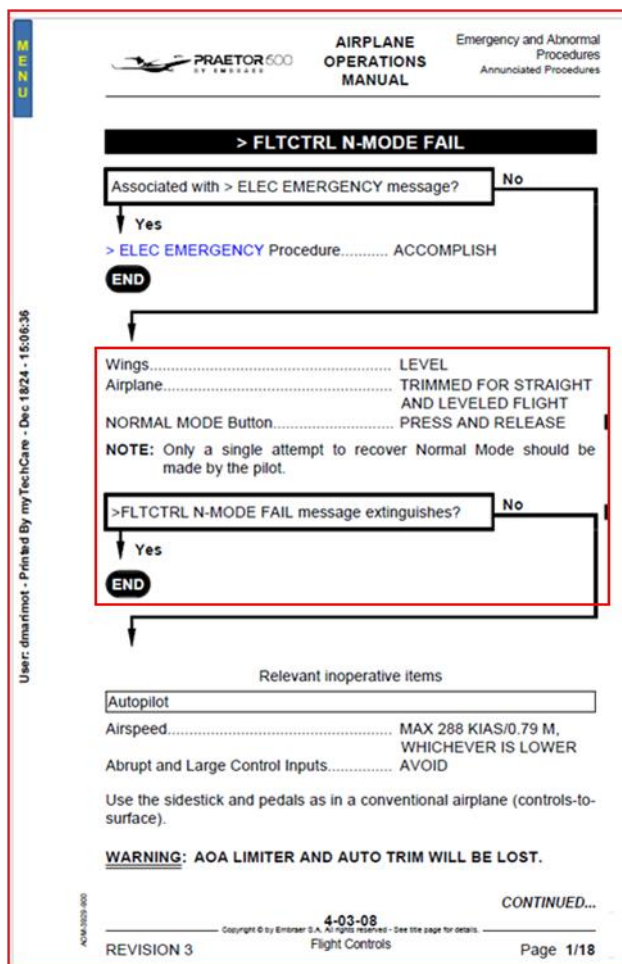


Figur 7. Schematisk representation av processer och kommunikationsvägar hos styrdatorn (FCC).

²⁷ NVM (Non Volatile Memory) – en typ av dataminne som behåller sin lagrade information även när strömmen är avstängd.

1.6.3 AOM Nödproceduren vid varningsmeddelandet "FLTCTRL N-MODE FAIL"

Vid det varningsmeddelande som presenterades vid den aktuella händelsen får piloterna en elektronisk nödchecklista vilken visas i figur 8.



Figur 8. Nödchecklistan för FLTCTRL N-MODE FAIL. Pilotens system-åtgärd markerad i en röd ram (infogad av SHK). Notera att användning av manuell tipptrim inte finns i checklistan. Källa: Embraer AOM.

Ett moment i pilotens nödprocedur är att trycka på FCS NORMAL MODE knappen. Där-
emot nämndes det inget om manuell trimning. Detta förtydligades dock i Transport Maltas
(TM) bulletin SIAN 01/24 och Embraer operativ bulletin 550-002/24 som publicerades efter
Le Bourget-händelsen.

1.6.4 Utbildningskrav²⁸ för EMB-550-piloter på styrsystemet

Bland de operativa funktioner som ingick i EASA-evalueringen av EMB-550 ingick styrsystemet.

Den enda aspekten av styrsystembeteende som ska tränas enligt skillnadstabellen mellan EMB-550 500 och 600 modellerna är att vid *Normal Mode* finns manuell trim på marken och luftlastsminskningfunktioner²⁹.

I tillverkarens träningskrav för utbildningen på typen³⁰ nämns bland annat krav på träning efter systemfel både teoretiskt och i simulatorn. Det framgår inte i dokumentet några specifika fall med styrsystemfel under startrotationen.

1.7 Meteorologisk information

Enligt SMHI:s analys: Vind, sydostlig 10 knop, med byar upp till 16 knop, sikt mellan 5 och 10 km, molnbas på 300–800 fot, temperatur/daggpunkt +15/+14°C, QNH 996 hPa.

Enligt piloterna inträffade tillbudet i moln, regn och turbulenta förhållanden.

1.8 Navigationshjälpmedel

Piloterna följde en GPS-baserad instrumentprocedur (SID) enligt klareringen. Efter att ha deklarerat nöd på radio fick besättningen radarvektorer för landning.

1.9 Radiokommunikationer

Piloterna var i kontakt med Brommatornet under händelsen. Parallellt kommunicerade flygtrafikledaren med räddningstjänsten på Bromma och med Stockholm ATCC. Under händelsen fick ett bakomliggande flygplan starttillstånd från samma bana och ett flygplan på final fick landningstillstånd.

1.10 Flygfältsdata

Flygplatsen har status enligt AIP³¹ Sverige. Stockholm/Bromma Airport har en bana (12/30) som är 1 668 meter lång och flygplatsens höjd över havet är 47 fot. Vid händelsen var Bromma kontrollzon (CTR) aktiv.

1.10.1 Luftrummet över flygplatsen

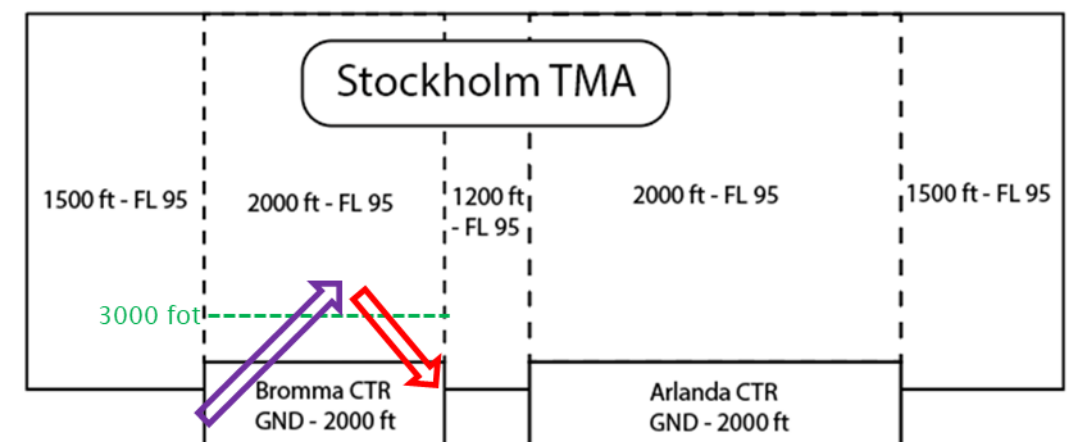
Stockholm/Brommas kontrollzon är begränsad till 2 000 fot över marken och ligger under Stockholm TMA. Start från Bromma och stigning över denna höjd kräver koordinering mellan Bromma och Stockholms flygtrafikledare, se figur 9.

²⁸ Embraer/ANAC/EASA Operativ evalueringsrapport för EMB-550/545 och EASA OPERATIONAL SUITABILITY DATA (OSD) FLIGHT CREW.

²⁹ 27. Flight Control: Flight control law function available in Normal Mode: Pitch Trim Command on Ground; Maneuver Load Alleviation.

³⁰ PILOT TRAINING SYLLABUS EMB-550 (Legacy 500/Praetor 600) (Embraer).

³¹ AIP (Aeronautical Information Publication) – luftfartsinformation av varaktig natur.



Figur 9. En sidovy av luftrummet ovanför Bromma flygplats. Den gröna linjen markerar den klarerade höjden på 3 000 fot. Pilarna visar flygplanets ungefärliga flygbana i luftrummet. Den lila pilen visar flygplanets stigning förbi den klarerade höjden. Den röda pilen visar sjunk igen till under den klarerade höjden och inflygningen till Bromma. Källa: Luftfartsverket. Färgad grafik infogad av SHK.

1.11 Färd- och ljudregistratorer

Ombord på flygplanet fanns det enheter för registrering av parametrar relaterade till flygningen och de olika systemen. Dessa sparas på en färdregistrator FDR, men även på en QAR³². Ljuddata registrerades på en s.k. CVR³³.

1.11.1 Färdregistratorer (FDR, QAR)

Ombord fanns en FDR³⁴ tillverkad av L3-Harrisam med modellbeteckningen 7100-2700-00. FDR-data täckte hela det aktuella händelseförloppet men även tre tidigare flygningar.

På FDR sparas 1 582 parametrar, både i form av diskreta statussignaler som varningar och som variabler i form av höjd, fart, kurs m.m. De olika parametrarna sparas på enheten med olika tidsintervall och vid olika tider. För många av parametrarna som analyserats är frekvensen 1 Hz, mer tidsupplösta data på 4 Hz finns för incidentflygningen. Data för de tre tidigare flygningarna har vid utläsningen och konverteringen från binära data sparats med 1 Hz.

