

Waarom verongelukken vliegtuigen na een motorstoring?

Ing. Harry Horlings, AvioConsult, Lt-Kol KLu bd.
Graduate Flight Test Engineer USAF Test Pilot School

Wereldwijd gebeuren maandelijks nog steeds ongevallen met een meermotorig vliegtuig na een motorstoring. In de afgelopen 30 jaren vielen tijdens meer 500 van zulke ongevallen meer dan 4.200 doden, in Nederland onder meer met een Hercules op Eindhoven, een Saab SF-340 op Schiphol, een Dakota in de Waddenzee, een BN-2 bij Bonaire, een PA-44 bij Kampen, een Boeing 747 in de Bijlmer, en op 13 juli 2025 een Nederlandse Beechcraft 200 op Vliegveld Southend te London. De vragen waarom zulke ongevallen gebeuren en of ze niet voorkomen kunnen worden werden tot nu toe niet adequaat en met deskundigheid beantwoord.

Als een motor aan een van de vleugels van een meermotorig vliegtuig uitvalt, dan gaat het vliegtuig gieren en beweegt daarna een beetje schuin door de lucht; het slipt, wat grote weerstand veroorzaakt en het klimvermogen sterk reduceert. Ook rolt het vliegtuig om de langsas in de richting van de uitgevallen motor. Het gieren kan worden tegengegaan met het richtingsroer en het rollen met de rolroeren mits de snelheid hoog genoeg is. De aerodynamische stuurkrachten zijn evenredig met het kwadraat van de vliegsnelheid (V^2). Bij lage snelheid kan maximum uitslag van de roeren nodig zijn om het evenwicht van krachten en momenten te handhaven. De weerstand met horizontaal gehouden vleugels is dan nog niet minimaal, en een zwaarbeladen vliegtuig zal daardoor wellicht niet kunnen klimmen als het net is opgestegen. De sliphoek, en daarmee de weerstand, kan worden verminderd door een kleine rolhoek aan te houden van maximaal 5° in de richting van de nog werkende motor. Door deze kleine rolhoek ontstaat in het zwaartepunt van het vliegtuig een dwarskracht die de dwarskracht als gevolg van het slippen kan opheffen en de sliphoek minimaliseert, waardoor het klimvermogen na het uitvallen van een motor maximaal wordt. Met het richtingsroer hoeft de vlieger nu alleen nog het motorgiermoment tegen te werken. Het gevolg van deze krachten- en momentenverdeling is dat het richtingsroer niet meer volledig is uitgeslagen, en dat er dus ruimte is om de snelheid te verlagen totdat het roer weer wel maximaal is uitgeslagen. Die snelheid is in luchtwaardigheidsvoorschriften (FAR/CS 23.149) gedefinieerd als minimumbestuurbaarheidssnelheid, in het Engels Minimum Control speed (V_{MC} of V_{MCA}). V_{MC} varieert dus met de rolhoek en moet tijdens vliegproeven worden gemeten tijdens rechtlijnige vlucht, terwijl een kleine rolhoek wordt aangehouden, maar van niet meer 5° , in de richting van de op maximum vermogen ingestelde werkende motor. Bij een grotere rolhoek neemt de dwarskracht in het zwaartepunt toe en moet de richtingsroeruitslag zelfs worden verminderd of omgekeerd.

De benodigde afmetingen van de stuurvlakken zijn al tijdens de ontwerpfasen van het vliegtuig bepaald, mede aan de hand van de dan nog theoretische V_{MC} . Als de snelheid lager is dan de V_{MC} , of de rolhoek is anders dan 5° in de richting van de nog werkende motor bij maximum asymmetrisch vermogen, dan kunnen de maximum uitgeslagen aerodynamische stuurvlakken niet meer toereikend grote stuurkrachten genereren om verder gieren en rollen te voorkomen en gaat de bestuurbaarheid verloren. Grotere stuurvlakken zorgen voor een lagere V_{MC} , maar kleine stuurvlakken zijn goedkoper, en het vliegtuiggewicht is lager. De voorschriften stellen daarom ook eisen aan de minimum afmetingen, door de maximum toegestane V_{MC} bij rechtlijnige vlucht op maximum asymmetrisch vermogen en met de kleine 5° rolhoek te beperken tot 1,2 of 1.13 maal de overtreksnelheid V_s (FAR/CS 23.149(b) resp. FAR/CS 25.149(c)). Echter, V_{MC} varieert met meer variabelen dan alleen rolhoek en gas-handel van de nog werkende motor; tijdens de rest van de vlucht kan de actuele V_{MC} veel groter worden.