Flygdata registrerades även på en QAR av typen *Avionica miniQAR*, vars minne räcker för att spara upp till 6 000 timmar data. Data delas med det som strömmas till FDR men kan bestå av fler eller färre parametrar.

Binärdata från dessa enheter har utlästs, konverterats till ingenjörstorheter och analyserats. Konverterade QAR-data från händelsen har erhållits från Flexjet och flygplanstillverkaren. Utläsningen och konverteringen av FDR-data har gjorts hos den franska utredningsmyndigheten BEA, på deras laboratorium. Data från händelsen presenteras i avsnitt 1.16.

³² QAR (Quick Access Recorder) – färdregistrator med funktion för snabbåtkomst.

³³ CVR (Cockpit Voice Recorder) – ljudregistrator.

³⁴ FDR (Flight Data Recorder) – enhet som under flygning registrerar sensorvärden.

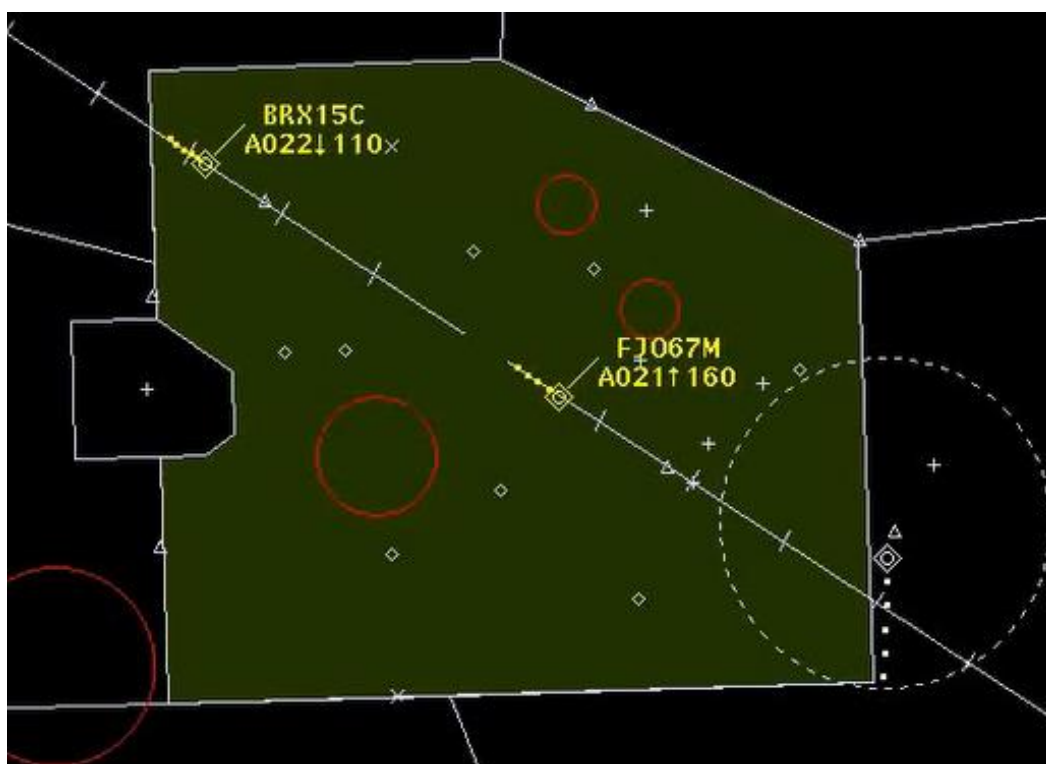
1.11.2 Ljudregistrator (CVR)

CVR-enheten ombord var tillverkad av L3-Harris med modellbeteckningen 5013-5001-50 och serienummer 002098474. CVR hade fyra kanaler och sparar minst två timmars ljudupptagning. CVR-enheten är placerad i den bakre delen av flygplanet.

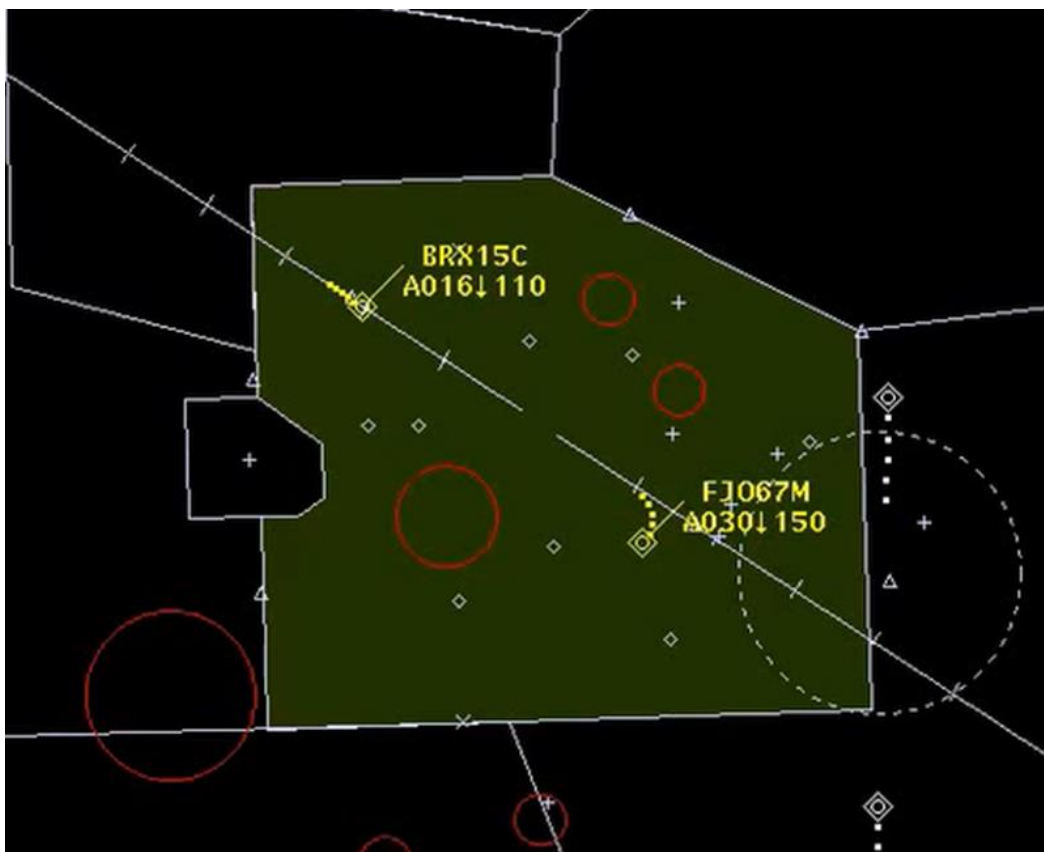
Ljuddata har lästs ut och tidsjusterats hos den franska utredningsmyndighetens (BEA) ljudlaboratorium. De utlästa ljuddatafilerna täckte hela händelseförloppet.

1.12 Plats för händelsen

Händelsen inträffade efter start från bana 12 på Stockholm/Bromma flygplats och flygplanet befann sig i en stigning mot den klarerade höjden på 3 000 fot, se figur 10 och 11.



Figur 10. Radarbilden klockan 17.03 visar när besättningen deklarerade Mayday. Flygplanets id FJ067M visar 2 100 fot stigande och 160 knop indikerad fart. Startbanan finns vid avbrottet i den diagonala vita linjen
Källa: Luftfartsverket.



Figur 11. Radarbilden klockan 17.04 visas när flygplanet sjunker igen under 3 000 fot och svänger till sydlig kurs med 150 knop indikerad fart. Källa: Luftfartsverket.

1.13 Medicinsk information

Ingenting har framkommit som tyder på att piloternas psykiska eller fysiska kondition varit nedsatt före eller under flygningen.

1.14 Brand

Brand uppstod inte.

1.15 Överlevnadsaspekter

1.15.1 Räddningsinsatsen

Bromma flygplats har egna räddningsenheter men kan även kalla in externa enheter vid behov.

SHK har tagit del av rapporten från insatsledaren på *Operativ drift – ARN Rescue and Fire Fighting Services*, Swedavia.

Av insatsledarens rapport framgår att räddningstjänsten fick larm klockan 17.05. Tornet informerade om att ett flygplan med styrproblem fick återvända till Bromma direkt efter start. Till platsen kom insatsledaren och enheter från Solna brandstation, ambulans från regionen och polis. Sjukvårdaren som anlände till platsen frågade besättningen om någon behövde vård, men fick till svar att det inte behövdes.

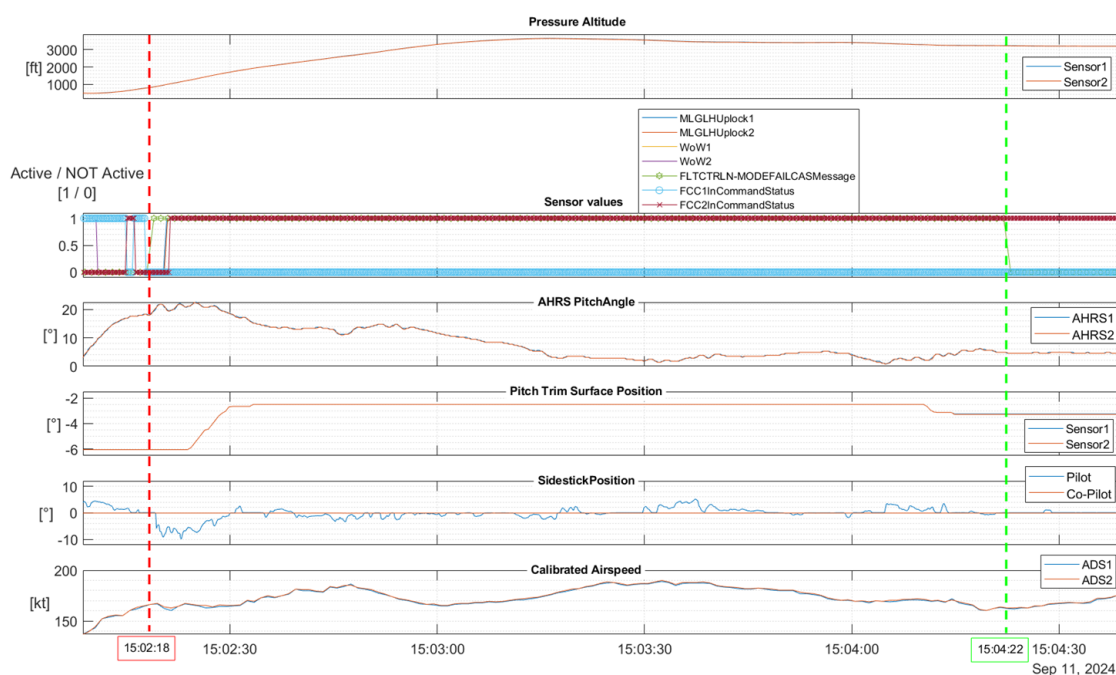
Räddningsinsatsen avslutades klockan 17.30.

Nödsändaren (ELT³⁵) aktiverades inte.

1.16 Särskilda prov och undersökningar

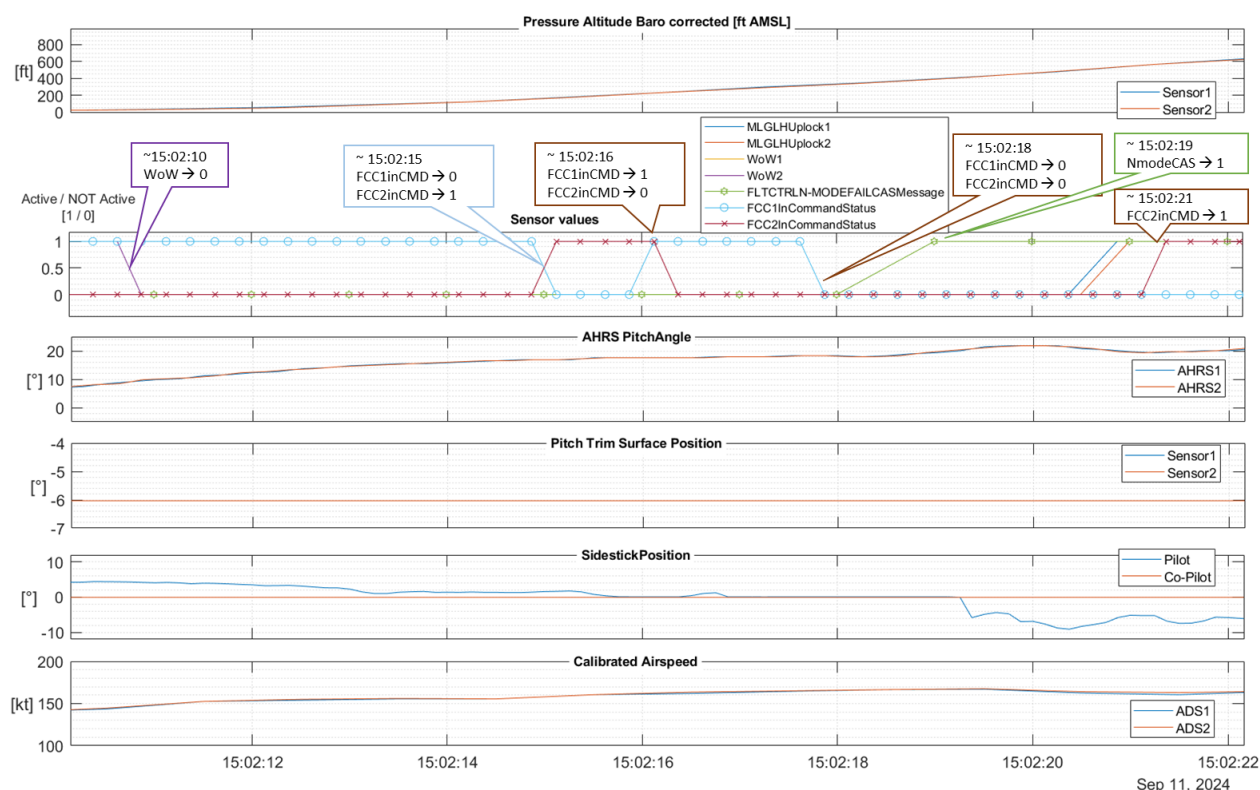
1.16.1 Registrerade data (FDR och QAR)

Av registreringen i flygplanets minnesenheter FDR och QAR framgår några parametrar av vikt för händelsen vilka beskriver flygbanan och styrsystemets status. Figur 12 visar händelsen i stort och ger en översiktlig bild av förloppet medan Figur 13 visar en inzoomad bild av samma parametrar runt tiden för felindikeringen.



Figur 12. Några viktiga parametrar som registrerades på flygplanets minnesenhet. X-axeln visar tiden i UTC. Graferna uppifrån och ner: barometerhöjd, logiska sensorvärden inklusive styrstatus FCC och landställsläge, flygplanets tippvinkel, stabilisatorns trimvinkel, spakposition i tippel samt kalibrerad lufthastighet (CAS). Felet inträffade vid 15:02:18 och återställdes 15:04:22 vilket i figuren markeras med röd- respektive grönstreckad vertikal linje.

³⁵ ELT (Emergency Locator Transmitter) – nödsändare.



Figur 13. Inzoomad bild av FDR data. Graferna uppifrån och ner: barometerhöjd, logiska sensorvärden inklusive styrstatus FCC och landställsläge, flygplanets tippvinkel, stabilisatorns vinkel, spakposition i tippel samt kalibrerad lufthastighet (CAS). I andra grafen uppifrån (sensorvärden), visas tidpunkter för viktiga händelser, från vänster: Tidpunkt WoW³⁶ → 0, första tillfället FCC1 → 0 osv.

Av registreringen i figur 12 och 13 framgår att cirka fem sekunder efter lättningen övergick FCC-styrningen av styrsystemet från FCC1 till FCC2 och åter till FCC1, varefter båda styrdatorerna felade och varningen FLTCTR N-MODE FAIL presenterades för piloterna. Flygplanets styrsystem var nu i Direct Mode. Det går att utläsa att flygplanet fortsatte att stiga trots att vänster pilot applicerade nästan maximal spak nos-ned kommando (styrspak framåt). När tippvinkeln var som högst (ca. 22°) applicerade vänsterpiloten spakutslag motsvarande -10° av -12° möjliga utan att planet visade tendenser till att avbryta stigningen. Höger pilotspåk visade inga rörelser. Cirka sex-sju sekunder efter att styrsystemet hamnat i Direct Mode började trimrörelser i nos-ned riktning som följdes av ett minskat spakutslag.

Stigningen fortsatte och flygplanet steg igenom den klarerade höjden på 3 000 fot.