Om een bocht te maken is een rolhoek nodig anders dan die 5° waardoor de dwarskracht in of nabij het zwaartepunt verandert; deze wordt vaak centripetale kracht genoemd. Er ontstaat een kleine sliphoek, zodat de verticale staart de neus van het vliegtuig in de richting van de rolhoek laat gieren; het vliegtuig is in een bocht.

Wanneer een van de motoren is uitgevallen dan is richtingsroeruitslag of een sliphoek nodig om het motorgiermoment tegen te werken. De zijwaartse of dwarskracht die daardoor wordt gegenereerd beïnvloedt de centripetale en andere dwarskrachten, waardoor het vliegtuig slippend of schuivend een bocht maakt. De vlucht is niet meer gecoördineerd, de stuurorganen staan niet meer ongeveer in het midden.

Hoe groter de rolhoek, hoe groter die dwarskracht. Zo'n dwarskracht laat de sliphoek enorm toenemen, en daarmee ook de weerstand van het vliegtuig waardoor het klimvermogen sterk afneemt. De vlieger moet die sliphoek dus zo klein mogelijk zien te houden, maar is daarvoor afhankelijk van de vliegsnelheid. Bij te lage snelheid kan de sliphoek niet meer tegengestuurd worden met het daarvoor te kleine richtingsroer en gaat dus de bestuurbaarheid verloren. Een vliegtuig wordt niet ontworpen, en hoeft dat ook niet, om bij maximum asymmetrisch motorvermogen een bocht te kunnen maken. Het bespaarde gewicht moet worden vervangen door een 'zware' papieren procedure voor het reduceren van het asymmetrisch vermogen tijdens een bocht.

Helaas worden vliegers in hun vliegtuighand- en lesboeken niet meer op de hoogte gesteld van de beperkingen die behoren bij het vliegen met een uitgevallen motor. De definitie van minimumbestuurbaarheidssnelheid V_{MC} in de meeste vliegtuighandboeken is dat het vliegtuig bij die snelheid nog bestuurbaar ('controllable') is. Als het vliegtuig, ondanks vol uitgeslagen roeren, blijft gieren en rollen in de richting van de uitgevallen motor, dan kun je toch niet zeggen dat het vliegtuig bestuurbaar is. De luchtwaardigheidsvoorschriften (FAR/CS 23/25.149) vereisen dat bij de gepubliceerde V_{MC} alleen rechthoekige vlucht mogelijk moet zijn, terwijl een kleine rolhoek wordt aangehouden van maximaal 5° . Dit is dus niet een eis om met maximumvermogen op de werkende motor bochten te kunnen maken, niet tijdens takeoff, tijdens kruisvlucht, en ook niet tijdens de nadering voor een landing. Als een bocht wordt begonnen met minder dan volgas, en tijdens een bocht alsnog volgas wordt gegeven, dan nemen de som van de dwarskrachten en de som van de giermomenten van motor, sliphoeck en richtingsroer toe en is een veel hogere snelheid nodig om het evenwicht van krachten- en momenten, dat evenredig met V^2 , te bewaren. De actuele V_{MC} neemt dus heel veel toe en de kans is groot dat het vliegtuig onbestuurbaar wordt, ook al is de vliegsnelheid ver boven de gepubliceerde V_{MC} .