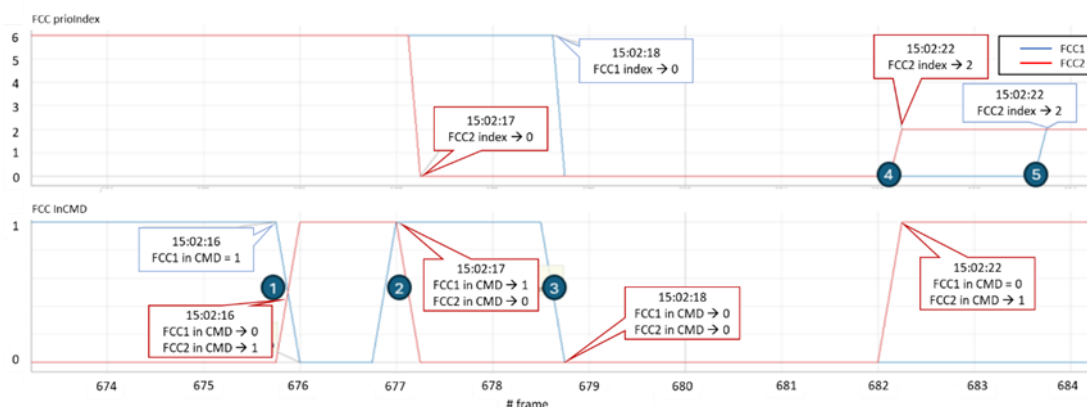
QAR-data som konverterats av Embraer har analyserats av SHK. Det specifika förloppet illustreras i figur 14.

I figuren beskrivs följande fem händelser:

- 1) FCC1 skillnad mellan COM och MON-lane överstiger gränsvärde, data på TTP-busen → *stale*, FCC2 tar över.
- 2) FCC2 skillnad mellan COM och MON-lane överstiger gränsvärde, CIM utfärdar prio-index o samtidigt som data på TTP-bus blir giltigt (*non stale*) varvid FCC1 blir tillgänglig och FCC2 kopplas bort. En återstart av FCC2 är startad.

³⁶ WoW (Weight on Wheels) – uttryck för när flygplanet lättat och hjulen inte är belastade.

- 3) CIM i FCC1 triggat en omstart av FCC1 och både FCC1 och FCC2 icke tillgängliga.
- 4) FCC2 omstart klar och blir tillgänglig (endast DM).
- 5) FCC1 omstart klar (endast DM).

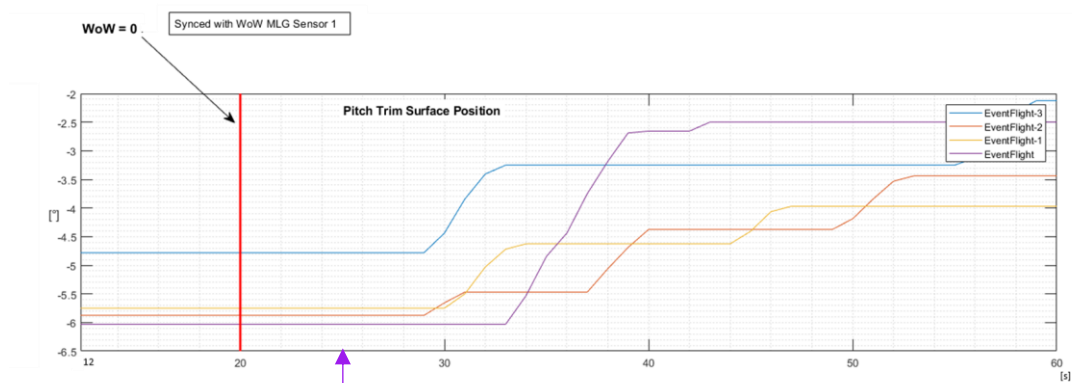


Figur 14. QAR-data från Embraer, övre grafen prioritetsindex för FCC1 & FCC2, nedre grafen statusindex för FCC in command, 1 = in command, 0 = not in command.

1.16.2 Trimläget vid händelsen och vid tidigare flygningar med 9H-MFX samma dag, den 11 september 2024

Tidigare samma dag genomfördes det tre flygningar. FDR-data från dessa flygningar har lästs ut och analyserats. På så sätt har startförloppen vid de olika flygningarna kunnat jämföras.

De tre tidigare flygningarna och starterna hade förlöpt normalt och inga fel eller avvikelser har återfunnits i registrerade data. I Figur 15 finns en graf med stabilisatorns trimvinkel vid de olika starterna. Tiderna har synkroniserats med när flygplanet lättade (WoW → 0). I figuren kan man se att vid de tre tidigare flygningarna började stabilisatorns trimvinkel att justeras cirka 8–9 sekunder efter att flygplanet lättat, medan det för incidentflygningen tog cirka 13 sekunder. I de första fallen är det autotrimsystemet som skickar kommandon för justering av stabilisatorvinkeln medan det vid incidentflygningen sker på grund av att knappen för manuellt trim trycks in.



Figur 15. Stabilisatorns trimvinkel som funktion av tiden. Startförlopp under incidentflygningen (lila linje) jämförd med tre tidigare starter samma dag med samma flygindivid (gul, orange och blåa linjer). Den röda linjen indikerar tiden då flygplanet lättar från rullbanan. Den lila pilen indikerar ungefärlig tidpunkt när båda styrdatorerna kopplades bort.

1.16.3 Utläsning av FCC-data och riggprov

Undersökning av styrsystemdatorerna (FCC1 och FCC2)

I det aktuella flygplanet hade de två FCC:erna följande serienummer: FCC1: 0710, FCC2: 0712. Båda FCC:erna monterades ut ur flygplanet, förseglades och skickades till tillverkaren för utläsning av det interna NVM-minnet. På detta minne sparas statussignaler och felkoder och felmeddelanden.

Utläsning av det interna minnet i varje FCC genomfördes i närvaro av SHK:s ackrediterade representant från NTSB och med en representant från Parker, hos BAe Systems i USA under oktober 2024. Den nedladdade binära datan har delats med SHK men BAe Systems har genomfört konverteringen och gjort en sammanställning över felkoder och meddelanden som registrerats vid tidpunkten för händelsen. Det kunde konstaterats att förloppet var likvärdigt i båda FCC:erna. CIM detekterade att kommandot till höjdrodret varit utanför sitt tillåtna gränsvärde på $0,81^\circ$ under längre tid än 100 ms. Designen är sådan att kommunikationen via TTP-bussarna då stängs av, detta för att felet inte ska fortplanta sig i systemet. Gränsvärdet överskreds först på FCC1 sedan på FCC2, varefter styrsystemet hamnade i Direct Mode (DM) när båda FCC:ernas prioritetsindex sjunkit till 0. Utläsning av en FCC från händelsen på Le Bourget visade på exakt samma felförlopp. SHK och tillverkaren av FCC gjorde även iakttagelsen att felet inträffade under tidsrymden för byte av styrlag efter start.

Riggprov hos Embraer och Parker i USA

För att få förståelse för de fel som identifierats vid utläsningen av FCC:ernas NVM-minne och orsaken till att felen uppstått, behövdes det en djupare analys och bättre datainsamling av in- och utgående variabler och parametrar till styrdatorerna. För ändamålet nyttjades befintliga riggar som använts vid prov och certifiering av styrsystemet. En rigg fanns hos flygplanstillverkaren i San José dos Campos i Brasilien, och en hos tillverkaren av delar av styrsystemet – Parker i Irvine USA. Riggarna behövdes dock modifieras med bland annat anpassad programvara för insamling av parametrar. I riggarna finns samtliga enheter i styrsystemet representerade. Laster på ställdon kunde ansättas och ett separat datainsamlings-system fanns för att mäta hur systemet reagerar.

Sensordata, in-variabler och in-parametrar sattes till motsvarande värden som för de aktuella händelserna, dvs. förhållanden som råder vid ett byte av styrlag efter start. Övervakning skedde av bland annat prioriteringsindex och FCC-status. In-datavariabler såsom lastfaktor, tippvinkel, spakutslag m.fl. sattes att variera som en sinusfunktion samtidigt som den simulerade farten ansattes som en linjärt varierande funktion. På så sätt utsattes styrsystemet för återkommande cykler.

Efter ett omfattande arbete med justering av in-variabler och framför allt dess gradienter (hur snabbt de tillåts variera), detekterades samma fel som vid den aktuella händelsen.

Om det vid tillfället för ett byte av styrlag fanns en tidsförskjutning (*skew*) i dataframes mellan COM och MON-lane, kunde skillnaden överskrida det fastställda gränsvärdet. Förut-sättningen var att in-data till de två skilda processerna resulterade i styrkommandon med hög gradient. Systemarkitekturen var även sådan att när felet uppstod betraktades data som fast (*stale*) med växlingar mellan *FCC in command* som följd och därefter degradering av prioriteringsindex hos båda FCC:erna till 0 och degradering av systemet till Direct Mode.

SHK bevittnade testerna på plats hos Parker i Irvine USA under maj 2025.

1.16.4 Rekonstruktion av händelsen i en träningssimulator

SHK har med stöd av Embraer och Flexjets piloter rekonstruerat händelserna och utvärderat flygplanshantering, styrsystemrespons och besättningens troliga arbetsbelastning under förhållanden liknande de två undersökta händelserna. Rekonstruktionen utfördes på en Praetor 500/600-simulator (FFS) vid Simcoms träningscenter i Orlando, Florida den 25 september 2024.

Ett fel motsvarande FLTCTR N-MODE FAIL introducerades vid de ungefärliga flygförhållanden som registrerades under de verkliga händelserna med varierande flygplansvikt och tyngdpunkt. En normal stigfart före accelerationshöjden är mellan 160–180 knop. Vid acceleration till högre farter var tipptrimbehovet högre än förväntat, vilket ledde till en längre period av ett otrimmat flygplan och krävde större nos-ned spakrörelser.

Utvärderingen inkluderade både återhämtning ur flygläget genom användning av FCS mode knappen och genom direkt användning av tipptrimmen efter en kort fördröjning.

SHK:s utvärdering av den troliga arbetsbelastningen för piloterna under sådana händelser visade att ett dubbelt FCC-fel strax efter lättning kan vara överraskande och orsaka hög arbetsbelastning för besättningen. Spakrörelserna som krävdes för att upprätthålla tippvinkeln var från början höga men kontroll kunde bibehållas.

Tipptrimresponsen var bra och flygplanet kunde tippas ned till ett trimmat tillstånd med acceptabel arbetsbelastning. Det noterades att om flygplanet fick accelerera över en normal stigfart, ökade behovet av en nos-ned spakrörelse och manuellt trimkommando.

Det manuella trimreglaget används normalt inte i luften. SHK bedömde att trimreglaget var svåråtkomligt, dåligt markerat och dåligt upplyst och därför svårt att lokalisera under tidspress.

1.16.5 Piloternas uppfattade arbetsbelastning

SHK har under intervjuerna bett de fyra berörda piloterna vid de två händelserna att bedöma sex arbetsbelastningsparametrar enligt NASA TLX (Task Load Index)³⁷. Bedömningsgraden i skalan är graderad från *väldigt låg* till *väldigt hög* och piloterna svarade endast muntligt på frågorna under själva intervjun.

Av de sex parametrarna var det tydligt att piloterna (PF och PM) uppfattade den mentala belastningen och tidspressen (temporalbelastning) som ganska hög.

När man jämför frustrationsnivån och uppfattad egenprestanda för de två händelserna, framgår skillnader speciellt mellan de som var PF. Vid Le Bourget-händelsen kände sig piloten frustrerad och skattade egenprestationen under medel. Vid Brommahändelsen kände piloten en låg frustrationsnivå och uppfattade att egenprestationen var nästan perfekt.

³⁷ NASA TLX (Hart and Staveland's NASA Task Load Index (TLX) method) – NASA Task Load Index är ett allmänt använt, subjektivt, flerdimensionellt bedömningsverktyg som värderar upplevd arbetsbelastning för att bedöma en uppgift, ett system eller ett teams effektivitet eller andra aspekter av prestation.

1.16.6 Intervju med Flexjets provflygare

Inför utvärderingen i simulator intervjuade SHK en Flexjetpilot som är en certifierad CAT A provflygare och har assisterat i pilotbedömningen av tidigare händelser med modellen.

Efter Le Bourget händelsen blev Flexjet medvetna om diskrepansen mellan piloternas övningar under typutbildningen i simulatorn och den önskade proceduren under en sådant fel. Speciellt undersöktes behovet av att använda manuell tipptrim i luften.

Enligt piloten skulle en besättning som inte är briefad i förväg om den nya nödproceduren och skulle få ett sådant fel efter start riskera att reagera långsammare och med större flyglägesavvikelser som resultat.

Piloten anmärkte också att det manuella trimreglaget inte är belyst och därför svårt att se i mörker. Trimmen används normalt inte under flygning och trimning är inte en invand rörelse.

1.17 Berörda aktörers organisation och ledning

1.17.1 Operatör – Flexjet Europe

Flexjet är ett flygföretag som är verksamt både i Europa och USA. I Europa bedriver Flexjet sina flygoperationer från AOC³⁸ i Storbritannien och Malta. Flexjet Operation Malta Ltd erhöll den 22 juli 2021 ett AOC från Transport Malta Civil Aviation Directorate.

Flexjet Europe har tillstånd för att ansvara för den fortsatta luftvärdigheten för luftfartygen på sitt AOC (CAMO³⁹) och en godkänd träningsorganisation (ATO⁴⁰).

Totalt opererar Flexjet över 250 jetflygplan, varav 20 EMB-550 (11 i Europe) och 47 EMB-545 (vid tiden för händelsen).

Flexjet Malta använder ett säkerhetsledningssystem med definierade ansvarsförhållanden för verksamheten och en säkerhetspolicy. Flexjet har benämnt systemet som en utvecklingscykel för flygsäkerhet i den operativa verksamheten, vilken innehöll riskidentifiering, riskhantering, uppföljning och förbättringsarbete.

Utöver kraven på ett säkerhetsledningssystem, vid sidan av det obligatoriska Flight Data Monitoring-programmet för de större flygplanen, har Flexjet valt att utrusta och använda ett frivilligt Flight Data Monitoring-program (FDM⁴¹) för att följa upp flygverksamheten och identifiera risker i den dagliga verksamheten.

SHK kunde följa Flexjets hantering av de relevanta händelserna i säkerhetsledningssystemet inklusive riskbedömningar och åtgärder. Efter den första händelsen på Le Bourget vidtog Flexjet åtgärder som inkluderade informationsmöten för piloterna och operativa instruktioner för hantering av liknande händelser.

³⁸ AOC (Air Operator Certificate) – drifttillstånd för flygbolag.

³⁹ CAMO (Continuing Airworthiness Management Organization) – underhållsorganisation för fortsatt luftvärdighet.

⁴⁰ ATO (Approved Training Organisation).

⁴¹ FDM (Flight Data Monitoring) – flygmonitoreringssystem.

Flexjet riskklassificerade den aktuella händelsen som ett *signifikant tillbud* och rapporterade ärendet till Transport Malta via sitt rapporteringssystem.

1.17.2 Flygplanstillverkare/konstruktionsansvarig – Embraer

Embraer Legacy 450/500 och Praetor 500/600 är en familj av medelstora och supermedelstora⁴² affärsjetplan byggda av den brasilianska flygplanstillverkaren Embraer. Flygplansfamiljen lanserades med Legacy 500 i april 2008 och var de första jetplanen i storlekskategorin som hade fly-by-wire.

1.17.3 Luftvärdighetsmyndigheten (Civil Aviation Directorate) – Transport Malta (TM)

Transport Malta utövar tillsyn och ansvarar bland annat för att hantera inkommande tillbudsrapporter (MOR)⁴³ från operatörer registrerade på Malta. Vid behov informerar Transport Malta andra myndigheter enligt händelserapporteringsförordningen (EU 376/2014). Transport Malta ser till att detaljerna om händelserna matas in i databasen ECCAIRS⁴⁴.

Den 22 augusti 2024 publicerade Transport Malta en säkerhetsbulletin (Safety Information and Advisory Notice – SIAN 01/24) som beskrev styrsystemsproblematik på EMB-550 och hur piloterna ska identifiera och hantera felfall med förlorad tippkontroll och tipptrim.

1.18 Övrigt

1.18.1 Liknande händelser

Den nu aktuella händelsen inträffade den 11 september 2024 på Stockholm/Bromma flygplats. SHK konstaterar att två liknande fall har inträffat under de senaste åren. Därutöver har Flexjet och NTSB identifierat ytterligare två fall.

Le Bourget flygplatsen den 2 augusti 2024

Ett EMB-550 600 med registrering 9H-XFX fick ett felmeddelande "FLTCTRL N-MODE FAIL" kort efter start.

Felet gav upphov till en ökande tippvinkel som inte kunde hejdas genom framåtriktade spakrörelser. Eftersom piloterna inte lyckades hejda denna höga attityd tillämpade PF "*Flight Control Missbehaviour*" åtgärden och tryckte på FLIGHT CONTROLS Normal knappen.

Denna åtgärd ledde till att CAS-varningsmeddelandet försvann och flygplanet återställde sig till ett normalt flygläge. Besättningen återvände till Le Bourget och landade utan anmärkning.

FDR-data och utlästa felkoder från en FCC visar på samma fel och händelsekedja i styrsystemet som i den aktuella händelsen.

⁴² Midsize and a super-midsize jet.

⁴³ MOR (Mandatory Occurrence Reporting) – obligatorisk händelserapportering.

⁴⁴ ECCAIRS (European Co-ordination Centre for Accident and Incident Reporting Systems) – Europeiskt system för olycks- och tillbudsrapportering.

Flexjet riskklassificerade händelsen som ett *signifikant tillbud* och rapporterade händelsen till Transport Malta via sitt rapporteringssystem. I ECCAIRS är händelsen klassificerad som *Incident*.