Vijftig jaar geleden stonden de bij V_{MC} behorende beperkingen nog wel in handboeken, ook nog in KLM-handboeken, maar die aanwijzingen zijn geschrapt door hand- en lesboekenschrijvers die het vliegen met een uitgevallen motor niet helemaal begrepen. Ongevallenonderzoekers weten dat ook niet meer en overheden grepen niet in. Gelukkig wordt dit nog wel gedoceerd en gedemonstreerd op test pilot schools.

Na een motorstoring zal de vlieger klimmen met de 'best rate of climb speed single engine' (V_{YSE}). Voor een minimale sliphoeck en dus zo laag mogelijke weerstand bij V_{YSE} is een iets kleinere rolhoek nodig dan 5° , doorgaans 3° in de richting van de goede motor, want V_{YSE} is wat hoger dan V_{MC} . Deze rolhoek zou in de legenda van de 'One Engine Inoperative performance' grafieken in het vliegtuighandboek moeten staan.

De enige in vliegtuighandboeken gepubliceerde V_{MC} is de V_{MC} die is gemeten met een achterlijk zwaartepunt, het laagst mogelijk vliegtuiggewicht, een rolhoek van 5° in de richting weg van de uitgevallen motor, een bepaalde vleugelklepstand, meestal de takeoff stand, en maximum asymmetrisch vermogen. Genoemde variabelen zijn voor V_{MC} de 'worst case', ze resulteren in de hoogste waarde van V_{MC} voor de gegeven configuratie. Elke verandering van genoemde variabelen verandert de actuele V_{MC} . Een meer voorlijk zwaartepunt verlengt de momentenarm van het richtingsroer en verlaagt de actuele V_{MC} . Een hoger gewicht verlaagt V_{MC} , maar alleen als een kleine rolhoek wordt aangehouden weg van de uitgevallen motor. Bij een laag gewicht en een rolhoek van 5° is V_{MC} het hoogst; een laag gewicht is daardoor de 'worst case weight'. Bij deze rolhoek neemt V_{MC} af bij een hoger gewicht, maar bij een andere rolhoek dan genoemde 5° weg van de uitgevallen motor wijzigt de som van de dwarskrachten en giermomenten en neemt de actuele V_{MC} juist toe. Een vliegtuig heeft dus vele V_{MC} 's, ondanks dat slechts één ervan in het vliegtuighandboek wordt gepubliceerd. Bij die V_{MC} zou moeten worden aangegeven dat deze alleen maar van toepassing is tijdens rechthoekige vlucht met maximum vermogen, met maximum richtingsroeruitslag en onder het aanhouden van een rolhoek van 5° in de richting weg van de uitgevallen motor. Voorschriften vereisen het vermelden van deze 'associated conditions', voorwaarden van levensbelang, bij V_{MC} helaas niet, waardoor ze niet in de meeste vliegtuighand- en lesboeken staan. Wordt gas van de werkende motor teruggenomen, dan daalt V_{MC} , maar wordt tijdens een bocht, bv. de laatste bocht voor de landing, weer volgas gegeven (om het glijpad te kunnen aanhouden), dan stijgt de actuele V_{MC} heel veel en is de kans op Loss of Control levensgroot, en de kans om dat te overleven minimaal.

De 'critical engine' wordt wel vaak genoemd in vliegtuighandboeken. Als de 'critical engine' uitvalt, dan is de daarbij behorende V_{MC} iets hoger dan wanneer een andere motor uitvalt. Maar tijdens testvluchten wordt onderzocht welke motor de 'critical engine' is, en wordt die motor uitgezet voor het bepalen van V_{MC} , die dus het hoogst is, de 'worst case' na uitval van welke motor dan ook. Als een andere motor, een 'non-critical engine' uitvalt, dan is de actuele V_{MC} dus iets lager, is veiliger. Vliegers hoeven daarom niet te gaan analyseren of de uitgevallen motor de 'critical engine' is; er is ook maar één engine failure procedure. 'Critical engine' hoort niet in een vliegtuighandboek (Airplane Flight Manual/ Pilot Operating Handbook – AFM/POH) te worden genoemd. In de meeste AFM/POH's staan meer fouten over het vliegen met een uitgevallen motor. De boeken zijn geschreven door mensen die helaas niet precies weten wat V_{MC} is, en welke de beperkende factoren zijn, terwijl dat toch allemaal in de openbare voorschriften is te vinden.

Ook in de in AFM/POH vermelde airspeeds worden fouten gemaakt. V_{MC} en andere snelheidslimieten worden gemeten en gepubliceerd als Calibrated Airspeed (CAS). De in CAS gepubliceerde limieten zijn gelijk voor alle vliegtuigen van hetzelfde type en serie. Echter zijn de Airspeed Indicators (ASI) in de verschillende vliegtuigen niet gelijk aan elkaar omdat fabricagefouten tijdens het productieproces niet kunnen worden voorkomen, wat de reden is dat niet alleen het pitot-static systeem moet worden gekalibreerd, maar ook alle ASI's individueel (FAR/CS 23.1323). De Indicated Airspeeds (IAS) kunnen dus per vliegtuig verschillen, zelfs op meerdere ASI's in dezelfde cockpit. Als de kalibratiedata correct werden toegepast, dan geeft de rode radiale V_{MC} -streep op de ASI's V_{MC} in knots Indicated Airspeed (KIAS) aan. De rode V_{MC} -streep zal dus bij verschillende snelheden staan op snelheidsmeters in vliegtuigen van hetzelfde type/serie of zelfs in dezelfde cockpit als er meer dan één ASI is

aangebracht. Daarom kunnen in een AFM/POH dat van toepassing is voor alle vliegtuigen van dat type/serie nooit betrouwbare IAS-waardes worden gegeven omdat die per definitie niet accuraat zijn. De toegestane fouten mogen samen liefst 9 knots zijn, en dat is veel. IAS is ook de afkorting van 'Inaccurate Air Speed'.

Een gecomputeriseerd Air Data System heeft ook fouten. Behalve de position error van het pitot-static systeem zijn er ook de conversiefouten van de gemeten luchtdrukken naar digitale data. Het zou mogelijk moeten zijn om de kalibratiedata van pitot-static systeem en conversie in de air data computer in te voeren zodat de displays in de cockpit alle snelheden in CAS tonen. Calibrated Airspeeds zijn de betrouwbare en nauwkeurige snelheden die ook in het AFM/POH worden gebruikt voor operationele limieten en in 'performance data' grafieken. De vlieger hoeft geen correcties toe te passen als hij CAS op z'n display ziet, bij IAS moet dat altijd nog wel.

De in het AFM/POH gepubliceerde V_{MC} is meestal voor de takeoff configuratie en wordt, met andere snelheden, gebruikt om de takeoff speeds te berekenen. De takeoff rotation (V_R) en takeoff safety (V_2) speeds zijn tenminste 1.05 resp. 1.1 maal V_{MC} . Dit is geen grote veiligheidsmarge boven V_{MC} , want als de vlieger na liftoff de vleugels horizontaal houdt, dan is de actuele V_{MC} voor een kleine twin al ca. 6 kt hoger dan de in het AFM/POH gepubliceerde V_{MC} . De veiligheidsmarge is dan al bijna opgesoupeerd. De takeoff speeds zijn dus ook alleen maar veilig zolang rechtlijnige vlucht met de kleine rolhoek van 5° bij vol vermogen wordt aangehouden.

Ongevallen na motorstoring gebeuren omdat vliegers niet meer goed leren hoe ze met een vliegtuig moeten omgaan waarvan een of meer motoren zijn uitgevallen, en niet meer de beperkingen, de 'associated conditions' kennen die met V_{MC} van toepassing zijn. De vliegtuighand- en lesboeken, die veelal zullen zijn geschreven door vliegers wiens engineering kennis niet verder reikt dan middelbare schoolniveau, schieten tegenwoordig schromelijk tekort, wat tijdens overheidsinspecties en ongevallenonderzoeken helaas nooit werd ontdekt. Om te leren vliegen is geen Master Degree nodig, maar het is algemeen gebruikelijk om voor lesgeven een hoger niveau te eisen dan het niveau van de cursisten. In de afgelopen 50 jaar is veel van de voor de veiligheid van belang zijnde kennis verloren gegaan of geschrapt (uit onkunde), maar gelukkig nog niet bij test pilot schools die al tijdens de Tweede Wereldoorlog werden opgericht in grote luchtvaartlanden omdat vele prototypes met hun bemanningen verloren gingen door gebrek aan engineering kennis bij de uitvoerende verkeersvliegers.