Stockholm/Bromma flygplats den 2 juli 2022

Ett EMB-550 600 med registrering 9H-XFX fick ett felmeddelande "FLTCTRL N-MODE FAIL" kort efter start. SHK fick en rapport om händelsen från Luftfartsverket (LFV) om att felmeddelandet "Automatic control mode message" presenterats efter start. Piloterna valde att återvända och landa på Stockholm/Bromma flygplats. SHK bedömde då att händelsen endast utgjorde ett tillbud och att en utredning inte var befogad⁴⁵.

Flexjet riskklassificerade händelsen som ett *allvarligt tillbud* och rapporterade händelsen till Transport Malta via sitt rapporteringssystem. I ECCAIRS är händelsen klassificerad som *incident* och inte som allvarligt tillbud. SHK har inte fått någon pilotrapport (ASR) vare sig från Flexjet eller från den maltesiska luftfartsmyndigheten.

Utöver dessa händelser har Flexjet och NTSB identifierat två liknande fall i USA (Teterboro Airport, NJ, juli 2024) med en övergång till *Direct Mode* efter start där piloterna upplevde en begränsad spakauktorit i tippel. Enligt Embraer var den tekniska orsaken annorlunda varför SHK valt att inte fördjupa sig i dessa.

1.18.2 Rapportering, analys och uppföljning av händelser inom civil luftfart

Förordningen (EU) No 376/2014 (händelserapporteringsförordningen) avser att förbättra flygsäkerheten genom att säkerställa att relevant information om säkerheten inom den civila luftfarten rapporteras. Varje organisation som är etablerad i en medlemsstat ska så snart som möjligt, dock senast inom 72 timmar, efter att ha underrättats om en händelse, rapportera händelser som faller under förordningen till den behöriga myndigheten för sitt tillstånd.

1.18.3 Notifiering till utredningsmyndigheter vid olyckor eller allvarliga händelser

Förordningen (EU) No 996/2010 fokuserar på utredning och förebyggande av olyckor och allvarliga tillbud inom civil luftfart. Artikel 9 i denna förordning reglerar skyldigheten att anmäla olyckor och allvarliga tillbud. Innebörden är att varje inblandad person som får kännedom om att en olycka eller ett allvarligt tillbud har inträffat, utan dröjsmål ska anmäla detta till den behöriga myndigheten för säkerhetsutredning i den medlemsstat på vars territorium olyckan eller det allvarliga tillbudet inträffade.

⁴⁵ SHK ärendebedömning L-61/22.

1.18.4 Vidtagna åtgärder

Flexjet

Efter händelsen på Le Bourget vidtog Flexjet flygsäkerhetshöjande åtgärder. En åtgärd för att sänka risken och fortsätta verksamheten med EMB-550 var att operatören utförde säkerhetsfrämjande åtgärder genom videokonferensmöten och säkerhetsbulletiner som förklarade hanteringen vid liknande fel.

Embraer

Till följd av tidigare händelser och en vecka efter tillbudet på Le Bourget, publicerade Embraer en operativ bulletin (O.B. N°: 550-002/24, Sep 02, 2024) med bland annat information om användning av manuell trim vid styrsystem som degraderas till *Direct Mode*.

I bulletinen beskrivs vikten av användning av manuell tipptrim vid styrsystemfel som leder till *Direct Mode*. Bulletinen förklarar att auto-trim då inte är i funktion och att piloten omgående måste använda trimbrytaren på den centrala piedestalen för att minska behovet av stora spakutslag under dynamiska flygförhållanden. Bulletinen presenterar också bilder på trimbrytaren och FCS NORMAL MODE knappen i cockpit.

Embraer ska revidera de relaterade pilotprocedurerna för att inkludera steget ”PITCH Switch–ACTUATE MANUALLY” som minnesåtgärd.

Flygplanets flygmanual (AFM)⁴⁶ är under revidering och vid tiden för rapportutgivningen inväntas den brasilianska luftfartsmyndighetens (ANAC) godkännande.

Vad gäller utbildningsåtgärder, samarbetade Embraer och Flight-Safety⁴⁷ för att förbättra de praktiska utbildningsscenarierna som användes för felutfallen FLTCTRL N-MODE FAIL och FLTCTRL N-MODE MISBEHAVIOR. Dessa modifierade scenarier introducerades i inledande och återkommande utbildningar av Flight Safety och Flexjet, såväl som dess utbildningsleverantör.

Ny FCC-mjukvara har testats hos Parker. Initiala tester har visat på att felet och händelsekedjan i styrsystemet inte kunnat återskapas med den modifierade programvaran. Embraers avsikt är att testa och certifiera den nya mjukvaran under 2026.

Transport Malta

Som reaktion på tre rapporterade tillbud där piloterna uppfattade saknad styrförmåga i tipp- led efter start med Flexjets EMB-550 flygplan, utfärdade Transport Malta en säkerhetsbulletin den 22 augusti 2024 (SAFETY INFORMATION AND ADVISORY NOTICE – SIAN) nummer 1/24 giltigt för EMBRAER 550–500/600.

I bulletinen stod bland annat att om styrspakarna inte reagerar på pilotkommando, försök först att trimma manuellt som en ”minnesåtgärd”. Endast val av *Direct Mode* kommer kanske inte att åtgärda situationen på grund av att stabilisatorn då endast kan kontrolleras av den manuella trimmen.

⁴⁶ AFM (Aircraft Flight Manual) – flygplanets officiella flygmanual.

⁴⁷ Flight Safety – En FAA/EASA-godkänd simulatororganisation för pilotutbildning på bland annat EMB550-600 där Flexjet utbildar sina piloter på den aktuella flygplanstypen.

EASA

EASA planerar ett säkerhetsfrämjande program 2026, som kommer att omfatta systemiska delar av flygsystemet, och inom ramen för detta program kommer ämnet rapportering av händelser och säkerhetskultur att behandlas i detalj.

Detta kommer att inkludera ämnet rapportering av händelser som kan betraktas som allvarliga tillbud i det land där händelsen inträffade.

EASA kommer också att inkludera specifik kommunikation till de nationella luftfartsmyndigheterna för att säkerställa att allvarliga tillbud delas med berörda AIB (SIA) i tid.

1.19 Särskilda utredningsmetoder

Inga.

2. Analys

2.1 Flygplanets beteende i samband med det uppkomna felet

De uppgifter som kommit fram vid intervjuer tillsammans med samlade flygplansdata visar att det styrsystemfel som uppstod under start precis efter lättning ledde till att stabilisatorn inte trimmade automatiskt till den aktuella flygfarten. Flygplanet hamnade i ett otrimmat flygläge och dess tippvinkel ökade snabbt. Piloten försökte motverka tipp rörelsen med hjälp av spakutslag framåt, men dessa saknade auktoritet. Genom att trimma stabilisatorn manuellt och återställa styrsystemet till normal funktion fick piloten full kontroll över flygplanet.

2.1.1 Begränsad spakauktoritet efter felet

När styrsystemet degraderades från NORMAL MODE till DIRECT MODE, ca 12 sekunder efter lättning, övergick styrlagarna från att styra spakkommando som fartvektorhastighet (gammadot) till att följa spakvinkel direkt som höjdrodervinkelkommando (med vissa förstärkningar).

Stabilisatorvinkeln, som var trimmad på marken för att ge ett trimmat läge vid ca 140 knop ($V_2+15 = 143$), var kvar i den ursprungliga vinkeln medan flygplanet hade hunnit accelerera. Flygplanet nådde 160 knop, vilket är den fart som anges i procedurerna för den initiala stigningen. Detta resulterade i ett otrimmat läge som behövde pareras av piloten genom stora spakrörelser framåt. Under tiden levererade motorerna fullt startpådrag och piloten följde styrkommandon (Flight Director) för att följa den programmerade stigfarten. Detta ledde till att flygplanet steg med nästan 5 000 fot/minut. Av registreringen framgår att piloten initialt applicerade nästan fullt spakutslag framåt för att sedan minska något till halvt utslag framåt. Under sådana dynamiska förhållanden styr piloten tills flygplanet reagerar och sänker nosen till en flackare stigning. Piloten använder det som kallas "closed-loop-styrning" vilket innebär att den första spakrörelsen framåt kan vara något överdriven.

Piloten kände snabbt igen det uppkomna felet och sträckte sig över den centrala piedestalen för att börja trimma manuellt i en nos-ner-riktning medan spaken samtidigt användes i både tipp- och rolled. Av registreringen framgår att piloten började trimma cirka fem sekunder efter att CAS-varningsmeddelandet kom, samt informerade styrmannen om felet och att

manuell trimning var applicerad. När stabilisatorn närmade sig trimmat läge ökade höjdrodrets auktoritet, vilket medförde att spakrörelserna i tippel kunde reduceras.

2.1.2 Trimstabilisatorns beteende

Efter start och cirka fem sekunder efter lättning (WoW = 0) sker ett byte av styrlag, varvid systemet övergår till *gammadot*. I *gammadot* är autotrimfunktionen av tipptrimssystemet aktiverad. Eftersom systemet försattes i *Direct Mode* i samband med modbytet fanns inte autotrimfunktionalitet. Inställningen för tipptrim förblev densamma som ställts in före start. Allteftersom farten ökade förbi den fart för vilken flygplanet var trimmat, ökade nosuppmomentet och höjdroderauktoriteten minskade.

2.1.3 Styrsystemets beteende

Att prioritetsindex för båda FCC kunde degraderas till index 0 på grund av ett överskridet tröskelvärde har konstaterats höra ihop med TTP-arkitekturens hantering av *skew* mellan frames som skrivs till databussen av de två processerna i CIM. Felutfallet och händelsekedjan som uppstod visar på brister i robustheten i systemet. Avvikelsen mellan Com och Mon lane hanterades enligt systemdesignen för den enskilda FCC:n. Händelsekedjan hade dock brutits om felet hade inträffat i endast en av de två FCC:erna, eller om en FCC hade återställts efter återställningstiden för den andra, förutsatt att prioritetsindexet efter någon av återställningarna hade varit över 2. I ett sådant fall skulle styrsystemet ha tillåtit den funktionsdugliga FCC:n att behålla kontrollen.

Under riggtesterna återskapades händelseförloppet som ledde till att en av FCC:erna slutade fungera, men en situation där båda FCC:erna återställdes samtidigt kunde aldrig bekräftas. Proven visar vilka fel och följdhändelser som inträffar, samt vilka värden på invariabler, dess gradienter och tider som krävs för att felet ska kunna uppstå. Detta sammantaget ger goda förutsättningar för att kunna införa åtgärder i programvaran dels för att minimera sannolikheten att samma fel i varje enskild FCC uppstår, dels för att robustheten i logiken för växlingarna mellan FCC ökas i de fall när data i TTP-bussen under ett fixt tidsintervall uppträder som *stale* i samband med *skew*.

Förslag på åtgärder har även presenterats för SHK samt demonstrerats framgångsrikt i riggprov. Embraer planerar att fortsätta testerna, genomföra prov av robustheten samt certifiera den uppdaterade programvaran. SHK bedömer att det finns goda förutsättningar för Embraer att med en uppdaterad programvara förhindra felet och dess följdverkningar och ser därför inte skäl att utfärda några rekommendationer vad gäller systemet.

2.2 Besättningarnas arbetsbelastning

I båda händelserna blev piloterna överraskade av den snabbt ökande tippvinkeln som över-skred den normala.

I den första händelsen på Le Bourget, trodde PF (också befälhavaren) att spaken hade förlorat sin funktion och lämnade över kontrollerna till styrmannen. Efter att ha tryckt på NORM MODE knappen återfick styrsystemet normal funktion och besättningen kunde återvända för landning. Den manuella trimmen användes inte alls under tillbudet. Piloterna var vana vid ett fullt "fly-by-wire" styrsystem och kände inte till att den manuella trimmen kunde behövas i luften. SHK bedömer att detta berodde på effektiv utbildning, saknade åtgärder i checklistan och bristande systemkunskap.

I den andra händelsen på Bromma, trodde PF att spaken hade förlorat en del av sin funktion och började trimma istället. Efter att ha tryckt på NORM MODE knappen återfick styrsystemet normal funktion och besättningen kunde återvända för landning.

I både händelserna fick besättningen en CAS-varning några sekunder efter lättningen vid en dynamisk flygfas. PF roterade till en hög tippattityd för att kunna fånga den korrekta flygfarten och samtidigt kunna säkerställa att landstället fälldes in i tid. Besättningen fick analysera varningen med blinkande lampor och trippla ljudsignaler. PF behövde motverka den överraskande tippningen uppåt och styra med stora roderutslag, informera styrman om vad som skedde samt, i Brommafallet, trimma manuellt för att återfå spakauktoriteten.

Båda PF upplevde att arbetsbelastningen var hög och tidspressen stor. Besättningarna agerade snabbt och beslutsamt, applicerade checklistorna utan dröjsmål och lyckades återfå normal systemfunktion.

PM i Brommahändelsen kommunicerade direkt med flygtrafikledningen om felet och när kommunikationen verkade vara otydlig, deklarerade piloten "Mayday, Mayday" vilket informerade alla på frekvensen om allvaret av felet. Nödanropet tydliggjorde för flygtrafikledaren varför klareringshöjden och efterföljande kursbegäran inte kunde följas.

Trots att styrsystemet återställdes efter genomförd checklista var inte besättningen säkra på att felet inte skulle återkomma under resterande flygning och vidtog därför ytterligare riskminimeringsåtgärder inför landning.

SHK:s bedömning är att besättningarna agerade koordinerat och snabbt trots den höga arbetsbelastningen och kombinerade sina resurser i cockpit effektivt.

2.3 Trimreglagets position i cockpit

Det manuella trimreglaget är placerat till höger på den centrala piedestalen mellan piloterna vilket medför att vänster pilot behöver sträcka sig för att kunna nå det. Trimreglaget är inte upplyst i mörker, se figur 2.

Den manuella tipptrimmen används normalt inte av piloterna i luften utan justeras manuellt på marken inför varje flygning. Mot bakgrund av intervjuer med piloterna och de utvärderingar som gjorts i simulator bedömer SHK att trimreglagets position gör det svårare att nå för piloten i vänstersits men att positionen är känd för en behörig pilot och att reglaget kan nås och identifieras av båda piloterna.

2.4 Åtgärder efter Le Bourget händelsen

Flygplanstypen är ett modernt flygplan med "Fly-by-wire", vilket betyder att vid normal flygning sker trimningen automatiskt och kräver inte någon aktiv åtgärd från piloten. Enligt tillverkarens filosofi och deras utvärdering av händelser med FLTCTRL N-MODE FAIL, bedömdes den snabbaste åtgärden vara att trycka på NORM MODE knappen för att återfå normal funktion. Återkommande simulatorträning av ett sådant fel genomfördes för de aktuella piloterna under 2024 vid planflykt och i en situation när flygplanet redan var trimmat när felet introducerades.

Efter händelsen i Le Bourget i juli 2024, insåg tillverkaren och Transport Malta att den manuella tipptrimmen borde aktiveras omgående och en intern instruktion utfärdades. Denna delades med Embraer och Transport Malta, som därefter publicerade operativa bulletiner.

Flexjet informerade alla sina besättningsmedlemmar om felets karaktär och om de nya åtgärder som krävdes av piloter vid ett sådant fel. Av intervjuerna och av data från pilotens snabba agerande verkar operatörens informationskampanj ha varit effektiv och minskat tippvinkelavvikelsen efter felet vid Brommahändelsen.

Vid den aktuella händelsen på Bromma hade den formella checklistan och utbildningskraven ännu inte ändrats för att tillämpa bulletinens innehåll. Enligt Embraer har dessa dock uppdaterats i juni 2025.

2.5 Flygtrafikledningens hantering av nödsituationen

Av intervjuer och radiotrafik framgår att situationen för flygtrafikledaren var komplex. Ett flygplan var redo för start och ytterligare ett flygplan var på final inför landning. Flygtrafikledaren gjorde bedömningen att det flygplan som väntade på banan skulle ges starttillstånd. Därigenom minskade risken för att det väntande flygplanet skulle hamna för nära 9H-MFX.

Händelsen rapporterades omgående till SHK som en ATC-incident.

SHK bedömer att flygtrafikledaren hanterade situation på ett säkert sätt och att det startande flygplanet inte utgjorde någon risk för 9H-MFX.

2.6 Operatörens riskhantering av felet

Flexjet hade ett omfattande säkerhetsledningssystem som var proaktivt och uppdaterades vid flygsäkerhetsrelaterade händelser. Efter att ha granskat de för händelsen relevanta riskerna i Flexjet:s riskhanteringsverktyg, har SHK konstaterat att det aktuella felet som specifikt rör EMB-550 identifierades och riskbedömdes redan efter händelsen på Le Bourget (med 9H-XFX). De åtgärder som Flexjet vidtog i form av ett videoinformationsmöte med samtliga piloter, publicering av en operativ bulletin samt diskussioner med tillverkaren (Embraer) var snabba och konkreta.

Utöver detta har Flexjet samarbetat med den maltesiska luftvärdighetsmyndigheten för att formulera en bulletin som instruerar piloterna att använda den manuella tipptrimmen vid sådana fel.

Operatörens åtgärder efter Le Bourget händelsen har varit den avgörande faktorn till att besättningen så snabbt identifierade felets karaktär, tillämpade rätt handhavande och minskade höjdavvikelserna.