Hoe voorkom ik een ongeval na een motorstoring?

Bij waarneming van een soms langzame 'uncontrolled yaw' onmiddellijk tegensturen met tot vol richtingsroer om rechtuit te blijven vliegen, en tevens een rolhoek van 5° naar de goede motor aanrollen, naar dezelfde kant als het voetenstuur. Sta geen bocht toe om V_{MC} laag te houden. Indien maximum richtingsstuur nodig is, dan is de snelheid dichtbij de actuele V_{MC} en is Loss of Control nabij. Met een half uitgeslagen richtingsroer is V_{MC} hoger. Reageert het vliegtuig niet of niet toereikend, dan is er geen andere optie dan het gashendel van de werkende motor (tijdelijk) ietsje terug te nemen, wat het motorgiermoment reduceert. Als rechtuit met de kleine rolhoek weer is bereikt, en de snelheid is hoger dan V_{MC} , kan het gas weer vol open. Klim met V_{YSE} naar een veilige hoogte, wat wel heel lang kan duren. Een kleine rolhoek (3° bij V_{YSE}) garandeert minimum drag en maximum Rate of Climb (ROC). Draai bij lage snelheid en maximum asymmetrisch vermogen nooit een bocht, klim eerst naar een veilige hoogte en accelereer en/of reduceer power voor de bocht (kost wat hoogte).

Vliegtuigen verongelukken na motorstoring ook omdat de vliegers tijdens takeoff niet goed zijn voorbereid op een motorstoring. Zij roteren op een te lage Calibrated Airspeed en laten toe of kunnen niet voorkomen dat het vliegtuig gaat gieren en rollen omdat zij niet met vol voeten- en/of rolstuur tegensturen, waardoor de bestuurbaarheid verloren gaat. Het kan niet vaak genoeg worden herhaald: de in het AFM/POH gepubliceerde V_{MC} (in KCAS) is alleen maar geldig tijdens rechtlijnige vlucht wanneer ook een kleine rolhoek, maar van niet meer dan 5° , wordt aangehouden in de richting van de goede motor; dat is naar dezelfde kant als het voetenstuur. Dan is de actuele V_{MC} het laagst en is ook de sliphoek het kleinst, en dus de ROC maximaal. Zodoende zou de klim naar een veilige hoogte mogelijk moeten zijn, als het vliegtuig niet te zwaar is. Als een bocht nodig is, accelereer ten minste tot 20 kt (bij een klein vliegtuig) boven V_{MC} , of reduceer het vermogen van de werkende motor een beetje zodat minder voetenstuur nodig is, en beperk ook de rolhoek. De vlucht met een uitgevallen motor is niet gecoördineerd, richtingsstuur blijft nodig omdat het motorvermogen asymmetrisch is. Als de rolhoek tijdens een bocht naar de goede motor groter is dan ca. 8° , moet richtingsstuur worden teruggenomen, en bij een nog grotere rolhoek zelfs naar de andere kant worden uitgeslagen om het evenwicht van krachten en momenten te handhaven. Dus zorg voor voldoende snelheid (en hoogte). Na een bocht, en na het opnieuw aanhouden van een kleine rolhoek kan het gas weer vol open, indien nodig.

V_{MC} blijft een factor tijdens de gehele vlucht met een uitgevallen motor. Bochten met vol asymmetrisch motorvermogen worden afgeraden; tijdens de laatste bocht voor de landing is dit zelfs dodelijk.