2.7 Rapportering till utredningsmyndigheter vid olyckor eller allvarliga händelser

Det finns två separata system för att rapportera tillbud inom luftfarten. Olyckor och allvarliga tillbud ska enligt förordningen (EU) No 996/2010 rapporteras till säkerhetsmyndigheten i det land där händelsen inträffat. Skyldigheten att rapportera omfattar alla personer som får kännedom om en olycka eller ett allvarligt tillbud. Ur ett rapporteringsperspektiv är systemet robust och borde säkerställa att en säkerhetsmyndighet får information utan dröjsmål. Det skapar förutsättningar att snabbt ta till vara bevismaterial och inleda en säkerhetsutredning.

Det andra systemet för rapportering följer av förordningen (EU) No 376/2014 som avser att förbättra flygsäkerheten genom att säkerställa att relevant information om säkerheten inom den civila luftfarten rapporteras, samlas in, lagras, skyddas, utbyts, sprids och analyseras. Det görs genom att uppgifter om händelsen läggs in i databasen ECCAIRS, ofta av luftfartsmyndigheten. Tidsgränsen för att dela informationen är senast 72 timmar efter att man underrättats om en händelse. Det är betydligt fler händelser som rapporteras enligt detta system eftersom det även fångar upp mindre allvarliga händelser. På grund av den administrativa processen tenderar analysen av dessa rapporter att ta längre tid. Ur ett utredningsperspektiv är tidsperioden för rapportering lång och det finns en risk för att fakta och bevismaterial inte hinner säkras för en kommande säkerhetsutredning.

Händelse som inträffade på Stockholm/Bromma flygplats 2022 rapporterades till bland annat SHK av Luftfartsverket (LFV). Flexjet rapporterade händelsen som en allvarlig händelse till Transport Malta som registrerade den i databasen ECCAIRS som ett tillbud (incident). Varför klassificeringen ändrades har inte gått att fastställa, men myndigheten kan ändra klassificering beroende på dess bedömning av risk. Att händelsen inte klassificerades som en allvarlig händelse innebar att Transport Malta inte hade krav på att rapportera till säkerhetsutredningsmyndigheten. Hade däremot Flexjet rapporterat enligt förordningen direkt till SHK hade informationen kunnat medföra att händelsen bedömts annorlunda av SHK. De säkerhetsbrister som nu uppdragats hade således kunnat åtgärdats i ett tidigare skede.

SHK har noterat att det finns organisationer som uppfattar att man uppfyllt rapporteringskraven när man rapporterat en händelse enligt förordningen (EU) No 376/2014. Den rapporteringen sker oftast genom att operatören rapporterar till sin nationella luftfartsmyndighet som sedan rapporterar till databasen ECCAIRS. SHK anser att det kan finnas brister i hur säkerhetsledningssystemet i organisationer hanterar kravet enligt förordningen (EU) No 996/2010 att utan dröjsmål rapportera till berörd säkerhetsutredningsmyndighet vilket kan leda till att viktig information hinner gå förlorad. Därför bör EASA genom nationella luftvärldighetsmyndigheterna (CAA/NAA) säkerställa att organisationer vid sådana händelser utan dröjsmål rapporterar till berörd säkerhetsmyndighet.

2.8 Händelser som klassificeras som signifikanta tillbud

De två händelserna med 9H-MFX på Bromma i september 2024 och med 9H-XFX på Le Bourget, i augusti 2024 rapporterades nationellt och klassificerades av Flexjet som *signifikanta tillbud*. Händelserna rapporterades till Transport Malta men inte till säkerhetsutredningsmyndigheten i de länder där händelserna inträffade.

Klassificeringen *Signifikant tillbud* är inte definierat i EU 996/2010 men finns som ett alternativ i ECCAIRS-systemet som används för datainsamling enligt EU 376/2014.

SHK konstaterar att en del av de tillbud som endast rapporteras av operatören som *signifika* inte når säkerhetsutredningsmyndigheter i tid för att de ska kunna utredas effektivt. EASA bör därför i samråd med de nationella luftvärdighetsmyndigheterna (CAA/NAA) överväga behovet av att information om sådana händelser även rapporteras till landet för händelsen.

2.9 Sammantagen bedömning

I båda händelserna uppfattade PF att styrspaken saknade tillräcklig auktoritet för att kunna hejda tipprörelsen som ökade abrupt efter felet. Av ljudregistreringen, intervjuer med piloterna och simulatorrekonstruktion genomförd av SHK samt registrerade data, kan det konstateras att besättningens arbetsbelastning och tidspressen var hög direkt efter felvarningen. En god kännedom om ett liknande fel ett par månader tidigare har bidragit till att befälhavaren (PF) reagerade intuitivt och snabbt samt att styrmannen hanterade radiokommunikationen och cockpitprocedurerna på ett smidigt och korrekt sätt. Överskridandet av den klarerade flyghöjden var begränsat och ledde inte till ett kritiskt närmande till annan trafik. Snabb hantering av flygtrafikledningen möjliggjorde för besättningen att hantera felet på ett ordnat sätt innan de återvände för landning.

Den Maltabaserade Flexjet har exponerats för två liknande händelser inom en kort tidsperiod. Efter händelsen på Le Bourget uppdaterade operatören säkerhetsledningssystemet vad gäller ett sådant styrsystemfel och vidtog konkreta åtgärder för att minska effekterna ifall ett sådant skulle ske igen.

Dessutom har, vid riggprov hos tillverkaren, grundorsaken kunnat isoleras till specifika tillstånd i CIM och TTP-bussen. Identifiering av tillstånden, variabelvärden och dess gradienter har gett förutsättningar att modifiera styrsystemets programvara dels så att felet i den enskilda FCC:n inte uppstår, dels så att växling mellan FCC när data på TTP-bussen klassificerats som *stale* hanteras på ett mer robust sätt.

Eftersom typcertifikatinnehavaren redan har vidtagit åtgärder avser SHK inte att utfärda några säkerhetsrekommendationer gällande detta.

SHK vill lyfta fram en framgångsfaktor som sannolikt bidrog till att händelsen på Stockholm/Bromma flygplats inte utvecklades till en mer allvarlig händelse. Flexjet Malta, i samarbete med de Maltesiska luftfartsmyndigheterna (TM) och Embraer, kunde snabbt efter Le Bourget händelsen, informera alla sina EMB-550-piloter om styrsystemfelets karaktär och de nya åtgärderna som ska vidtas i luften vid en återupprepning av felet.

3. Utlåtande

3.1 Utredningsresultat

- a) Piloterna hade behörighet att utföra flygningen.
- b) Flygplanet hade luftvärdighetsbevis med gällande granskningsbevis.
- c) Något tekniskt fel på flygplanet före flygningen som kan ha påverkat händelseförloppet har inte identifierats.
- d) LFV rapporterade händelsen som en "Mayday"-händelse till SHK.
- e) En liknande händelse med samma modell rapporterades i juli 2024 vid start från Le Bourget flygplats. Detta ledde till att Flexjet, tillverkaren och Transport Malta vidtog åtgärder.
- f) Den maximala startmassan och tyngdpunkten var inom det tillåtna området.
- g) Besättningen följde de normala procedurerna för taxning och fram till start.
- h) Besättningen agerade enligt den senaste publicerade bulletinen och använde den manuella tipptrimmen för att återfå full kontroll över flygplanet.
- i) Besättningen deklarerade nöd och informerade flygtrafikledningen enligt gällande procedurer.
- j) Flygtrafikledaren på Bromma assisterade med ny klarering och vektorering för landning enligt besättningens begäran.
- k) Besättningen lyckades återfå normal styrsystemfunktion och landade utan ytterligare problem.
- l) FCC minnena visade fel i bägge apparaterna som indikerade avvikelser från höjdrodertoleranserna och TTP-busstrafiken.
- m) Systemprov hos systemintegratören visade att felen kunde återskapas.

3.2 Orsakerna till det allvarliga tillbudet

Flygplanets snabba och oväntade noshöjning direkt efter lyft orsakades av ett fel som ledde till att båda flygkontrolldatorerna (Flight Control Computers) återställdes. Detta resulterade i att systemet nedgraderades till ett enklare kontrolläge, vilket även innebar att stabilisatorvinkeln inte automatiskt justerades för den ökande lufthastigheten.

Den extremt obalanserade trimsituationen krävde att piloten använde nästintill fulla styrspaksutslag för att återfå den önskade tippattityden, vilket tvingade fram en manuell trimjustering av flygplanet.

4. Säkerhetsrekommendationer

Inga.

Med hänsyn till EASA:s, Flexjets och Embraers vidtagna åtgärder avstår SHK från att utfärda ytterligare säkerhetsrekommendationer.

För Statens haverikommission

Jonas Bäckstrand

Gideon Singer