Deze procedure zou tijdens elke takeoff briefing moeten worden herhaald, zodat het weer vers in het hoofd zit.

Zie de Downloads, V_{MCA} , Accident en Links pages op website <https://www.avioconsult.com> voor veel meer gegevens, stukken en verslagen over het onderwerp. Vlieg veilig.

Leeslijst

1. Dit rapport kan hier worden gedownload: [https://www.avioconsult.com/downloads/Waarom verongelukken vliegtuigen na een motorstoring.pdf](https://www.avioconsult.com/downloads/Waarom_verongelukken_vliegtuigen_na_een_motorstoring.pdf).
2. V_{MCA} in Regulations and Flight Test, a summary. [https://www.avioconsult.com/downloads/Background VMC\(A\) Regulations and Flight Test.pdf](https://www.avioconsult.com/downloads/Background_VMC(A)_Regulations_and_Flight_Test.pdf).
3. TAS, CAS, IAS, and V_{MC} explained. [https://www.avioconsult.com/downloads/Airspeeds TAS, CAS, IAS, VMC Explained.pdf](https://www.avioconsult.com/downloads/Airspeeds_TAS,_CAS,_IAS,_VMC_Explained.pdf).
4. A 42 min. video lecture on V_{MC} , including two accidents. <https://youtu.be/Wbu6X0hSnBY>. The slides and script: [https://www.avioconsult.com/downloads/Vmca slides + script YouTube video AvioConsult.pdf](https://www.avioconsult.com/downloads/Vmca_slides_+_script_YouTube_video_AvioConsult.pdf).
5. The effect of Bank Angle and Weight on V_{MCA} . [https://www.avioconsult.com/downloads/Effect of Bank Angle and Weight on Vmca.pdf](https://www.avioconsult.com/downloads/Effect_of_Bank_Angle_and_Weight_on_Vmca.pdf).
6. Airplane Control and Analysis of Accidents after Engine Failure. [https://www.avioconsult.com/downloads/Airplane Control and Analysis of Accidents after Engine Failure.pdf](https://www.avioconsult.com/downloads/Airplane_Control_and_Analysis_of_Accidents_after_Engine_Failure.pdf).
7. Download suggestions for adding pen and ink changes to your AFM and/or checklist. [https://www.avioconsult.com/downloads/Pen and Ink changes to AFM or POH.pdf](https://www.avioconsult.com/downloads/Pen_and_Ink_changes_to_AFM_or_POH.pdf).
8. Limited Review DA 42 Airplane Flight Manual. [https://www.avioconsult.com/downloads/Review DA 42 Airplane Flight Manual.pdf](https://www.avioconsult.com/downloads/Review_DA_42_Airplane_Flight_Manual.pdf).
9. Limited Review Pilot Operating Handbook/AFM DHC-6. [https://www.avioconsult.com/downloads/DHC-6 POH - AFM Limited review.pdf](https://www.avioconsult.com/downloads/DHC-6_POH_-_AFM_Limited_review.pdf).
10. Limited Review Pilot Operating Handbook Beechcraft Super King Air B200(C). [https://www.avioconsult.com/downloads/Beechcraft SKA B200 & B200C POH review.pdf](https://www.avioconsult.com/downloads/Beechcraft_SKA_B200_&_B200C_POH_review.pdf).
11. Pitot-Statics and the Standard Atmosphere, 4th edition (Jul 2020). <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1115005.pdf>.
12. Flying Qualities Textbook, Volume II, Part 2, 1986. USAF Test Pilot School. (Chapter 11 = Asymmetrical power). https://ia801001.us.archive.org/17/items/DTIC_ADA170960/DTIC_ADA170960.pdf.
13. FAA Flight Test Guide AC 23-8C Part 23 Airplanes (Controllability and Maneuverability, including VMCA testing, in Section 4.4 § 23.149). https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_23-8C.pdf.

Meer Downloads en Accident Reviews op the website van AvioConsult: <https://www.avioconsult.com>.